ISSN 0181-7450 F : 15,50 €

(B) 16,50 €
(CH) 29,00 FS
(CAN) 20.99 $ca
(And) 15,50 €
DOM surface 16,50 €
DOM avion 16,90 €
N Cal/S 2000 cfp

elektor 504

créer > partager > vendre

NOVEMBRE & DÉCEMBRE 2023
ELEKTORMAGAZINE.FR

Google Bard et Flux Copilot mis en test

L'IA dans le laboratoire d'électronique

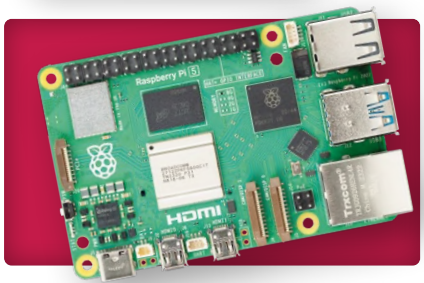
FOCUS SUR
Prototypage et production

Production de cartes à faible quantité

avec et sans assemblage

Outils à tester avant de souder

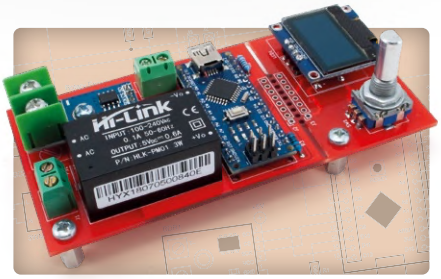
outils de simulation et de modélisation 3D gratuits



Le Raspberry Pi 5
une grande amélioration par rapport à son prédécesseur
p. 6



Microphones MEMS
conception et construction
p. 70



Mini plaque de refusion
pour l'assemblage ou la réparation de petits circuits CMS
p. 120

L 19624 - 504 - F: 15,50 € - RD

MICROCHIP

LE DÉBOGAGE SIMPLIFIÉ



Découvrez, configurez, développez, déboguez, qualifiez et mettez sur le marché rapidement en utilisant les outils de développement Microchip pour les microcontrôleurs PIC®, AVR® et SAM, les microprocesseurs SAM et les contrôleurs de signaux numériques dsPIC®. En matière de développement embarqué, nous avons intégré notre gamme complète de logiciels avec nos outils matériels, afin que vous puissiez exploiter toutes les capacités de l'écosystème de développement MPLAB®, et faire l'expérience d'un système de premier plan.

PICkit™ 5

Le débogueur/programmateur en-circuit MPLAB® PICkit 5 est un outil puissant qui permet une programmation rapide, aussi bien pour le prototypage que pour la production, pour tous les composants compatibles Microchip. Cet appareil polyvalent est équipé d'une gamme de fonctions qui en font le compagnon idéal pour tous vos besoins de programmation.

www.microchip.com/pickit5





MPLAB® ICD 5

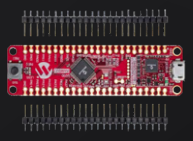
Le MPLAB ICD 5 est conçu pour s'appuyer sur les forces de notre débogueur de milieu de gamme et offre des capacités de traçage instrumenté (Instrumented Trace) via l'interface ARM SWO. Le MPLAB ICD 5, notre dernier produit en date, est compatible avec tous les composants PIC®, dsPIC®, SAM et AVR®, offrant ainsi un support complet pour une large gamme de composants.

www.microchip.com/icd5

Fonctionne avec ces cartes et bien d'autres :



PIC32MK MCA
Curiosity Pro
Development
Board



SAM D21
Curiosity Nano
Evaluation Kit



AM E54
Curiosity Ultra
Development Board



PIC32CM JH01
Curiosity Pro
Development
Board



PIC16F15244
Curiosity Nano
Evaluation Kit



EV72Y42A - AVR64DD32
Curiosity Nano
Evaluation Kit



PIC32CX SG61
Curiosity Ultra
Evaluation Board



PIC32CM MC00
Curiosity Pro
Evaluation Kit

Plus d'informations : www.microchip.com/mplab

DANS CE NUMÉRO

Volume 49 – Nº 504
Novembre et décembre 2023

l'IA dans le laboratoire d'électronique

Google Bard et Flux Copilot mis en test 10

générateur de formes d'ondes Arduino Nano

Nano + Code = générateur de fonctions



20

Rubriques

4 **Édito**

110 **infographie**

116 **démarrer en électronique…**
…amplifier les différences

130 **2023 : l'Odyssée de l'IA**
assistance à la conception d'un projet matériel

134 **Ethics in Action**
Bruxelles et l'innovation

138 **Hexadoku**
casse-tête pour elektorniciens



Articles de fond

6 **le Raspberry Pi 5**
une grande amélioration par rapport à son prédécesseur

10 **l'IA dans le laboratoire d'électronique**
Google Bard et Flux Copilot mis en test

34 **un boîtier simple créé par fraiseuse CNC**
avec Autodesk Fusion 360

40 **production de cartes à faible quantité**
With and Without Assembly

46 **simulation IdO simplifiée avec Wokwi**
le développeur Uri Shaked parle de design, de logiciels et d'autres choses encore

54 **guide de programmation Bare-Metal (3)**
en-têtes CMSIS, tests automatiques et serveur web

127 **ne commencez pas avec un prototype, mais plutôt avec un « pretotype » !**
vérifiez qu'il existe un marché pour votre produit

Projets

20 **générateur de formes d'ondes Arduino Nano**
Nano + Code = générateur de fonctions

28 **guirlande de Noël solaire**
une solution écologique pour décorer votre balcon

32 **détecteur de clé USB Killer**
mieux vaut prévenir que guérir

64 **LoRa, un couteau suisse (2)**
le matériel et le logiciel

70 **conception et construction de microphones MEMS**

120 **mini plaque de refusion**
pour l'assemblage ou la réparation de petits circuits CMS

COLOPHON

46ème année n° 504 | nov.-déc. 2023 | ISSN 0181-7450
Nº de TVA Intracommunautaire : FR90319937454
Dépôt légal : décembre 2023 | CPPAP 1125 T 83713
Directeur de la publication : Donatus Akkermans

Elektor Magazine est publié 8 fois par an par
PUBLITRONIC SARL – c/o Regus Roissy CDG
1, rue de la Haye – BP 12910
FR - 95731 Roissy CDG Cedex
www.elektor.fr | www.elektormagazine.fr

Pour toutes vos questions : service@elektor.fr
Devenez membre : www.elektormagazine.fr/abo
Tarifs Annuels : France 1 an 129,95 € (8 numéros)

Publicité : Ouafae Hassani
Tél. : +31 (0)6 41312932 | ouafae.hassani@elektor.com
www.elektormagazine.fr/publicité

Image de couverture :
Leonardo.Ai, éditée par Sylvia Sopamena

Droits d'auteur
© 2023 Elektor International Media B.V.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente publication, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 11 mars 1957 -art. 40 et 41 et Code Pénal art. 425). Certains circuits, dispositifs, composants, etc. décrits dans cette revue peuvent bénéficier de droits propres aux brevets; la Société éditrice n'accepte aucune responsabilité du fait de l'absence de mention à ce sujet. Conformément à l'art. 30 de la Loi sur les Brevets, les circuits et schémas publiés dans Elektor ne peuvent être réalisés que dans des buts privés ou scientifiques et non commerciaux. L'utilisation des schémas n'implique aucune responsabilité de la part de la Société éditrice. La Société éditrice n'est pas tenue de renvoyer des articles qui lui parviennent sans demande de sa part et qu'elle n'accepte pas pour publication. Si la Société éditrice accepte pour publication un article qui lui est envoyé, elle est en droit de l'amender et/ou de le faire amender à ses frais; la Société éditrice est de même en droit de traduire et/ou de faire traduire un article et de l'utiliser pour ses autres éditions et activités, contre la rémunération en usage chez elle.

Imprimé aux Pays-Bas
par Senefelder Misset,
Mercuriusstraat 35,
7006 RK Doetinchem

Distribué
en France par M.L.P. et
en Belgique par A.M.P.

PEFC Certified
This product is from sustainably managed forests and controlled sources
PEFC/30-31-151
www.pefc.org



détecteur de clé USB Killer

mieux vaut prévenir que guérir

32



un boîtier simple créé par fraiseuse CNC

avec Autodesk Fusion 360

34

Industrie

76 outils à tester avant de souder
outils de simulation et de modélisation 3D gratuits

80 nouveaux outils de Microchip !
PICkit 5 et MPLAB ICD 5

86 prototypage rapide d'électronique souple et extensible
comment la Voltera NOVA accélère l'innovation dans les systèmes portables

90 isolation galvanique
utilisation d'optocoupleurs à phototransistor

93 la solution complexe ou la solution Anybus ?
un Ethernet industriel embarqué réalisé en deux jours plutôt qu'en plusieurs mois

96 votre liste de contrôle DFM essentielle
concevoir pour la fabrication

100 filaments pour l'impression 3D
types, caractéristiques et utilisation

104 spécialistes pour une analyse des signaux des bandes ELF à EHF
analyseurs de spectre en temps réel de la série SPECTRAN® V6 d'Aaronia

106 défis de l'analyse DFM pour les circuits flexibles et flexibles-rigides

108 définir une ligne d'assemblage CMS

112 révolutionner le secteur de l'industrie
l'essor des robots mobiles autonomes

114 prêt à relever encore plus de défis
Rohde & Schwarz étoffe sa famille d'oscilloscopes nouvelle génération

Bientôt dans ces pages

Elektor & Espressif Guest Edition 2023
Pour la prochaine édition, la rédaction d'Elektor a collaboré avec les ingénieurs d'Espressif, concepteur des fameux microcontrôleurs ESP8266 et ESP32. Comme on peut s'y attendre de la part d'Elektor, les projets de bricolage sont au cœur de cette édition, mais, vous trouverez également des tutoriels techniques détaillés et des articles de fond sur de nombreux sujets, par exemple les protocoles IdO et les solutions cloud, Rust, la reconnaissance vocale et musicale, les frameworks d'IA, le prototypage, et bien d'autres encore.
Le numéro rédigé en collaboration avec Espressif sera publié aux alentours du 13 décembre 2023. La date d'arrivée du magazine papier chez les abonnés dépend des aléas d'acheminement.

Le numéro de janvier et février 2024
Vous retrouverez dans le prochain magazine Elektor l'habituel mélange stimulant de réalisations originales, de circuits, d'articles de fond, de sujets nouveaux, de trucs et d'astuces pour les électroniciens. Le thème de ce numéro sera « énergie et puissance »
Le numéro de janvier – février 2023 du magazine Elektor sera publié aux alentours du 10 janvier 2024. La date d'arrivée du magazine papier chez les abonnés dépend des aléas d'acheminement.

notre équipe

Rédacteur en chef : Jens Nickel | Rédaction : Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Hedwig Hennekens, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Jean-Francois Simon, Clemens Valens, Brian Tristam Williams | Contributeurs réguliers : David Ashton, Tam Hanna, Ilse Joostens, Prof. Dr. Martin Ossmann, Alfred Rosenkränzer | Maquette : Harmen Heida, Sylvia Sopamena, Patrick Wielders | Des questions techniques : redaction@elektor.fr

ÉDITO



Jens Nickel
rédacteur en chef d'Elektor Magazine

Encore plus d'idées !

Vous savez comment cela se passe : vous avez travaillé dur et votre projet est enfin fonctionnel. Vous le montrez à vos amis électroniciens et ils sont impressionnés. Bien joué, n'est-ce pas ? Votre projet pourrait même plaire à d'autres makers confrontés à un problème similaire, ou être utile à des personnes qui n'ont rien à voir avec l'électronique. Mais il faudrait investir dans un plus beau boîtier, un manuel d'utilisation et une interface plus intuitive. Sans oublier la possibilité d'effectuer des mises à jour du micrologiciel à distance.
Certaines inventions très réussies dans le domaine de l'électronique ont commencé de cette manière. Mais si vous souhaitez faire de votre projet une source de revenu, vous devrez envisager une approche différente. Lisez l'interview avec Alberto Savoia à la page 127, dans laquelle il explique pourquoi même les meilleures idées peuvent être vouées à l'échec dès le départ, et ce qu'il faut faire avant de construire votre premier prototype.
Lorsque vous êtes prêt à développer davantage votre projet, les outils d'IA ne manquent pas – comme on peut s'y attendre – de vous aider. À partir de la page 10, Tam Hanna explique comment ces outils peuvent vous aider à sélectionner des composants et à les intégrer dans votre schéma. Au moment où vous lirez ces lignes, ces outils seront certainement encore améliorés. Essayez-les vous-même et faites-nous part de vos commentaires par courriel (redaction@elektor.fr) !
L'IA a également donné à nos graphistes une nouvelle inspiration. Nous avons utilisé le générateur d'images IA Leonardo pour créer notre couverture. Mais croyez-moi, trouver l'idée parfaite n'a pas été facile ; nous avons passé deux heures à discuter de multiples suggestions lors de notre discussion sur la couverture. Cela montre bien que l'IA ne peut pas remplacer notre créativité, mais qu'elle nous offre simplement plus d'options que jamais.

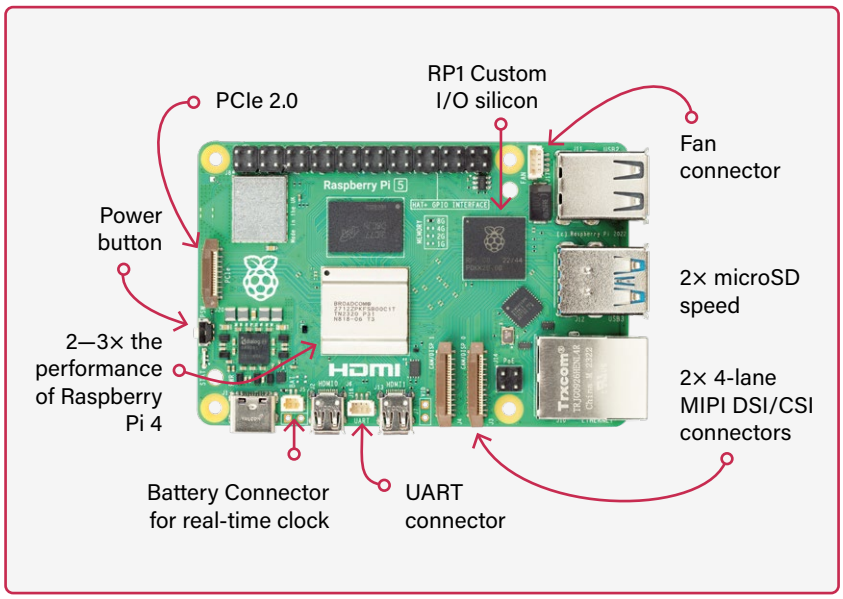
Profitons-en tous !

le Raspberry Pi 5

une grande amélioration par rapport à son prédécesseur

Saad Imtiaz (Elektor)

Le tout nouveau Raspberry Pi 5 est arrivé, et l'une des premières questions qui vient à l'esprit est de savoir à quel point il est plus performant et plus rapide que son prédécesseur. Eh bien, beaucoup de choses ont changé, et de nombreuses fonctionnalités ont été ajoutées et améliorées. On peut facilement dire que le nouveau Raspberry Pi 5 est deux fois plus rapide que le Raspberry Pi 4. Dans cet article, nous allons passer en revue les nouvelles fonctionnalités ajoutées, les comparaisons de performances, les caractéristiques thermiques et bien d'autres choses encore.



Le Raspberry Pi 5 conserve les mêmes dimensions de carte de crédit que ses prédécesseurs, tout à fait charmantes, mais beaucoup de choses ont changé tout en conservant la taille et le format. Commençons par le nouveau CPU intégré, le Cortex-A76 CPU cadencé à 2,4 GHz, et un nouveau GPU VideoCore 7 à 1 GHz. Raspberry Pi a affirmé que cela permettrait d'améliorer considérablement les performances, ce qui est tout à fait le cas : nous nous y plongerons plus tard avec quelques tests de référence.

RAM et bien plus encore

Un autre changement est la RAM ; le nouveau Raspberry Pi 5 est doté d'une mémoire RAM DDR4X au lieu de la DDR4 utilisée précédemment. Cela permet au Raspberry Pi 5 d'avoir des vitesses d'horloge accrues tout en consommant moins d'énergie ; un pas dans la bonne direction. Lorsque nous avons effectué des tests sur la vitesse de la RAM du Raspberry Pi 5, nous avons obtenu des résultats remarquables. Le Raspberry Pi 5 a pu effectuer près de 30 000 Mo en écriture et en lecture par seconde par rapport au Raspberry Pi 4, qui ne pouvait en faire que 4 000 à 6 000.

Une autre amélioration majeure est le logement de la carte microSD avec la prise en charge de la norme SDR104 à grande vitesse. Lors de nos tests, les vitesses des cartes SD étaient deux fois plus rapides que celles de la dernière génération. Cela est grâce au nouveau *southbridge* RP1 développé par Raspberry Pi.

Le Raspberry Pi 5 est le premier ordinateur Raspberry Pi de taille normale qui embarque du silicium conçu en interne. Le *southbridge* RP1 offre des performances améliorées en termes de capacités d'E/S et de fonctionnalités, notamment une bande passante USB doublée, la prise en charge d'une interface MIPI à 2×4 voies et une interface PCI Express 2.0 à une seule voie.

PCI, caméras, afficheurs...

L'un des principaux ajouts au Raspberry Pi 5 est le connecteur PCIe Gen 2 à voie unique, qui permet désormais au Raspberry Pi 5 d'utiliser un disque SSD NVMe ou M.2, avec le potentiel de vitesses de lecture et d'écriture beaucoup plus rapides et de bien meilleures performances. Ainsi, nous pouvons désormais également connecter des périphériques à large bande passante. Ce qui n'a pas changé, c'est le WiFi et l'Ethernet : ce sont les mêmes que dans la version précédente et ils fonctionnent toujours parfaitement.

Cependant, nous nous intéressons aux différences, alors passons brièvement en revue tous les éléments.

Il y a deux connecteurs pour module caméra/afficheur, ce qui vous permet de connecter deux caméras à votre Raspberry Pi 5 - ou une caméra et un écran, ou même deux écrans.

Sur la carte se trouve un nouveau connecteur de ventilateur, qui peut contrôler la vitesse du ventilateur recouvrant le dissipateur thermique du Raspberry Pi. En plus

Compariason : Raspberry Pi 4 vs Raspberry Pi 5

	Raspberry Pi 4	Raspberry Pi 5	
CPU	Broadcom BCM2711, Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SOC à 1,8 GHz	**Broadcom BCN12712, Cortex-A76 (ARM v8) quadricœur, 64-bit SOC à 2,4 GHz**	**2 à 3 fois plus rapide**
RAM	1 GB, 2 GB, 4 GB, 8 GB	**1 GB, 2 GB, 4 GB, 8 GB**	
Connectique	2,4 GHz et 5 GHz Liaison sans fil 802.11 ac Bluetooth 5.0, BLE Gigabit Ethernet nd 2× ports USB 3.0, 2× ports USB 2.0 40 broches GPIO 2× ports Micro- HMDI (jusqu'à 4K 60p) Interface MIPI DSI à 2 voies, interface MIPI CSI à 2 voies Audio stéréo à 4 pôles et vidéo composite	2,4 GHz et 5 GHz Liason sans fil 802.11 ac Bluetooth 5.0, BLE Gigabit Ethernet 1× interface PCIe 2.0 2× USB 3.0 (5 Gbit/s), 2× ports USB 2.0 40 broches GPIO 2× ports Micro-HDMI ports (jusqu'à 4K 60p) 2× interface MIPI à 4 voies (DSI/CSI) nd	**Interface périphérique rapide (pour SSD, etc.)**
SE et stockage des données	logement pour carte micro-SD	**Logement pour carte microSD avec prise en charge de la norme SDR104 (high-speed)**	**Interface 2× plus rapide**
Tension d'alimentation	5 V CC sous 3 A (via le connecteur USB-C ou GPIO)	**5 V CC sous 5 A CC (compatible avec la norme PD)**	**Nouvelle alimentation Raspberry Pi**
PoE	Via le HAT PoE (vendu séparément)	**Via le nouveau HAT PoE (vendu séparément)**	**Entièrement compatible avec la norme PoE 802.3at**
Horloge temps réel (RTC)	nd	**RTC et connecteur de batterie pour RTC**	

du connecteur de ventilateur, vous trouvez un connecteur UART, un bouton marche/arrêt, des ports USB 3.0 beaucoup plus rapides (jusqu'à 5,1 Gbit/s), et une horloge en temps réel (RTC) qui peut être alimentée par une batterie externe. Le **tableau 1** présente la liste complète des spécifications qui diffèrent de celles du Raspberry Pi 4.

Benchmarks

Nous avons effectué quelques tests sur le Raspberry Pi 5 [1] et le Raspberry Pi 4 [2] avec la même configuration et le même matériel – c'est-à-dire le même *build* sur la carte SD, la même alimentation et avec et sans refroidissement. Les liens ci-dessous vous permettent de consulter tous les résultats de Geekbench 5. Mais pour vous faciliter la tâche, la **figure 1** et **2** montrent les benchmarks globaux du Raspberry Pi 5 et du Raspberry Pi 4, qui montrent clairement que le Raspberry Pi 5 est deux à trois fois plus rapide que son prédécesseur dans tous les types de tests.



Figure 1. Résultats du benchmark avec Geekbench 5 pour le Raspberry Pi 5, 8 GB.



Figure 2. Résultats du benchmark avec Geekbench 5 pour le Raspberry Pi 4, 8 GB.

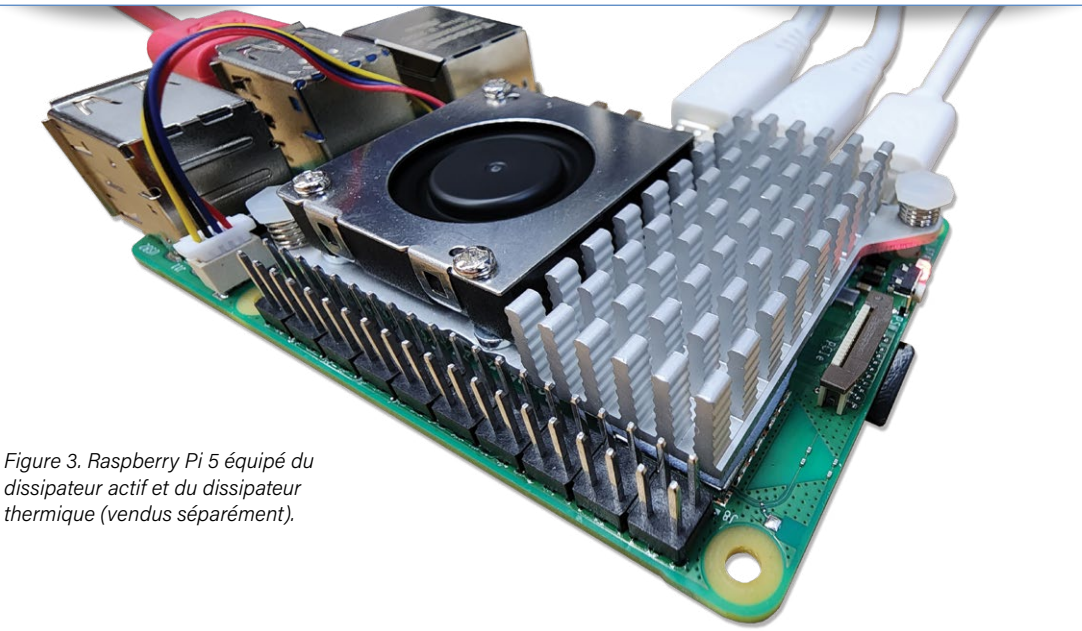


Figure 3. Raspberry Pi 5 équipé du dissipateur actif et du dissipateur thermique (vendus séparément).

Dégagement de chaleur

Pour les ordinateurs, plus un processeur est performant, plus il consomme de la puissance, et qui dit puissance, dit chaleur ! Nous avons réalisé quelques images thermiques des Raspberry Pi 5 et 4 en charge et au repos. Nous avons également testé le nouveau dissipateur actif fourni par Raspberry Pi, que l'on voit fixé dans la **figure 3**.

En exécutant des benchmarks et quelques tâches gourmandes en CPU et GPU, le Raspberry Pi 5 a atteint près de 78 °C (au niveau de la puce), sans refroidissement, à une température ambiante de 23 °C dans le laboratoire de test. Le Raspberry Pi 4 a quant à lui atteint un maximum de 71 °C (également au niveau de la puce), sans refroidissement, sous la même charge – mais évidemment pas avec les mêmes performances. Dans la **figure 4** et la **figure 5**, vous pouvez voir les images thermiques du Raspberry Pi 5 et du Raspberry Pi 4. Les températures sont assez élevées, et il est recommandé d'utiliser le disspateur fourni par Raspberry Pi. La **figure 6** montre l'image thermique du Raspberry Pi 5 lorsque le dissipateur actif est installé. La température au niveau de la puce a chuté à 58 °C - une différence de 20 degrés rien que grâce au refroidissement actif ! À l'avenir, nous restons à l'affût de nouvelles solutions thermiques et de boîtiers tiers pour améliorer encore la gestion thermique.

Le Raspberry Pi 5 est-il fait pour vous ?

Le Raspberry Pi 5 change la donne dans le monde des ordinateurs monocartes. Les améliorations impressionnantes apportées à son matériel, du nouveau CPU et GPU à la RAM DDR4X, en font un ordinateur puissant de la taille d'une carte de crédit. Vous aurez de nombreuses options de périphériques, des écrans multiples aux doubles caméras en passant par les SSD M.2. Malheureusement, les ports USB ne sont pas en USB-C, mais on peut espérer que ce sera le cas dans une prochaine version.

Bien qu'il conserve une grande partie du charme et du facteur de forme que les fans aiment, les performances ont été doublées,

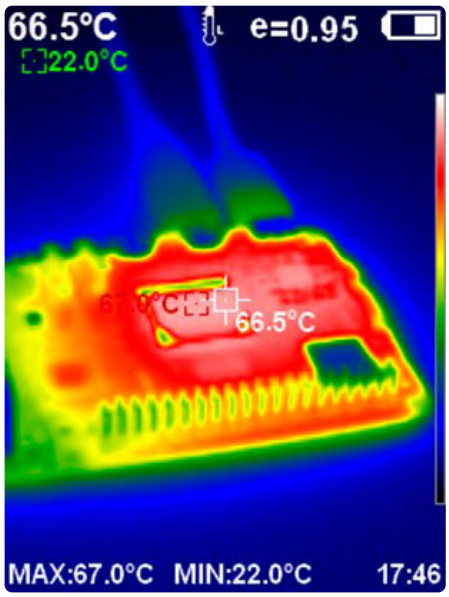


Figure 4. Image thermique du Raspberry Pi 5 – sans refroidissement actif.

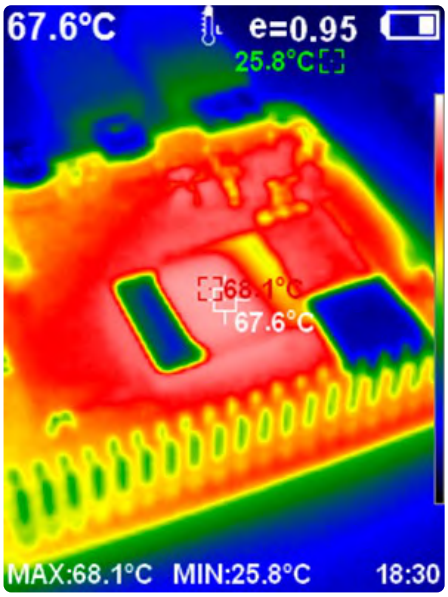


Figure 5. Image thermique du Raspberry Pi 5 – avec refroidissement actif.

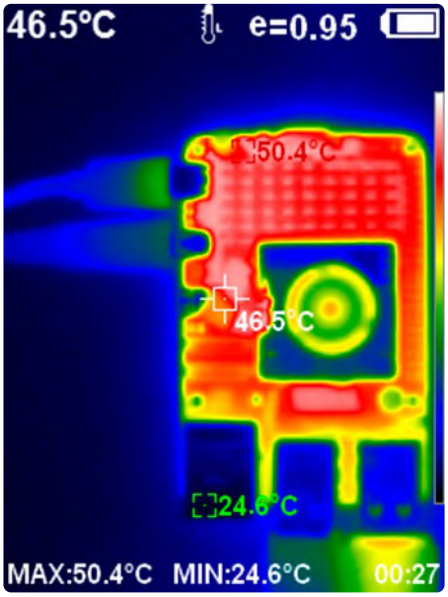


Figure 6. Image thermique du Raspberry Pi 5 – refroidissement actif.

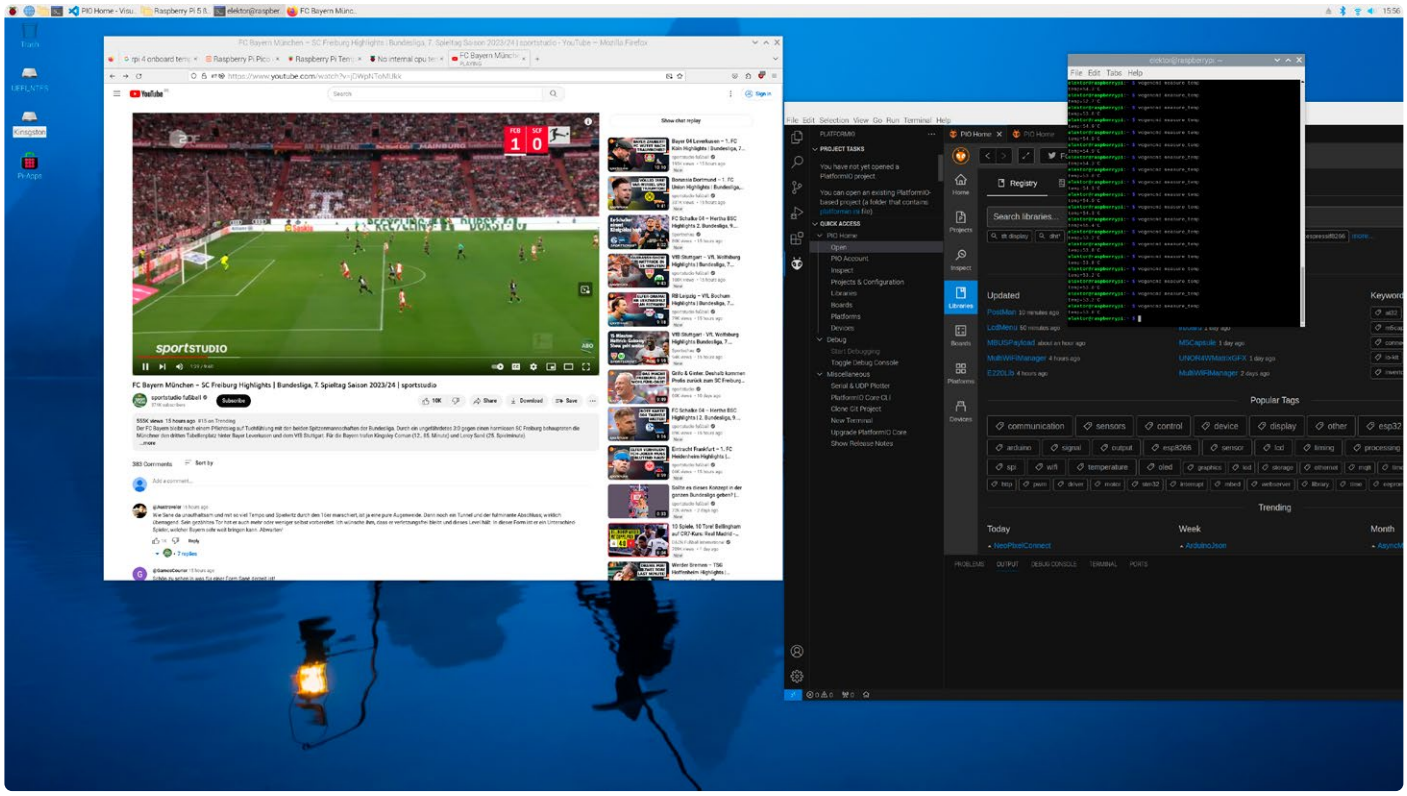


Figure 7. Le Raspberry Pi 5 effectue une charge de travail normale lorsqu'il est testé comme un ordinateur au quotidien.

ce qui le rend attrayant pour les débutants et les plus expérimentés avec le Raspberry Pi. Nous avons essayé de l'utiliser comme un véritable ordinateur, avec une charge de travail quotidienne normale, en lisant une vidéo 1080p sur YouTube parallèlement à un peu de programmation sous VS Code pour l'ESP32 (**figure 7**). Il semble alors avoir des performances tout à fait acceptables : il est possible de l'utiliser par exemple lorsque l'on ne dispose pas d'un ordinateur ou d'un PC (utilisez un power bank pour alimenter la carte). Dans l'ensemble, c'est un excellent ajout à la famille Raspberry Pi – tandis que le prix, bien que plus élevé, reste attractif. Si vous comptez vous en procurer un, le Raspberry Pi 5 promet un tout nouveau niveau de bricolage, de développement et d'amusement.

230635-04

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (saad.imtiaz@elektor.com) ou contactez Elektor (redactiom@elektor.fr).

Ressources Raspberry Pi 5 chez Elektor

Le puissant Raspberry Pi 5, incontournable pour les électroniciens professionnels, les makers et les étudiants, constitue une solution de base idéale. Que votre objectif soit de construire un ordinateur de bureau ou de réaliser un robot intelligent, Elektor vous propose une multitude d'articles et de vidéos sur cette carte polyvalente.
https://elektor.fr/rpi5

Produits

- **Raspberry Pi 5 (4 GB RAM)**
  www.elektor.fr/20598
- **Raspberry Pi 5 (8 GB RAM)**
  www.elektor.fr/20599
- **Boîtier officiel pour Raspberry Pi 5 (blanc)**
  www.elektor.fr/20602
- **Refroidisseur actif pour Raspberry Pi 5**
  www.elektor.fr/20604

LIENS

[1] Raspberry Pi 4 modèle B version 1.4 — Geekbench : https://browser.geekbench.com/v5/cpu/21819994
[2] Raspberry Pi 5 modèle B version 1.0 — Geekbench : https://browser.geekbench.com/v5/cpu/21819518

l'IA dans le laboratoire d'électronique

Google Bard et Flux Copilot mis en test

Tam Hanna (Hongrie)

Les capacités de ChatGPT et des systèmes IA similaires ont suscité un intérêt considérable dans les médias. Il semble logique que ces systèmes d'IA, qui sont conçus pour traiter des langages généraux, soient également capables de traiter la syntaxe relativement simple d'un code de programme et des fonctions de circuit, et que cette syntaxe soit plus facile à formaliser. Nous soumettons ici deux systèmes largement répandus - Google Bard et Flux Copilot - à un test pratique.

Pour cette revue, j'ai utilisé Google Bard et Flux Copilot, et je tiens à dire qu'ils ne représentent aucune menace pour quiconque travaille dans le domaine de l'électronique. À l'instar des fonctions d'analyse avancées introduites précédemment dans les oscilloscopes à mémoire numérique, le paradoxe de Gatling décrit par Chivers s'applique tout aussi bien à l'intelligence artificielle. Lorsqu'une nouvelle technologie (telle que le pistolet à colle) accroît l'efficacité des travailleurs, ceux-ci sont en mesure d'effectuer plus de tâches, ce qui signifie que leurs collègues peuvent, eux aussi, en faire plus. En fin de compte, cela aboutit à une augmentation de la productivité.
Comme je considère qu'il est important de faire la distinction entre ceux qui font de l'électronique et ceux qui se préoccupent de l'éthique en électronique, je souhaite à ce stade laisser ces réflexions de côté et me concentrer sur la manière dont l'IA peut vous aider à faire votre travail.

Goog Bardle

En particulier dans la situation politique actuelle très tendue, les erreurs de calcul des systèmes d'IA peuvent potentiellement causer des dommages considérables à la réputation des entreprises qui proposent ces systèmes. Pour éviter ce risque, Google a mis son service d'IA, Bard, à la disposition du grand public, mais en a limité l'accès à un nombre relativement restreint de pays. Quelques jours seulement avant la publication de cet article, la liste des pays autorisés [1] a été élargie pour inclure l'Autriche, la Hongrie et la Slovaquie. Il convient également de noter que le systèmIA e BarI est désormais capable de communiquer en allemand, mais malgré cela, j'ai choisi d'utiliser l'anglais dans les exemples décrits ci-dessous. D'après mon expérience pratique, on peut constater que les résultats sont meilleurs en anglais.
Si Bard n'est pas disponible dans votre pays, ne perdez pas espoir. Au lieu d'utiliser la localisation du compte, Google vérifie l'autorisation d'utilisation en validant en permanence la géolocalisation de l'adresse IP utilisée pour l'accès. Il est donc conseillé d'utiliser un VPN, qui consiste essentiellement à présenter une adresse IP différente pour *tromper* l'autre tiers, comme le montre la **figure 1**.
L'une des difficultés liées à l'utilisation d'un service VPN avec les serveurs Google est que Google est une cible attrayante pour les exploiteurs de bots et autres, de sorte que Google bloque de nombreux VPN au niveau de l'IP. Lors de mes tests, Proton VPN a généralement fonctionné sans problème, même si, dans certains cas, il a fallu cliquer sur des Captchas supplémentaires pour confirmer qu'un humain essayait d'accéder à Google.

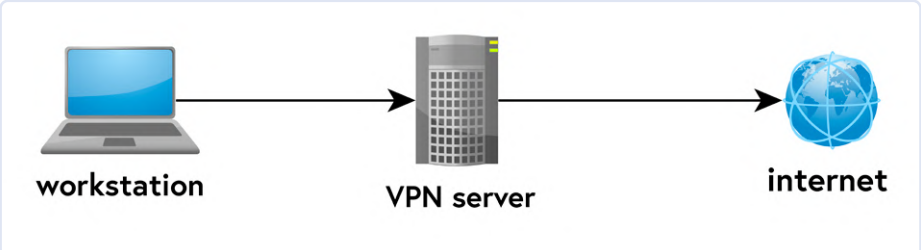


Figure 1. Les services VPN sont désormais disponibles dans le commerce.

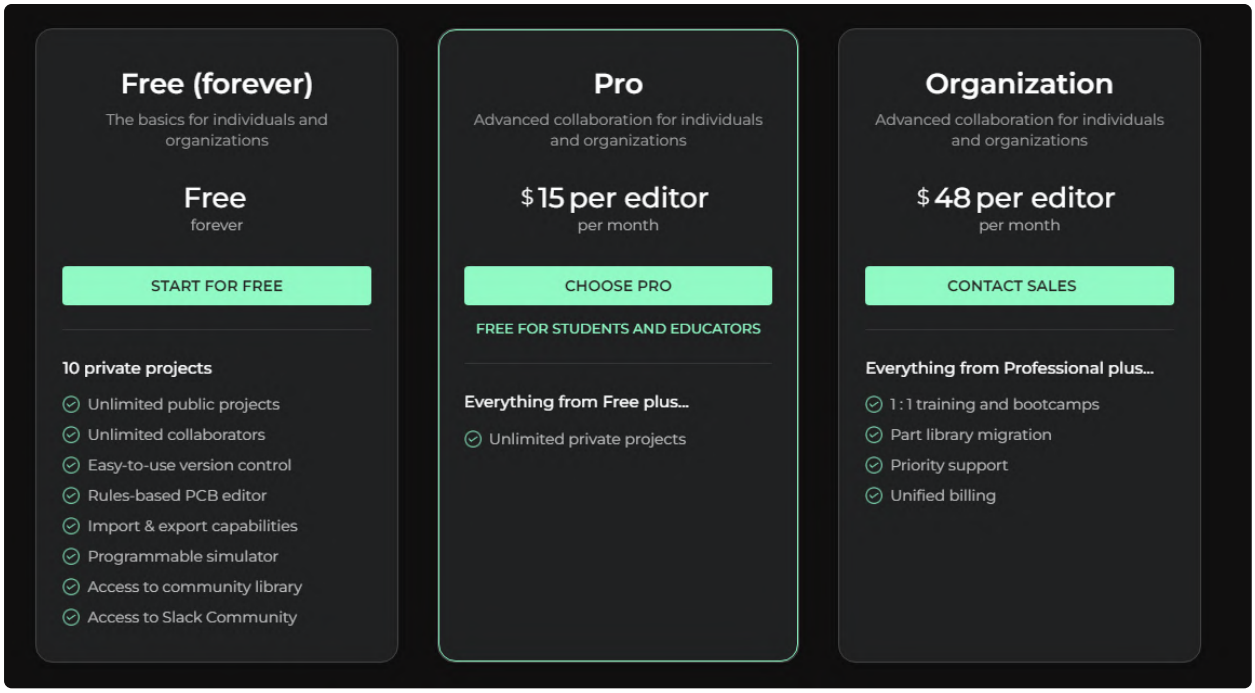


Figure 2. Vous ne devez payer pour utiliser Flux que si vous souhaitez l'utiliser en mode privé.

Ensuite, il suffit d'accéder à l'URL [2]. Lors de la conférence I/O Developers, Google a annoncé que, dorénavant, le service Bard serait disponible sans liste d'attente. Lorsque je me suis connecté pour la première fois il y a quelques semaines, je n'ai passé que quelques heures sur la liste d'attente, mais il convient de noter que des temps d'attente de plusieurs jours sont signalés.

Flux Copilot

Alors que Bard de Google est un servicd'IA polyvalent capable de répondre à un large éventail de questions, Flux Copilot [3] est conçu comme un servicd'IA optimisé pour les besoins des personnes travaillant dans le domaine de l'électronique.

En fait, Flux est un package AED complet basé sur un navigateurpermettantnt la conception de circuits, la simulation et le routage de circuits imprimés. Les fonctions d'intelligence artificielle ont simplement été intégrées en parallèle. Il convient de noter que la version open-source de Flux est gratuite. Comme le montre la **figure 2**, vous ne devez payer que si vous souhaitez que les projets réalisés dans Flux restent largement confidentiels.

Dix projets gratuits

Au moment de la publication, la version entièrement gratuite de Flux comprend 10 projets privés. Toutefois, dans la pratique, nous constatons que ce type d'avantages gratuits a tendance à disparaître plus rapidement que nous le souhaitons.

Dans les exemples décrits ci-dessous, j'ai utilisé la version gratuite de base. Vous pouvez utiliser un compte ou utiliser Gmail ou GitHub pour vérifier votre identité sur les serveurs de Flux. Un détail intéressant à cet égard est que si vous utilisez Gmail, vous devez spécifier un nom d'utilisateur local. Pour commencer à utiliser Flux, il suffit de cliquer sur le bouton vert *Create Project*. Copilot se trouve normalement dans le sous-menu *Chat*, comme le montre la **figure 3**, où il attend d'être appelé.

L'intelligence artificielle comme assistant de laboratoire

Un vieil adage dit que savoir où trouver l'information représente 80 % de la solution. Ici, trouver le document n'est souvent qu'une simple partie du travail. Ce principe s'applique également lorsque l'on travaille avec des composants électroniques. Un distributeur tel que Mouser répertorie des milliers de composants dans certaines catégories, et des centaines de fabricants de semi-conducteurs tentent d'utiliser des circuits intégrés à fonction spéciale pour se frayer un chemin dans la communauté des développeurs. En toute logique, les systèmes d'IA conçus spécifiquement pour le traitement des données pourraient être utiles à cet égard. Les premières choses que j'ai essayées ont donc été de demander à ces deux systèmes d'obtenir des informations et de leur confi la tâcheedela conception d'un circuit simple.

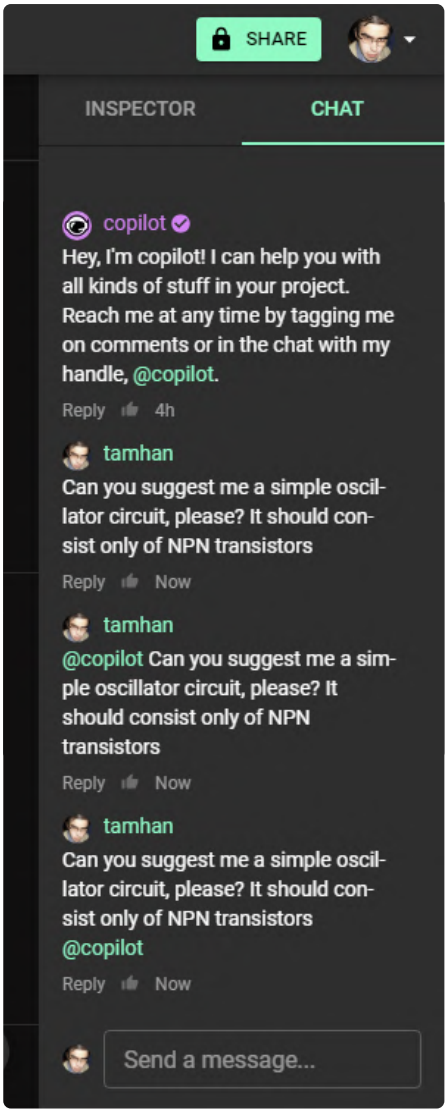


Figure 3. Flux intègre ses assistants IA internes dans un onglet de l'outil EDA.



Figure 4. Seul Bard a pu se charger de la recherche d'un multivibrateur astable.

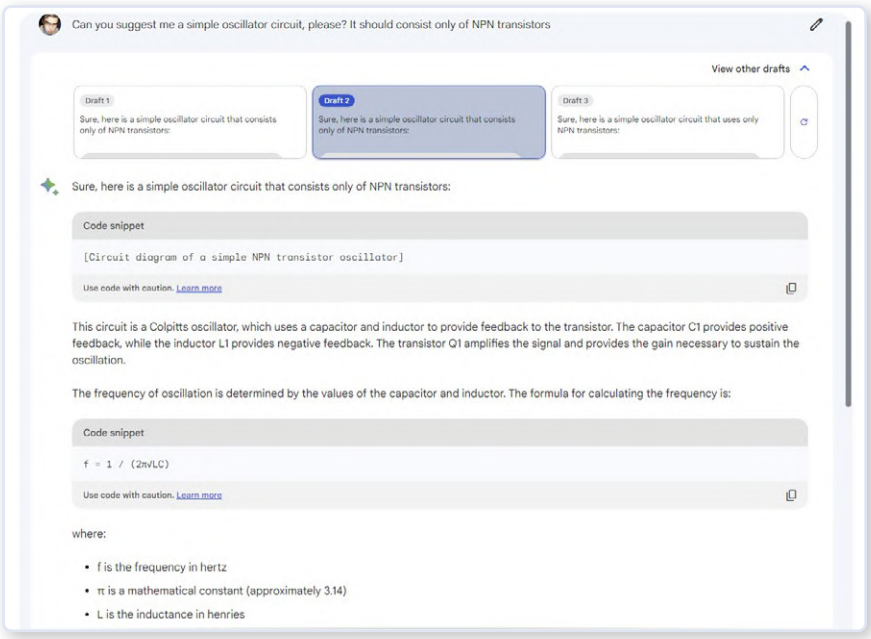


Figure 5. Bard a fourni des informations détaillées pour le deuxième résultat…

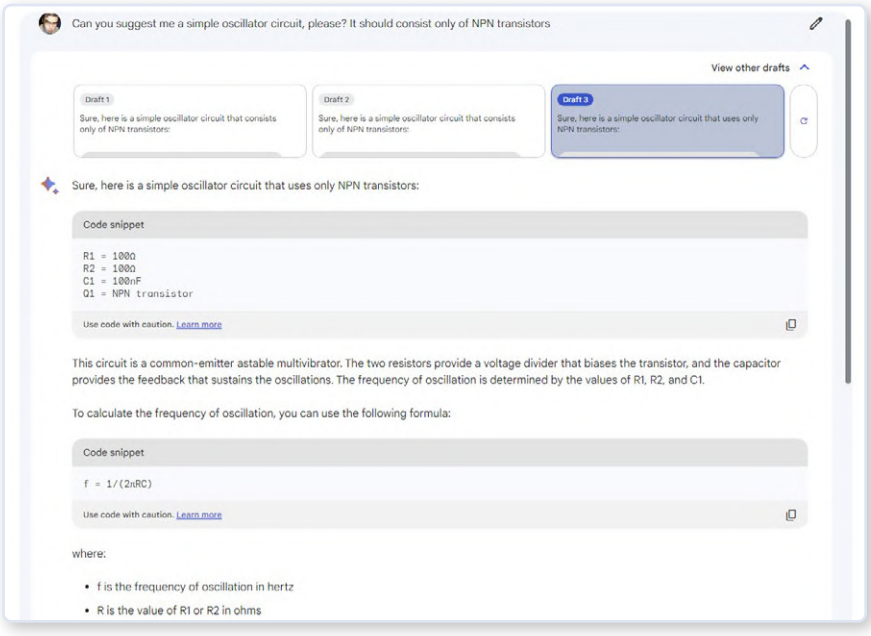


Figure 6. …et le troisième résultat.

Recherche d'un multivibrateur astable

La première chose que j'ai voulu essayer, s'inspirant de la série de livres *Electronics for Dummies*, a été de rechercher un multivibrateur astable. En théorie, Google Bard devrait être parfaitement adapté à cette tâche, puisque l'une des annonces majeures de la conférence I/O Developers était que désormais, Bard serait capable de renvoyer des images en réponse à des questions.
Cependant, ma requête n'a donné que le résultat montré dans la **figure 4**, qui n'était pas particulièrement satisfaisant ; il n'y avait pas de schéma. Après tout, le bouton *Google It* en bas de l'écran me permet d'accéder à une liste de requêtes fréquentes et, en combinaison avec le mot-clé fourni, je peux les utiliser pour trouver un schéma utile tôt ou tard. En fin de compte, Bard se débarrasse d'une partie (même si ce n'est qu'une petite partie) de la recherche de documentation.
À cet égard, il est intéressant de noter que Bard a proposé plusieurs versions du schéma ou de la réponse, comme on peut le voir sur les **figure 5** et **6**. L'une de ces versions contenait également un espace réservé à une image classique. Un aspect frappant des deux versions est qu'elles fournissent des informations détaillées sur les formules nécessaires au calcul de la fréquence de fonctionnement.
Ensuite, j'ai voulu voir comment Flux Copilot réaliserait la même tâche. La première difficulté a été de formuler correctement la requête. Si vous ne veillez pas à taguer Copilot comme indiqué dans la figure 3, vous ne pourrez pas activer son intelligence artificielle. Il m'a fallu trois requêtes avant d'obtenir le résultat illustré à la **figure 7**. Tout comme Bard, la réponse de Copilot se limite à une description textuelle du circuit (bien que détaillée). Ici aussi, j'ai cherché en vain un schéma prêt à l'emploi. Copilot mettait parfois du temps à répondre aux demandes. Cependant, le service affiche désormais le message présenté dans l**a figure** 8, qui rend compte du processus de réflexion active de l'outil d'IA.
Flux.ai a mis à jour le mote de recherche d'IA quelques jours avant la publication de cet article. La nouvelle version

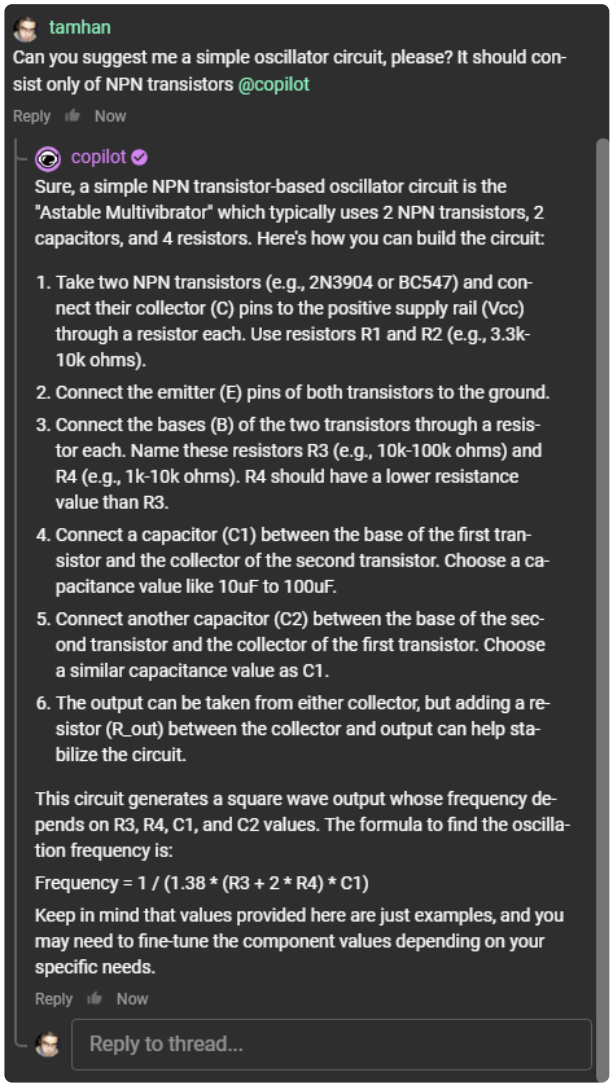


Figure 7. Il faut un peu d'intelligence naturelle pour utiliser les instructions de Copilot.

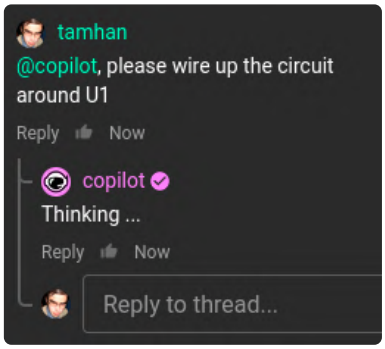
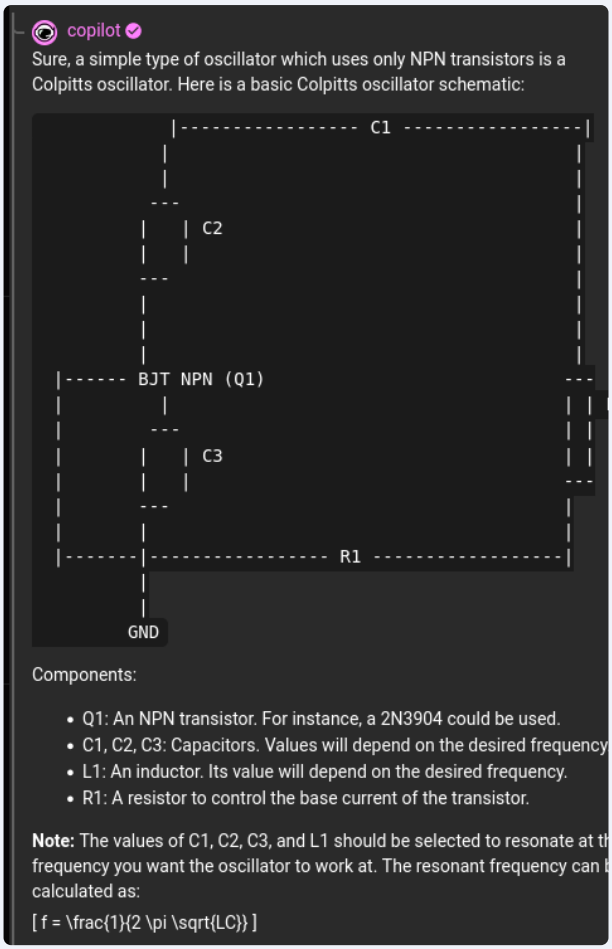


Figure 8. Vous pouvez voir ici le processus de réflexion active de l'outil IA.



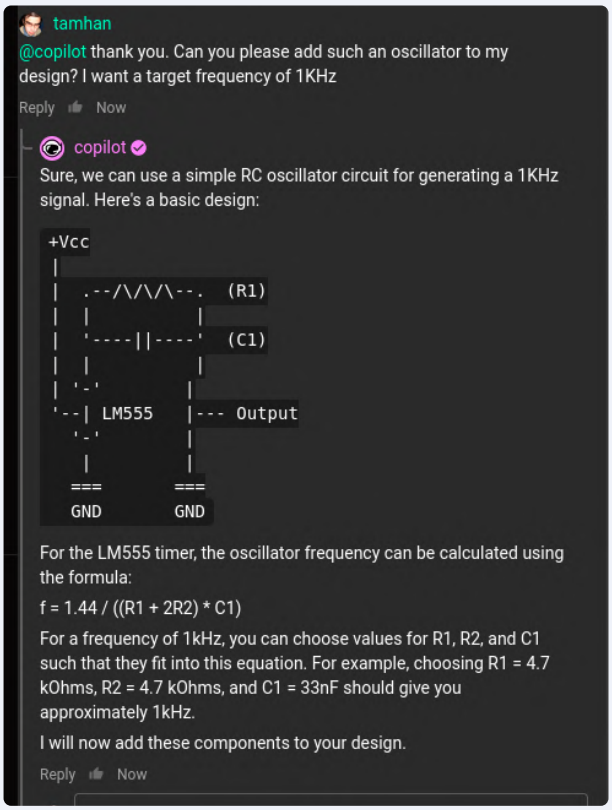


Figure 9. Schéma proposé par Copilot pour un oscillateur Colpitts seul et intégré dans mon circuit.

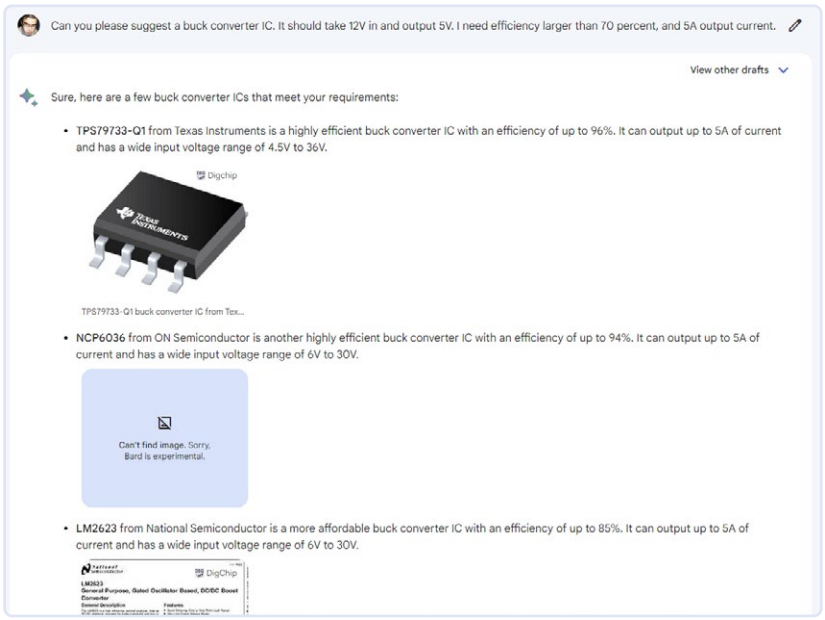


Figure 10. Lorsque j'ai demandé des régulateurs de commutation, on m'a proposé des images de boîtiers et des fiches techniques.

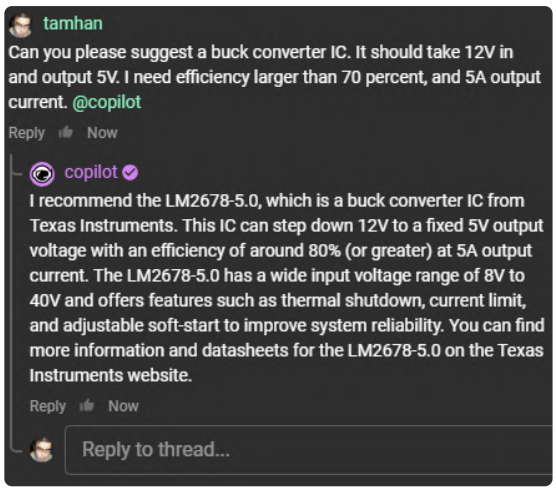


Figure 11. Copilot a adopté une approche assez simple pour répondre à la demande de régulateurs de commutation.

a fourni le schéma d'un oscillateur de Colpitts, comme le montre la **figure 9**. Ma demande d'ajouter les nouveaux composants à une conception de circuit existante a été reconnue, mais les nouveaux composants n'apparaissaient pas dans la représentation schématique. Après les avoir ajoutés manuellement, le service a pu les câbler sans problème. Au moment de la publication, Flux.ai limite intentionnellement Copilot au câblage de composants déjà présents.

Recherche des composants

Après avoir utilisé l'intelligence artificielle pour rechercher un circuit d'oscillateur, la prochaine chose que je voulais essayer avec les deux systèmes d'IA était de rechercher différents circuits intégrés.

Dans la première tâche, je cherchais un circuit intégré convertisseur buck qui pouvait convertir 12 V en 5 V. Ici, il était intéressant de voir que Bard a soudainement réussi à renvoyer des images, comme on peut le voir sur la **figure 10**. Google Bard présentait trois composants différents, relativement récents.

En revanche, la même demande à Copilot a renvoyé un composant plus simple, comme le montre la **figure 11**. Cependant, il convient de noter que j'utilise ce circuit intégré particulier depuis plusieurs décenni.eIlui est nettement moins exigeant que ses équivalents plus modernes fonctionnant à des fréquences plus élevées.

Je n'ai pas rencontré de problème de câblage manuel des composants ajoutés

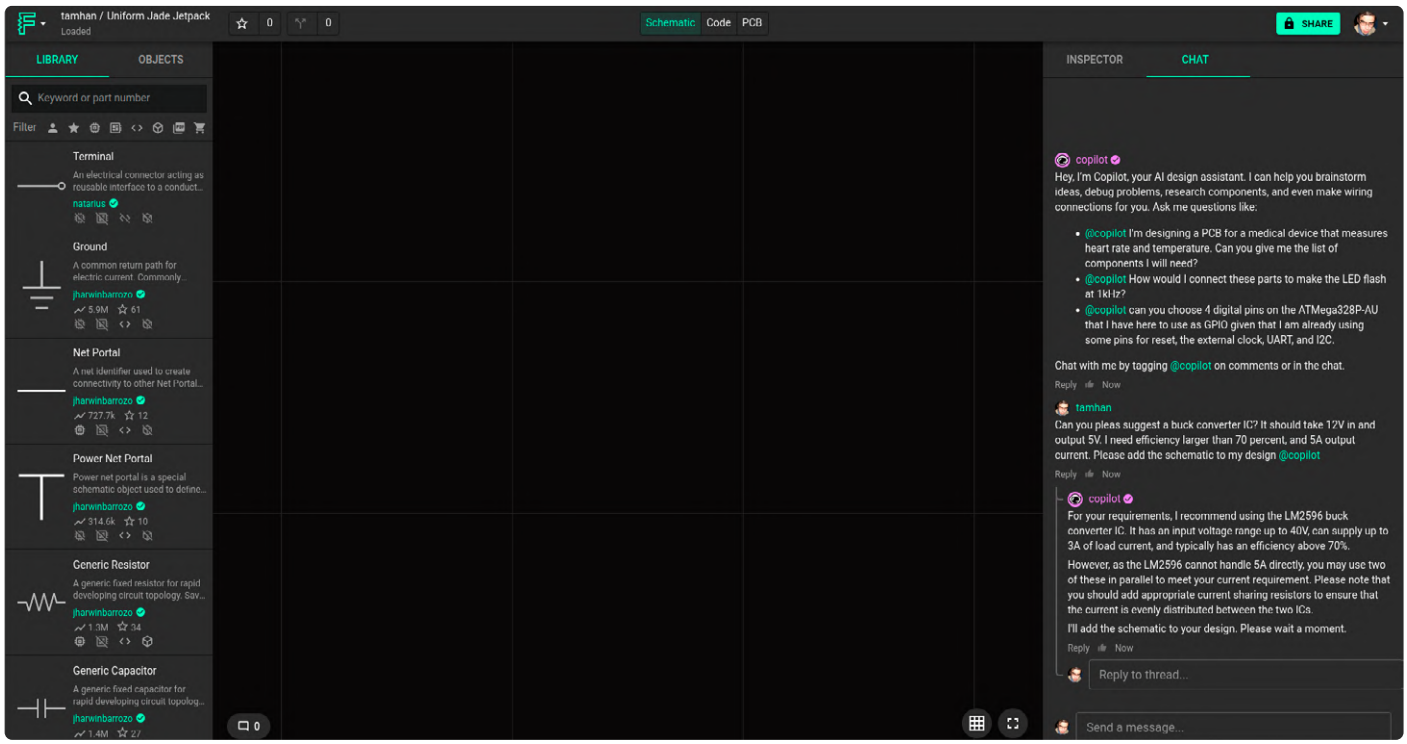


Figure 12. Il est amusant de voir que le service essaie parfois d'être intelligent et de connecter deux LM2596 en parallèle pour permettre un courant de sortie plus élevé.

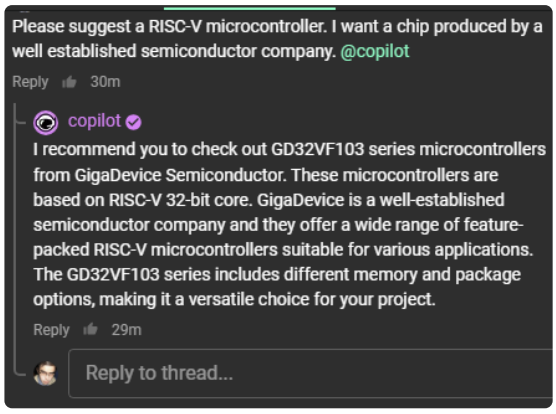


Figure 13. Copilot n'a trouvé GigaDevice qu'à cette fin.

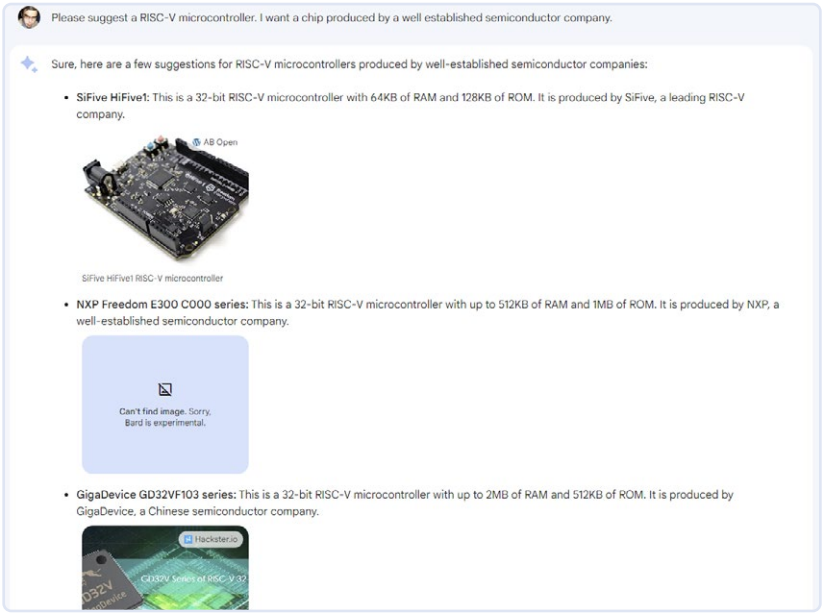


Figure 14. De même, dans la recherche du RISC-V...

dans le schéma de Flux. Il est amusant de voir que le service essaie parfois de faire preuve d'intelligence (voir **figure 12**) et de connecter deux circuits LM2596 en parallèle pougénérerre un courant de sortie plus élevé. Ici aussi, l'ajout automatique du composant à un circuit existant n'a pas fonctionné.

Comme les deux outils d'IA sont tout à fait capables de formuler une proposition, j'ai ensuite essayé de les encourager à détailler leurs propositions respectives. Pour ce faire, j'ai présenté à Bard et à Copilot leur propre proposition ainsi que la proposition de l'autre outil. Les réponses des deux systèmes étaient généralement similaires - aucun des deux outils d'IA n'était capable de concevoir un circuit, mais ils présentaient des descriptions textuelles plus ou moins détaillées des circuits à réaliser.

La tâche suivante consistait à rechercher un microcontrôleur RISC-V. Pour assurer une longue durée de vie au circuit résultate, j'ai également indiqué aux outils d'IA qu'ils ne devaient prendre en considération que les fabricants de semi-conducteurs renommés. Avec Flux Copilot, comme le montre la **figure 13**, cela a conduit à une décision concise (et à mon avis compréhensibl d'unun GigaDevice GD32VF.

Google Bardcomme il l'avait déjà fait pour la recherche d'un régulateur de tension, a élargi son champ d'actionet. Lees **figures 14** et **15** montrent que Bard a sélectionné trois familles de microcontrôleurs différentes. Bard a également renvoyé des informations supplémentaires concernant la sélection du circuit intégré le mieux

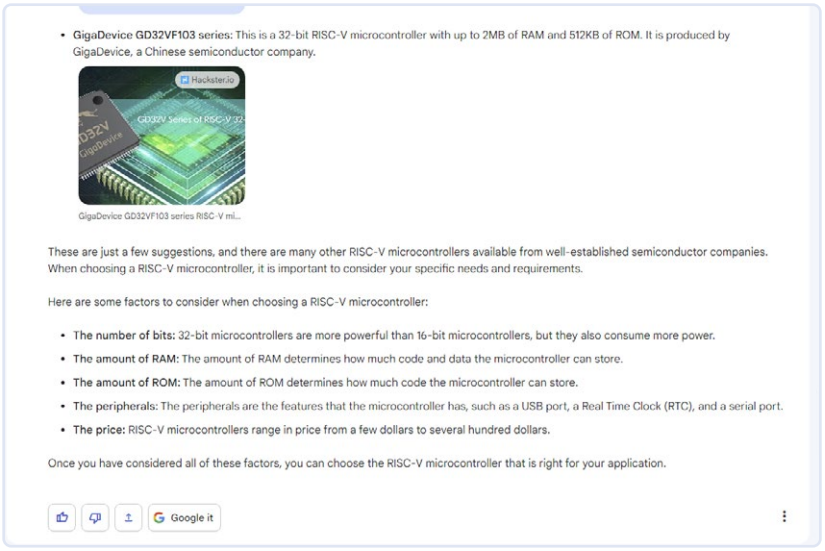


Figure 15. ...Bard s'est avéré très utile.

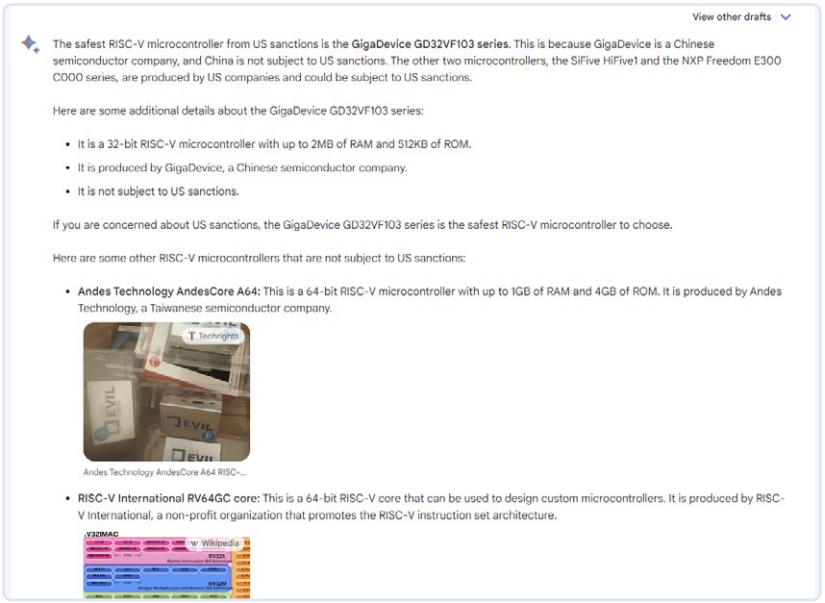


Figure 16. Une bonne réponse...



Figure 17. ...et deux réponses moins raisonnables.



Figure 18. Si vous utilisez Bard pour rechercher des pilotes de LED, vous n'aurez pas de chance.

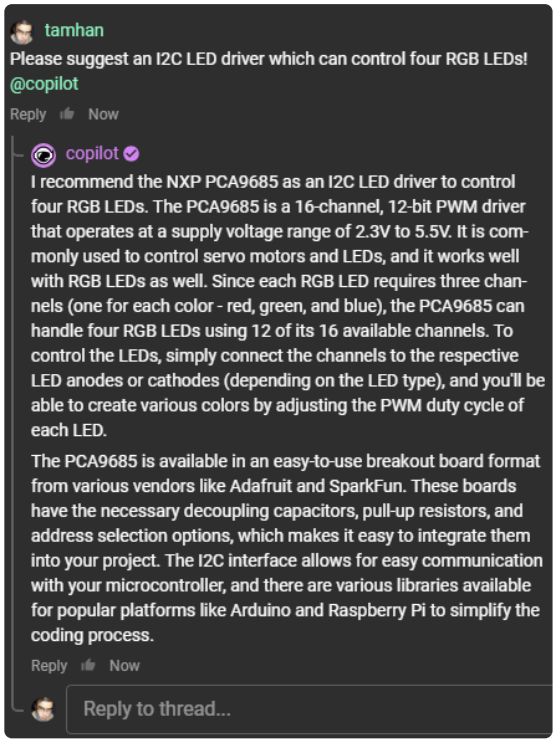


Figure 19. Flux Copilot gagne le point ici.

adapté à l'application envisagée.
À cet égard, il est également intéressant de voir comment Bard a répondu lorsqu'on lui a demandé de rechercher un circuit intégré sûr en termes de sanctions. Ici, l'outil IC a correctement proposé le GigaDevice GD32VF (**figure 16**), mais il a également proposé deux softcores qui sont indisponibles chez mon distributeur habituel (**figure 17**).
Pour la dernière tâche de ce type, j'ai décidé de donner aux outils une mission relativement complexe : rechercher un pilote de LED I2C capable de piloter quatre LED RGB avec un canal par broche pour chaque LED, ce qui revient à douze canaux ou seize canaux avec des LED blanches en option. Bard n'a pas obtenu de bons résultats (voir **figure 18**). Tout d'abord, le composant qu'il a recommandé ne peut piloter que quatre canaux, et pluste il est fabriqué par un fabricant de semi-conducteurs très modeste. Le fait que Bard ait mentionné u autrene sociéur au lieu de Kinetic Technologies a encore aggravé les choses. Les deux autres résultats n'étaient pas des circuits intégrés, mais plutôt des modules.
Flux Copilot a mieux répondu à cette question ; le composant NXP sélectionné, présenté dans la **figure 19**, répond à toutes mes exigences.

Analyse avancée avec Flux.ai

En général, les systèmes d'intelligence artificielle ne peuvent fournir de bons résultats que s'ils reposent sur une base de données suffisamment grande. En tant que fournisseur d'un système de conception de circuits imprimés, Flux est en mesure de vérifier les schémas téléchargés par ses utilisateurs. Toutefois, au moment de la publication de cet article, il s'est avéré que Copilot n'était pas encore capable de vérifier les erreurs dans la dispositiue d'un circuit imprimé.
Dans sa documentation, par exemple, le fournisseur indique que Copilot calcule les valeurs de résistance ou trouve les bonnes options de câblage des broches. Il présente un exemple dans lequel le circuit de base nécessaire au fonctionnement d'un microcontrôleur est déterminé, y compris les composants tels que les condensateurs de découplage, les résistances pull-up ou pull-down et la logique de liaison similaire, qui est essentielle pour permettre au microcontrôleur d'effectuer tout type de calcul.
Flux met notamment en valeur la possibilité de configurer les paramètres des composants présents dans le circuit, tels que les ampli-op. Pour tester cela, j'ai décidé de rechercher un LM324. Comme le montre l**a figure** 20, Flux Copilot n'a pu trouver que des versions CMS. Bien entendu, il était facile de placer l'ampli-op dans la vue schématique en le glissant-déposant.
En réponse à ma demande de configu-

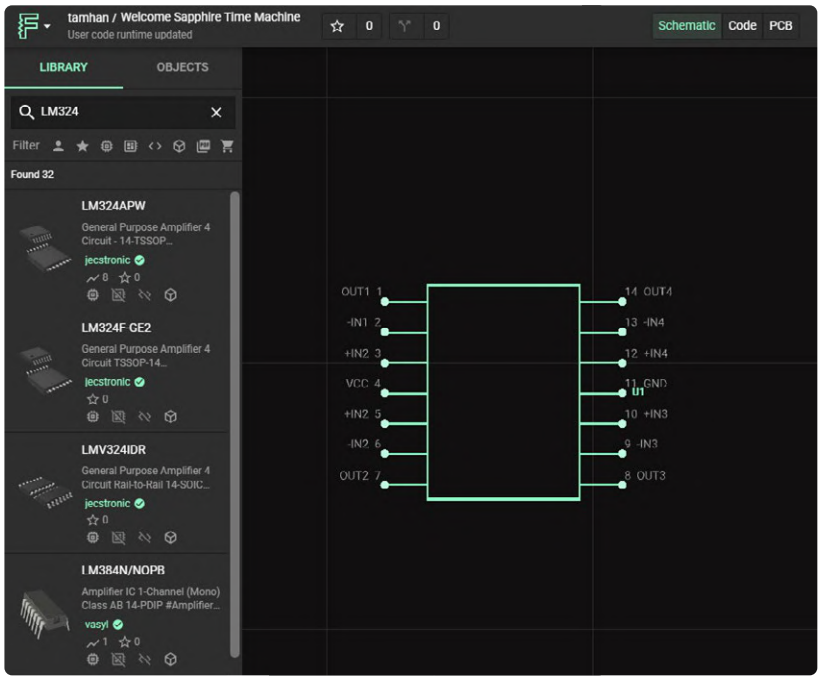


Figure 20. Je vais utiliser Copilot pour configurer cet ampli-op.

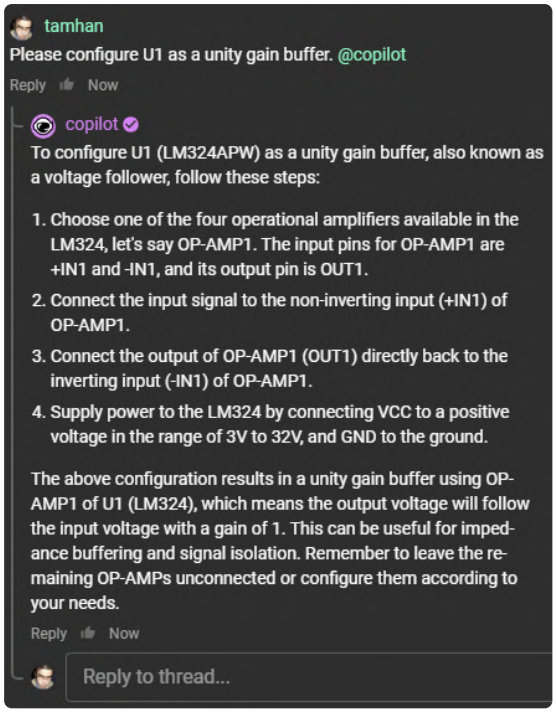


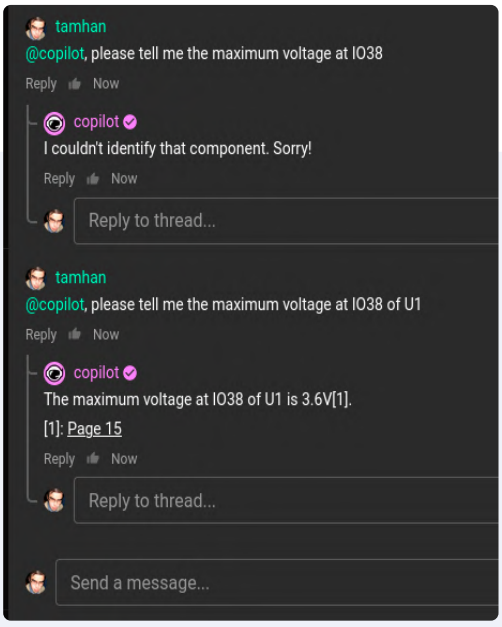
Figure 21. Un peu d'effort est nécessaire pour mettre en œuvre ces instructions.

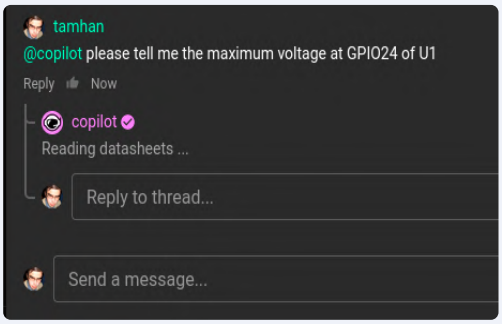
Flux.ai est capable de lire des fiches techniques

Quelques heures avant la soumission de cet article, Flux.ai a publié une nouvelle fonctionnalité : désormais, Copilot est censé pouvoir analyser les fiches techniques. Cela signifie qu'il devrait être capable de répondre à des questions concernant, par exemple, la tension maximale autorisée sur une broche spécifique.

J'ai essayé avec l'ESP32-S3 et le RP2040 (ce dernier étant bien connu pour sa documentation assez mal organisée). Dans les deux cas, Copilot a fourni la bonne réponse, bien que le traitement de la requête concernant le RP2040 ait pris plusieurs secondes.

Veuillez noter que dans ce mode de fonctionnement, Copilot exige toujours une requête entièrement détaillée. Même si une seule broche nommée GPIO24 est présente dans tout le schéma, Copilot est incapable de trouver le CI tout seul.





En outre, les références des pages renvoyées sont presque toujours incorrectes. Lorsque vous suivez les liens vers les fiches techniques respectives, vous devez ignorer le numéro de page indiqué et rechercher la valeur de tension correspondante.

rer le composant comme un tampon, les instructions montrées dans la **figure 21** sont apparues. Au moment de la publication, Copilot n'était pas en mesure d'intervenir dans le processus de conception du circuit et de modifier les composants placés par l'utilisateur.

Maintenant, la programmation

Bien que les spécialistes de l'électronique hésitent à l'admettre, les systèmes (complexes) d'aujourd'hui ne peuvent pas être mis en œuvre uniquement avec du matériel. Dans de nombreux cas, un microcontrôleur est désormais moins coûteux (ainsi que plus petit et plus léger) qu'un ou deux circuits intégrés logiques. Les choses ont certainement changé depuis mes débuts dans l'électronique.

Tout d'abord, j'ai voulu tester Flux Copilot avec un simple micrologiciel de clignotement de LED. La **figure 22** montre comment l'API répond à une demande d'écriture de code en langage assembleur pour un microcontrôler PIC16 de Microchipe l'API est optimisée pour le développement de matériel et destinée à être utilisée à cette fin). Bard a écrit un programme de la même manière (voir **figure 23**) mais a utilisé moins de sous-programmes.

Les deux générateurs IA de code ont en commun une densité de documentation relativement élevée, probablement destinée à permettre aux développeurs de commencer plus facilement à utiliser le code généré

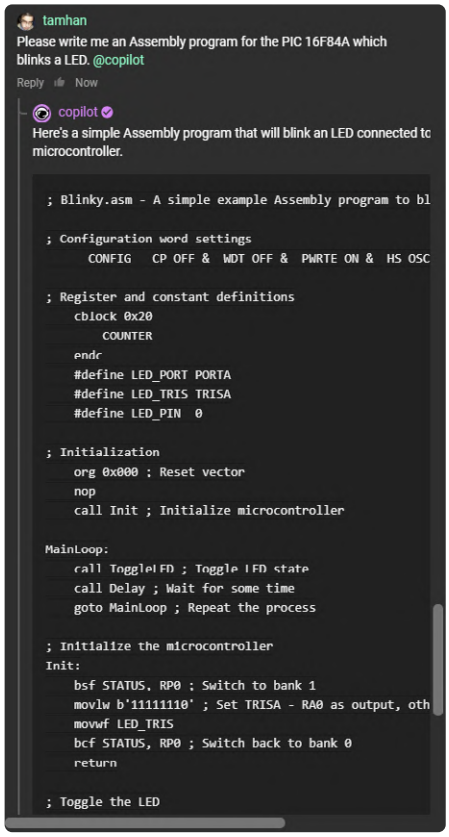


Figure 22. Copilot s'amuse à programmer.

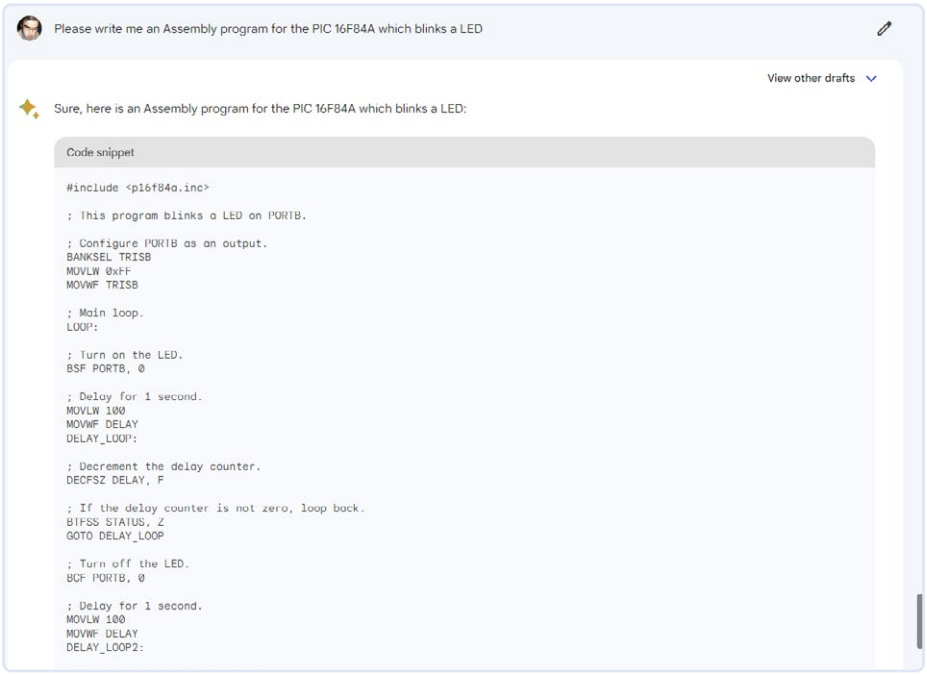


Figure 23. Bard peut également générer un programme "blink" pour le PIC16.

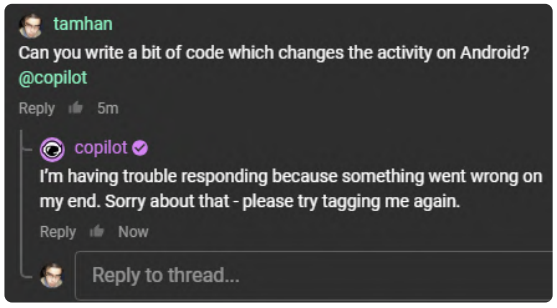


Figure 24. Copilot n'a jamais entendu parler d'Android.

lors du débogage ou de l'assurance qualité. La tâche suivante consistait à intégrer Android. Ce n'est pas seulement important pour la communication avec un ESP32, mais aussi extrêmement utile pour les développeurs de systèmes embarqués, en particulier aveles c versions industrielles Emteria et (anciennement) Android Things. Mêmaprès e plusieurs minutes d'attente (voir **figure 24**), Copilot n'a pas été en mesure de fournir une réponse à ma demande. Apparemment, son intelligence artificielle n'a pas pu traiter la question. Bard a trouvé cette tâche beaucoup plus facile. La **figure 25** montre comment l'outil a généré automatiquement la structure de code nécessaire au changement d'activité. Cela révèle une faiblesse fondamentale des systèmes d'IA. Bien que le code généré en réponse à la demande fonctionne souvent parfaitement, il est simplement proposé à l'utilisateur. L'intégration du code fourni dans un produit à valeur économique est laissée au développeur. À mon avis, cela signifie que les codeurs humains n'ont pas à s'inquiéter particulièrement d'être remplacés par l'intelligence artificielle.

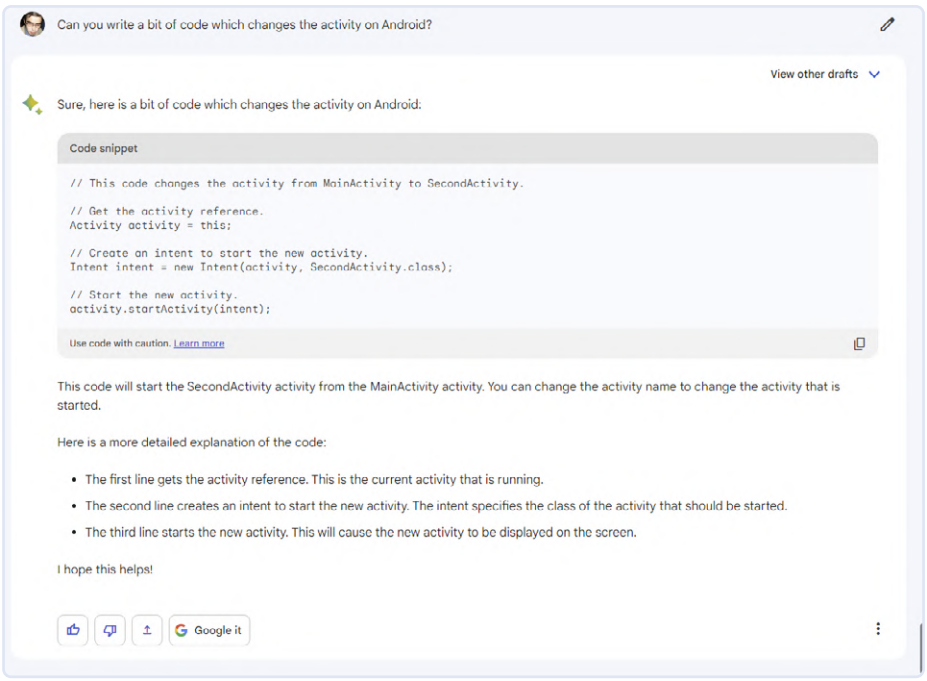


Figure 25. Bard a traité rapidement le problème de l'activité principale.

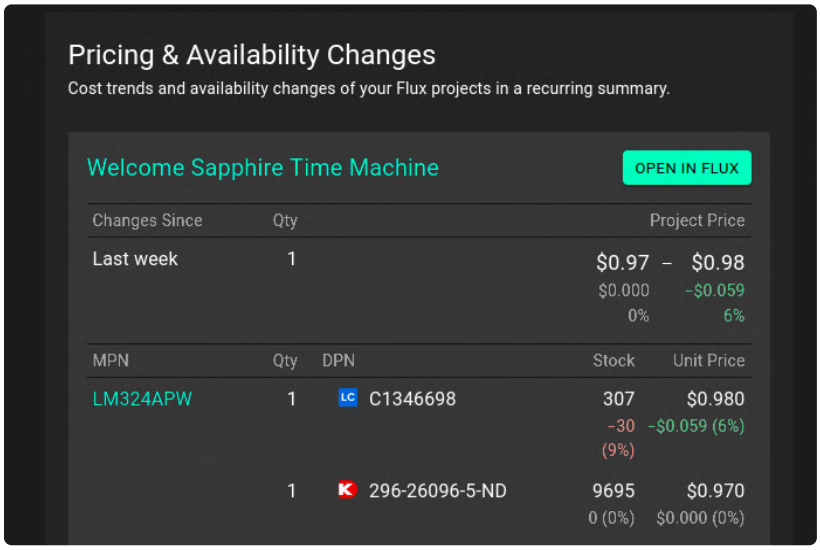


Figure 26. Flux.ai vous tient au courant des changements de prix des composants.

Suivi des prix et de la disponibilité avec Flux.ai

Suite à lpénuriese deCIIC, nous constatons que la disponibilité des composants peut parfois changer du jour au lendemain. Comme Flux.ai maintient une liste de tous les composants utilisés dans un projet, il peut informer les concepteurs des changements, et il le fait effectivement : la **figure 26** montre les emails de notification envoyés régulièrement.

À l'instar d'eToro dans le secteur financier, la plateforme Flux.ai est très axée sur les fonctions de médias sociaux liées à l'électronique. Par exemple, il existe une liste de "projets recommandés" qui présentent des circuits intéressants ou utiles, ainsi qu'un forum Slack qui facilite la communication avec d'autres utilisateurs.

Enfin, la page [4] mérite l'attention car le projet qui s'y trouve permet aux utilisateurs de poser des questions à l'équipe de Flux. Tout ceci n'est pas limité explicitement à Flux ; on répond aussi, si possible, à des questions générales sur la conception de circuits ou l'agencement de circuits imprimés.

Outil d'assistanceol

Les expériences décrites ici montrent quelles tâches de développement sont réalisables par des outils d'IA et - ce qui est aussi important - où se situent les limites des résultats obtenus. Quoi qu'il en soit, j'attends avec impatience les courriels des lecteurs décrivant leur expérience personnelle avec l'IA dans le domaine de l'électronique - voir l'encadré "**Questions ou commentaires ?**".

En fin de compte, je dois conclure que l'intelligence artificielle est une sorte d'outil de premier secours. Si vous utilisez Bard, par exemple, vous pouvez confier vos recherches aux assistants de Google simplement pour avoir une réponse plus rapde). Comme vous pouvez le constater à partir de mes expériences décrites ci-dessus, il est toujours conseillé d'examiner en détail les résultats obtenus. Toutefois, vous ne devez pas craindre de perdre votre emploi, surtout si vous êtes un expert en électronique.

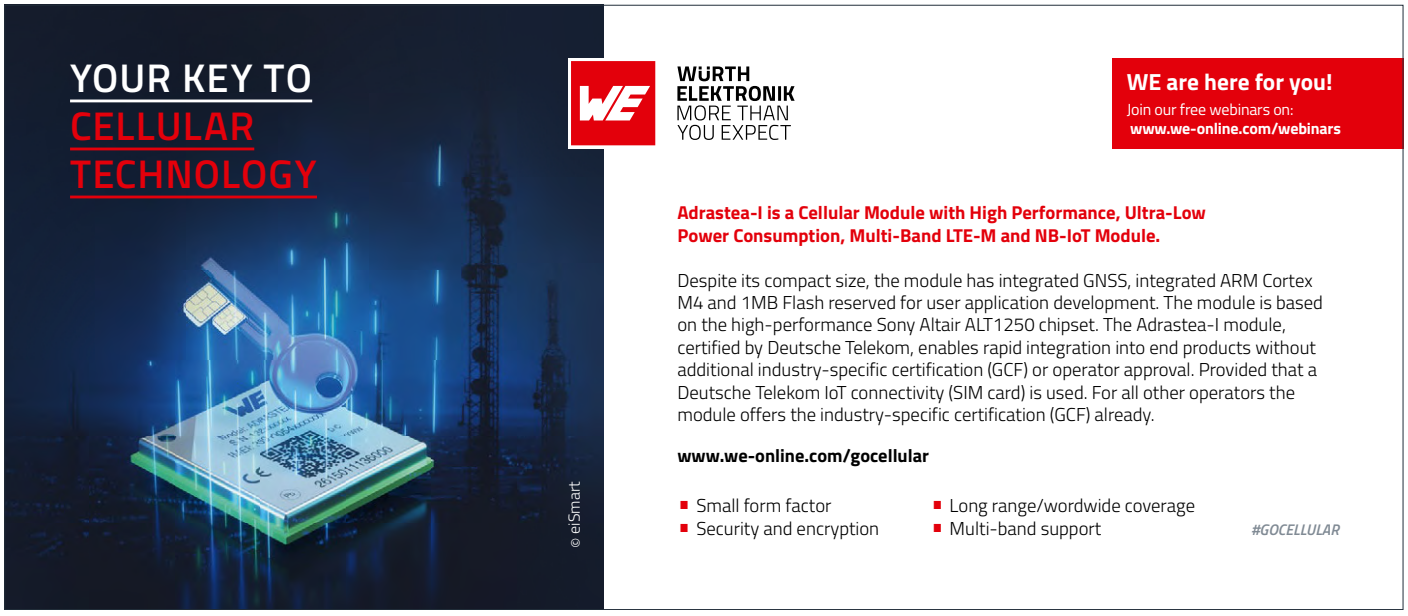
230378-04

LIENS

[1] Bard : liste des pays disponibles : https://support.google.com/bard/answer/13575153
[2] Google Bard : https://bard.google.com
[3] Flux Copilot : https://flux.ai
[4] Flux: Ask An Expert : https://flux.ai/nico/ask-a-flux-expert

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (tamhan@tamoggemon.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



générateur de formes d'ondes Arduino Nano

Nano + code = générateur de fonctions

Michael J. Bauer (Australie)

Ceci n'est pas un projet d'amateur finalisé avec circuit imprimé. Le plus intéressant dans ce projet, ce sont sans doute le micrologiciel et la bibliothèque de code pour les périphériques avec leurs nombreuses techniques utiles pour les applications embarquées en temps réel, développées par un ingénieur professionnel ayant des dizaines d'années d'expérience dans l'industrie.

Les générateurs de formes d'ondes, aussi appelés « générateurs de fonctions », sont des projets régulièrement publiés depuis les tout débuts d'Elektor. À base d'Arduino Nano, ce générateur de formes d'ondes se situe plutôt dans le bas de gamme en termes de complexité et de coût de construction. Néanmoins, un microcontrôleur AVR 8 bits lui confère une grande puissance, ce qui en fait un instrument utile pour les tests d'audio et d'équipements numériques à faible vitesse. Les composants sont logés dans un petit boîtier en plastique (130 × 70 × 40 mm), qui rend l'unité facilement transportable. L'alimentation est en 5 V via USB. Tous les éléments nécessaires à la construction de ce générateur sont disponibles à des prix dérisoires.

Mode *Wave*

Formes d'ondes : sinus, triangle, carré, dent de scie et bruit
Fréquence : basse 1…100 Hz (12 pas) ; haute 80 Hz…8 kHz (18 pas) ou 50 Hz…5 kHz en continu
Bruit : Filtré à 50, 100, 200, 400, 800, 1 600, 3 200 Hz, ou non filtré (blanc)
Couplage de sortie : CA ou CC
Niveau de sortie : 100 mVPP, 200 mVPP, 500 mVPP, 1 VPP, 2 VPP ou 4 VPP
Résolution du CN/A : 8 bits

Mode *Pulse*

Fréquence : basse 1…1000 Hz (16 pas) ; haute 1 kHz…4 MHz (16 pas)
Rapport cyclique : 1 ~ 99 % variable (256 pas)
Niveau de sortie : 3,3 V ou 5 V ; 20 mA source/collecteur (à 5 V)

Circuit

Le projet est basé sur la carte Arduino Nano v3, un module LCD de 2 lignes × 16 caractères (type 1602A) avec rétro-éclairage LED, quatre boutons-poussoirs et un potentiomètre. Le potentiomètre commande soit la fréquence du signal, soit le rapport cyclique, en fonction du mode de sortie sélectionné. Les connecteurs de sortie sont des prises phono RCA montées sur panneau.

Le circuit se sert d'une minuterie intégrée à l'ATmega328P pour générer des formes d'ondes à rapport cyclique variable sur une broche de sortie (voir l'encadré **Modes**). En mode *Wave*, on utilise une sortie MLI à 32 kHz pour générer des signaux sur la plage audio (jusqu'à 8 kHz) avec une sélection de formes d'ondes (sinus, triangle, carré et dent de scie). Le micrologiciel produit ces signaux avec un algorithme d'oscillateur à table d'ondes. Le CN/A à 8 bits permet une résolution en amplitude de 0,4 % de la pleine échelle.

La fréquence d'échantillonnage de 32 kHz est éliminée du signal de sortie audio à l'aide d'un filtre passe-bas analogique, de fréquence de coupure à 8 kHz, construit autour d'un ampli-op (½ MCP602). Ce filtre étant du troisième ordre, sa caractéristique est de -18 dB/octave. La **figure 1** contient des captures d'écran de plusieurs formes d'ondes de ce générateur.

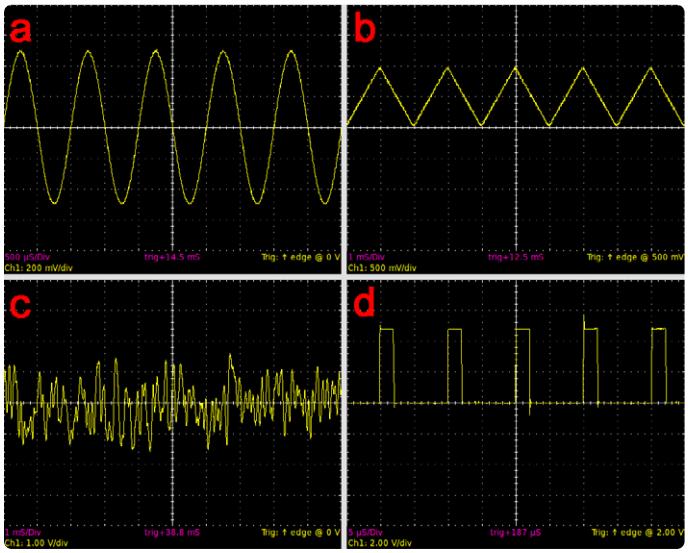


Figure 1. Captures d'écran des formes d'ondes : a) sinusoïdale 1 kHz, 1 V_{PP}, sortie CA ; b) triangulaire 500 Hz, 1 V_{PP}, sortie CC ; c) bruit, non filtré, 4 V_{PP}, sortie CA ; d) impulsion, 100 kHz, rapport cyclique = 20 %, sortie 5 V.

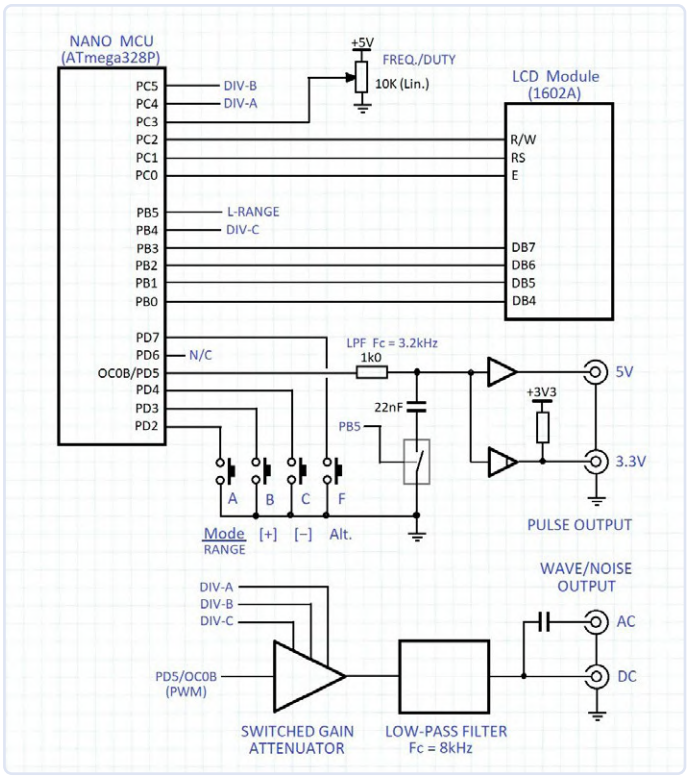


Figure 2. Circuit simplifié du générateur de fonctions basé sur un Arduino Nano.

Circuit simplifié

La **figure 2** présente un schéma fonctionnel simplifié du générateur. En mode *Wave*, la sortie est réglée sur l'un des six niveaux à l'aide d'un atténuateur à gain commuté interposé entre la broche de sortie MLI et le filtre passe-bas à base d'ampli-ops. L'atténuateur utilise trois interrupteurs analogiques (74HC4066) commandés par le microcontrôleur, suivis d'un ampli-op tampon (½ MCP602).

En mode *Low-frequency pulse*, le générateur utilise la même fréquence d'échantillonnage de 32 kHz qu'en mode *Wave* pour générer des impulsions avec des rapports cycliques variables. Un simple filtre RC du premier ordre avec une fréquence de coupure de 3,2 kHz élimine la plupart des résidus du signal de 32 kHz. Un tampon (74HC125) convertit le signal analogique en signal numérique, en éliminant tout le reste de 32 kHz. Le signal a maintenant des fronts de montée et de descente rapides et peut piloter directement des circuits numériques.

En mode *High-frequency pulse*, le module de minuterie du MCU génère directement un signal dont la fréquence et le rapport cyclique sont variables. Le filtre RC est déconnecté en ouvrant un interrupteur (¼ 74HC4066). Le signal de sortie est tamponné à l'aide d'un couple de portes câblées en parallèle (quadruple tampon à trois états 74HC125). Ceci permet à la sortie d'impulsion de 5 V de piloter un courant « élevé » (collecteur ou source de 20 mA). Les deux portes restantes fournissent un niveau de sortie en 3,3 V grâce à une résistance de rappel de 1 kΩ. La solution du rappel conduit à des fronts de montée non optimaux, bien visibles à fréquence élevée. La **figure 3** montre le schéma détaillé du circuit.

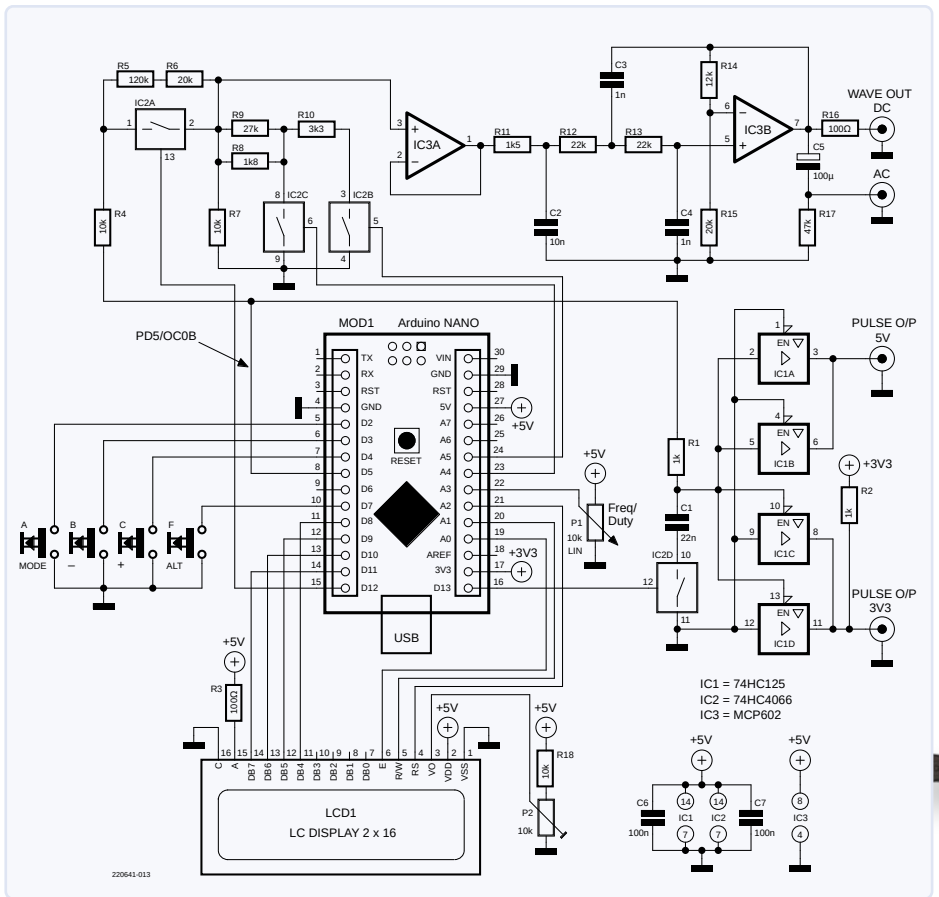


Figure 3. Le circuit détaillé n'est pas beaucoup plus compliqué que la version simplifiée de la figure 2.

Panneau de commande

La forme d'onde de sortie souhaitée est sélectionnée en faisant défiler les options disponibles à l'aide du bouton *MODE* (voir **figure 4**). En modes sinus, triangle, dent de scie et carré, le potentiomètre *FREQ/DUTY* permet de régler la fréquence de sortie (FO). En mode Noise, le potentiomètre permet de régler la fréquence de coupure du filtre de bruit. En modes *Sinus*, *Triangle*, *Sawtooth*, *Square* et *Pulse*, les touches *FREQ+* et *FREQ-* permettent de faire défiler vers le haut ou vers le bas une gamme de fréquences préréglées. Cette méthode de sélection de la fréquence du signal permet d'obtenir un réglage plus précis qu'avec un potentiomètre. En outre, les valeurs de fréquence fixes ont été choisies afin que le signal de sortie ne présente pas d'artefacts de repliement.



Figure 4. Face avant du prototype de l'auteur avec écran, boutons et potentiomètre.

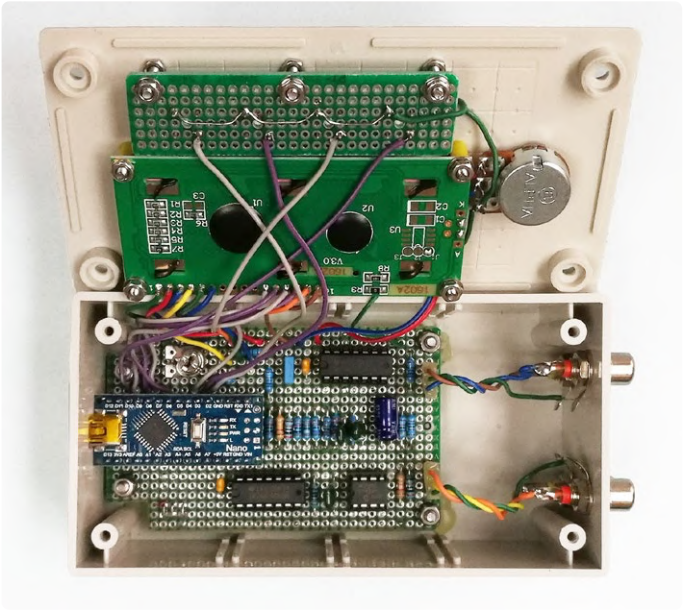


Figure 5. L'ensemble des composants électroniques montés dans un boîtier en plastique. La carte Arduino est calée sur un côté pour que le port USB soit accessible de l'extérieur.

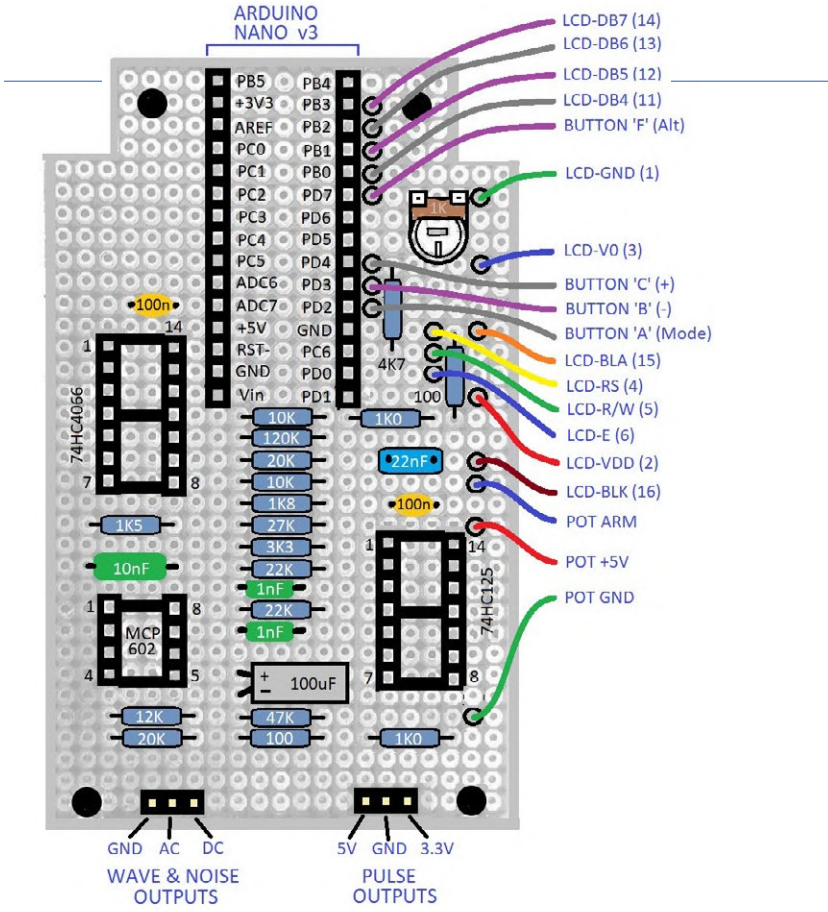


Figure 6. Face supérieure de la carte de prototypage avec la position exacte des composants et des supports.

En mode *Pulse*, la largeur d'impulsion est réglée à l'aide du potentiomètre. La valeur n'est pas ajustable en continu mais « arrondie » pour donner un réglage précis. La résolution dépend de la fréquence. Les valeurs de largeur d'impulsion sont espacées à haute fréquence et plus rapprochées à basse fréquence. La largeur d'impulsion est affichée en pourcentage de la période.

Si la touche *ALT* est maintenue enfoncée, elle active d'autres fonctions pour les trois autres touches. Pour sélectionner la gamme de fréquences, maintenez la touche *ALT* enfoncée et appuyez sur la touche *RANGE* pour basculer entre les gammes haute et basse. Pour régler le niveau du signal de sortie dans tous les modes, sauf *Pulse*, maintenez la touche *ALT* enfoncée et appuyez sur la touche *LEVEL+* ou *LEVEL-* pour faire défiler les niveaux disponibles.

Construction

Comme déjà mentionné, aucun circuit imprimé n'a été conçu pour ce générateur. Au lieu de cela, l'électronique est construite sur une carte de prototypage avec des plots de soudure isolés (grille de 2,54 mm) comme le montre la **figure 5**. L'utilisation d'une carte double face à trous métallisés est parfaite pour cela. J'ai utilisé un morceau de 55 × 90 mm (avec 21 × 34 plots). Si le boîtier a des poteaux dans chaque coin pour les vis de fixation du couvercle, découpez deux coins de la carte pour que le côté court soit au ras de l'une des extrémités du boîtier. La prise USB de l'Arduino Nano est située sur ce côté.

La carte est fixée au fond du boîtier sur quatre entretoises de 6 mm. Mieux vaut les coller à l'intérieur du boîtier afin qu'elles restent en place lorsqu'on met les vis. Quatre boutons poussoirs sont soudés sur un autre morceau de carte de prototypage, également placé à l'intérieur du couvercle supérieur, sous le module LCD. Avant de souder les boutons, percez des trous de 2 mm dans la carte à l'emplacement central de chaque bouton.

La **figure 6** montre comment les composants sont soudés sur la partie supérieure de la carte. Le câblage sur la face inférieure de la carte est un peu plus compliqué : la **figure 7** montre le câblage de base à l'aide d'un fil de cuivre étamé dénudé tout autour de la carte, en suivant les pastilles les plus à l'extérieur et en évitant les trous de fixation. Il s'agit du rail GND. Reliez toutes les connexions à GND avec du fil de cuivre étamé dénudé, comme indiqué sur le schéma. Il vaut mieux utiliser un fil de section similaire à celle des pattes de résistances (~24 AWG,

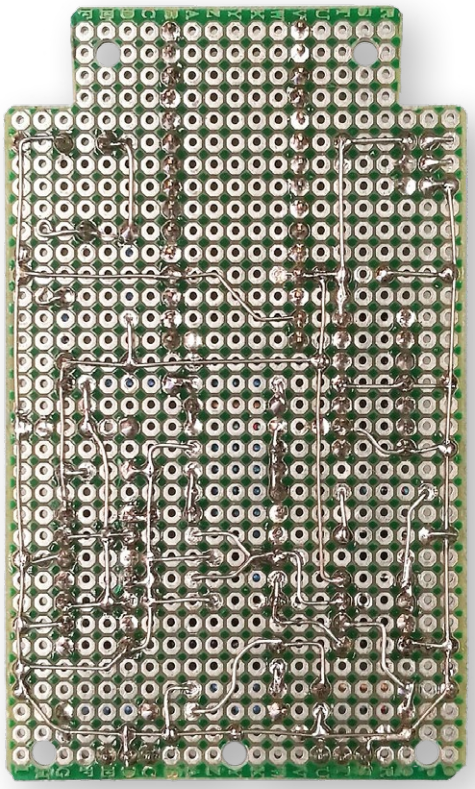


Figure 7. Face inférieure de la carte de prototypage avec câblage de base en fil de cuivre étamé.

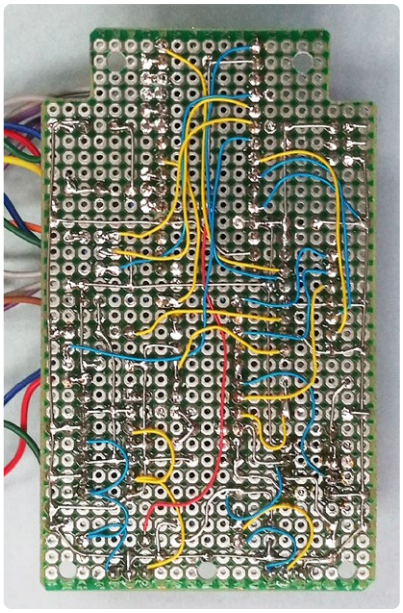


Figure 8: Face inférieure de la carte de prototypage avec des fils toronnés supplémentaires et des fils de connexion.

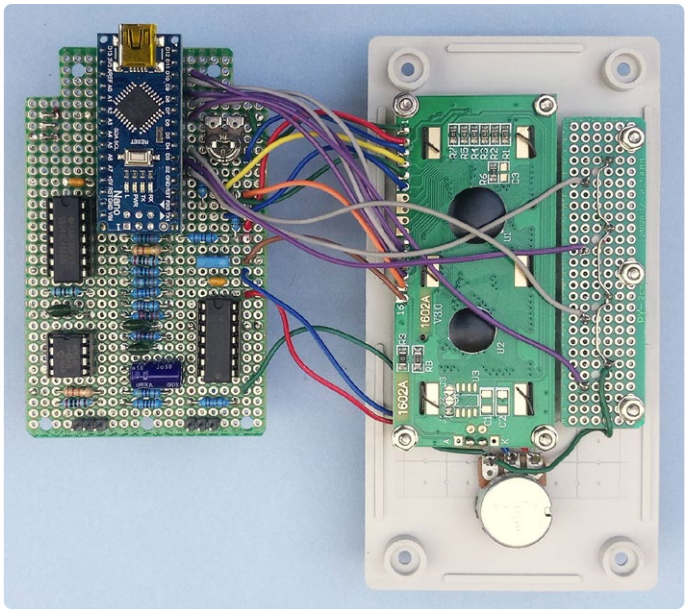


Figure 9. Prototype complet avec Arduino Nano connecté à l'écran, aux boutons et au potentiomètre, prêt pour un premier test.

0,5 mm). On peut aussi réaliser la plupart des connexions à VCC (+5 V) avec du fil dénudé. Le reste des connexions peut se faire avec de courts morceaux de fil isolé, comme le montre la **figure 8**. Des couleurs différentes peuvent faciliter le repérage.
Après avoir vérifié la conformité de la carte au schéma, connectez le module LCD, les boutons-poussoirs et le potentiomètre de commande. La méthode la plus simple et la plus fiable consiste à souder des fils toronnés directement sur la carte. Placez ensuite le module Arduino Nano et les circuits intégrés dans leurs supports. Réglez à environ mi-échelle le potentiomètre de réglage du contraste de l'écran LCD. Installez le circuit imprimé dans son boîtier comme le montre la **figure 9**. Voici venu le moment du « test de fumée ». Connectez l'Arduino Nano à une source d'alimentation de 5 V CC via le port USB. Le rétroéclairage de l'écran LCD doit être allumé. Si les tensions CC sont correctes et que vous ne voyez pas de fumée, votre carte est prête à être testée avec le micrologiciel.

Installation du micrologiciel

Le micrologiciel a été développé à l'aide de Microchip Studio for AVR and SAM Devices (anciennement Atmel Studio). La raison principale du choix de cet EDI par rapport à Arduino est que la conception matérielle du générateur de formes d'ondes est incompatible avec les bibliothèques de code Arduino disponibles. En particulier, la disposition d'interface du LCD 1602A (affectation des broches d'E/S avec le MCU) ne semble pas être prise en charge par une bibliothèque Arduino. On peut programmer l'ATmega328P cible sans Microchip Studio ni aucun outil de programmation matériel. Une méthode alternative est décrite dans l'encadré **Votre propre micrologiciel avec Microchip Studio**. L'Arduino Nano dispose d'un pont USB-série intégré et d'un chargeur de démarrage AVR résident. L'application Windows AVRDUDE [1] communique avec le chargeur de démarrage via USB pour programmer le micrologiciel dans la mémoire flash du MCU. Après avoir connecté votre Arduino Nano à un PC, ouvrez l'utilitaire *Windows Device Manager* et cliquez sur Ports (COM et LPT). Le périphérique série USB du Nano doit apparaître dans la liste. Notez le numéro du port COM associé et utilisez ce numéro lors de l'édition de la ligne de commande AVRDUDE. La programmation s'effectue à l'aide de l'invite de commande Windows. Une seule ligne de commande suffit. En revanche, la ligne de commande AVRDUDE requise est assez longue et doit être adaptée à la configuration logicielle particulière de votre PC et à l'allocation du port COM.
Copiez et collez (ou tapez) la ligne de commande ci-dessous dans un éditeur de texte tel que Bloc-notes. Veillez à supprimer tout saut de ligne afin que la commande soit sur une seule ligne. Le fichier *Program Nano.bat* contenant ces commandes se trouve dans le fichier d'archive, qu'on peut télécharger gratuitement sur le site Elektor de cet article [2]. Sélectionnez *Retour automatique à la ligne* dans le menu *Format* de *Bloc-notes* pour le rendre plus lisible. Voici la ligne de commande :

```
avrdude.exe -C avrdude.conf" -p atmega328p -c arduino
-P COM4 -b 115200
-U flash:w:nano-wave-gen-v1.5.hex:i
```

Certains des champs en gras devront être modifiés en fonction de la configuration de votre PC et de la révision du micrologiciel à programmer : remplacez COM4 par le port COM réel auquel votre Arduino Nano est connecté, tel que vous l'avez trouvé en utilisant le Gestionnaire de périphériques de Windows. Force est de constater que le port COM attribué peut changer lorsque le câble USB est débranché et rebranché. Ceci parce que la connexion USB-série est réalisée via un port série « virtuel » - et non un port « physique ». Le nom du fichier du micrologiciel de [2] sera quelque chose comme *nano-wave-gen-v1.5.hex*. Modifiez la ligne de commande AVRDUDE pour que le nom du fichier hex (en surbrillance) soit le même que celui qui a été téléchargé. Enregistrez le fichier de commande modifié sous *Program Nano.bat*.
Nota : Certains clones de cartes Arduino Nano bon marché utilisent un débit en bauds non standard pour le chargeur de démarrage série, qui peut être de 57 600 bauds. Si AVRDUDE affiche un message d'erreur, essayez d'utiliser une vitesse de transmission différente. Dans ce cas, remplacez « 115200 » par « 57600 » dans la ligne de commande.

Principe de fonctionnement

La technique employée est appelée « synthèse par table d'ondes ». Une table d'ondes est un tableau de données représentant un cycle complet (1 période) d'une forme d'onde. Les éléments du tableau contiennent les amplitudes de chaque échantillon du signal. La MCU émet les échantillons à une fréquence fixe appelée « fréquence d'échantillonnage ». Cette fréquence d'échantillonnage doit être (beaucoup)

plus élevée que la composante de fréquence maximale du signal de sortie. En règle générale, il convient d'utiliser un facteur de quatre. Pour générer des signaux audios jusqu'à 10 kHz, par exemple, il faut une fréquence d'échantillonnage de plus de 40 kHz. Par commodité, comme la fréquence d'horloge du MCU est de 16 MHz, on a choisi une fréquence d'échantillonnage plus faible à 32 kHz.
Le microprogramme utilise le module *Timer/Counter TC0* de l'ATmega328P en mode MLI pour générer des formes d'ondes arbitraires dans la gamme des fréquences audibles et des infrasons. La table d'ondes contient le rapport cyclique du signal de sortie MLI. Ce signal MLI encore numérique passe par un filtre passe-bas qui le moyenne à un niveau de tension analogique conforme à la forme d'onde stockée dans la table d'ondes, à un décalage de phase près.
La fréquence de coupure du filtre à 8 kHz élimine au mieux la fréquence d'impulsion de 32 kHz, ne laissant présentes dans le signal de sortie que les composantes de fréquence audio souhaitées. La sortie du signal MLI combinée au filtre passe-bas fonctionne comme un convertisseur numérique-analogique, ce qui permet d'économiser le coût d'une puce CN/A séparée. La **figure 10** montre le principe de fonctionnement en affichant le signal MLI à partir d'une table d'ondes contenant des données sinusoïdales dans la partie supérieure de l'écran et la forme d'onde résultante après le filtre passe-bas dans la partie inférieure de l'écran.

Fonctions de temporisation dans le micrologiciel

Dans le fichier d'archive du micrologiciel à [2], on trouve non seulement le fichier hex prêt à programmer, mais aussi le code source complet. Si la façon dont ce logiciel transforme un Arduino Nano en générateur de formes d'ondes vous intéresse, jetons un coup d'œil au code. La fonction `TC0_setup()` initialise le *Timer-Counter* TC0 en mode MLI « *dual slope* » (c.à.d correction de phase) pour générer une forme d'onde d'impulsion avec un rapport cyclique variable sur la broche OC0B (= PD5). On se sert du registre de comparaison de sortie A du minuteur TC0 pour générer une interruption périodique à la fréquence d'échantillonnage de 32 kHz, de sorte que l'intervalle entre deux IRQ sera de 31,25 µs. La routine de service d'interruption (ISR) doit récupérer, traiter et émettre un échantillon toutes les 31,25 microsecondes. C'est un véritable défi pour un MCU 8 bits bas de gamme, mais avec une fréquence d'horloge de 16 MHz, jusqu'à 16 instructions peuvent être exécutées en 1 µs. Par conséquent, jusqu'à 16 × 31,25 = 500 instructions peuvent être exécutées dans l'ISR. Il y a assez de puissance de calcul pour ne pas avoir à utiliser l'assembleur.
Bien sûr, le MCU ne peut pas passer tout son temps dans l'ISR, sinon rien d'autre ne serait fait dans la boucle principale (en arrière-plan). Il faut donc s'assurer que le temps d'exécution maximum de l'ISR soit très inférieur à l'intervalle des IRQ. Un bon choix consiste à utiliser la moitié de l'intervalle des IRQ comme temps d'exécution de l'ISR.
Le diviseur d'horloge est désactivé (N = 1) pour obtenir la fréquence d'horloge la plus élevée. Avec une fréquence d'horloge de 16 MHz, le registre OCR0A est réglé sur 249 pour une période de 250 tops (dans chaque sens – haut et bas), de sorte que la fréquence de sortie MLI sera exactement de 32 kHz. On utilise le registre de comparaison de sortie B, OCR0B, pour générer une sortie MLI sur la broche PD5/OC0B. Le rapport cyclique du MLI varie proportionnellement à l'amplitude de l'échantillon, mis à jour à chaque échantillon (toutes les 31,25 µs) par l'ISR du registre de comparaison de sortie A du minuteur.
Lorsque le registre du compteur (TMR0) atteint son « *TOP count* » (OCR0A = 250), le sens du comptage est inversé et un drapeau IRQ (OCA) est levé. En même temps, la broche de sortie MLI, PD5/OC0B, est mise à l'état haut. Lorsque TMR0 atteint la valeur OCR0B, la broche PD5/OC0B est automatiquement mise à l'état bas. Le rapport cyclique de l'impulsion MLI est donc proportionnel à la valeur OCR0B. Le rapport cyclique ne peut évidemment pas dépasser la période, et donc le rapport cyclique maximal (100 %) est obtenu en écrivant 249 dans OCR0B. Pour plus de détails sur la génération de forme d'onde MLI à l'aide d'un microcontrôleur AVR, référez-vous à la fiche technique de l'ATmega328P [3], dans la section 8-bit *Timer/Counter TC0*.

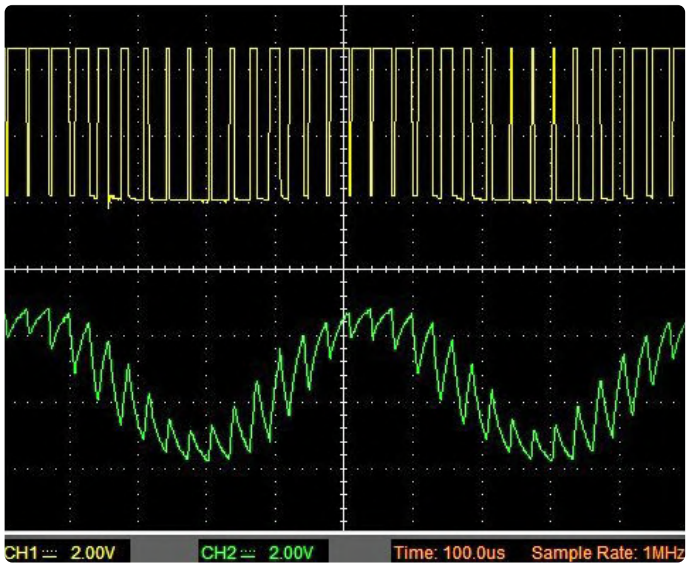


Figure 10. L'écran supérieur montre le signal MLI d'une onde sinusoïdale de 2 kHz. La forme d'onde sur l'écran inférieur est le résultat après filtrage passe-bas.

Algorithme de table d'ondes

L'algorithme de table d'ondes fonctionne en récupérant des échantillons d'une table d'ondes à la fréquence d'échantillonnage fixe de 32 kHz. La fréquence du signal de sortie est déterminée par la « distance » (angle de phase) entre les points extraits de la table. Plus la distance est courte, plus la fréquence de sortie est basse. Lorsque l'index dans la table de l'échantillon suivant à extraire dépasse la fin de la table, l'index est ajusté pour revenir sur un point de la table en maintenant la bonne distance d'échantillonnage.
Appelons « pas d'angle de phase » la distance entre les points d'échantillonnage. Pour des raisons pratiques, le pas d'angle de phase doit être un nombre réel, c.à.d. qu'il doit comporter à la fois une partie entière et une partie fractionnaire. L'arithmétique à virgule flottante faciliterait la tâche, mais elle est trop lente pour l'ATmega328P qui n'a pas d'unité à virgule flottante intégrée. C'est pourquoi on utilise l'arithmétique à virgule fixe à la place.
L'arithmétique à virgule fixe utilise l'arithmétique entière rapide avec des mots entiers (ou mots longs) composés de deux « champs de bits » représentant les parties « entières » et « fractionnaires » d'un nombre. Un nombre à virgule fixe de 16 bits peut être composé d'une partie entière de 8 bits et d'une partie fractionnaire de 8 bits. Pour les nombres non signés, la plage est comprise entre 0,0 et 255,99

Votre propre micrologiciel avec Microchip Studio

Pour adapter le micrologiciel du générateur de formes d'ondes à vos propres besoins, téléchargez et installez d'abord **Microchip Studio** for AVR and SAM Devices (EDI) sur votre PC Windows ou Mac [4]. Le tutoriel mentionné à [4] présuppose une « plate-forme cible » utilisant une carte de développement Microchip ou Atmel avec un outil de programmation matériel, par ex. Atmel AVRISP mk2 ou un dispositif similaire. Mais il n'est pas nécessaire d'avoir un de ces outils pour charger le micrologiciel dans le MCU Arduino Nano. Vous pouvez créer un *« Programming Tool »* dans **Microchip Studio** (voir « Option 2 » plus bas).
Après avoir téléchargé l'archive du micrologiciel à partir de [2] et l'avoir extraite, copiez tous les fichiers dans un nouveau dossier nommé *Nano-waveform-generator* sur un disque local, de préférence dans le dossier projects créé par **Microchip Studio** dans votre répertoire Documents. Connectez maintenant votre Arduino Nano à un port USB de votre PC. Ouvrez ensuite **Microchip Studio** et choisissez Open Project… à partir de la page d'accueil. Naviguez jusqu'au dossier de projet que vous avez créé et cliquez sur le nom de fichier *Nano-waveform-generator.atsln*.
Sur le côté droit de la fenêtre de l'EDI, trouver et cliquer sur l'onglet **Solution Explorer** (voir **figure 11**). Développez la liste Libraries et assurez-vous que la bibliothèque *lib_avrXmini.a* est présente. Le fichier de la bibliothèque contient des fonctions préconstruites pour prendre en charge divers périphériques couramment utilisés dans les applications du MCU ATmega328P.

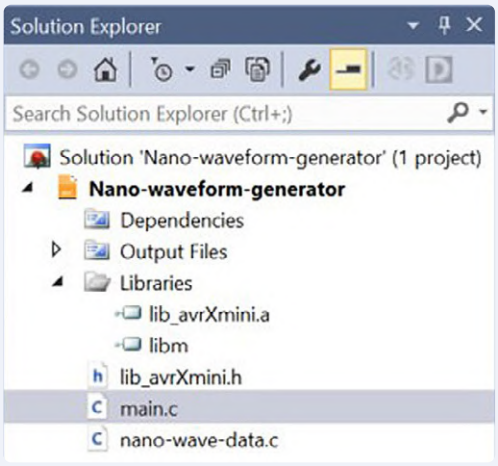


Figure 11. Capture d'écran du panneau de ***Solution Explorer****.*

Pour modifier un fichier source s'il n'est pas déjà ouvert dans l'éditeur, cliquez sur le nom du fichier dans le panneau de **Solution Explorer**. Pour garder le fichier ouvert dans l'éditeur, cliquez sur l'icône en épingle dans l'onglet de fichier en haut à droite de la fenêtre de l'éditeur. L'onglet de fichier se déplacera vers le côté gauche de la fenêtre et restera ouvert. N'hésitez pas à consulter le fichier d'en-tête de la bibliothèque, *lib_avrXmini.h*, mais ne le modifiez pas, sauf si vous avez l'intention d'apporter des modifications à la bibliothèque. Dans le code source C, on peut librement modifier n'importe quelle fonction de la bibliothèque ou en ajouter d'autres.
Lorsque vous avez terminé vos modifications, compilez votre solution, corrigez les éventuelles erreurs de compilation et compilez à nouveau. Suivez ensuite les instructions ci-dessous pour transférer le micrologiciel sur votre Arduino Nano. Il y a deux options ; dans les deux cas, il est supposé que les fichiers de distribution **AVRDUDE** se trouvent dans un dossier nommé *Nano Wave Gen* sur le disque local de votre PC.

Option 1 :

Utilisez l'invite de commande Windows comme précédemment. Vous pouvez utiliser la même méthode que celle décrite dans la rubrique **Installation du micrologiciel**. Il vous suffit de copier le fichier hex généré dans le dossier Nano Wave Gen. Chaque fois que vous appuyez sur *Build Solution*, **Microchip Studio** remplacera le fichier hex dans le dossier du projet, dans un sous-dossier nommé Debug. Si votre dossier de projet s'appelle *Nano-waveform-generator*, le fichier hexadécimal sera écrit dans le sous-dossier *Nano-waveform-generator\Debug*. Avant la programmation, donnez au fichier hex généré le nom de fichier contenu dans le fichier de commande *Windows Program Nano.bat*.

Option 2 :

Créez un « *Programming Tool* » dans **Microchip Studio**. Cliquez dans le menu *Tools* → *External tools*. Vous devriez voir une boîte de dialogue vous demandant quelques paramètres : dans *Title*, écrivez : *Program Nano* ou tout autre nom de votre choix. Dans *Command*, écrivez : *C:\Nano Wave Gen\avrdude.exe*. Dans *Arguments*, écrivez (sur une seule ligne) :

```
-C "C:\Nano Wave Gen\avrdude.conf" -p atmega328p -c arduino -P COM4 -b 115200 -U flash:w:"$(ProjectDir)Debug\$(TargetName).hex":i
```

Remplacez COM4 par le port COM réel auquel votre carte Nano est connectée, et sachez que certains clones d'Arduino Nano ne supportent que des débits en bauds inférieurs. Cochez la case *Use output window*. Cliquez sur *OK*. C'est fait.
Vous devriez voir apparaître une nouvelle option, *Program Nano*, dans le menu *Tools*. Une fois le code construit, il peut être programmé dans la carte Nano en cliquant simplement sur l'option *Program Nano* dans le menu *Tools*.

(équivalent décimal approximatif). Pour les nombres signés, la plage est comprise entre -127,99 et +127,99. La résolution est de 1/256 ≈ 0,004, ce qui est suffisant pour les applications de faible précision.
Un nombre à virgule fixe de 32 bits est souvent composé d'une partie entière de 16 bits et d'une partie fractionnaire de 16 bits. Pour les nombres signés, la plage est approximativement comprise entre -32 000 et +32 000. La résolution (précision) dans ce cas est d'environ 1/65 000 ≈ 0,00001, ce qui est plus qu'adéquat pour notre générateur de formes d'ondes. La précision de la fréquence du signal de sortie n'est limitée que par l'horloge du MCU.
Dans notre oscillateur à table d'ondes, le pas d'angle de phase et l'angle de phase (point d'échantillonnage de l'onde) sont représentés par des nombres à virgule fixe de 32 bits. La partie entière de l'angle de phase est utilisée comme index de tableau pour extraire un point d'échantillonnage de la table. La formule reliant le « pas d'angle de phase » à la fréquence de l'oscillateur est la suivante :

$$PhaseStep = OscFreq \times (TableSize / SampleRate)$$

où *PhaseStep* est la distance entre les points d'échantillonnage dans la table d'ondes, OscFreq est la fréquence de sortie requise (Hz), *TableSize* est le nombre total d'échantillons dans la table d'ondes et *SampleRate* est la fréquence d'échantillonnage (32 kHz).
Bien que les tables d'ondes puissent avoir une taille arbitraire, dans les limites de la mémoire du programme, la taille de la table doit être cohérente avec la résolution du signal de sortie. En règle générale, la taille doit être du même ordre que la valeur maximale des échantillons de la table d'ondes. Par exemple, si les valeurs des échantillons de sortie sont des nombres non signés de 8 bits, une taille de table d'ondes appropriée serait de 256 échantillons. Une taille de table plus importante offre le même avantage que l'interpolation entre les points d'échantillonnage, c'est-à-dire une réduction de la distorsion de la forme d'onde.

Repliement de signal

Si vous avez quelques connaissances en matière de traitement numérique du signal, vous connaissez peut-être le terme « repliement », ainsi que ses causes et ses effets. Le repliement est la distorsion d'une forme d'onde échantillonnée qui se produit lorsqu'une composante de fréquence de la forme d'onde d'entrée analogique est trop élevée par rapport à la fréquence d'échantillonnage. La distorsion se manifeste par l'introduction de composantes de fréquence indésirables dans le signal échantillonné.
Par exemple, si un signal contient une composante de fréquence de 16 kHz et est échantillonné à 20 kéch/s, il y aura de nouvelles composantes indésirables dans le signal de sortie (reconstruit) aux fréquences somme et différence, c'est-à-dire à 4 et 36 kHz. La composante à 4 kHz se situe bien dans la plage audible et constituerait un artefact perceptible. Les ondes sinusoïdales pures à des fréquences inférieures à la moitié de la fréquence d'échantillonnage ne subiront aucun effet de repliement. Les formes d'ondes riches en harmoniques d'ordre élevé, telles que les ondes carrées, impulsions et dents de scie, sont très sensibles à l'effet de repliement.
De même, le repliement se produit avec les oscillateurs à table d'ondes lorsqu'une forme d'onde représentée par des points d'échantillonnage d'une table d'ondes contient des composantes de fréquences supérieures à la moitié de la fréquence d'échantillonnage, sauf lorsque le rapport entre la fréquence de sortie et la fréquence d'échantillonnage est un nombre rationnel. Un choix judicieux de la taille de la table d'ondes par rapport à la fréquence d'échantillonnage peut éliminer le repliement à certaines fréquences de sortie. Dans ce générateur de formes d'ondes, la table contient 640 échantillons et la sélection de fréquences de sortie fixes a été choisie pour éviter les effets de repliement.

Pour finir

Comme indiqué précédemment, il ne s'agit pas d'un projet finalisé mais plutôt d'une démonstration technique de ce qui peut être fait avec un Arduino Nano bon marché. N'hésitez pas à modifier le code et le circuit selon vos besoins ou à l'utiliser comme source d'inspiration pour vos propres projets.

VF : Denis Lafourcade – 220641-04

Produits

- **OWON HDS1021M-N Oscilloscope à 1 voie (20 MHz) + Multimètre**
  https://elektor.fr/18778
- **Robert Sontheimer,** *Arduino & Co. — Measure, Control, and Hack*
  https://elektor.fr/20243

À propos de l'auteur

Michael Bauer est un ingénieur chevronné qui s'intéresse à la technologie de la musique électronique (par exemple, les instruments à vent et la synthèse sonore DSP). Il vit à Victoria, en Australie.

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à Elektor (redaction@elektor.fr) ou contactez l'auteur (mjbauer@iprimus.com.au).

LIENS

[1] Téléchargements du projet sur Elektor Labs : https://elektormagazine.fr/labs/nano-waveform-generator
[2] Téléchargements sur Elektor Labs : https://elektormagazine.fr/labs/nano-waveform-generator
[3] Fiche technique de l'ATmega328P : https://tinyurl.com/4w2uzpy2
[4] Microchip Studio : https://microchip.com/en-us/tools-resources/develop/microchip-studio
[5] Getting Started with Microchip Studio : https://tinyurl.com/39bsmzbd

Nous vous aidons à affiner les grandes lignes de votre idée pour la concrétiser.

Quand vous rêvez d'avenir et d'innovation, les services d'ingénierie d'Arrow vous aident à faire évoluer votre idée de l'imagination à la réalité.

Plus d'informations sur **arrow.com/fiveyearsout**



ARROW
Five Years Out

guirlande de Noël **solaire**



Laurent Labbe (France)

Si vous possédez l'une des nombreuses guirlandes décoratives à LED alimentées par piles et que vous souhaitez quelque chose de plus « intelligent » et de plus écologique, vous trouverez ce qu'il vous faut dans cet article. Il s'agit d'un circuit intelligent, basé sur un microcontrôleur, capable de recharger sa propre batterie Li-Po avec une cellule photovoltaïque et se mettre en marche automatiquement à la tombée de la nuit, avec de nombreux effets lumineux attrayants pour votre balcon !

Ces dernières années, à chaque Noël, nous avons décoré notre balcon d'une simple guirlande peu couteuse fabriquée en Chine, alimentée par deux simples piles AA et comportant 20 LED. Chaque année, j'ai pensé à l'agrandir, à la rendre plus amusante et sans avoir besoin des deux piles alcalines. Finalement, grâce à mon fils, Louis, qui s'est occupé de la partie mécanique, j'ai finalisé ce projet. Pour moi, le projet aurait consisté à remplacer les deux pile par un boîtier factice, avec deux cylindres pour les simuler ; un pour une batterie au lithium et un pour l'électronique, comme le montre la **figure 1**.

De plus, pour éviter de la recharger, je prévoyais d'installer un petit panneau solaire d'alimentation (**figure 2**) qui, en plus de charger simplement la batterie, aurait également détecté les états de jour et de nuit, de sorte que l'appareil aurait pu rester en état de charge pendant la journée, et clignoter durant la nuit.

Matériel

Pour le clignotement, (voir **figure 3**), j'ai choisi un microcontrôleur 12LF1572 à 8 broches de Microchip pilotant un transistor NPN 2N2222. Cet interrupteur court-circuite les cathodes du réseau de LED en série à la masse pour réaliser les effets de clignotement. Un bouton poussoir permet à l'utilisateur de sélectionner le mode de clignotement souhaité parmi ceux disponibles, y compris une option de clignotement aléatoire.

La sortie du panneau solaire (5 V, d'une taille de 65×35 mm) est connectée à un circuit diviseur constitué d'une résistance fixe R3 et d'une résistance variable, R1, dont la borne est connectée à l'entrée AN du convertisseur A/N du microcontrôleur (voir **figure 3**). Pour charger la batterie, j'ai adopté une solution simple, mais peu *orthodoxe* : une diode Schottky directement connectée à la cellule. Traditionnellement, dans de tels cas, un circuit intégré régulateur de tension avec un contrôle de 4,2 V aurait été nécessaire pour éviter de dépasser la tension de charge maximale de la batterie LiPo, mais ici, à cause du faible courant généré par la cellule solaire, le risque d'endommager le circuit ou la batterie est faible, et le niveau d'efficacité global est suffisamment élevé pour cette application.

Pour détecter le jour et la nuit, la tension de sortie du panneau solaire est surveillée par un canal d'entrée AN du microcontrôleur sur la broche 6. Le but de la résistance en série avec le trimmer est de protéger le µC contre des tensions supérieures à 4,2 V qui pourraient provenir de la cellule solaire.

La diode est connectée directement à la batterie et se

situe avant l'interrupteur. Cela permet d'éviter toute tension élevée de la cellule solaire vers le µC en cas de fort ensoleillement et d'ouverture de l'interrupteur d'alimentation. Dans ce cas, la cellule solaire pourrait délivrer plus de 5 V, ce qui est la valeur maximale supportée par le microcontrôleur. J'ai programmé ce dernier est en utilisant le débogueur PICkit 3 de Microchip et un connecteur approprié.

Logiciel

Le logiciel est écrit en C, sous MikroC Pro, et est disponible ici [1]. Après l'initialisation des variables, des paramètres et des registres, une boucle de configuration démarre. Si, dans cette boucle, le bouton poussoir est maintenu à la mise sous tension, l'utilisateur peut modifier le nombre d'heures pendant lesquelles la guirlande fonctionne la nuit. Un clignotement correspond à une heure, deux clignotements correspondent à deux heures, et ainsi de suite, jusqu'à un maximum de douze heures. La valeur par défaut est de six heures. Lorsque vous relâchez le bouton, la minuterie est réglée sur cette valeur. Toutefois, cette valeur n'est pas sauvegardée et vous devrez la régler à nouveau à chaque fois que vous allumerez l'appareil. Cet aspect du fonctionnement du logiciel devrait en effet être amélioré.

Après cette étape, on passe à la boucle infinie. Elle vérifie d'abord l'état du bouton-poussoir. Chaque pression permet de changer le mode de clignotement. Les modes sont :

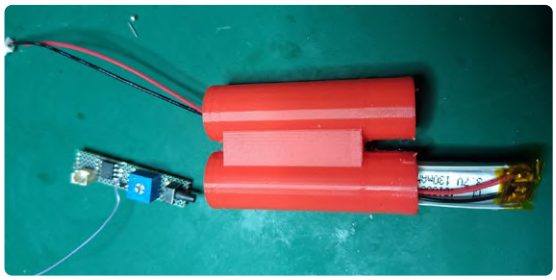


Figure 1. Boîtier imprimé en 3D pour les composants électroniques et la cellule LiPo.

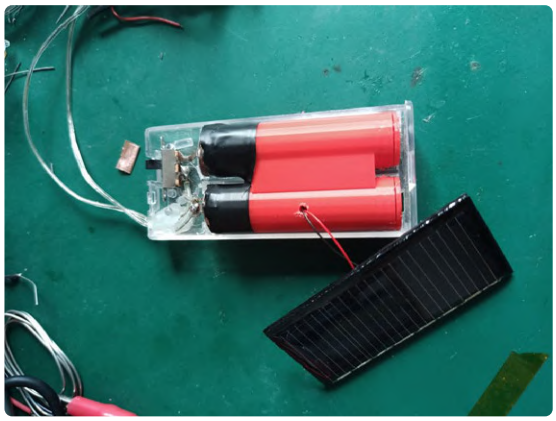


Figure 2. Petit panneau solaire pour charger la cellule LiPo pendant la journée.

- Mode aléatoire entre 300 ms (off) et 1500 ms (on), changeant à chaque cycle avec la fonction `srand()`.
- 200 ms on, 1000 ms off
- 800 ms on, 1000 ms off
- 500 ms on, 500 ms off
- 300 ms on, 300 ms off, 300 ms on, 1000 ms off

À la fin de chaque cycle, il y a un délai d'attente de 2 000 ms.

La boucle n'activera le mode que si la tension délivrée par le panneau solaire est de 0 V. Si le panneau est exposé à lumière, aucun mode ne sera activé et par conséquent, la boucle se contentera d'attendre 2 s à chaque fois.

Tous les longs délais sont définis avec la fonction

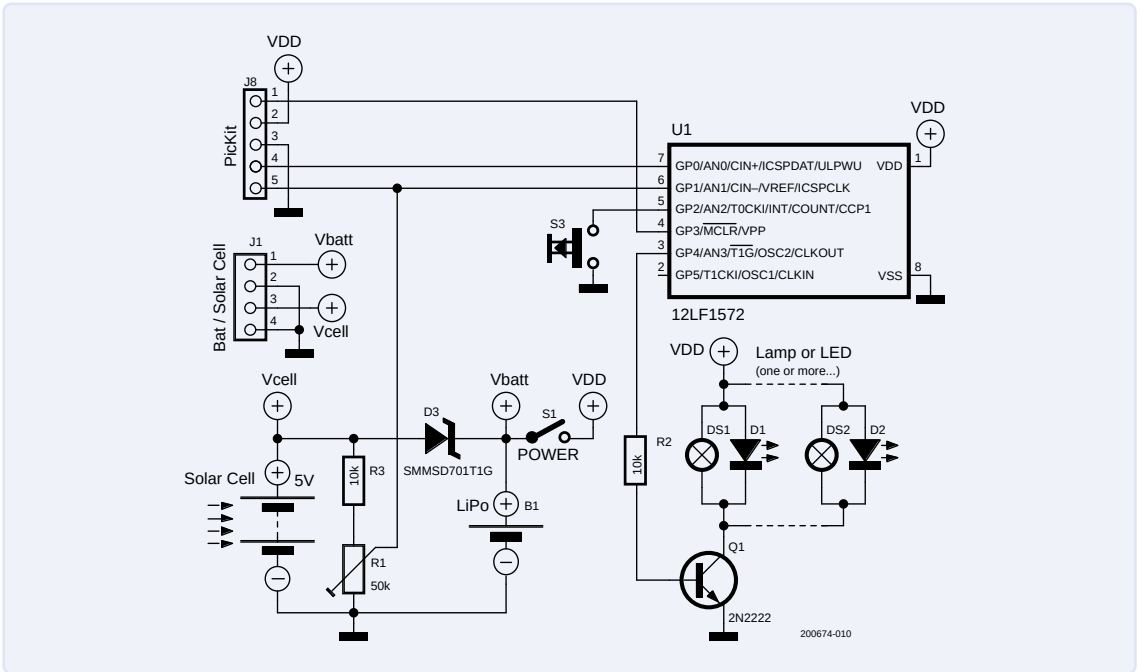


Figure 3. Schéma de circuit simple pour ce projet.

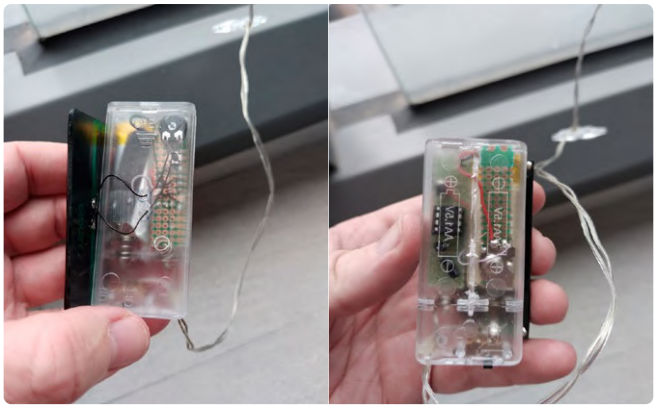


Figure 4. Premier prototype fonctionnel (face avant à gauche et face arrière à droite).

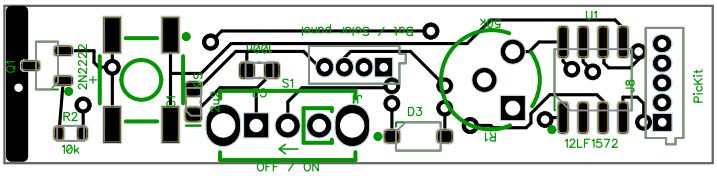


Figure 5. La disposition du circuit imprimé simple face a la taille d'une pile AA.

`tempo()`. Cette fonction utilise la fonction `sleep()` et le watchdog, réglée sur 2000 ms. C'est la meilleure solution pour économiser de l'énergie.

Implémentation

Après avoir réalisé le premier prototype fonctionnel, dont les deux faces sont représentées respectivement sur les **figures 4a** et **4b**, mon fils a créé le boîtier factice pour les deux piles AA avec Tinkercad [2], déjà représenté sur la figure 1. Du côté de la connexion positive, nous mettons la batterie lithium-polymère, de n'importe quelle taille et capacité qui s'adapterait à l'intérieur. La borne positive de la batteri est connectée au fil positif du contact de la guirlande d'origine et, avec un autre fil, au circuit imprimé, dont la disposition est représentée sur la **figure 5**.

La borne négative de la batterie est connectée directement au circuit imprimé. Le collecteur du transistor 2N2222 est connecté au fil négatif de la guirlande d'origine (vous pouvez utiliser n'importe quel autre transistor de commutation NPN).

Il est possible d'installer le circuit imprimé dans la deuxième cavité du boîtier factice, avec des fils reliés à la batterie et au panneau solaire (deuxième connecteur).

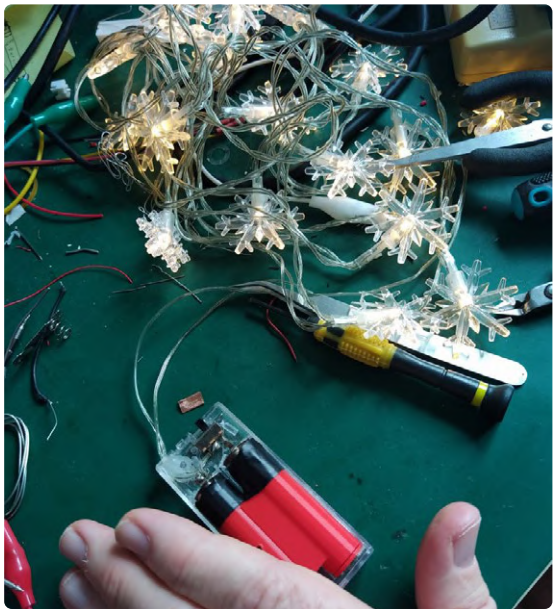


Figure 6. Le projet terminé : la guirlande est allumée.

Pour la connexion au contact original de la guirlande, j'ai utilisé un moorceau de film de cuivre collé sur la pile factice. Le résultat final de mon travail laborieux est visible dans la **figure 6**, avec la guirlande de LED joliment éclairée par ma carte.

200674-04

Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



À propos de l'auteur

Laurent est âgé de 60 ans, vit en Asie depuis plus de 20 ans et est passionné d'électronique depuis l'âge de 10 ans. Il lisait de nombreux magazines, dont Elektor depuis 1978. Laurent a commencé à expérimenter les microcontrôleurs dans les années 1980, la famille 8051 et, plus récemment, la famille PIC et ESP32 (à chaque fois qu'une connexion réseau est nécessaire). Il a construit de nombreux amplificateurs, à l'état solide (Elektor) et à tubes (300B SE), ainsi que des systèmes de haut-parleurs et des CNA. Il travaille dans l'industrie de la téléphonie mobile depuis plus de 30 ans (matériel, logiciel, exploitation, qualité) pour une société française.

Produits

- **Bert van Dam, *PIC Microcontrollers* (E-book d'Elektor)**
  www.elektor.com/18093
- **Seeed Studio Solar Panel for Outdoor Environments**
  www.elektor.fr/19131
- **Diamex LED Player M**
  www.elektor.fr/19911

LIENS

[1] Circuit imprimé et programme pour ce projet : https://elektormagazine.fr/labs/solar-power-christmas-garland
[2] Site web de Tinkercad Autodesk: https://tinkercad.com



Chaque semaine passée sans s'abonner à la lettre d'information d'Elektor est une semaine de plusieurs articles et projets électroniques que vous ratez ! Pourquoi attendre plus longtemps ? Rester informé, être créatif et gagner des prix - Abonnez-vous maintenant pour en faire partie !

www.elektor.fr/ezine

À quoi pouvez-vous vous attendre ?

Éditorial
Chaque vendredi, vous recevrez les meilleurs articles et projets de la semaine. Nous couvrons les projets basés sur les MCU, l'IdO, la programmation, l'IA, et plus encore !

E-choppe
Ne manquez pas les promotions sur l'e-choppe Elektor. Tous les mardis et dimanches (et occasionnellement les jeudis), nous avons une offre spéciale pour vous.

Envoi des partenaires
Vous souhaitez rester informé des activités en cours dans le secteur ? Alors ce courriel vous donnera les meilleures informations. Non régulier, mais toujours le mercredi.

elektor
design > share > earn

détecteur de clé USB Killer

mieux vaut prévenir que guérir

Carlos Guzman (États-Unis)

Les USB killers sont des dispositifs malveillants déguisés en clés USB. Lorsqu'il est branché sur le port USB d'un ordinateur, d'une tablette ou d'un téléphone, le dispositif tente de détruire le port USB et bien d'autres choses encore. Le dispositif décrit ici vous permet d'identifier ces clés USB avant qu'elles ne causent des dommages.

USBKill [1] est une clé USB de test qui transforme les 5 V d'un port USB en environ -200 V, entraînant la destruction, par exemple, d'un ordinateur personnel, d'un ordinateur portable ou même d'un téléphone. Comme ils portent un logo à l'extérieur indiquant clairement qu'il s'agit de dispositifs de test à manipuler avec précaution, ils ne présentent pas de réel danger.

Plus dangereuses, cependant, sont les clés dites « USB killer » qui ne peuvent être distinguées des clés USB normales. Elles ressemblent à une clé ordinaire, mais peuvent causer de graves dommages aux appareils sur lesquels elles sont branchées.

Mon expérience personnelle

Mon père achète de nombreux articles en ligne. Il achète des composants électroniques, car il est technicien en électronique, mais il ramène aussi à la maison des produits inutiles comme un excès d'écrous, de boulons et d'outils. Il a une pièce à la maison dans laquelle je peux à peine marcher.

Il y a quelque temps, j'avais un vieux film sur mon ordinateur que je voulais regarder sur la télévision, alors j'ai cherché une clé USB. Comme je n'en avais pas sous la main, je suis allé dans l'atelier de mon père et j'en ai trouvé une. Je l'ai connectée à mon ordinateur, j'ai fait le tour de la table et j'ai découvert que l'ordinateur s'était éteint entre-temps. Il ne restait plus que le faible son qui avait commencé juste après avoir branché la clé USB.



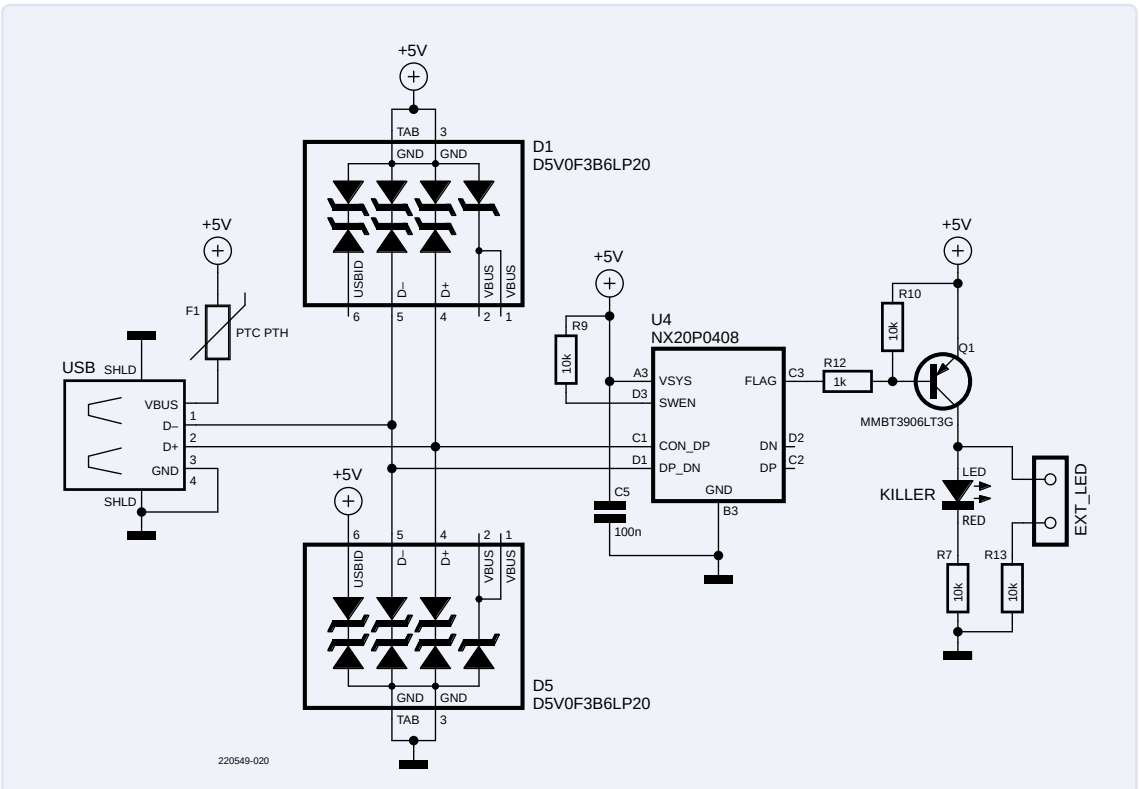


Figure 1. Le schéma du détecteur d'USB killer sans alimentation électrique. Le voyant rouge signale un danger.

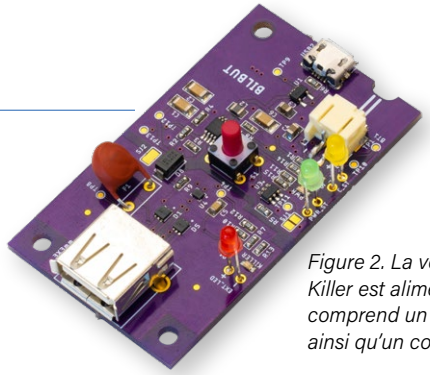


Figure 2. La version 1 du détecteur d'USB Killer est alimentée par une batterie et comprend un chargeur de batterie LiPo ainsi qu'un convertisseur de puissance.

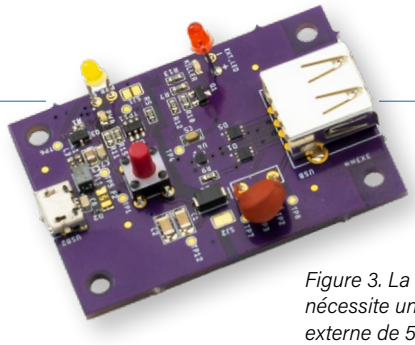


Figure 3. La version 2 nécessite une alimentation externe de 5 VDC.

Après avoir constaté que mon ordinateur ne s'allumait plus, j'ai vérifié tous les câbles et l'alimentation. Tout fonctionnait comme d'habitude, sauf mon ordinateur, qui ne s'allumait pas. Après quelques jours d'enquête, la cause s'est avérée être la clé USB de l'atelier de mon père. Elle ne présentait aucune indication extérieure sur ce qu'elle était. Elle ressemblait à n'importe quelle autre clé, mais était en fait une clé USB killer.

Pourquoi ?

Comme moi, vous vous demandez peut-être pourquoi les USB killer existent. La réponse semble être principalement « juste parce que ». Mon père et moi avons donc décidé de mettre au point un appareil capable de les détecter avant qu'ils n'endommagent un ordinateur.

Notre solution

Une USB killer utilise les 5 V du port USB pour générer des rafales d'impulsions d'environ -200 V sur les lignes de données USB. Il s'agit d'une technique très efficace pour détruire les ports USB et autres. Le détecteur d'USB killer utilise un circuit intégré spécial de protection des lignes de données USB, un NX20P0408 de NXP [2] qui signale un défaut lorsque quelque chose ne va pas sur ces broches. Le signal de drapeau contrôle une LED rouge. Si la LED s'allume, vous devez détruire la clé USB que vous venez de brancher.

Des diodes TVS supplémentaires veillent à ce que le détecteur lui-même ne soit pas tué. Un PTC offre une protection encore plus grande en éteignant l'USB killer s'il est trop dangereux à manipuler.

Deux versions

Nous avons développé deux versions du détecteur d'USB killer :

1. Une version portable alimentée par une batterie que vous pouvez transporter n'importe où, comme le montre la **figure 2**. Elle comprend un chargeur de batterie LiPo et un convertisseur boost pour transformer la tension de la batterie en 5 V pour la clé USB.
2. Une version à alimentation externe, car il est difficile d'expédier des batteries à base de LiPo et des appareils qui en contiennent, et nous voulions vendre le détecteur d'USB killer en ligne. Il nécessite un câble micro USB pour fournir 5 V (**figure 3**). Utilisez un chargeur de téléphone pour l'alimentation, pas votre ordinateur.

Les fichiers de conception des deux versions du dispositif sont disponibles sur GitHub [3].

Un dernier mot

Vous pensez que la clé USB killer est une légende urbaine ? Détrompez-vous. En 2019, aux États-Unis, un homme a été condamné à 12 mois de prison et à une amende de 58 471 $ après avoir intentionnellement détruit 66 ordinateurs dans une école d'Albany [4].

La vidéo en lien [5] a totalisé plus de 20 millions de vues au cours des cinq dernières années, soit dix mille vues par jour, tous les jours. Une vidéo similaire [6] a été visionnée près de deux millions de fois au cours des deux dernières années. Avez-vous déjà cherché des clés USB killer chez des vendeurs en ligne ? Si vous le faites, vous constaterez qu'il est facile de les acheter.

Les clés USB tueuses existent bel et bien, et vous êtes prévenus.

Si vous souhaitez m'aider à lutter contre les USB killer, rejoignez-moi sur [7].

Merci à mon père, Alberto Guzman, pour le temps que nous avons passé ensemble à travailler sur le développement de l'appareil.

VF : Maxime Valens – 220549-04

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (instant.devices@yahoo.com) ou contactez Elektor à l'adresse (redaction@elektor.fr).

Produits

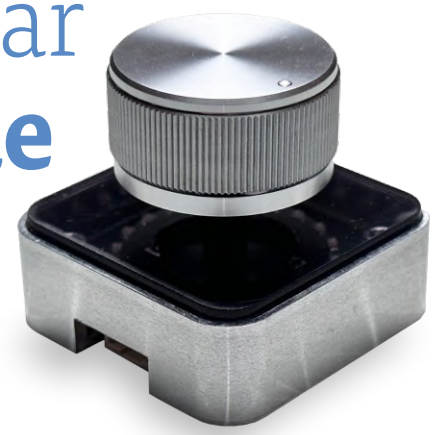
- **Archives 1978-2022 d'Elektor sur clé USB**
  www.elektor.fr/elektor-archive-1978-2022-usb-stick-fr
- **The Elektor Power Supply Collection (clé USB)**
  www.elektor.fr/the-elektor-power-supply-collection-usb-stick

LIENS

[1] USBKill : https://usbkill.com
[2] Fiche technique NX20P0408 : https://nxp.com/products/power-management/load-switches/single-chip-usb-data-lines-protection-solution:NX20P0408
[3] Tous les détails du projet sur GitHub : https://github.com/instantdevices/USB-Killer-Detector
[4] L'affaire judiciaire aux États-Unis : https://justice.gov/usao-ndny/pr/former-student-sentenced-destroying-computers-college-st-rose
[5] Exemple de vidéo 1 : https://youtu.be/Y1o1nwlpY4I
[6] Exemple de vidéo 2 : https://youtu.be/FLkXiP1fC2A
[7] Aidez-moi à combattre les USB killer : https://opencollective.com/usb-killer-detector
[8] Ce projet sur Elektor Labs : https://elektormagazine.fr/labs/usb-killer-detector-v1

un boîtier simple créé par **fraiseuse à commande numérique** (CNC)

avec Autodesk Fusion 360 Personal



Vaclav Krejci (République Tchèque)

Les boîtiers sur-mesure de vos projets personnels ne doivent pas être nécessairement créés avec une imprimante 3D — ils peuvent aussi être usinés à partir de métal, tel que l'aluminium, avec un résultat très professionnel. Même si vous ne possédez pas votre propre CNC, le coût de fabrication est abordable, les outils logiciels sont gratuits et les étapes à suivre sont simples.

Dans ce tutoriel, vous apprendrez comment créer un boîtier sur-mesure pour le Module Encodeur Rotatif du DFRobot. Avec des pièces communes avec beaucoup d'autres coffrets, c'est un bon départ pour créer votre propre boîtier pour votre propre projet.
Pour la conception, nous utilisons Autodesk Fusion 360 en utilisation personnelle. Ce logiciel est gratuit et conçu pour les bricoleurs amateurs et pour des travaux non commerciaux. Il y a quelques limitations par rapport à la version complète (payante) mais aucune ne devrait gêner notre travail.

Outils utilisés :

- Autodesk Fusion 360 (Personal Edition) [1]

Pièces utilisées :

- Module encodeur rotatif du DF Robot [2]
- Arduino UNO (mais n'importe quelle carte Arduino fonctionnera avec le module)

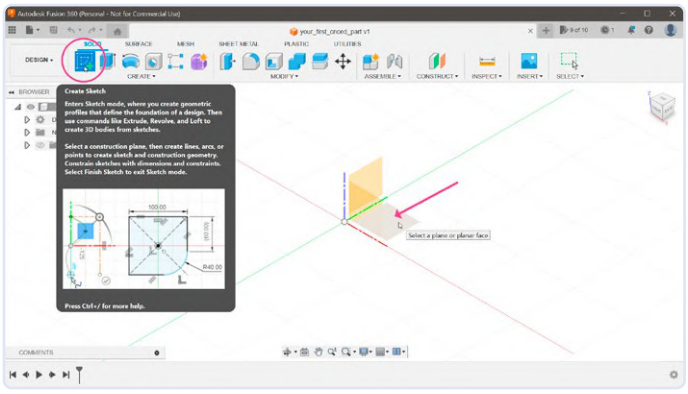


Figure 1. Premières étapes dans le placement de votre Sketch. (Source de toutes les photos : Autodesk)

Étapes

1. La première étape dans la création de n'importe quel modèle 3D est de commencer par un dessin 2D appelé Sketch (**figure 1**). Dans Fusion 360, cliquez sur le bouton *Create Sketch* dans la barre d'outils et sélectionnez un plan sur lequel vous allez placer le dessin. Comme notre boîtier sera extrudé de bas en haut, il est logique de placer le dessin en bas du plan dans l'espace 3D.
2. À l'aide d'un pied à coulisse, j'ai mesuré la taille du module encodeur rotatif : 37×37 mm. Créons un nouveau rectangle pour visualiser la taille du circuit imprimé (**figure 2**). Allez dans le menu *CREATE* *Rectangle* *Center Rectangle*. Lorsque l'outil est activé, placez le premier point à l'origine. Avec le clavier, tapez la première dimension (37), passez au prochain champ d'édition avec la touche *Tab* et tapez la deuxième valeur (37). Pour terminer le processus de création, tapez sur la touche *Entrée*.

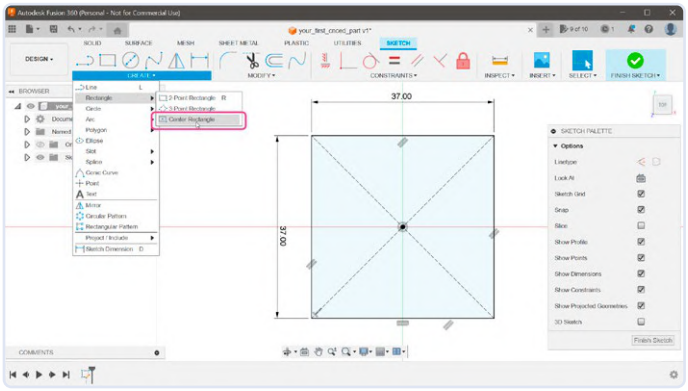


Figure 2. Définition des tailles des rectangles.

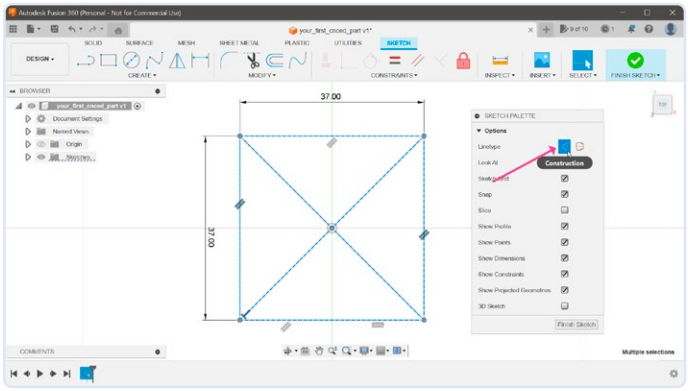


Figure 3. Modification de la définition des lignes dans le mode Construction.

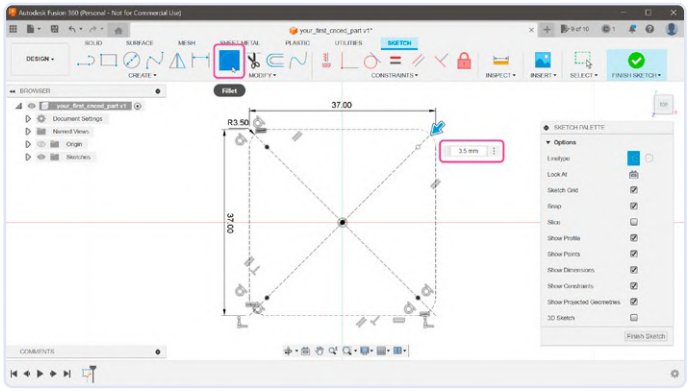


Figure 4. Arrondi des coins du boîtier.

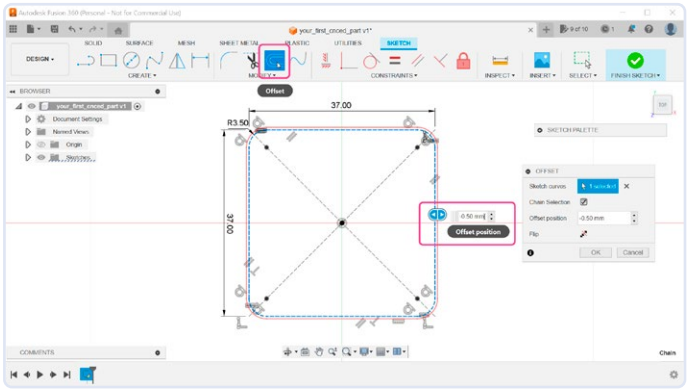


Figure 5. Agrandissement du boîtier pour obtenir un placement plus facile de la carte de l'encodeur.

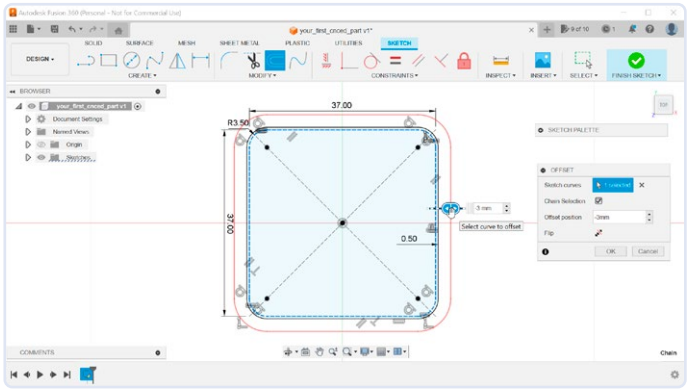


Figure 6. Définition de l'épaisseur des parois.

3. Nous n'utiliserons pas cette forme pour extruder le boîtier parce que nous avons besoin de place autour du circuit imprimé. Il est logique de sélectionner toutes les lignes et de les transformer en lignes de construction en cliquant sur le bouton *Construction* dans la boîte de dialogue *Sketch Palette*. Ceci indique au programme Fusion 360 que nous n'utilisons les lignes que comme guides (**figure 3**).
4. Le circuit imprimé a des coins arrondis et il serait judicieux que notre boîtier corresponde à cette forme (**figure 4**). Une mesure approximative montre que le rayon des coins est d'environ 3,5 mm. Dans la barre d'outils, sélectionnez l'outil *Fillet* et cliquez sur toutes les lignes extérieures individuellement. Entrez 3,5 mm pour la valeur *Fillet Radius*.
5. Nous devons agrandir légèrement le rectangle arrondi pour s'assurer que le circuit imprimé se positionne facilement (**figure 5**). Dans la barre d'outils, sélectionnez l'outil *Offset* et entrez la valeur de -0,5 mm.
6. Un autre offset est nécessaire pour construire les parois de notre boîtier (**figure 6**). Répétez l'étape à nouveau, mais en entrant un offset de -3 mm. Ceci créera plus tard des parois de 2,5 mm d'épaisseur.
7. Nous avons suffisamment de formes pour commencer à les extruder. Fermez l'éditeur de sketch en cliquant sur le bouton *Finish Sketch*, puis sélectionnez l'outil *Extrude* dans la barre d'outils (**figure 7**). Cliquez à l'intérieur du rectangle arrondi du sketch et entrez une distance de 2 mm.
8. Nous voulions extruder les parois mais elles ont soudainement disparu. Pas de souci ; seul le sketch est caché. Dans le coin supérieur gauche du navigateur (**figure 8**), ouvrez le groupe *Sketches* et rendez visible le *Sketch1*. Maintenant, vous pouvez sélectionner l'outil *Extrude* dans la barre d'outils et cliquer dans le rectangle arrondi. Entrez la distance de 15 mm, qui sera la hauteur de notre boîtier.

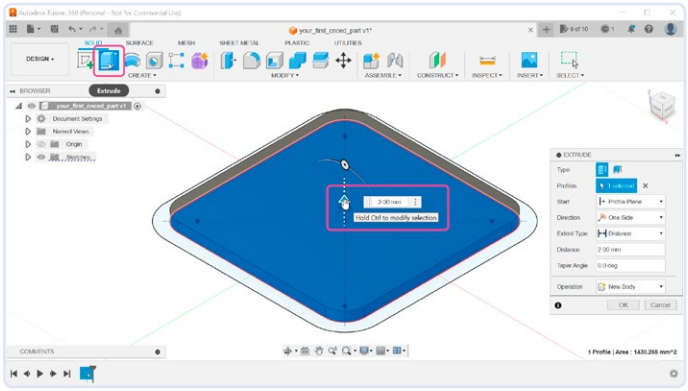


Figure 7. Départ de l'extrusion !

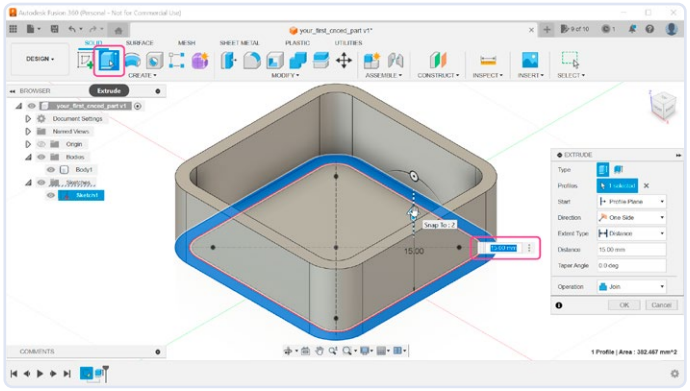


Figure 8. Définition de la hauteur du boîtier.

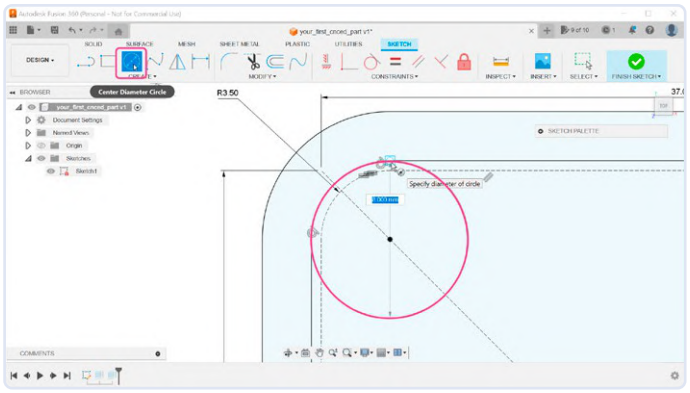


Figure 9. Positionnement du centre de l'un des supports.

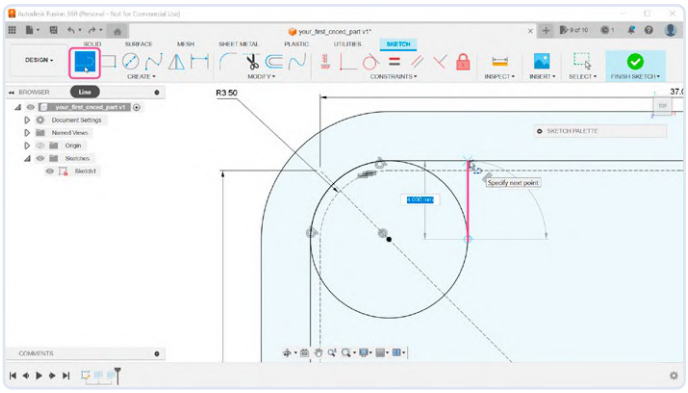


Figure 10. Mise en forme du support avec l'outil ***Line****.*

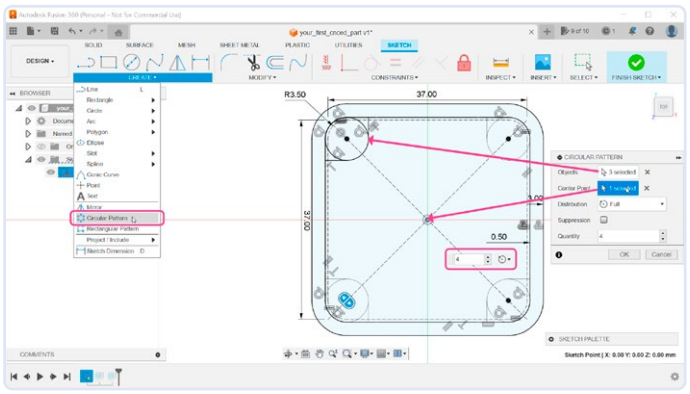


Figure 11. Réplication du support pour les trois autres coins.

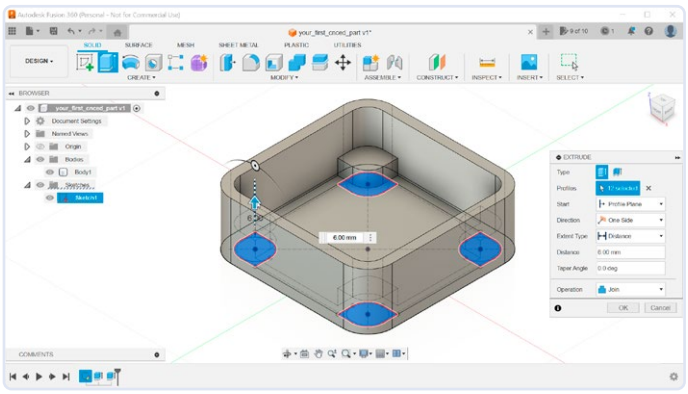


Figure 12. Extrusion des quatre supports.

9. Le module devrait reposer sur des sortes de supports et il serait utile que ces supports aient des trous pour des vis de fixation. Pour ces supports, nous avons besoin d'un autre sketch, mais, au lieu d'en créer un nouveau, nous pouvons réutiliser celui que nous avons déjà. Pour revenir au mode d'édition, double-cliquez sur le sketch dans la fenêtre du navigateur. Les trous du circuit imprimé ont un diamètre de 3 mm ; il faut que les supports soient plus grands que ça. Pour faciliter la fabrication, nous pouvons même les faire assez grands pour qu'ils touchent les parois du boîtier. Sélectionnez l'outil *Center Diameter Circle* dans la barre d'outils et tracez un cercle dans le coin supérieur gauche — assez grand pour qu'il touche la partie interne de la paroi (diamètre de 8 mm) (**figure 9**).
10. La zone entre le cercle et la paroi est très fine (**figure 10**) et sera difficile à fabriquer. Nous pouvons la fermer en dessinant d'autres formes avec l'outil *Line*. Dans la barre d'outils, sélectionnez l'outil *Line* et déplacez le curseur sur le centre du cercle. Ensuite, continuez de déplacer le curseur de la souris vers la droite jusqu'à atteindre le bord du cercle. Dans cette position, dessinez le premier point de la ligne. Déplacez le curseur de la souris vers le haut jusqu'à ce que vous touchiez la paroi. Dans cette position, dessinez un deuxième point sur la ligne. Assurez-vous que le mouvement soit assez droit — ceci indiquera à Fusion 360 de fixer les limites automatiquement.
11. Trois autres supports sont nécessaires, mais plutôt que de les dessiner manuellement, nous pouvons utiliser certains outils pour dupliquer le premier support déjà créé. Le choix normal serait d'utiliser l'outil *Mirror* (*CREATE Mirror*). Cependant, dans ce cas, nous avons une solution en un clic – l'outil *Circular Pattern*, également situé dans le menu *CREATE*. Lorsque l'outil est activé, il faut sélectionner le cercle et deux lignes (**figure 11**). Cliquez sur le bouton *Select* à côté du point central et sélectionnez le point d'origine. Dans la zone *Quantity*, entrez la valeur de 4.
12. Nous pouvons maintenant, à nouveau, terminer l'édition du sketch en cliquant sur le bouton *Finish Sketch*, et nous pouvons extruder les supports. Comme le corps est visible, il peut être difficile de sélectionner les différentes faces du sketch. Une solution plus facile est de cacher temporairement *Body1* du navigateur, sélectionner l'outil *Extrude* (**figure 12**), et sélectionner les formes du sketch. Cependant, avant d'extruder, vous devez montrer *Body1* pour que les supports soient connectés avec ce corps. La distance devrait être de 6 mm, et, dans la boîte de dialogue *Extrude*, assurez-vous que la fonction *Operation* soit sur *Join*.
13. Et si ces supports comportaient des trous pour les vis ? Nous avons déjà la position de ces trous (le point central des cercles), mais ils sont dans des positions Z différentes. Les points sont au fond du boîtier, or nous les voulons sur le dessus des supports. Pour déplacer ces points, nous allons créer un nouveau sketch en cliquant sur le bouton *Create Sketch*, et, pour la position de ce sketch, cliquer sur le plan supérieur de l'un des supports (**figure 13**).
14. 14) Pour copier ces points dans notre nouveau sketch, sélectionnez *CREATE Project/Include Project* (**figure 14**). Cliquez sur les quatre points et confirmez avec le bouton *OK*. Si vous tournez la vue 3D, ces points flottent maintenant au-dessus du sketch original.
15. Fermez le sketch, montrez *Body1* et sélectionnez l'outil *Hole* dans la barre d'outils. Cliquez sur les quatre points et confirmez le trou (**figure 15**). Dans les options, choisissez *Tapped* pour *Hole Type*, *ISO Metric profile* pour *Thread Type* et la taille devrait être de 3,0 mm. Quant à la profondeur, il ne faut pas que les trous soient traversants, donc, comme les supports sont extrudés de 6 mm au-dessus du plan de référence, une profondeur de 4 mm devrait être suffisante.
16. Nous avons besoin de deux ouvertures rectangulaires à la base du boîtier pour accéder aux connecteurs sous le circuit imprimé.

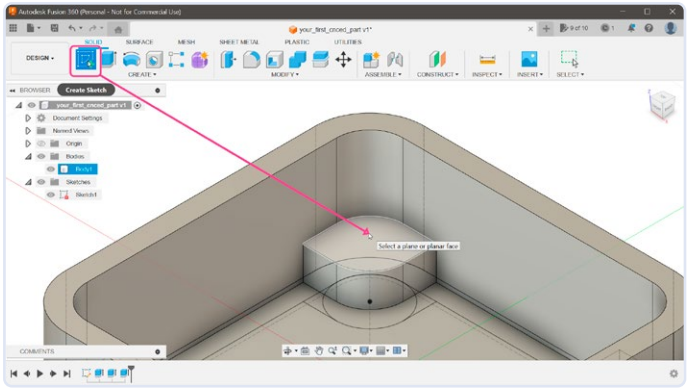


Figure 13. Définition du trou dans le support.

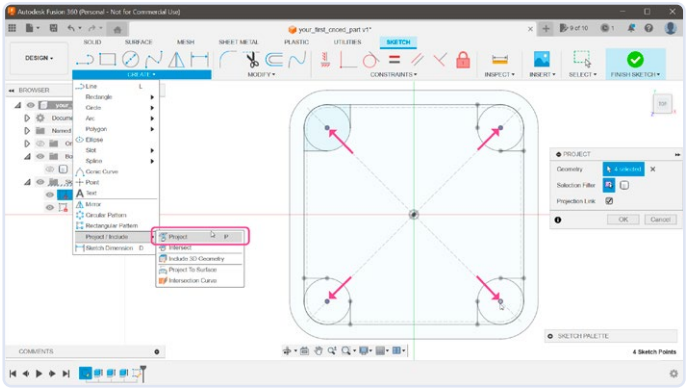


Figure 14. Réplication de l'opération pour les trois autres coins.

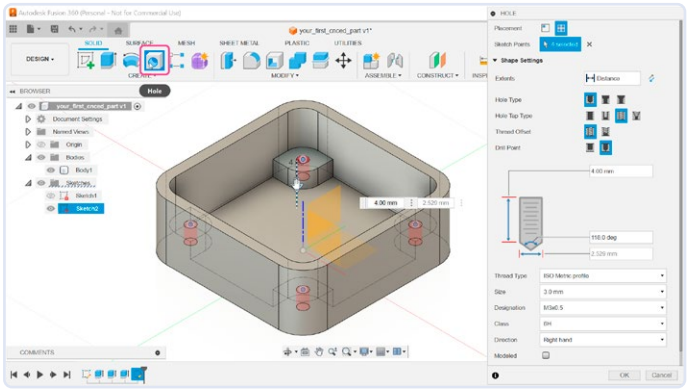


Figure 15. Définition de la profondeur et du type de filetage pour les trous.

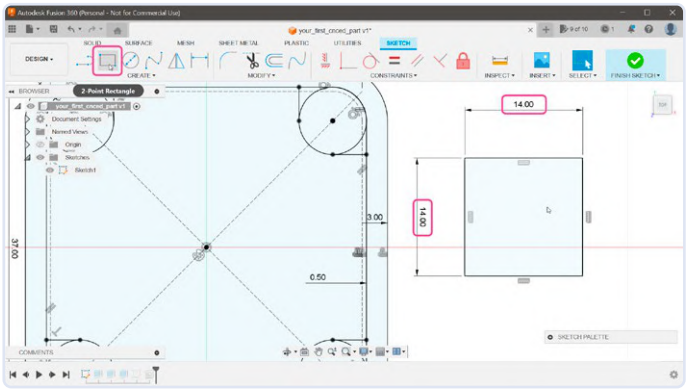


Figure 16. Préparation des deux ouvertures rectangulaires au fond du boîtier.

Les connecteurs ont des tailles légèrement différentes mais une ouverture de 11×14 mm ira pour les deux. Il faut compter avec l'épaisseur de la paroi (3 mm), ce qui donne une taille d'ouverture de 14×14 mm. Pour dessiner ces ouvertures, nous pouvons réutiliser notre sketch original. Ouvrez-le en édition et sélectionnez l'outil *2-Point Rectangle* (**figure 16**) dans la barre d'outils. Dessinez un rectangle de 14×14 mm n'importe où dans la zone de travail.

17. Pour déplacer le rectangle vers la position correcte, sélectionnez la limite du MidPoint (**figure 17**) à partir du groupe *Constraint* de la barre d'outils. Cliquez d'abord sur la ligne droite du nouveau rectangle. Ensuite, cliquez sur la ligne droite de la paroi du boîtier. Ceci permet d'aligner ces deux lignes et de déplacer le rectangle dans la position correcte. Répétez ces étapes pour l'ouverture du côté gauche et fermez le sketch.
18. Tournez la vue 3D pour voir le fond de notre boîtier. Sélectionnez l'outil *Extrude* (**figure 18**) et sélectionnez ensuite les nouveaux rectangles que vous venez de créer. Entrez une distance de 6 mm pour correspondre à la hauteur des supports. *Operation* devrait être automatiquement changé en *Cut*.
19. Le boîtier est presque prêt. Nous avons une forme de base, des supports avec des trous filetés et des ouvertures au fond du boîtier pour accéder aux connecteurs. Au point où nous en sommes, il serait intelligent d'ajuster la forme pour rendre la fabrication plus facile. Comme la fraise possède un certain diamètre, il est impossible de créer des bords intérieurs tranchants. Nous pouvons facilement y remédier en ajoutant un arrondi avec l'outil *Fillet* (**figure 19**) dans le groupe *Modify*. Lorsque l'outil est activé, sélectionnez tous les coins intérieurs en angle droit et entrez une petite valeur d'arrondi — par exemple, 2 mm.

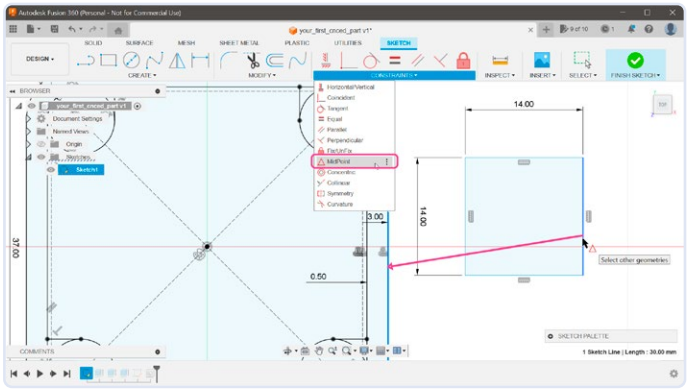


*Figure 17. Centrage du rectangle avec la fonction **MidPoint**.*

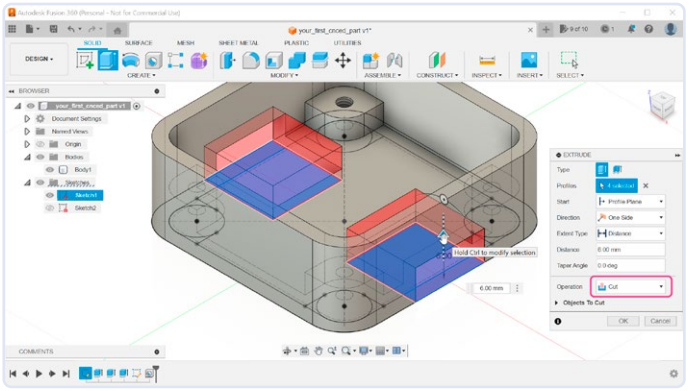


Figure 18. Extrusion des deux ouvertures.

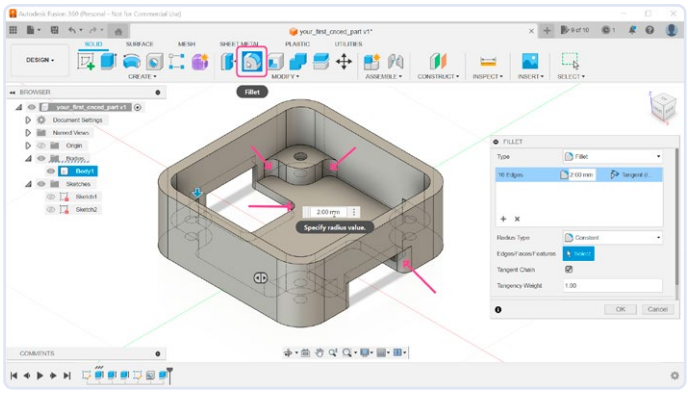


Figure 19. Arrondi des bords intérieurs.

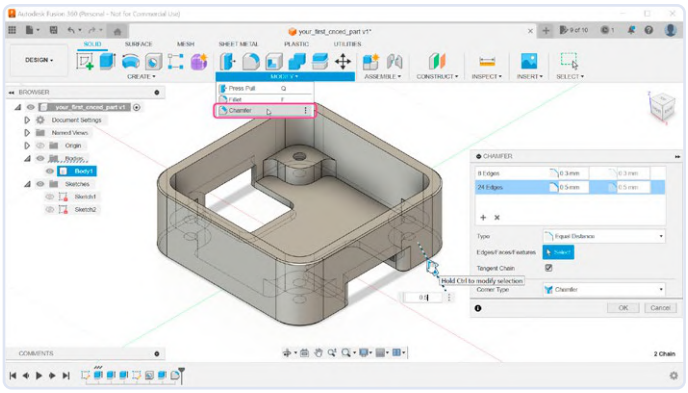


Figure 20. Lissage des bords extérieurs.

20. Les bords tranchants extérieurs seront arrondis avec l'outil *Chamfer*. Sélectionnez-le (**figure 20**) dans le sous-menu *Modify* et sélectionnez les bords extérieurs du boîtier. Pour le bord supérieur, j'ai pris la valeur minimale de 0,3 mm. Pour le bord inférieur, une valeur plus grande de 0,5 mm a été utilisée. Vous pouvez chanfreiner plusieurs bords avec différentes valeurs simultanément en utilisant le bouton *Add Selection Set* dans la boite de dialogue *Chamfer*.
Ça y est (**figure 21**), le boîtier est prêt pour la fabrication. Le format usuel de fichier pour un dessin 3D est le format STEP (*.step*), qui peut être exporté avec l'option du menu *File Export.* Avec ce fichier, le prestataire de service choisi [3] va usiner le prototype en métal pour vous. Il est visible avec d'autres composants dans la **figure 22** dans deux finitions différentes, avec l'encodeur en place (**figure 23**), et enfin (**figure 24**) le produit fini. Une vidéo complète des étapes de ce projet peut être trouvée à [4].

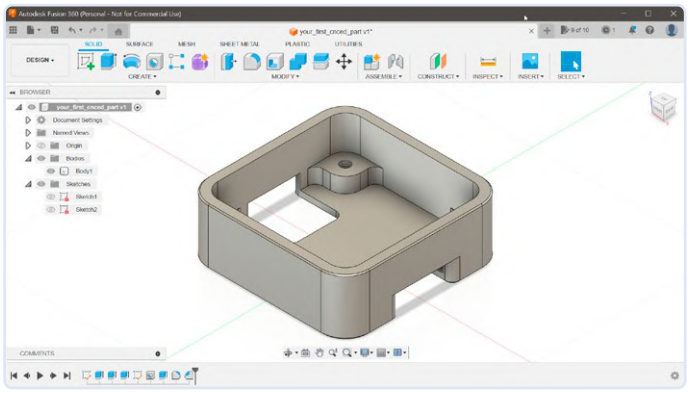


Figure 21. Le boîtier prêt pour la fabrication.

C'est aussi simple que ça

Autodesk Fusion 360 [1] est une application complexe avec des dizaines d'outils, mais heureusement ce tutoriel vous a montré que, pour créer un boîtier simple, vous n'avez besoin que de quelques-uns d'entre eux. Le même résultat peut souvent être atteint de multiples façons, alors si ça marche pour vous, ne vous torturez pas l'esprit pour savoir si c'est la bonne approche. Chaque fabricant est prêt à répondre à n'importe quel problème, quel qu'il soit, et si vous n'êtes pas sûr à propos de quelque chose, posez-lui la question. Le boîtier de ce tutoriel a été fabriqué par PCBway [3], au prix de 37 $, port non compris. Ce prix inclut le décapage par billes de la pièce usinée (pour une surface lisse) et l'anodisation (pour une meilleure qualité de surface et un bel



Figure 22. Le boîtier avec d'autres pièces nécessaires, juste avant l'assemblage final.

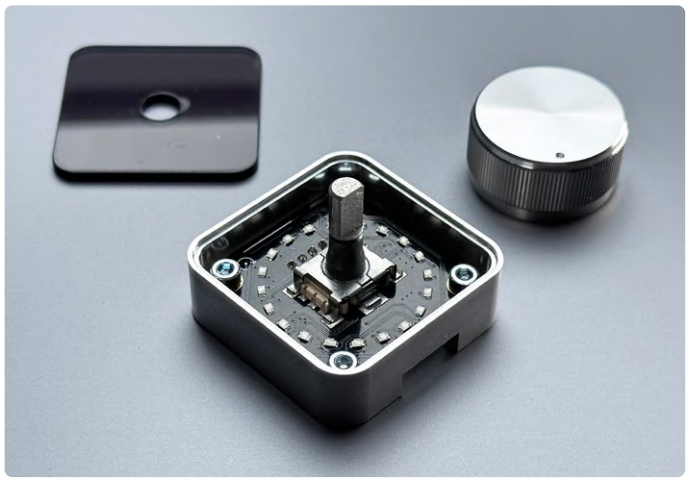


Figure 23. Le boîtier usiné avec l'encodeur monté.

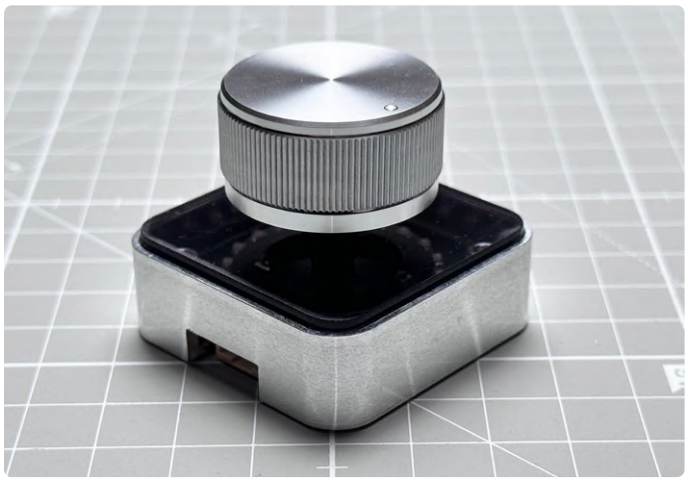


Figure 24. Le prototype entièrement assemblé.

aspect). Si l'aspect du métal brut vous convient, vous pouvez économiser quelques dollars. Et, si vous trouvez un fabricant local, vous pouvez également faire des économies sur les frais de port. Bonne chance dans la création de vos propres boîtiers pour vos projets fantastiques !

VF : Chris Elsass — 230361-04

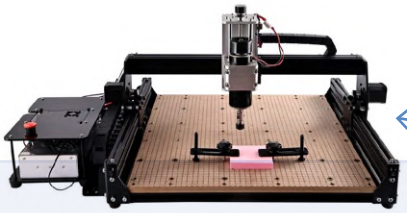


À propos de l'Auteur

Vaclav Krejci a publié son premier article de tutoriel (en ligne) en 1998 et a continué ainsi dans les années suivantes. Après des centaines de tutoriaux sur l'édition graphique, il a décidé d'écrire un livre, publié en 2007, intitulé GUI Design in Adobe Photoshop. Ceci a permis de grandes opportunités de travail mais malheureusement a aussi entraîné de longs délais dans les activités de publication. Pendant la période Covid (en 2020), Vaclav a découvert l'Arduino et un intérêt croissant dans l'électronique. Il s'est aussi rendu compte que transformer son apprentissage et ses découvertes en tutoriaux l'a aidé à finir des projets qui seraient restés sinon indéfiniment à l'état d'ébauche. Aujourd'hui, sa plateforme principale est YouTube, avec des tutoriaux en vidéo. Nous espérons que les projets de Vaclav inspireront d'autres à entamer le même parcours.

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (info@upir.org) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



Produits

- **Fraiseuse CNC de Bureau Anet 4540 (SKU 20260)**
  www.elektor.fr/20260
- **Arduino Uno SMD Rev3 (SKU 19938)**
  www.elektor.fr/19938

LIENS

[1] Page de téléchargement d'Autodesk Fusion 360 Personal : https://autodesk.com/products/fusion-360/personal
[2] Module encodeur rotatif de DF Robot : https://dfrobot.com/product-2575.html
[3] Site web de : https://pcbway.com
[4] Tutoriel vidéo sur YouTube : https://youtu.be/EB8PISr4m4g
[5] Amusez-vous avec Autodesk : https://youtu.be/vNKx29qEyJ4

NOTRE GAMME
PAR DES TECHNICIENS POUR DES TECHNICIENS

Tirer le meilleur parti de votre projet:
www.reichelt.com

Uniquement le meilleur pour vous – provenant de plus de 1.500 marques

Nos responsables produits sont employés par Reichelt depuis de nombreuses années et connaissent les exigences de nos clients. Ils rassemblent une large gamme de produits de qualité, à la fois parfaits pour les besoins dans les domaines de la recherche et du développement, la maintenance, l´infrastructure informatique et la production en petites séries et adaptés pour les fabricants.

Cartes de développement : spécialistes compacts pour les projets électroniques



Raspberry Pi 5 B



Arduino UNO Rev4 WiFi



NVIDIA Jetson Nano Bundle

Découvrez maintenant ▶
https://rch.lt/boards-fr

PRIX DU JOUR ! Prix à la date du : 18. 10. 2023

- Excellent rapport qualité prix
- Plus de 130 000 produits sélectionnés
- Livraison fiable - depuis l'Allemagne dans le monde entier

reichelt elektronik – Tirer le meilleur parti de votre projet

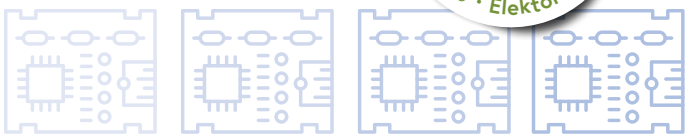
www.reichelt.com
Assistance téléphonique: +33 97 518 03 04

Les réglementations légales en matière de résiliation sont applicables. Tous les prix sont indiqués en € TVA légale incluse, frais d'envoi pour l'ensemble du panier en sus. Seules nos CGV sont applicables (sur le site https://rch.lt./CG-FR ou sur demande). Semblables aux illustrations. Sous réserve de coquilles, d'erreurs et de modifications de prix.
reichelt elektronik GmbH, Elektronikring 1, 26452 Sande (Allemagne), tél. +33 97 518 03 04

production de cartes à faible quantité

avec et sans assemblage

Saad Imtiaz (Elektor)



Vous avez conçu et testé une carte électronique et vous souhaitez maintenant la produire en (petites) quantités. Toutefois, si vous n'avez pas les moyens financiers de commander 10 000 cartes préassemblées et de les stocker dans un endroit d'où vous pourrez les vendre à loisir, quelles sont les options qui s'offrent à vous ?

La première option qui vient à l'esprit est d'assembler soi-même les cartes. C'est tout à fait possible lorsque les quantités sont faibles et que la carte ne comporte pas trop de composants (**figure 1**). Cela peut paraître simple, mais il y a quelques points à prendre en compte avant de commencer.

Commencez par choisir un fabricant de cartes. Il peut s'agir d'un service de *pooling* (voir l'encadré Pooling) si vous n'avez besoin que de quelques cartes. Mais si vous en avez besoin de (plusieurs) centaines, il sera plus avantageux de comparer les devis de différents fabricants qui ne pratiquent pas le *pooling*.

Source des composants

Si vous avez effectué le processus de conception de la carte dans le bon ordre, vous disposez déjà d'une liste de composants avec, pour chaque ligne, une référence complète du fabricant et l'adresse d'une entreprise où vous pouvez acheter la pièce. L'idéal serait de disposer d'un fournisseur unique pour l'ensemble, mais, dans la plupart des cas, il n'existe pas. Il faut faire appel à plusieurs fournisseurs pour obtenir tous les composants, et chacun d'entre eux facture les frais d'expédition et de manutention. Par conséquent, des achats judicieux vous permettront d'économiser de l'argent. Dans le même temps, il vous fera perdre du temps, d'où l'importance de trouver un équilibre entre les deux.

Assembler la carte

Une fois que vous avez les circuits imprimés et les composants, il est temps d'assembler les cartes. Disposez-vous des outils nécessaires à cet effet ? Un petit fer à souder (**figure 2**) peut convenir pour assembler un prototype, mais est-il assez confortable pour assembler vingt, cinquante ou cent cartes ? Et les pièces, sont-elles uniquement traversants, uniquement des CMS, ou est-ce un mélange ? En général, il est préférable d'éviter de mélanger les technologies de montage, car cela complique l'assemblage des cartes. Que des CMS, c'est bien, car la carte peut être soudée dans un four. Toutefois, le placement de ces pièces sur la carte est un travail délicat. Et comme il faut de la pâte à braser, avez-vous commandé un pochoir pour l'appliquer correctement ? Comment allez-vous aligner le pochoir sur des dizaines de cartes ? Ce sera plus facile lorsque les circuits imprimés sont regroupés dans un panneau.

Essais

Après avoir assemblé les cartes, il faut les tester. Pour cela, vous aurez besoin d'un équipement approprié. La construction d'un banc de test ou d'un programmateur, voire des deux, peut être une bonne idée.

Vente et expédition

Si vous avez déjà vendu quelque chose sur un site tel qu'eBay, vous savez que la vente est plus compliquée que le simple fait de trouver un acheteur pour le produit. Elle comprend également la facturation, l'emballage et le conditionnement, ainsi que l'expédition, et toutes ces opérations coûtent du temps et de l'argent.

Quelles sont les options ?

En fait, les problèmes mentionnés ci-dessus doivent être résolus quelle que soit la méthode de production choisie, de la pièce unique à la production de masse. Et comme la fabrication de cartes est un processus complexe, il existe de nombreuses entreprises qui proposent des services pour vous faciliter la tâche. Bien entendu, tout a un prix et il vous appartient de trouver le bon compromis entre le coût, le temps et la tranquillité d'esprit.

Mise en commun des PCBA

Certains fabricants de circuits imprimés proposent également un service d'assemblage de circuits. Il s'agit de ce que l'on appelle les *PCBA houses*, où le « A » signifie assemblage. Ainsi, au lieu de leur commander un circuit imprimé nu, vous pouvez commander un circuit entièrement assemblé. Cela semble pratique, n'est-ce pas ? C'est vrai, mais cela a un coût et complique un peu l'approvision-



Figure 1. Carte de circuit imprimé avec les composants sélectionnés.



Figure 2. Station de soudure numérique.

nement en composants. Vous avez votre liste de composants et ils ont leur inventaire, et les deux ne correspondent pas sur toutes les lignes, et peut-être même pas sur une seule ligne. Vous devez donc vérifier soigneusement chaque pièce de votre liste de composants par rapport aux pièces proposées par l'atelier d'assemblage. Cette tâche prend beaucoup de temps. Et, bien entendu, toutes les pièces ne seront pas en stock ou même disponibles, ce qui entraîne des coûts et des retards incertains. Pour faciliter cette étape, vous pouvez adapter au préalable la conception de votre circuit au stock de composants du service d'assemblage.

La plupart des services de mise en commun de circuits imprimés proposent également des services d'assemblage (**figure 3**) et de recherche de composants, ce qui peut s'avérer très utile pour réduire la lourdeur de la tâche consistant à trouver puis à souder les composants. Souder quelques circuits imprimés peut être amusant, mais plus de quelques uns peut s'avérer fastidieux.

Tout comme la commande d'un PCB, la commande d'un assemblage est presque similaire, mais quelques détails supplémentaires sont requis par le fabricant, tels que le nombre de composants uniques, le nombre de pièces CMS et traversants, et ainsi de suite (**figure 4**). C'est une bonne pratique d'ajouter ces informations à la liste des composants et de mentionner leur type à côté de leur nom. Cela permet d'éviter toute erreur de la part du fabricant et de gagner du temps lors de l'exécution de la commande.

Le fabricant vous fournira un devis pour le service d'assemblage après que vous ayez fourni des informations sur les types et les quantités de composants, etc. Ce devis n'inclut pas le coût des composants. Une fois que vous avez passé votre commande, l'équipe d'assistance du fabricant intervient et vous indique si les composants et leurs références correspondent ou non à votre carte. Elle vous fournira alors un devis pour les composants.

Pour économiser de l'argent sur les composants, il est nécessaire d'examiner attentivement les prix et de les comparer à d'autres sources telles que Mouser, DigiKey et AliBaba (**figure 5**). Il est raisonnable de passer par le service d'assemblage si les composants sont à un prix raisonnable. En général, certains composants ne seront pas disponibles et d'autres sont proposés à un prix supérieur au coût normal. Dans ce cas, il est préférable d'obtenir les composants auprès des revendeurs en ligne (sur AliBaba par exemple), car

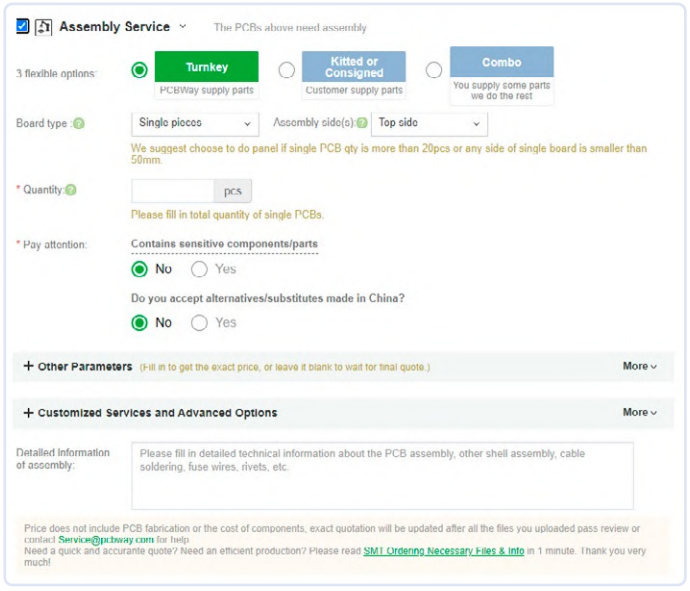


Figure 3. Types de services d'assemblage sur PCBWay.

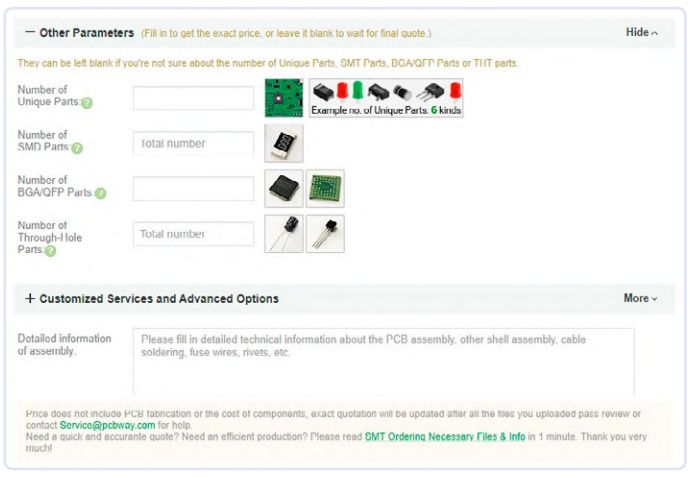


Figure 4 .Autres paramètres pour les services d'assemblage sur PCBWay.

Pooling

Les circuits imprimés sont fabriqués dans ce que l'on appelle un panneau de production. Le même panneau de production peut produire des circuits imprimés pour différents clients avec les mêmes spécifications. Nous appelons ce regroupement de commandes apparentées *pooling*. Le pooling favorise la flexibilité et réduit les coûts de fabrication.

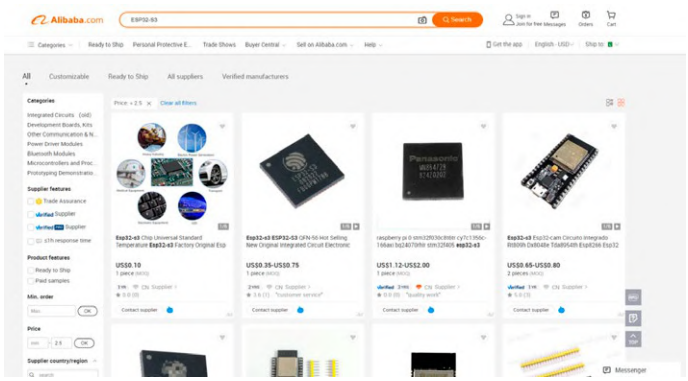


Figure 5. Vendeurs de composants chinois sur Alibaba.

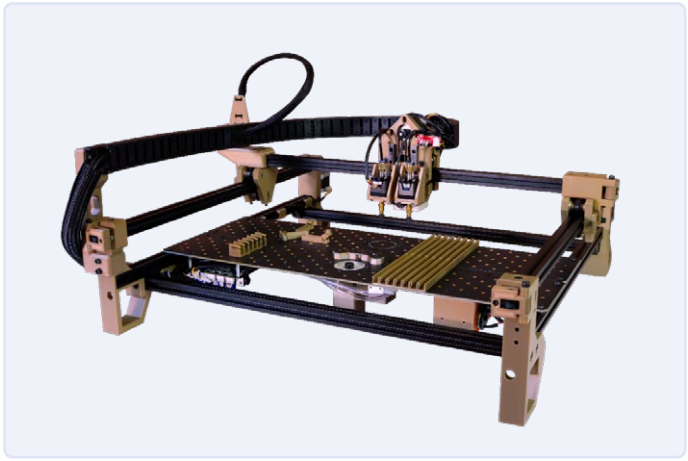


Figure 6. LumenPnP par Opulo.

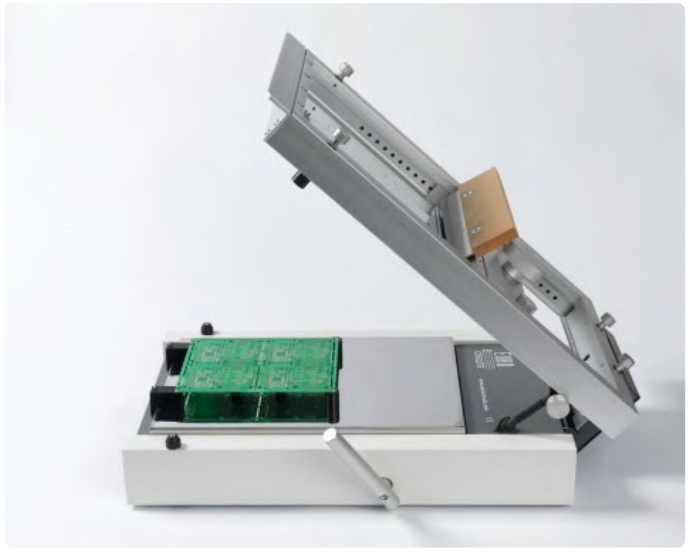


Figure 7. L'imprimante eC-stencil-mate d'Eurocircuits.

ils offrent généralement un prix beaucoup plus bas que le service d'assemblage (et qui peut souvent être encore réduit en négociant avec le revendeur). Il est préférable de demander des devis à trois revendeurs ou plus avant d'en choisir un.

Après avoir conclu un accord avec l'un des revendeurs, les composants doivent être envoyés au service d'assemblage. Assurez-vous donc que l'adresse du fabricant est correctement imprimée sur le colis. Demandez au revendeur de partager une photo du colis sur laquelle figurent l'adresse et le numéro de suivi. Cela permet de s'assurer que tout est en ordre et que l'envoi peut être suivi. Il est conseillé de communiquer le numéro de suivi et la photo du colis à l'équipe d'assistance du service d'assemblage. Cela permet d'éviter tout retard dans le traitement des commandes. Une communication efficace avec le fabricant et le revendeur de composants garantit un processus d'assemblage sans heurts.

Services cinq étoiles

D'autre part, il existe des entreprises qui prennent votre liste de composants et achètent toutes les pièces pour vous. Comme elles ont de nombreux clients, elles peuvent acheter des volumes plus importants que vous, ce qui fait baisser le prix. Ces entreprises peuvent également commander les circuits imprimés pour vous, ce qui vous permet d'éliminer une autre tâche de votre liste. Elles peuvent également assembler les cartes pour vous, les programmer et les tester. Certaines d'entre elles peuvent même stocker et expédier les cartes pour vous. Mais, comme d'habitude, ces services ont un coût. Même s'ils sont très pratiques, il y a un hic : beaucoup de ces entreprises n'acceptent que des commandes à partir d'une centaine de cartes, ce qui est peut-être trop pour ce que vous aviez en tête. En outre, elles n'acceptent parfois que des clients professionnels, ce qui signifie que vous devez d'abord créer une entreprise.

Assemblage maison ?

Assembler soi-même les circuits imprimés peut être la solution la plus économique, si l'on ne compte pas les heures qu'il faut y consacrer. En particulier pour les cartes CMS, toutes sortes d'outils d'assemblage bon marché ont vu le jour, depuis les petites machines de positionnement, les imprimantes de pâte à braser jusqu'aux fours de refusion et aux plaques chauffantes. Pour quelques milliers d'euros, vous êtes opérationnel. Mais cela vaut-il la peine d'investir autant lorsque vous n'avez qu'une centaine de cartes à réaliser ? Ou comptez-vous sur des commandes ultérieures ? Si ce n'est pas le cas, vous pouvez vous contenter d'un fer à souder. Dans ce cas, achetez au moins un aspirateur de fumées de soudure.

LumenPnP d'Opulo (**figure 6**) est l'une des options pour votre ligne d'assemblage CMS. Il s'agit d'une machine *pick-and-place* (PnP) open source, facile à installer et abordable qui, surtout, ne prend pas trop de place dans votre labo. Il s'agit donc d'un bon choix pour les fabricants et les amateurs. D'autres options open-source incluent OpenPnP et SimplePnP, etc.

L'obtention et l'utilisation de ces solutions PnP ne constituent pas la fin de l'histoire, mais ouvrent au contraire un tout nouveau chapitre. Vous aurez besoin d'autres outils pour manipuler les pochoirs de pâte à braser (**figure 7**), pour préchauffer de circuits imprimés (**figure 8**), un four à refusion (**figure 9**) et un banc de test pour les cartes finies. Tout cela semble intéressant, mais il faut savoir que ces outils doivent être programmés et configurés pour chaque carte. Vous devrez faire des essais pour vous assurer que la configuration et les paramètres sont importés correctement

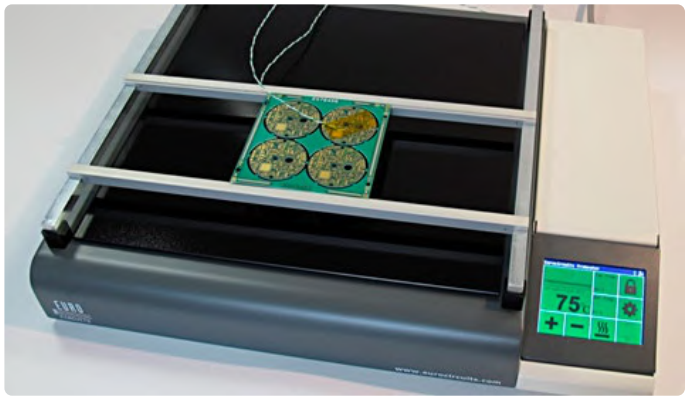


Figure 8. Le préchauffeur eC et le cube à fumée eC d'Eurocircuits.



Figure 9. Le four de refusion à infrarouge T-962.

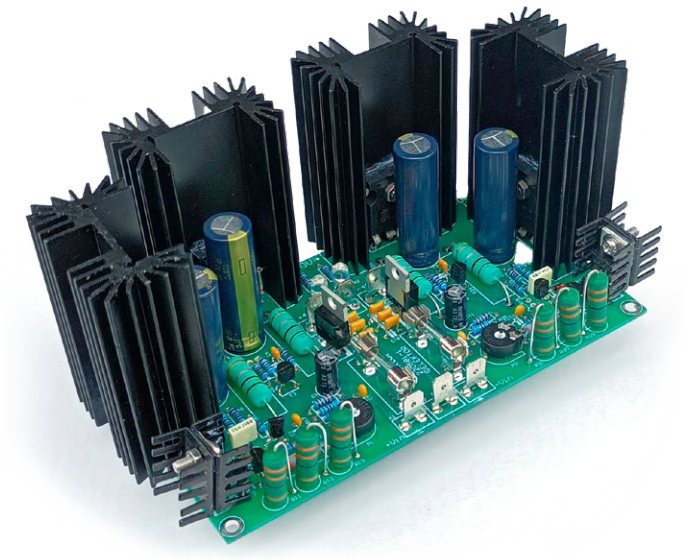


Figure 10. Circuit imprimé entièrement assemblé : le kit de régulateur de tension linéaire Elektor ±40 V.

Comparaison des différents services de PCB

Beta Layout : se distingue par sa gamme complète de services en matière de circuits imprimés. Elle propose des options de fabrication de circuits imprimés, d'assemblage et même d'impression 3D. Beta Layout offre une production rapide et fiable, avec une large gamme de matériaux et de finitions disponibles. Son site Web convivial comporte un visualiseur gerber en ligne, qui facilite l'examen et la vérification des conceptions. En outre, Beta Layout propose un outil de vérification des règles de conception (DRC) pour faciliter la validation des conceptions.
https://eu.beta-layout.com

Eurocircuits : connue pour ses services de fabrication et d'assemblage de circuits imprimés de haute qualité. Elle propose un large éventail d'options de circuits imprimés, y compris des prototypes et des séries de production. Elle propose également une plateforme en ligne conviviale avec des prix instantanés et un délai d'exécution rapide. L'accent mis sur l'assistance à la clientèle et les vérifications approfondies des règles de conception garantissent des résultats optimaux. Eurocircuits propose également un outil de visualisation qui permet aux utilisateurs de revoir la conception de leur circuit imprimé avant la fabrication.
https://eurocircuits.com

JLCPCB : connu pour ses prix compétitifs et sa fabrication de haute qualité. Elle propose un large éventail d'options pour les circuits imprimés, y compris des prototypes et des séries de production plus importantes. JLCPCB propose une plate-forme de commande en ligne facile à utiliser et prend en charge plusieurs formats de fichiers. Ses processus étendus de contrôle de la qualité, tels que l'inspection optique automatisée (AOI), garantissent une fabrication fiable des circuits imprimés.
https://jlcpcb.com

OSH Park : un service de fabrication de circuits imprimés axé sur la communauté et connu pour ses cartes distinctives de couleur violette. Il est spécialisé dans la fabrication de circuits imprimés prototypes et fournit des résultats de haute qualité en accordant une attention particulière aux détails. OSH Park dispose d'un site web convivial où les utilisateurs peuvent télécharger leurs conceptions et consulter un rendu visuel du circuit imprimé fabriqué. L'entreprise privilégie la transparence et propose des projets partagés pour recueillir les commentaires de la communauté.
https://oshpark.com

PCBWay : un choix populaire pour la fabrication de circuits imprimés en petite quantité en raison de son prix abordable et de ses délais d'exécution rapides. L'entreprise propose un processus de commande en ligne simplifié, avec calcul des prix en temps réel et devis instantané. PCBWay prend en charge une variété d'options de circuits imprimés, y compris les cartes flexibles et rigides-flexibles. Son site web propose également une visionneuse gerber en ligne et une fonction de vérification des règles de conception pour garantir l'exactitude de la conception.
https://pcbway.com

Résumé et recommandations :
Le choix du bon service de *pooling* de circuits imprimés dépend des exigences spécifiques du projet, du budget et des caractéristiques souhaitées. D'après la comparaison entre les services de *pooling* susmentionnés, PCBWay est le moins cher du groupe s'il s'agit de commander 10 PCB ou moins, mais au-delà, tous les autres services coûtent pratiquement la même chose. JLCPCB arrive en deuxième position en termes de prix, et ces services proposent généralement une offre très pratique. Tenez compte de facteurs tels que le prix, les capacités de fabrication, le délai d'exécution, les mesures de contrôle de la qualité et l'assistance à la clientèle. Il est également utile d'examiner les commentaires et les évaluations des utilisateurs pour chaque service.

Conseils pour une meilleure conception des circuits imprimés

Lorsque vous cherchez à concevoir des circuits imprimés rentables, le fait de prêter attention à des détails techniques spécifiques et aux normes industrielles peut grandement optimiser votre approche. Voici quelques conseils et astuces précieux à prendre en compte :

Largeur de piste et espacement : suivez les directives de la norme IPC-2221 [1] concernant la largeur de piste et la capacité de transport actuelle souhaitée. En ce qui concerne l'espacement (dégagement) entre les pistes, les pastilles ou les composants, maintenez une distance minimale de 0,2 mm pour les conceptions à basse tension (<50 V) dans un environnement standard [2].

Tolérances de fabrication : assurez-vous que votre conception respecte les tolérances de fabrication spécifiées par le fabricant. Confirmez que les dimensions, l'espacement et la taille des trous pour les composants et les trous d'interconnexion se situent dans des limites acceptables afin d'éviter les problèmes de fabrication.

Contrôle de l'impédance : pour les conceptions à haute fréquence ou les applications nécessitant un contrôle de l'impédance, calculez la largeur de la trace et la séparation en fonction de l'impédance caractéristique souhaitée, de la constante diélectrique du substrat et de l'épaisseur du cuivre. Utilisez des calculatrices en ligne ou des logiciels spécialisés pour déterminer les dimensions exactes des pistes.

Alignement du masque de soudure et de la sérigraphie : veillez à l'alignement correct entre le masque de soudure et les couches de sérigraphie. Veillez à ce que la conception tienne compte de la tolérance d'alignement spécifiée par le fabricant afin de préserver l'aspect visuel et la faisabilité.

Panneautage : optimisez la production de faibles volumes en panneautant plusieurs circuits imprimés sur un seul panneau. Respectez les directives du fabricant pour la mise en panneaux afin d'assurer une fabrication efficace et une réduction des coûts.

Empreintes des composants : utilisez des empreintes de composants normalisées pour garantir la compatibilité et réduire les coûts de fabrication. Vérifiez que les empreintes correspondent aux composants spécifiques que vous avez l'intention d'utiliser, en vous référant aux bibliothèques de normes industrielles ou aux recommandations des fabricants de composants pour plus de précision.

Testabilité : concevez le circuit imprimé [3] en tenant compte de la testabilité afin de réduire les coûts de test et de débogage. Incorporez des points de test, des zones d'accès aux sondes et des capacités d'autotest intégré (BIST), le cas échéant. Cela permet de réaliser des tests efficaces au cours de la fabrication, en réduisant au minimum la nécessité d'une reprise ou d'un dépannage coûteux.

depuis votre logiciel de conception. Ensuite, il faut remplir les chargeurs de la machine PnP avec les composants et surveiller le processus pour s'assurer que la machine fonctionne correctement, qu'elle ne manque pas de composants et qu'elle les place au bon endroit. Tout cela peut réduire la charge de travail par rapport à la soudure manuelle, mais elle peut aussi s'avérer fastidieuse, car elle nécessite une surveillance continue si vous ne voulez pas être déçu au retour d'une pause café. Dans l'ensemble, il s'agit d'une configuration intéressante, mais si vous ne souhaitez pas vous engager dans cette voie, vous avez toujours la possibilité de faire appel à des services de PCBA.

Quelle que soit l'option choisie, la vue d'un circuit imprimé entièrement assemblé (**figure 10**) est toujours satisfaisante !

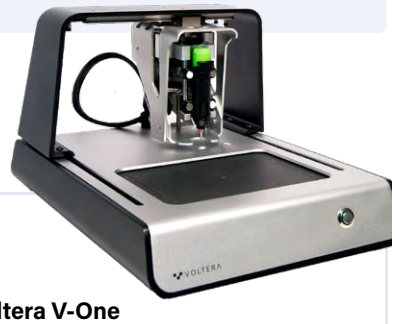
230477-04

Questions ou commentaires ?

Si vous avez des questions techniques ou des commentaires sur cet article, n'hésitez pas à contacter l'équipe éditoriale d'Elektor à l'adresse redaction@elektor.fr.

À propos de l'auteur

Saad Imtiaz (ingénieur sénior, Elektor) est un ingénieur mécatronicien qui a cinq ans d'expérience dans les systèmes intégrés, les systèmes mécatroniques et le développement de produits. Il a collaboré avec plus de 200 entreprises, allant des startups aux entreprises mondiales, sur le prototypage et le développement de produits. Saad a également travaillé dans l'industrie aéronautique et a dirigé une startup technologique. Il a récemment rejoint Elektor et dirige le développement de projets dans les domaines du logiciel et du matériel.



Produits

- **Imprimante de PCB Voltera V-One**
  https://www.elektor.fr/voltera-v-one-desktop-pcb-printer
- **Four de refusion à infrarouge T-962 (version améliorée d'Elektor)**
  https://www.elektor.fr/infrared-reflow-oven-t-962-revised-elektor-version
- **Station de dessoudage numérique ZD-915**
  https://www.elektor.fr/digital-desoldering-station-zd-915
- **Support pour circuit imprimé Weller ESF 120ESD**
  https://www.elektor.fr/weller-esf-120esd-pcb-holder

LIENS

[1] Application des normes IPC-2221 à la conception des circuits imprimés [PDF] : https://tinyurl.com/ipc2221a
[2] Conception d'un motif de circuit imprimé conforme à la norme IPC-7351 : https://tinyurl.com/ipc7351
[3] Conseils pratiques pour l'agencement des circuits imprimés que tout concepteur doit connaître : https://tinyurl.com/pcbtips

PRÉCOMMANDEZ DÈS **MAINTENANT !**

SPECTRAN® V6

BEYOND REALTIME

REALTIME SPECTRUM ANALYZER **5G**

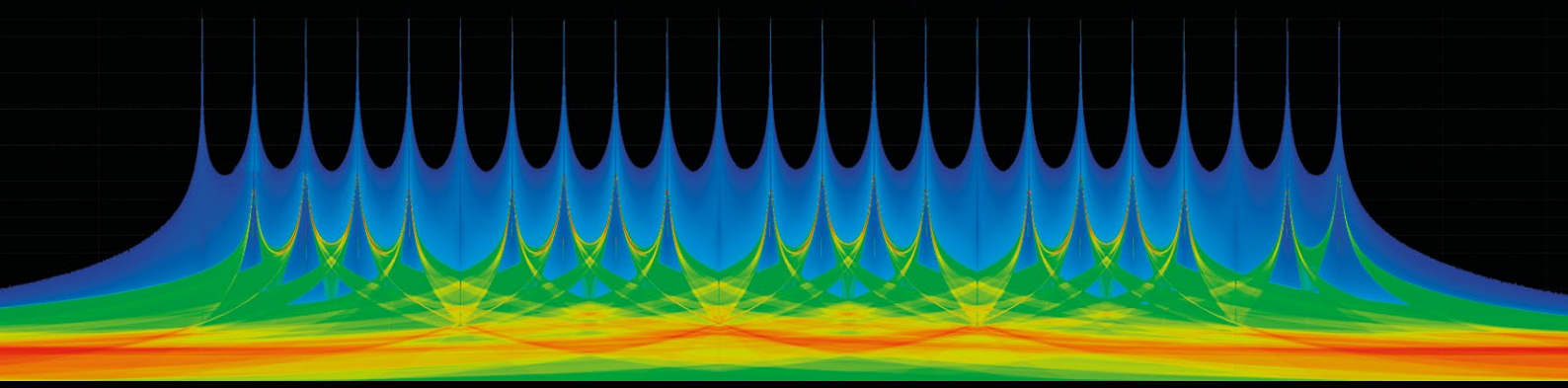
Analyseur de spectre USB en temps réel **53 GHz** (FR1 & FR2)

250 MHz - 53 GHz | Double récepteur | **3 THz/s** sweep | **450 MHz** IBW | **16-Bit 2 GSPS** ADC | **IQ** streaming

-170 dBm/Hz DANL (4 dB NF) | Format **USB** compact | Inclut le puissant logiciel **RTSA-Suite PRO**



Chaque appareil est équipé du logiciel d'analyse de spectre le plus avancé au monde, **"RTSA-Suite PRO".**



MADE IN GERMANY

www.aaronia.com
mail@aaronia.de
+49 6556 900 310

AARONIA AG
WWW.AARONIA.DE

(Développeur en conception, logiciels et plus)

simulation IdO simplifiée avec Wokwi

le développeur Uri Shaked parle de design, de logiciels et d'autres choses encore

Questions de Roberto Armani (Elektor)

Vous souhaitez simuler des processeurs et des cartes ? Découvrez Wokwi, un simulateur open-source innovant pour les systèmes embarqués et les appareils IdO. Son auteur, Uri Shaked, parle de la solution, ainsi que de son parcours et de ses centres d'intérêts.

Elektor : tout d'abord, merci pour votre temps, Uri. Pourriez-vous nous parler de vous, de votre parcours ? Où vous trouvez-vous actuellement ?
Uri Shaked : je suis ingénieur en logiciel, basé en Israël. Enfant, je démontais toujours mes jouets, curieux de savoir comment ils fonctionnaient. En CE2, j'ai cassé mon ordinateur PC/XT. J'avais envie d'apprendre à le réparer et ma tante m'a acheté un livre sur MS-DOS. Les deux derniers chapitres étaient une brève introduction à QBasic. J'ai été séduit. À partir de là, j'ai continué à programmer tous les jours.

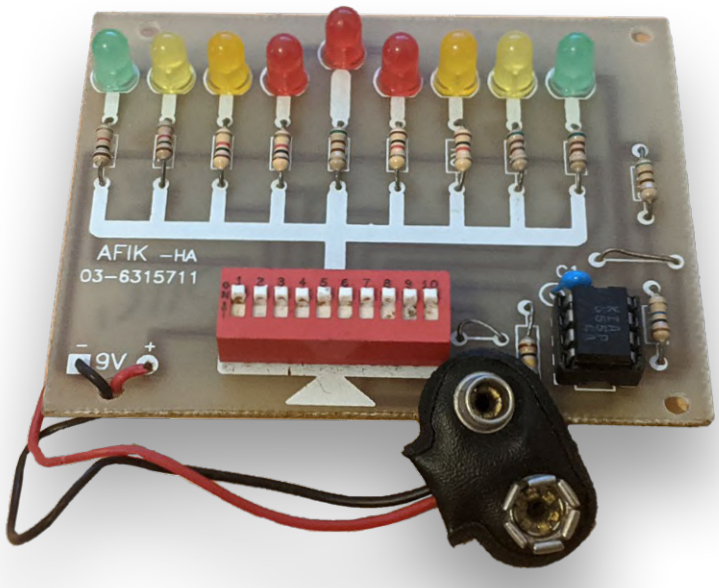


Figure 1. Mon projet de Menorah de Hanoukka, que j'ai assemblé en CM1 et qui est toujours fonctionnel !

Elektor : qu'est-ce qui a déclenché votre intérêt pour l'électronique ? S'agissait-il d'un projet spécifique, d'un cours particulier, de la passion d'un parent pour l'électronique ou peut-être d'un professeur ?
Uri Shaked : à l'école primaire, nous avions un cours hebdomadaire d'électronique. Il s'agissait d'un cours très pratique : nous apprenions à souder et à assembler des circuits imprimés que le professeur nous donnait, tout en apprenant les bases. Je me souviens encore à quel point j'aimais ces cours, et du sentiment d'accomplissement que je ressentais lorsque je tenais un projet terminé dans ma main (**figure 1**). En effet, ces leçons m'ont apporté les connaissances et l'expérience fondamentales et m'ont transmis la passion.

Elektor : personne n'oublie son « premier amour ». Parlez-nous de votre premier projet fonctionnel en électronique. Sur quoi avez-vous travaillé et pourquoi ?
Uri Shaked : lorsque j'étais en quatrième, je passais beaucoup de temps sur les serveurs de discussion IRC. Un jour, un ami a partagé un lien expliquant comment construire un système de haut-parleurs à partir de vieux disques durs en connectant le moteur de l'actionneur directement à un amplificateur. L'idée m'a fasciné et j'ai décidé de construire le mien. La qualité du son n'était pas parfaite, mais après quelques essais et erreurs, j'ai découvert qu'en plaçant un pot lourd sur le disque dur, la qualité du son et le volume s'en trouvaient grandement améliorés (le son résonnait à travers le corps du pot). Je me suis retrouvé avec une tour de pots dans le salon, jouant le vinyle de Pink Floyd de ma mère à travers cette configura-

tion. Inutile de préciser qu'elle n'était pas contente. Au fil des ans, les disques durs ont continué à être un thème dans mes projets, par exemple dans mon premier projet de microcontrôleur, un affichage de persistance de la vision à base d'un PIC18 monté sur disque dur ou, comme vous pouvez le voir dans la **figure 2**, l'un de mes premiers projets Arduino, un xylophone [1] alimenté par un disque dur qui jouait des chansons sur des bouteilles de bière recyclées.

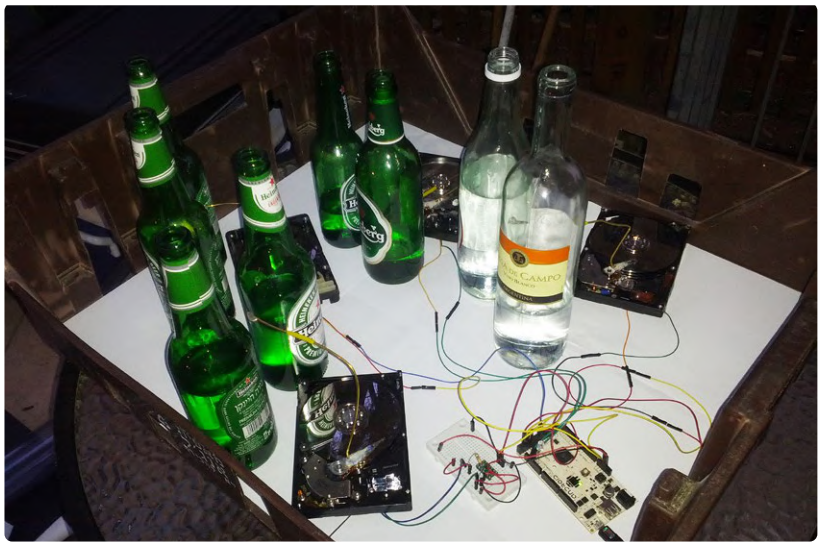


Figure 2. Le Xylophone alimenté par un disque dur.

Elektor : les ingénieurs et les programmeurs apprennent beaucoup de leurs erreurs. Certains de vos projets ont-ils tourné au désastre ? Avez-vous quelque chose à dire là-dessus ?
Uri Shaked : sans aucun doute mon projet GeekCon. La GeekCon est un événement qui se déroule sur un week-end et au cours duquel un groupe d'intellos se réunit pour construire des objets inutiles mais géniaux. Le but est d'échouer, comme le dit la devise, « si votre projet n'a pas échoué, c'est que vous n'avez pas visé assez haut ». En 2018, nous avons essayé de construire un robot qui joue de la trompette [2]. Nous avons utilisé un gant en latex rempli d'eau pour fabriquer des lèvres artificielles, un pot de pâtes pour un régulateur de débit d'air, et des servomoteurs à engrenages métalliques très résistants pour contrôler les doigts artificiels (**figure 3**). Une minute avant la présentation du projet final, il y a eu une fuite et deux des servomoteurs ont lâché. Un échec cuisant. Je n'aime pas échouer, alors je suis rentré chez moi et j'ai passé le mois suivant à essayer de réparer le robot. J'ai promis de l'apporter à l'événement annuel des développeurs de Chrome, le Chrome Dev Summit. J'ai fini par trouver comment fabriquer un mécanisme robuste pour les doigts, mais le mécanisme des lèvres était si délicat que je n'arrivais pas à le faire fonctionner. J'ai fini par « tricher », en utilisant un Raspberry Pi qui jouait des échantillons de trompette préenregistrés à travers l'embouchure. Mais au moins, le résultat final sonnait bien, et mon robot a beaucoup amusé les participants du Chrome Dev Summit [3].



Figure 3. Mon ami Avi avec notre robot trompette, quelques secondes avant qu'il n'explose !

Elektor : quelqu'un a dit un jour qu'« un bureau propre est le signe d'un esprit malade ». Auriez-vous le courage de nous montrer une photo de votre lieu de travail ?
Uri Shaked : la **figure 4** représente ce à quoi ressemblait mon bureau lorsque j'ai essayé de construire une version réelle du jeu « Offline Dinosaur » [4] de Google Chrome. Mon vrai problème était le stockage des composants. J'avais plus de 4 600 items, conservés dans 40 boîtes de rangement différentes, suivis dans plusieurs feuilles de calcul Excel, consommant un espace précieux dans mon petit appartement. L'année dernière, nous avons déménagé, et j'ai décidé de donner presque tout à un maker space

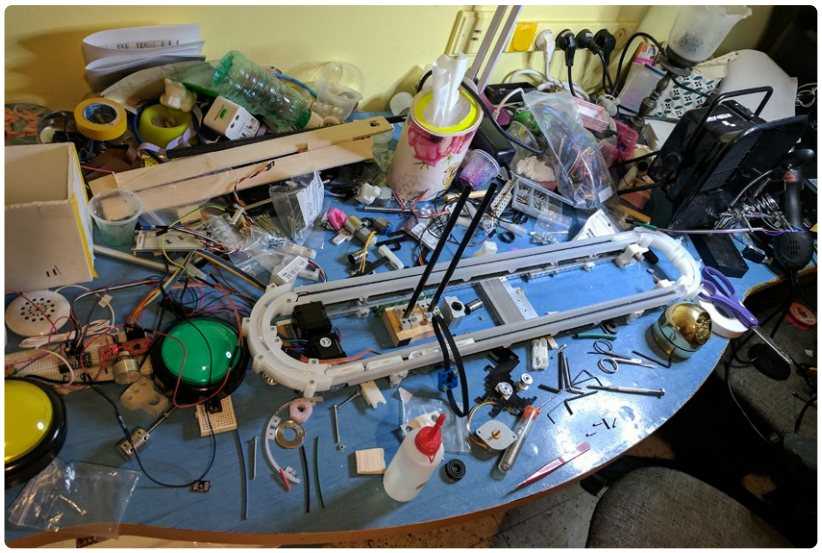


Figure 4. Mon espace de travail bien rangé…

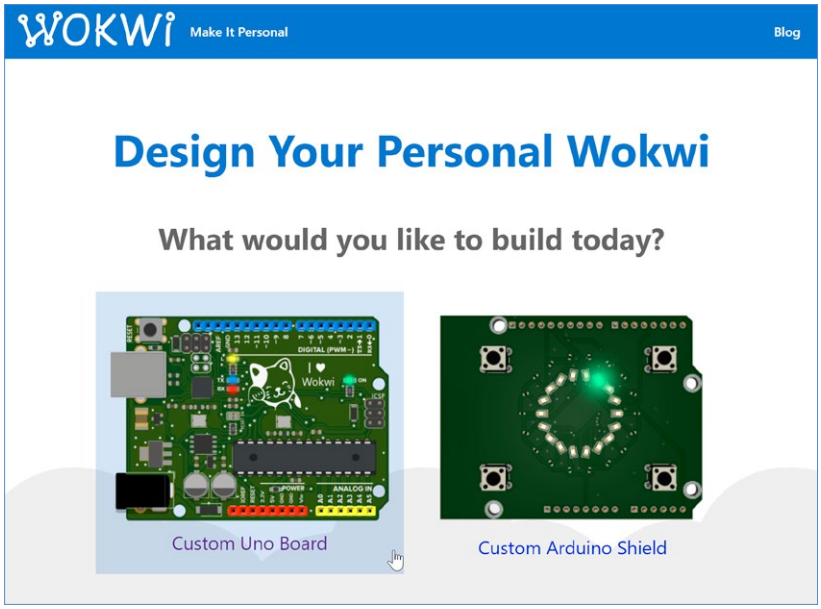


Figure 5. L'ancienne page d'accueil de Wokwi.

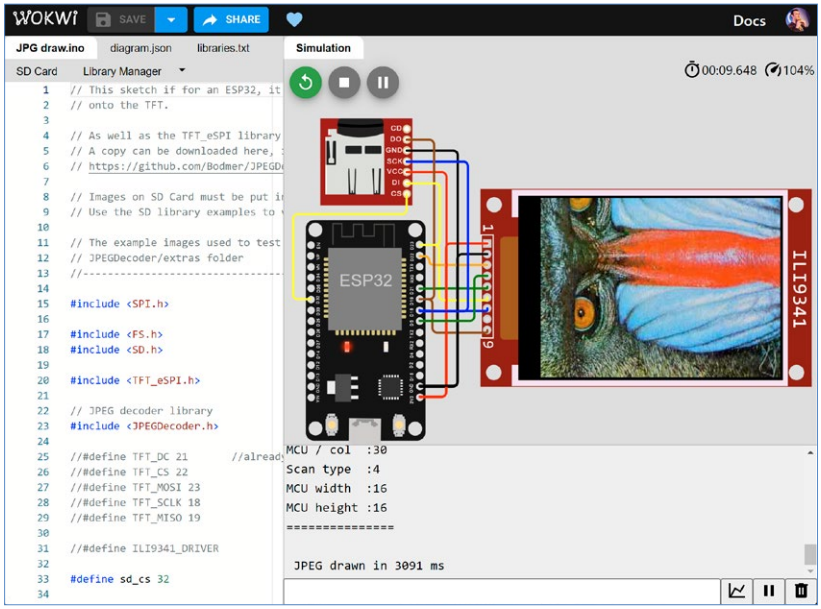


Figure 6. Wokwi aujourd'hui.

local. Aujourd'hui, j'utilise principalement des pièces virtuelles. J'ai encore quelques Raspberry Pi, un analyseur logique Saleae, et une petite collection de microcontrôleurs (ESP32s, STM32s, Raspberry Pi Picos, et Arduino), me permettant de comparer le comportement de la puce physique avec celui de la puce simulée.

Elektor : si vous deviez suggérer aux débutants quelques « trucs et astuces » sur l'aménagement d'une bonne espace de travail, que diriez-vous ?
Uri Shaked : ayez une bonne alimentation électrique !

Elektor : passons à Wowki. Qu'est-ce que c'est ? D'où vient le nom ? Qu'est-ce qui vous a amené à le créer ?
Uri Shaked : Wokwi est un simulateur pour les systèmes embarqués et les appareils IdO. Il existe une version en ligne gratuite, ainsi qu'un plugin Visual Studio Code. Wokwi peut simuler un ESP32, Raspberry Pi Pico, STM32, Arduino, et un tas d'autres microcontrôleurs, ainsi qu'une grande variété de dispositifs d'entrée et de sortie : écrans LCD, capteurs, moteurs, LED, boutons, haut-parleurs, potentiomètres, et plus encore. Comme vous pouvez le voir sur la **figure 5**, Wokwi a débuté comme un service qui vous permet de fabriquer des cartes Arduino personnalisées avec une interface facile à glisser-déposer. Commencez à partir d'un modèle de carte, ajoutez des périphériques (LED, capteurs, etc), placez-les dessus, et nous transformons votre conception en un circuit imprimé, nous le fabriquons et l'assemblons, et nous vous l'expédions. J'ai commencé à bloguer sur Arduino pour aider à faire passer le mot, et je voulais vraiment inclure des démonstrations interactives et en direct dans mes articles. Je n'ai pas trouvé de bonne solution pour partager facilement des projets Arduino et les simuler sur le web. J'ai donc commencé à travailler sur une bibliothèque JavaScript open-source capable de simuler le microcontrôleur ATmega328P. Le reste appartient à l'histoire. Sur la **figure 6**, vous pouvez voir à quoi cela ressemble aujourd'hui. Lorsque j'ai choisi le nom de Wokwi, j'ai cherché un mot court, facile à prononcer et qui n'avait pas encore de signification.

Elektor : qui s'en sert ? Son utilisation est-elle totalement gratuite ?
Uri Shaked : environ 55 % des utilisateurs sont des amateurs, 35 % sont des étudiants et des enseignants (universités et lycées) et 10 % sont des professionnels en microprogrammation. Certains cas d'utilisation populaires sont le prototypage de systèmes IdO (MQTT, Blynk, Thingsboard, IBM Cloud), les cours et ateliers en ligne (par exemple le cours *Making Embedded Systems*), et nous constatons un intérêt croissant de la part de la communauté Embedded Rust. Wokwi a une version gratuite et une version payante (*The Club*). La version gratuite est très performante, et possède les mêmes capacités de simulation que la version payante. La version payante ajoute le téléchargement de fichiers et de bibliothèques, le réseau local pour l'ESP32, et la possibilité de sauvegarder des projets privés (non listés).

Elektor : quels sont les éléments ou les aspects du développement et de la conduite du projet Wokwi qui se sont avérés les plus difficiles ?
Uri Shaked : Wokwi vise à simplifier les systèmes complexes et à offrir une excellente expérience à l'utilisateur. Au lieu de télécharger et d'installer des compilateurs, des pilotes de système d'exploitation, de se battre avec les autorisations, les câbles USB défectueux et les connexions bancales, il vous suffit de cliquer sur un bouton. Votre code se compile « comme par magie » et vous pouvez voir le résultat dans votre navigateur web. Pour créer ce type d'expé-

rience « ça marche tout seul », nous devons gérer nous-mêmes une grande partie des complexités. Nous configurons la chaîne d'outils du compilateur dans le cloud pour de multiples plateformes (par exemple Rust, Arduino, ESP-IDF, verilog), nous nous assurons qu'elle fonctionne rapidement à grance échelle (nous exécutons environ 2,3 millions de compilations par mois), et nous faisons la chasse aux bogues mystérieux. Par exemple, le mois dernier, j'ai passé une journée à comprendre pourquoi l'utilisation d'une bibliothèque spécifique dans un projet Arduino provoquait le blocage du serveur. Il s'est avéré qu'il y avait un problème avec l'Arduino CLI [5] qui provoquait un blocage lors de l'installation de cette bibliothèque. Offrir une bonne expérience utilisateur signifie également aider les utilisateurs à comprendre pourquoi le code ne fonctionne pas comme ils l'attendent. Je pense que nous avons encore un long chemin à parcourir, mais des fonctionnalités telles que l'analyseur logique virtuel, et la fonction Pin Function Dump récemment ajoutée sont absolument un pas en avant.

Elektor : avez-vous un projet de simulation préféré ? Parlez-nous en.
Uri Shaked : difficile de choisir, mais si je devais n'en retenir qu'un, ce serait 32 Servos Dancing [6], également visible sur la **figure 7**, qui est un Arduino Mega contrôlant 32 servos et animant leurs bras. C'est plutôt un projet artistique qu'utile et c'est ce que j'aime dedans. Le construire dans la vraie vie nécessiterait une alimentation puissante et de dépenser quelques centaines d'euros en pièces détachées, mais, dans le simulateur, c'est une évidence. Il suffit de cliquer sur *Play* pour le voir à l'œuvre. Pour pimenter les choses, même le diagramme de ce projet a été généré par le code Arduino. Jetez un coup d'œil à la fonction `GenerateDiagram()`, qui utilise des fonctions trigonométriques pour placer les servos. Elle imprime un fichier JSON, que vous pouvez ensuite coller dans *diagram.json* dans votre projet Wokwi, fournissant à la fois le circuit et sa représentation visuelle. C'est ce que j'appelle de l'ingénierie innovante ! En parlant de créativité des utilisateurs : Wokwi fournit une *Custom Chips API* [7], vous permettant de coder de nouveaux modèles de simulation pour des pièces qui n'existent pas encore dans Wokwi. L'API fournit une interface `framebuffer`, qui vous permet de créer vos propres écrans (LCD, E-Paper, etc.). Ce que je n'avais pas prévu, c'est que les utilisateurs créeront leur propre oscilloscope en utilisant l'interface framebuffer, comme le montre la **figure 8**.

Elektor : l'ESP32 est un module assez complexe en soi. Parlez-nous de l'intégration de l'ESP32 dans votre projet. Cela a-t-il été difficile ?
Uri Shaked : wow, c'était une question difficile. L'ESP32 utilise le jeu d'instructions Xtensa, qui en contient plus de 250. La première étape a consisté à écrire du code pour décoder et simuler chacune d'entre elles, ce qui a représenté environ 4 500 lignes de code. Ensuite, j'ai créé un pont GDB (pour pouvoir déboguer le code exécuté dans le simulateur), et j'ai commencé à travailler sur les périphériques de la puce. Mon objectif initial était de passer la ROM et le bootloader, et d'exécuter l'application *Hello World* à partir de l'ESP-IDF. Après avoir implémenté l'UART, la SPI, les timers (TIMG), et quelques autres périphériques obscurs (DPORT, EFUSE), j'ai finalement pu obtenir la première sortie utilisable de la console série du simulateur. Le plus grand défi, cependant, était de simuler le Wi-Fi. Contrairement aux autres parties de la puce, le périphérique Wi-Fi n'est pas du tout documenté, et le code source des pilotes n'est pas disponible. Il a fallu des semaines de rétro-ingénierie intensive [8] pour découvrir les registres qui contrôlent la radio Wi-Fi et pour les simuler correctement. L'ESP32 est en train de devenir la puce la plus populaire sur Wokwi, et Espressif, la société à l'origine de l'ESP32, soutient fortement le projet. Leurs ingénieurs font avancer le support de Rust, en utilisant Wokwi dans leurs formations et ateliers, et font même connaître le simulateur dans des conférences professionnelles.

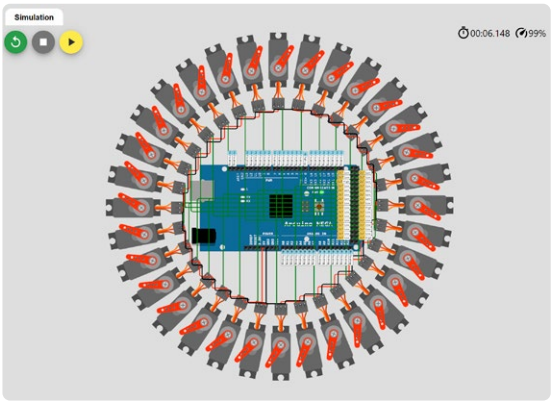


Figure 7. 32 servos dansants, pilotés par une carte Arduino Mega.

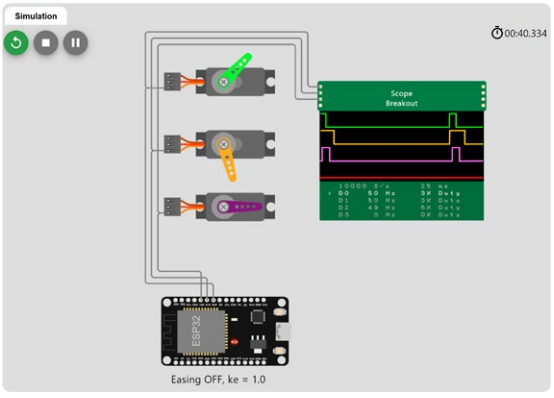


Figure 8. La puce Scope, montrant les signaux des servos en temps réel.

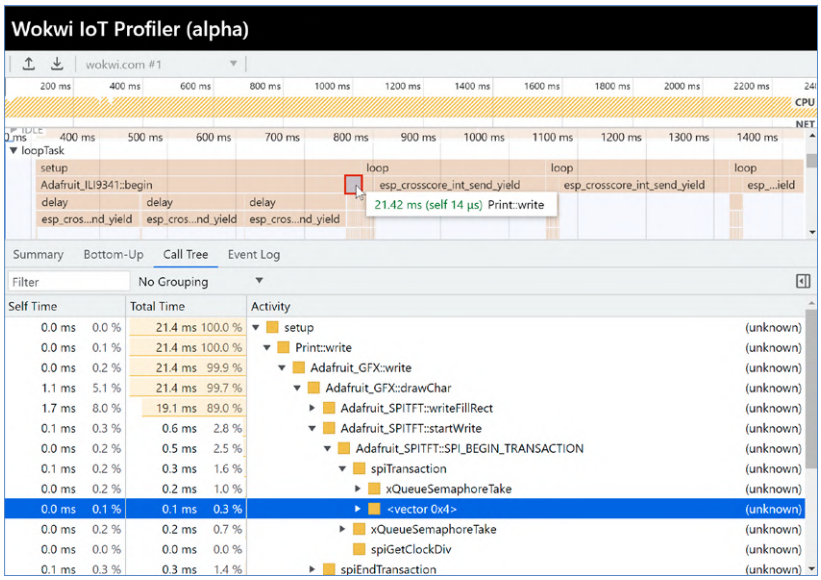
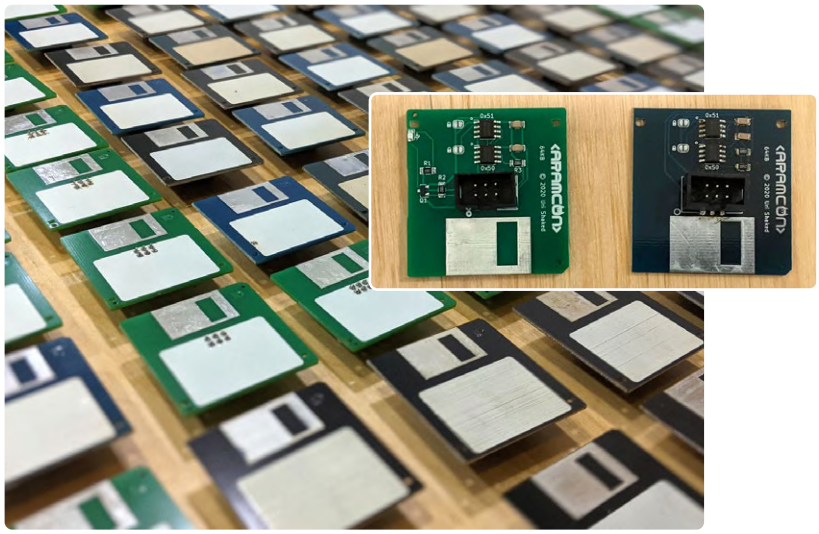


Figure 9. Wokwi Embedded Profiler (profileur embarqué).



▲

Figure 10. Les disquettes, avec un gros plan sur l'électronique (deux EEPROM, des cavaliers de soudure de verrouillage d'écriture, et une LED d'indication).

Elektor : parlez-nous de la réaction des utilisateurs à Wowki. Que faites-vous de leurs commentaires ?
Uri Shaked : nos utilisateurs sont généralement satisfaits du simulateur, qui leur fait gagner beaucoup de temps. Mais ils demandent toujours plus de fonctions, bien plus que ce que notre petite équipe peut gérer. Pour nous aider à nous concentrer sur ce qui est vraiment important pour les utilisateurs, j'ai ouvert la page « Votez pour de nouvelles fonctions » [9]. Tout le monde peut suggérer de nouvelles fonctions, et les gens peuvent voter avec leur argent pour les fonctions qui leur importent. Cela nous aide à établir des priorités, et c'est aussi un excellent moyen pour les utilisateurs de savoir ce qui les attend.

Elektor : où aimeriez-vous voir Wokwi dans les six à douze prochains mois ?
Uri Shaked : j'aimerais que Wokwi gagne en popularité auprès des utilisateurs professionnels. Au début de l'année, j'ai lancé Wokwi pour Visual Studio Code. Il vous permet d'exécuter la simulation directement dans votre IDE et de travailler beaucoup plus rapidement sur votre code. Je vois déjà des développeurs Rust l'utiliser pour améliorer leur productivité. Wokwi peut également s'intégrer au débogueur de VS Code et, contrairement au matériel réel, vous pouvez définir un nombre illimité de points d'arrêt. Je travaille actuellement sur un nouveau profileur embarqué, voir **figure 9**. Wokwi trace votre code pendant qu'il s'exécute dans le simulateur. Vous pouvez voir quelles fonctions sont appelées, dans quel ordre, et combien de temps le microcontrôleur passe dans chaque fonction. Je prévois également d'étendre la gamme ESP32 (avec ESP32-H2, ESP32-P4), d'ajouter de nouveaux dispositifs STM32, et peut-être d'entrer en contact avec d'autres fournisseurs de silicium et d'ajouter leurs microcontrôleurs également. Enfin, j'aimerais voir Wokwi utilisé dans des environnements CI (intégration continue). L'idée est de tester votre code embarqué à chaque validation. C'est beaucoup plus facile à mettre en place et à faire évoluer avec Wokwi, comparé au maintien d'une installation matérielle physique. J'utilise déjà une configuration CI en interne pour m'assurer que les composants critiques, tels que l'ESP32 Wi-Fi, ne se cassent pas avec les mises à jour du code et les nouvelles versions de l'ESP-IDF, et je travaille maintenant sur une CLI (interface de ligne de commande) pour Wokwi, afin de faciliter l'utilisation du simulateur dans les actions GitHub.

Elektor : vous semblez être à la fois un artiste et un ingénieur, comme on peut s'en rendre compte en lisant votre article intitulé *A Practical Guide to Designing PCB Art* **[10]. Parlez-nous de votre approche créative de l'art et de l'électronique.**
Uri Shaked : je suis assis avec des amis et je prépare un badge intelligent pour une conférence. Après avoir discuté du matériel à ajouter au badge, quelqu'un mentionne qu'il serait également intéressant que les participants puissent écrire de petits jeux pour le badge et disposer d'une sorte de magasin d'applications pour partager leurs créations. À ce moment-là, une idée a germé dans mon esprit. Nous n'avons pas besoin d'un magasin d'applications en ligne, nous pouvons créer un module matériel avec une petite puce EEPROM. Les participants écriront leurs applications et leurs jeux sur ce module, puis l'offriront à leurs amis pour qu'ils puissent copier le code sur leur badge. C'est ainsi qu'est né le module complémentaire Floppy Disk [11]. Une fois que j'ai eu l'idée, il m'a suffi de rechercher les dimensions d'une disquette, de dessiner un croquis avec Inkscape et de décider quelle couche de PCB utiliser pour chaque élément : la sérigraphie pour l'autocollant, du cuivre étamé (HASL) pour l'obturateur métallique et cuivre recouvert d'un masque de soudure pour le symbole HD. J'ai réalisé le schéma et le routage dans KiCad, et le résultat, eh bien, vous pouvez le voir sur la **figure 10**.

Elektor : avez-vous d'autres projets importants en vue ?

Uri Shaked : Tiny Tapeout [12]. Je travaille dessus avec Matt Venn, et notre objectif est de rendre le silicium personnalisé plus abordable et plus accessible. Vous pouvez créer une conception numérique avec Verilog ou utiliser Wokwi pour créer une conception à partir de portes logiques individuelles, puis renforcer votre conception à l'aide d'OpenLane (un outil de conception numérique open-source), et la soumettre pour qu'elle soit incluse dans notre puce. Nous prenons votre conception, ainsi que des centaines venant d'autres personnes, et nous combinons le tout en une conception de puce unique. Nous fabriquons ensuite les puces, les assemblons sur un circuit imprimé et vous envoyons une version physique. Le circuit imprimé que vous voyez à la **figure 11** comporte un ensemble de commutateurs DIP pour la sélection d'un modèle, de sorte que vous pouvez également jouer avec les

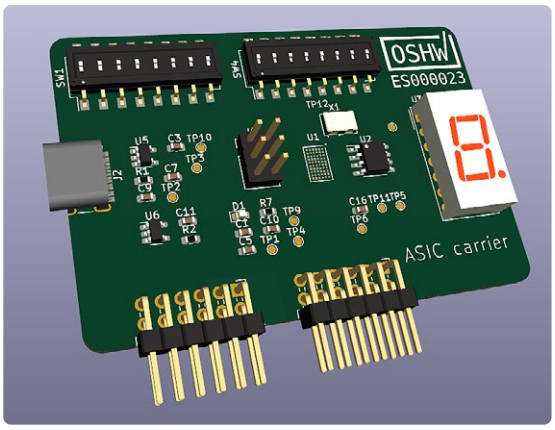


Figure 11. Tiny Tapeout breakout PCB (rendu préliminaire).

autres modèles de la puce. En fait, nous encourageons cela, toutes les conceptions sont open-source, et nous compilons une fiche technique avec toute la documentation. Nous commençons maintenant à collaborer avec des universités pour apporter Tiny Tapeout à leurs étudiants, et à créer du matériel pédagogique pour aider les amateurs et les passionnés de silicium à se familiariser avec les semi-conducteurs et la conception numérique. Plus tôt cette année, nous avons publié Siliwiz, une application open-source qui intègre un éditeur de disposition visuelle, un moteur DRC et une simulation SPICE, le tout fonctionnant à l'intérieur du navigateur. Il y a beaucoup plus à dire sur Tiny Tapeout, la communauté, et les conceptions créatives que nos utilisateurs mettent en place, mais, cette histoire est pour une prochaine fois !

VF : Maxime Valens - 230366-04



À propos d'Uri Shaked

Uri Shaked est un créateur de longue date. Il travaille actuellement sur Wokwi, une plateforme de simulation en ligne d'IdO et de systèmes embarqués, et sur Tiny Tapeout, qui rend la fabrication d'ASIC personnalisés abordable et accessible. Ses projets et son blog sont disponibles à l'adresse [13], ainsi que de nombreuses conférences techniques et interviews vidéo [14].



À propos de l'auteur

Roberto Armani est un ingénieur en électronique qui a plus de trente-cinq ans d'expérience dans différents secteurs. Avant de rejoindre l'équipe d'Elektor en tant que rédacteur, il a acquis de l'expérience et des connaissances dans l'industrie informatique, l'imagerie électronique, les télécommunications, les équipements d'essai des matériaux et la publication sur le web. Outre l'électronique, il aime écouter (et chanter) de la musique classique et faire des promenades en haute montagne.

LIENS

[1] Projet Arduino de Xylophone sur disque dur : https://youtu.be/dw9U0WxtK9c
[2] Expériences avec une trompette robotisée : https://bit.ly/3N2FfCz
[3] Démonstration de trompette au Chrome Dev Summit : https://youtu.be/PEVAczB9uUQ
[4] Version réelle du « Offline Dinosaur Game » de Google Chrome : https://bit.ly/3qgsifz
[5] Problèmes de CLI avec Arduino : https://github.com/arduino/arduino-cli/issues/2135
[6] Projet de servos dansants : https://wokwi.com/projects/305336312628511297
[7] Puces personnalisées API : https://docs.wokwi.com/chips-api/getting-started
[8] Vidéo « Inversion de l'ESP32 Wi-Fi » : https://youtu.be/XmaT8bMssyQ
[9] Page de vote de Wowki : https://wokwi.com/features
[10] Guide pratique pour la conception de circuits imprimés : https://blog.wokwi.com/a-practical-guide-to-designing-pcb-art/
[11] Disquette Add-On : https://github.com/urish/floppy-disk-sao
[12] Tiny Tapeout: https ://tinytapeout.com
[13] Page web des projets d'Uri : https://urish.org/#projects
[14] Vidéos et interviews d'Uri : https://urish.org/#talks

Participez au STM32 Wireless Innovation CONTEST

Innovez pour gagner ! 5 000 € de prix !

Le concours STM32 Wireless Innovation Design Contest vous donne l'occasion de démontrer votre créativité et vos compétences en matière de conception en créant des applications sans fil passionnantes, à l'aide des puissantes cartes de développement et d'évaluation de STMicroelectronics.

Premier prix :
2 500 €

Deuxième prix :
1 500 €

Troisième prix :
1 000 €

Comment participer

1. Allez à www.elektormagazine.com/st-contest.
2. Choisissez l'une des cartes présentées.
3. Créez un projet innovant et documentez-le.
4. Ajoutez votre projet sur Elektor Labs.

Date limite de candidature : 19 février 2024

Les cartes

NUCLEO-WBA52CG

La NUCLEO-WBA52CG est une carte sans fil Bluetooth® Low Energy et ultra-basse consommation intégrant une radio puissante à faible consommation conforme à la spécification Bluetooth® Low Energy SIG v5.3. Le support de connectivité ARDUINO® Uno V3 et les barettes ST Morpho permettent d'étendre facilement les fonctionnalités de la plateforme de développement ouverte STM32 Nucleo, grâce à un large choix de cartes additionnelles spécialisées.

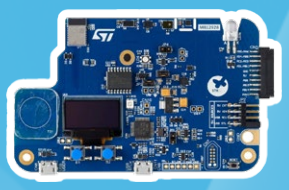


Caractéristiques

- Microcontrôleur sans fil STM32WBA52CG à très faible consommation basé sur le noyau Arm® Cortex®-M33, doté d'une mémoire flash de 1 Mo et d'une mémoire SRAM de 128 Ko, dans un boîtier UFQFPN48.
- Carte MCU RF (MB1863) :
  - Émetteur-récepteur RF de 2,4 GHz prenant en charge la spécification Bluetooth® v5.3
  - Processeur Arm® Cortex® M33 avec TrustZone®, MPU, DSP et FPU
  - Antenne PCB intégrée
- Trois leds pour l'utilisateur
- Trois boutons-poussoirs pour l'utilisateur et un de reset
- Connectique de la carte :
  - USB Micro-B
  - Connecteur d'extension ARDUINO® Uno V3
  - Connecteurs ST Morpho pour un accès complet à toutes les Entrées/Sorties du STM32
- Options d'alimentation flexibles : ST-LINK USB VBUS ou sources externes
- Débogueur/programmeur STLINK-V3MODS intégré avec réénumération USB
- Capacité de stockage de masse, port COM virtuel et port de débogage
- Bibliothèques logicielles gratuites et exemples complets disponibles avec le package MCU STM32CubeWB
- Prise en charge d'un large choix d'environnements de développement intégré (IDE)
- y compris IAR Embedded Workbench®, MDK-ARM, et STM32CubeIDE

STM32WB5MM-DK

Les cartes STM32 sont des systèmes sans fil multiprotocole et à très faible consommation, intégrant une radio puissante à très faible consommation conforme à la spécification Bluetooth® Low Energy (BLE) SIG v5.2 et à la norme IEEE 802.15.4-2011.

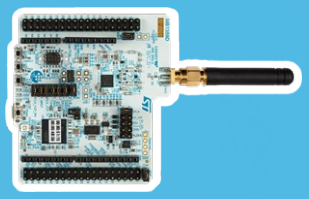


Caractéristiques

- STM32WB5MMG (mémoire Flash de 1 Mo, SRAM de 256 Ko, dans un ensemble émetteur-récepteur)
  - Double cœur 32 bits (Arm® Cortex®-M4 et processeur M0+ dédié pour la couche radio en temps réel)
  - Émetteur-récepteur RF de 2,4 GHz prenant en charge la spécification Bluetooth® V5.2, 802.15.4
- avec Zigbee®, Thread® et protocoles propriétaires
- Écran OLED 0.96 pouces avec 128x64 pixels
- Mémoire flash NOR Quad-SPI de 128 Mbits
- Capteur de température
- Capteur accéléromètre/gyroscope
- Capteur de temps de vol et de détection des gestes
- Microphone numérique
- Led RGB
- Led infrarouge
- 3 boutons-poussoirs (2 pour l'utilisateur et 1 de reset) et 1 touche tactile
- Connectique :
  - STMod+
  - Connecteur d'extension ARDUINO® Uno V3
  - Utilisateurs USB avec connecteur Micro-B
  - Empreinte TAG10 à 10 broches
- Options d'alimentation flexibles : Connecteur USB ST-LINK/V2, 5 V fourni par ARDUINO® ou par un connecteur externe, chargeur USB ou alimentation USB
- Débogueur/programmeur ST-LINK/V2-1 intégré avec fonctions de ré-énumération USB
- Inclus : Port COM virtuel et port de débogage
- Bibliothèques logicielles gratuites et exemples complets disponibles avec le package MCU STM32CubeWB
- Prise en charge d'un large choix d'environnements de développement intégré (IDE)
- y compris IAR Embedded Workbench®, MDK-ARM, et STM32CubeIDE

NUCLEO-WL55JC

La carte NUCLEO-WL55JC STM32WL Nucleo-64 constitue un moyen abordable et flexible pour les utilisateurs de tester de nouveaux concepts et de construire des prototypes avec le microcontrôleur de la série STM32WL, en choisissant parmi les différentes combinaisons de performances, de consommation d'énergie et de fonctionnalités.



Caractéristiques

- Microcontrôleur STM32WL55JC multi-protocole LPWAN double cœur 32 bits (Arm® Cortex®-M4/M0+ à 48 MHz) en boîtier UFBGA73 avec les caractéristiques suivantes:
  - MCU à très faible consommation d'énergie
  - Émetteur-récepteur RF (gamme de fréquences de 150 MHz à 960 MHz) prenant en charge LoRa®, et les modulations (G)FSK, (G)MSK et BPSK
  - Mémoire Flash de 256 Ko et SRAM de 64 Ko
- 3 leds utilisateur
- 3 boutons utilisateurs et un bouton-poussoir de reset
- Oscillateur à quartz LSE 32,768 kHz
- Oscillateur intégré HSE de 32 MHz
- Connectique :
  - USB avec Micro-B
  - Connecteur de débogage MIPI®
  - Connecteur d'extension ARDUINO® Uno V3
  - Connecteurs d'extension ST Morpho pour un accès complet à toutes les Entrées/Sorties du STM32WL
- Livrée avec une antenne SMA
- Options d'alimentation flexibles : ST-LINK, USB VBUS, ou sources externes
- Débogueur/programmeur STLINK-V3 intégré avec réénumération USB
- Capacité de stockage de masse, port COM virtuel et port de débogage
- Bibliothèques logicielles gratuites et exemples complets disponibles avec le package STM32CubeWL pour microcontrôleurs
- Prise en charge d'un large choix d'environnements de développement intégré (IDE)
- y compris IAR Embedded Workbench®, MDK-ARM, et STM32CubeIDE
- Convient au prototypage rapide de nœuds finaux basés sur LoRaWAN®, Sigfox™,
- wM-Bus, et de nombreux autres protocoles propriétaires
- Plateforme matérielle entièrement ouverte

www.elektormagazine.com/st-contest

guide de programmation Bare-Metal (3)

en-têtes CMSIS, tests automatiques et serveur web

Sergey Lyubka (Irlande)

Dans les deux premières parties de ce guide, nous avons appris à accéder aux broches d'un microcontrôleur, à l'horloge système et à l'UART, et à réaliser nos premiers exemples de micrologiciels avec des scripts de l'éditeur de liens et des fichiers Makefile. Dans cette dernière partie de la série, nous allons nous simplifier encore la tâche grâce à des en-têtes et des bibliothèques prédéfinies. Nous programmerons un serveur web et apprenons à automatiser les constructions et les tests de ces micrologiciels plus complexes.

Note de la rédaction : ce guide est un document vivant sur GitHub [1].

En-têtes CMSIS du fabricant

Dans les articles précédents [2][3], nous avons développé le micrologiciel uniquement avec les fiches techniques, l'éditeur et le compilateur GCC. Nous avons créé les définitions des structures pour les périphériques manuellement, en utilisant les fiches techniques. Maintenant que vous avez une idée générale du fonctionnement, il est temps de présenter les en-têtes CMSIS. Il s'agit de fichiers d'en-tête contenant toutes les définitions, créés et fournis par le fabricant du microcontrôleur. Ils contiennent des définitions pour les blocs internes et les périphériques de ce microcontrôleur, et sont donc assez volumineux.

CMSIS est l'acronyme de *Common Microcontroller Software Interface Standard* (norme d'interface logicielle commune pour les microcontrôleurs). Il s'agit d'une base commune permettant aux fabricants de microcontrôleurs de spécifier les API des périphériques. Étant donné que CMSIS est une norme ARM et que les en-têtes CMSIS sont fournis par le fabricant, ils constituent une source d'autorité. Il est donc préférable de les utiliser plutôt que d'écrire les définitions soi-même.

Il existe deux séries d'en-têtes CMSIS :

- En-têtes CMSIS du cœur ARM. Ils décrivent le cœur ARM et sont publiés par ARM sur GitHub [4]
- En-têtes CMSIS des fabricants de microcontrôleurs. Ils décrivent les périphériques du microcontrôleur et sont publiés par le fabricant du microcontrôleur. Dans notre cas, ST les publie à l'adresse [5]

Nous pouvons extraire ces en-têtes avec un simple extrait de Makefile :

(voir *https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/blob/main/steps/step-5-cmsis/Makefile*)

```
cmsis_core:
  git clone --depth 1 -b 5.9.0
   https://github.com/ARM-software/CMSIS_5 $@
cmsis_f4:
  git clone --depth 1 -b v2.6.8
   https://github.com/STMicroelectronics/
   cmsis_device_f4 $@
```

Le package CMSIS de ST fournit également des fichiers de démarrage pour tous leurs microcontrôleurs. Nous pouvons les utiliser au lieu d'écrire nous-mêmes le fichier *startup.c*. Le fichier *startup* fourni par ST appelle la fonction `SystemInit()`, nous la définissons donc dans le fichier *main.c*.

Maintenant, remplaçons nos fonctions API dans *hal.h* par des définitions CMSIS, et laissons le reste du micrologiciel intact. Dans *hal.h*, supprimez toutes les API et définitions de périphériques, et ne laissez que les *includes* C standard, l'inclusion CMSIS du fabricant, les définitions de PIN, BIT, FREQ, et la fonction d'aide `timer_expired()`.

Si nous essayons de reconstruire le micrologiciel – `make clean build`, GCC échouera, signalant l'absence de `systick_init()`, `GPIO_MODE_OUTPUT`, `uart_init()`, et UART3. Ajoutons ces éléments, en utilisant les fichiers CMSIS de STM32.

Commençons par `systick_init()`. Les en-têtes CMSIS d'ARM fournissent une fonction `SysTick_Config()` qui effectue la même tâche, nous allons donc l'utiliser.

Vient ensuite la fonction `gpio_set_mode()`. L'en-tête *stm32f429xx.h* contient une structure `GPIO_TypeDef`, identique à `struct gpio`. Utilisons-la :

(voir *https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/blob/main/steps/step-5-cmsis/hal.h*)

```
#define GPIO(bank) ((GPIO_TypeDef *)
  (GPIOA_BASE + 0x400U * (bank)))
enum { GPIO_MODE_INPUT, GPIO_MODE_OUTPUT,
   GPIO_MODE_AF, GPIO_MODE_ANALOG };

static inline void gpio_set_mode
      (uint16_t pin, uint8_t mode) {
  GPIO_TypeDef *gpio =
   GPIO(PINBANK(pin));  // GPIO bank
```

Les fonctions `gpio_set_af()` et `gpio_write()` sont également simples – il suffit de remplacer `struct gpio` par `GPIO_TypeDef`. Vient ensuite l'UART. Il y a un `USART_TypeDef`, et des définitions pour USART1, USART2, USART3. Utilisons-les :

```
#define UART1 USART1
#define UART2 USART2
#define UART3 USART3
```

Dans `uart_init()` et le reste des fonctions UART, remplacez `struct uart` par `USART_TypeDef`. Le reste est inchangé !
Et voilà, c'est fait. Reconstruisez et reflashez le micrologiciel. La LED clignote, l'UART affiche la sortie. Félicitations, nous avons adapté le code du micrologiciel pour utiliser les fichiers d'en-tête CMSIS du fabricant. Maintenant, réorganisons un peu le dépôt en déplaçant tous les fichiers standards dans le répertoire *include* et en mettant à jour *Makefile* pour que GCC en soit averti :

(voir *https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/blob/main/steps/step-5-cmsis/Makefile*)

```
-I. -Iinclude -Icmsis_core/CMSIS/Core/Include -Icmsis_
f4/Include \
```

Incluons également l'en-tête CMSIS en tant que dépendance pour le fichier binaire :

```
firmware.elf: cmsis_core cmsis_f4 mcu.h
      link.ld Makefile $(SOURCES)
```

Nous nous retrouvons avec un exemple de projet réutilisable. Vous pouvez trouver le code source complet du projet dans le répertoire *step-5-cmsis* du projet [6].

Réglage des horloges

Après le démarrage, le processeur Nucleo-F429ZI fonctionne à 16 MHz. La fréquence maximale est de 180 MHz. Notez que la fréquence de l'horloge système n'est pas le seul facteur à prendre en compte. Les périphériques sont connectés à différents bus, APB1 et APB2, qui sont cadencés différemment. Leurs vitesses d'horloge sont configurées par les valeurs du prédiviseur de fréquence (*prescaler*), définies dans le contrôleur RCC (RCC gère les horloges du système et des périphériques). La source d'horloge principale du CPU peut également être différente – nous pouvons utiliser soit un oscillateur à cristal externe (HSE), soit un oscillateur interne (HSI). Dans notre exemple, nous utiliserons l'HSI.
Lorsque le CPU exécute des instructions à partir de la mémoire flash, la vitesse de lecture (environ 25 MHz) devient un goulot d'étranglement si l'horloge du CPU est plus rapide. Plusieurs astuces peuvent aider. La préfixation des instructions en est une. Nous pouvons également donner un indice au contrôleur de la mémoire flash quant à la vitesse de l'horloge système : cette valeur est appelée `FLASH_LATENCY`. Pour une horloge système de 180 MHz, la valeur `FLASH_LATENCY` est de 5. Les bits 8 et 9 du contrôleur de la flash activent les caches d'instructions et de données :

```
FLASH->ACR |= FLASH_LATENCY | BIT(8) |
    BIT(9); // Flash latency, caches
```

La source d'horloge (HSI ou HSE) utilise un matériel appelé PLL, qui multiplie la fréquence de la source par une certaine valeur. Ensuite, un ensemble de diviseurs de fréquence est utilisé pour régler l'horloge système et les horloges APB1 et APB2. Afin d'obtenir une valeur maximale de l'horloge système (180 MHz), plusieurs valeurs de diviseurs PLL et de prescaler APB sont possibles. La section 6.3.3 du manuel de référence du contrôleur STM32F4xx [7] nous indique les valeurs maximales pour l'horloge APB1 : ≤ 45 MHz, et l'horloge APB2 : ≤ 90 MHz. Cela réduit la liste des combinaisons possibles. Ici, nous avons choisi les valeurs manuellement. Notez que des outils comme CubeMX peuvent automatiser le processus et le rendre simple et visuel.

(voir *https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/blob/main/steps/step-6-clock/hal.h*)

```
 // 6.3.3: APB1 clock <= 45MHz;
 //       APB2 clock <= 90MHz
 // 3.5.1, Table 11: configure flash
// latency (WS) in accordance to clock freq
 // 33.4: The AHB clock must be at least
 // 25 MHz when Ethernet is used
 enum { APB1_PRE = 5 /* AHB clock / 4 */,
   APB2_PRE = 4 /* AHB clock / 2 */ };
 enum { PLL_HSI = 16, PLL_M = 8,
   PLL_N = 180, PLL_P = 2 };
     // Run at 180 Mhz
 #define FLASH_LATENCY 5
 #define SYS_FREQUENCY ((PLL_HSI * PLL_N /
       PLL_M / PLL_P) * 1000000)
 #define APB2_FREQUENCY
   (SYS_FREQUENCY / (BIT(APB2_PRE - 3)))
 #define APB1_FREQUENCY
   (SYS_FREQUENCY / (BIT(APB1_PRE - 3)))
```

Nous sommes maintenant prêts à utiliser un algorithme simple pour régler l'horloge des bus et des périphériques. Il peut ressembler à ceci :

- Optionnellement, activer le FPU
- Définir la latence de la flash
- Choisir une source d'horloge, une PLL et des prescalers APB1 et APB2
- Configurer le RCC en fixant les valeurs respectives
- Déplacer l'initialisation de l'horloge dans un fichier séparé *sysinit.c* ; la fonction `SystemInit()` qui est automatiquement appelée par le code de démarrage

Voir **listage 1** !

Listage 1. Initialisation de l'horloge.

[voir https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/blob/main/steps/step-6-clock/sysinit.c]

```
uint32_t SystemCoreClock = SYS_FREQUENCY;

 void SystemInit(void) {  // Called automatically by startup code
   SCB->CPACR |= ((3UL << 10 * 2) | (3UL << 11 * 2));  // Enable FPU
   FLASH->ACR |= FLASH_LATENCY | BIT(8) | BIT(9);      // Flash latency, prefetch
   RCC->PLLCFGR &= ~((BIT(17) - 1));                   // Clear PLL multipliers
   RCC->PLLCFGR |= (((PLL_P - 2) / 2) & 3) << 16;      // Set PLL_P
   RCC->PLLCFGR |= PLL_M | (PLL_N << 6);               // Set PLL_M and PLL_N
   RCC->CR |= BIT(24);                                 // Enable PLL
   while ((RCC->CR & BIT(25)) == 0) spin(1);           // Wait until done
   RCC->CFGR = (APB1_PRE << 10) | (APB2_PRE << 13);    // Set prescalers
   RCC->CFGR |= 2;                                     // Set clock source to PLL
   while ((RCC->CFGR & 12) == 0) spin(1);              // Wait until done

   RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SYSCFGEN;    // Enable SYSCFG
   SysTick_Config(SystemCoreClock / 1000);  // Sys tick every 1ms
 }
```

Nous devons également modifier *hal.h* – en particulier le code d'initialisation de l'UART. Les différents contrôleurs UART fonctionnent sur des bus différents : UART1 fonctionne sur un APB2 rapide, et le reste des UART fonctionne sur un APB1 plus lent. À une vitesse par défaut de 16 MHz, rien ne change. Mais, lorsqu'ils fonctionnent à des vitesses plus élevées, APB1 et APB2 peuvent avoir des horloges différentes, nous devons donc adapter le calcul du débit en bauds pour l'UART. Voir **listage 2**.
Reconstruisez et re-flashez, et notre carte fonctionnera à sa vitesse maximale, 180 MHz ! Le code source complet du projet peut être trouvé dans le répertoire *step-6-clock* du projet [8].

Serveur web avec tableau de bord

Le Nucleo-F429ZI est équipé d'Ethernet. Le matériel Ethernet nécessite deux composants : un PHY (qui transmet/reçoit les signaux électriques vers et au média, tel que le cuivre, le câble optique, etc.) et un MAC (qui pilote le contrôleur PHY). Sur la carte Nucleo, le contrôleur MAC est intégré et le PHY est externe (plus précisément, il s'agit du LAN8720a de Microchip).
MAC et PHY peuvent utiliser plusieurs interfaces. Nous utiliserons RMII. Pour cela, nous devons configurer un certain nombre de broches pour qu'elles utilisent leur fonction alternative (AF). Pour implémenter un serveur web, nous avons besoin de trois composants logiciels :

- un pilote réseau, qui envoie/reçoit des trames vers/depuis le contrôleur MAC via Ethernet
- une pile de réseau, qui analyse les trames et interprète TCP/IP
- une bibliothèque réseau qui interprète le protocole HTTP

Nous utiliserons la bibliothèque réseau Mongoose [9] qui implémente tout cela dans un seul fichier. Il s'agit d'une bibliothèque à double licence (*GPLv2/commercial*) conçue pour rendre le développement de réseaux intégrés rapide et facile.
Copiez donc *mongoose.c* [10] et *mongoose.h* [11] dans votre projet. Nous disposons désormais d'un pilote, d'une pile réseau et d'une bibliothèque. Mongoose fournit également un grand nombre d'exemples, dont un exemple de tableau de bord [12]. Il met en œuvre de nombreuses fonctions, telles que la connexion au tableau de bord, l'échange de données en temps réel via WebSocket, un système de fichiers intégré, la communication MQTT, etc. Utilisons donc cet exemple. Copiez deux fichiers supplémentaires :

- *net.c* [13] — implémente les fonctions du tableau de bord
- *packed_fs.c* [14] — contient des fichiers GUI HTML/CSS/JS

Nous devons indiquer à Mongoose les fonctionnalités à activer. Cela peut se faire via les drapeaux de compilation (*flags*), en définissant des constantes de préprocesseur. Alternativement, les mêmes constantes peuvent être définies dans le fichier *mongoose_custom.h*. Adoptons la seconde solution. Créez un fichier *mongoose_custom.h* contenant le code suivant :

```
#pragma once
#define MG_ARCH MG_ARCH_NEWLIB
#define MG_ENABLE_MIP 1
#define MG_ENABLE_PACKED_FS 1
#define MG_IO_SIZE 512
#define MG_ENABLE_CUSTOM_MILLIS 1
```

Il est temps d'ajouter du code réseau à *main.c*. Nous incluons `#include «mongoose.c»`, initialisons les broches RMII Ethernet et activons Ethernet dans le RCC. Voir **listage 3**.
Le pilote de Mongoose utilise l'interruption Ethernet, nous devons donc mettre à jour le fichier *startup.c* et ajouter *ETH_IRQHandler* à la table vectorielle. Réorganisons la définition de la table vectorielle dans *startup.c* pour ce qu'aucune modification ne soit nécessaire pour ajouter une fonction de gestion des interruptions. L'idée est d'utiliser un concept de "symbole faible".
Une fonction peut être marquée comme *faible* et fonctionner normalement. La différence consiste à définir une fonction portant le même nom ailleurs dans le code source. Normalement, deux

Listage 2. Initialisation de l'UART.

[voir https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/blob/main/steps/step-6-clock/hal.h]

```
static inline bool uart_init(USART_TypeDef *uart, unsigned long baud) {

  // https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f429zi.pdf
  uint8_t af = 7;           // Alternate function
  uint16_t rx = 0, tx = 0;  // pins
  uint32_t freq = 0;        // Bus frequency. UART1 is on APB2, rest on APB1

  if (uart == USART1) {
    freq = APB2_FREQUENCY, RCC->APB2ENR |= BIT(4);
    tx = PIN('A', 9), rx = PIN('A', 10);
  } else if (uart == USART2) {
    freq = APB1_FREQUENCY, RCC->APB1ENR |= BIT(17);
    tx = PIN('A', 2), rx = PIN('A', 3);
  } else if (uart == USART3) {
    freq = APB1_FREQUENCY, RCC->APB1ENR |= BIT(18);
    tx = PIN('D', 8), rx = PIN('D', 9);
  } else {
    return false;
  }
```

Listage 3. Initialisation de l'Ethernet, activation des broches MAC GPIO.

[voir https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/blob/main/steps/step-7-webserver/nucleo-f429zi/main.c]

```
uint16_t pins[] = ;
  for (size_t i = 0; i < sizeof(pins) / sizeof(pins[0]); i++) {
    gpio_init(pins[i], GPIO_MODE_AF, GPIO_OTYPE_PUSH_PULL, GPIO_SPEED_INSANE,
              GPIO_PULL_NONE, 11);
  }
  nvic_enable_irq(61);                          // Setup Ethernet IRQ handler
  RCC->APB2ENR |= BIT(14);                      // Enable SYSCFG
  SYSCFG->PMC |= BIT(23);                       // Use RMII. Goes first!
  RCC->AHB1ENR |= BIT(25) | BIT(26) | BIT(27);  // Enable Ethernet clocks
  RCC->AHB1RSTR |= BIT(25);                     // ETHMAC force reset
  RCC->AHB1RSTR &= ~BIT(25);                    // ETHMAC release reset
```

fonctions portant le même nom font échouer la compilation. Cependant, si une fonction est marquée comme faible, la compilation réussit et l'éditeur de liens sélectionne une fonction non faible. Cela permet de fournir une fonction "par défaut" dans un modèle de code, avec la possibilité de l'ignorer en créant simplement une fonction portant le même nom ailleurs dans le code.

Voici comment cela fonctionne dans notre exemple. Nous souhaitons remplir une table vectorielle avec des gestionnaires par défaut, mais donner à l'utilisateur la possibilité de remplacer n'importe quel gestionnaire. Pour cela, nous créons une fonction `DefaultIRQHandler()` et la marquons comme faible. Ensuite, pour chaque gestionnaire d'IRQ, nous déclarons un nom de gestionnaire et en faisons un alias de la fonction `DefaultIRQHandler()` :

```
void __attribute__((weak)) DefaultIRQHandler(void) {
for (;;) (void) 0;
}
#define WEAK_ALIAS
  __attribute__((weak, alias("DefaultIRQHandler")))
WEAK_ALIAS void NMI_Handler(void);
WEAK_ALIAS void HardFault_Handler(void);
WEAK_ALIAS void MemManage_Handler(void);
...
__attribute__((section(".vectors")))
  void (*tab[16 + 91])(void) =
    { 0, _reset, NMI_Handler,
     HardFault_Handler, MemManage_Handler,
    ...
```

Listage 4. Initialisation de la bibliothèque Mongoose.

```
struct mg_mgr mgr;        // Initialise Mongoose event manager
mg_mgr_init(&mgr);        // and attach it to the MIP interface
mg_log_set(MG_LL_DEBUG);  // Set log level
struct mip_driver_stm32 driver_data = {.mdc_cr = 4};  // See driver_stm32.h
struct mip_if mif = {
     .mac {2, 0, 1, 2, 3, 5}
     .use_dhcp = true,
     .driver = &mip_driver_stm32,
     .driver_data = &driver_data,
};
mip_init(&mgr, &mif);
extern void device_dashboard_fn(struct mg_connection *, int, void *, void *);
mg_http_listen(&mgr, "http://0.0.0.0", device_dashboard_fn, &mgr);
MG_INFO(("Init done, starting main loop"));
```

Listage 5. Makefile avec les références des bibliothèques.

```
847 3 mongoose.c:6784:arp_cache_add     ARP cache: added 0xc0a80001 @
90:5c:44:55:19:8b
 84e 2 mongoose.c:6817:onstatechange     READY, IP: 192.168.0.24
 854 2 mongoose.c:6818:onstatechange            GW: 192.168.0.1
 859 2 mongoose.c:6819:onstatechange            Lease: 86363 sec
 LED: 1, tick: 2262
 LED: 0, tick: 2512
```

Maintenant, nous pouvons définir le gestionnaire d'IRQ de notre choix dans notre code, et il remplacera le gestionnaire par défaut. C'est ce qui se passe dans notre exemple : il existe une fonction `ETH_IRQHandler()` définie par le pilote STM32 de Mongoose, qui remplace le gestionnaire par défaut.

L'étape suivante consiste à initialiser la bibliothèque Mongoose : créez un gestionnaire d'événements, configurez le pilote réseau et démarrez une connexion HTTP en écoute. Voir **listage 4**.

Il ne reste plus qu'à ajouter un appel à `mg_mgr_poll()` dans la boucle *main*.

Maintenant, ajoutez les fichiers *mongoose.c*, *net.c*, et *packed_fs.c* au Makefile. Reconstruisez et re-flashez la carte. Connectez une console série à la sortie de débogueur et observez la carte obtenir une adresse IP par DHCP. Voir **listage 5**.

Ouvrez un navigateur à cette adresse IP, et vous obtenez un tableau de bord fonctionnel, avec un graphique en temps réel via WebSocket, MQTT, l'authentification, et d'autres choses encore ! Voir la description complète pour plus de détails.

Le code source complet du projet se trouve dans le répertoire *step-7-webserver*. [15].

Constructions automatisées du micrologiciel (Software CI)

Avoir un test d'intégration continue (CI) est une bonne pratique dans tout projet de programmation. À chaque modification apportée au répertoire, l'intégration continue reconstruit et teste automatiquement tous les composants.

GitHub facilite cette tâche. Nous pouvons créer un fichier de configuration *CI .github/workflows/test.yml*. Dans ce fichier, nous pouvons installer le GCC d'ARM et exécuter `make` dans chaque répertoire d'exemple pour construire les fichiers respectifs du micrologiciel. En bref, cela indique à GitHub d'exécuter chaque répertoire lors d'un `push` :

(voir *https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/blob/main/.github/workflows/test.yml*)

```
name: build
on: [push, pull_request]
```

Ceci installe le compilateur GCC d'ARM :

```
- run: sudo apt -y install
  gcc-arm-none-eabi make stlink-tools
```

Cela permet de construire le micrologiciel dans chaque répertoire :

```
- run: make -C step-0-minimal
- run: make -C step-1-blinky
- run: make -C step-2-systick
- run: make -C step-3-uart
- run: make -C step-4-printf
- run: make -C step-5-cmsis
- run: make -C step-6-clock
- run: make -C step-7-webserver/nucleo-f429zi
- run: make -C step-7-webserver/pico-w
```

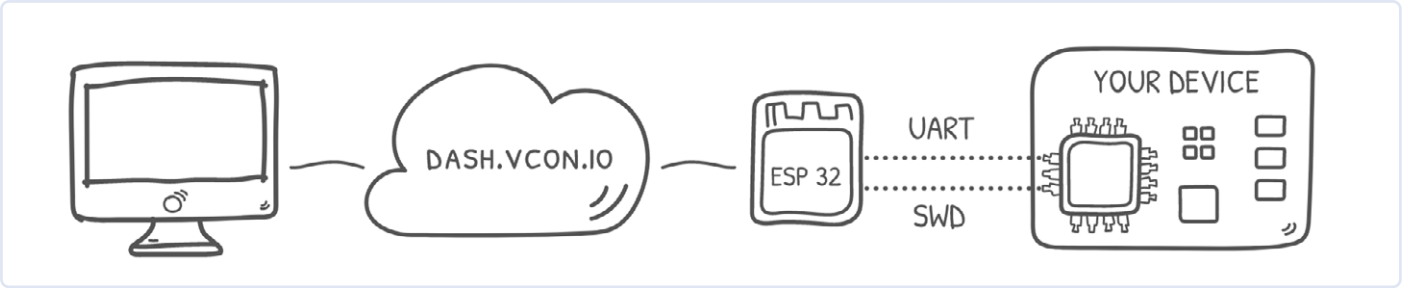


Figure 1. Configuration de l'ESP32 en tant que programmateur contrôlé à distance et inscription sur vcon.io.

C'est tout ! C'est très simple et très puissant. Maintenant, si nous apportons une modification au répertoire qui interrompt une construction, GitHub nous en informera. En cas de succès, GitHub ne fera rien. Voici un exemple d'exécution réussie [16].

Tests automatisés des micrologiciels (Hardware CI)

Serait-il possible de tester les fichiers binaires du micrologiciel construit sur un matériel réel, pour assurer que le micrologiciel construit est correct et fonctionnel ?
La construction d'un tel système ad hoc n'est pas simple. Par exemple, on peut installer une poste de travail de test dédié, y connecter un dispositif de test (par exemple une carte Nucleo-F429ZI), écrire un logiciel pour télécharger un micrologiciel à distance, et effectuer des tests avec un débogueur intégré. Cette méthode est possible, mais délicate, et demande beaucoup d'efforts et d'attention.
L'autre solution consiste à utiliser l'un des systèmes commerciaux de test de matériel, les *Embedded Eoard Farms* (EBF), bien que ces solutions commerciales soient assez coûteuses. Mais il existe un moyen plus simple.

Solution : ESP32 + vcon.io

Utilisons le service *http://vcon.io* service, qui permet la mise à jour à distance du micrologiciel et la surveillance de l'UART :

- Utilisez un ESP32 ou ESP32-C3 (une carte de développement abordable).
- Flasher un micrologiciel pré-construit, transformant ainsi l'ESP32 en un programmateur contrôlé à distance.
- Connectez l'ESP32 à l'appareil cible : broches SWD pour le clignotement, broches UART pour la lecture des données de sortie.
- Configurez l'ESP32 pour qu'il s'enregistre sur le tableau de bord de gestion *vcon.io* [17].

Lorsque cela est fait, votre appareil cible aura une API RESTful authentifiée et sécurisée pour reflasher et recueillir les données de sortie de l'appareil. Elle peut être appelée depuis n'importe où, par exemple depuis le logiciel CI (voir **figure 1**).

Note : le service *vcon.io* est géré par Cesanta - la société pour laquelle je travaille. Il s'agit d'un service payant avec un quota de gratuité : si vous n'avez que quelques appareils à gérer, le service est entièrement gratuit.

Configuration et câblage de l'ESP32

Utilisez n'importe quel ESP32 ou ESP32-C3 - une carte de développement, un module, ou votre appareil personnalisé. Je recommande la carte ESP32-C3 XIAO pour son prix abordable et sa petite taille. Nous allons supposer que l'appareil cible est une carte Raspberry Pi W5500-EVB-Pico [18] avec une interface Ethernet intégrée. Si votre appareil est différent, modifiez le câblage en fonction du brochage.

- Suivez les instructions [19] pour flasher votre ESP32.
- Configurez le réseau [20] pour enregistrer l'ESP32 sur le tableau de bord
- Suivez la section *Câblage* [21] pour connecter l'ESP32 à votre appareil.

La **figure 2** montre à quoi ressemble la configuration sur une plaque d'essai. La **figure 3** montre à quoi ressemble le tableau de bord d'un appareil configuré.
Vous pouvez maintenant reflasher votre appareil avec une seule commande :

```
curl -su :API_KEY https://dash.vcon.io/api/v3/devices/
ID/ota --data-binary @firmware.bin
```

où `API_KEY` est la clé d'authentification sur *dash.vcon.io*, `ID` est le numéro de l'appareil enregistré, et *firmware.bin* est le nom du nouveau micrologiciel. Vous pouvez obtenir la clé API_KEY en cliquant sur le lien *api key* dans un tableau de bord. L'ID de l'appareil est indiqué dans le tableau.
Nous pouvons également capturer la sortie d'un appareil avec une seule commande :

```
curl -su :API_KEY https://dash.vcon.io/api/v3/devices/
ID/tx?t=5
```

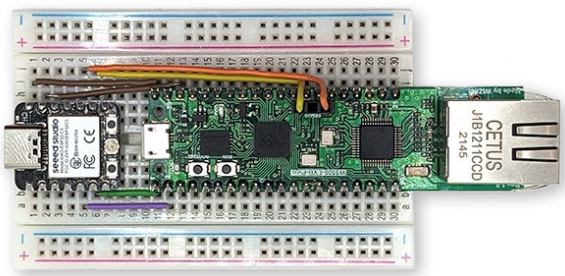


Figure 2. Configuration de l'appareil sur une plaque d'essai.

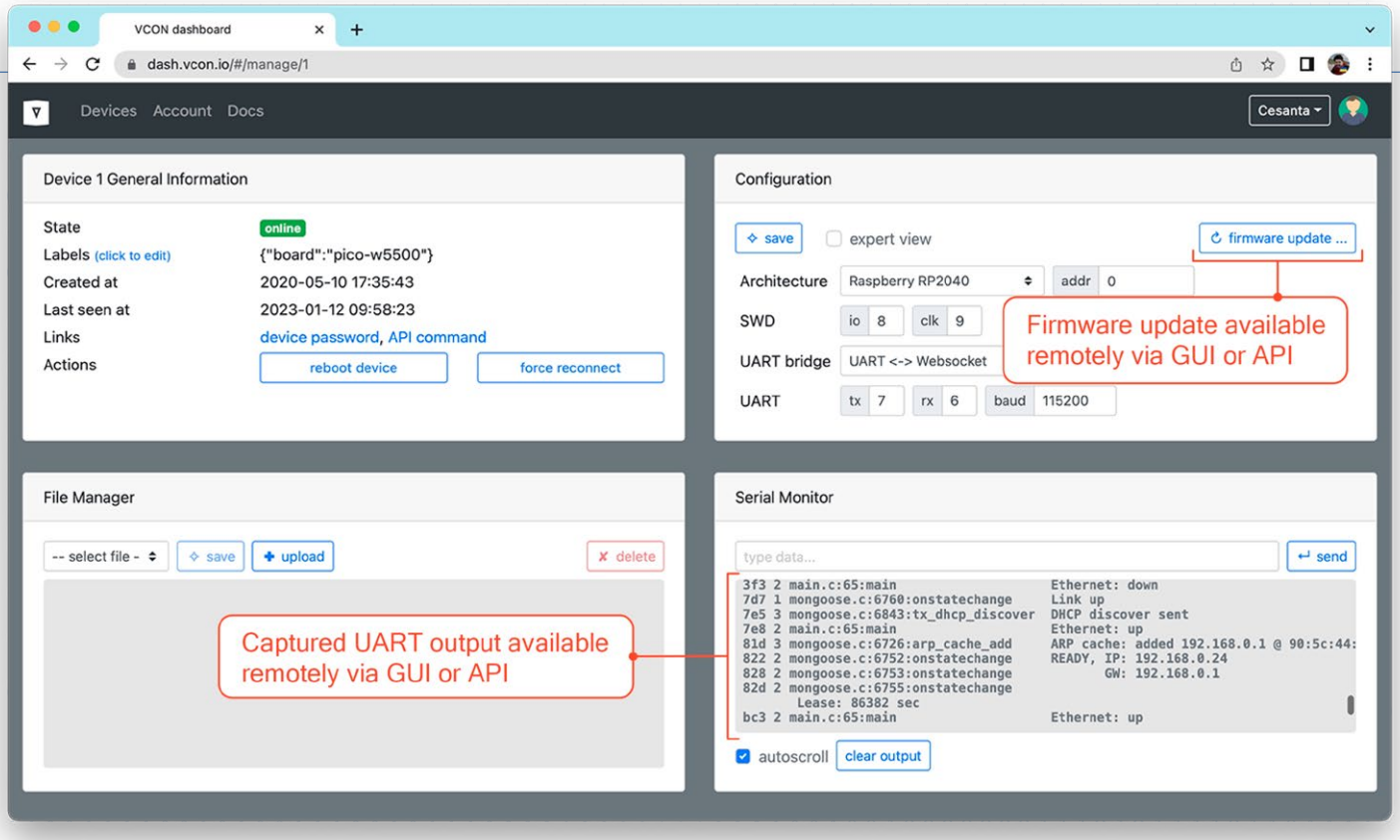


Figure 3. Tableau de bord de l'appareil configuré.

Ici, `t=5` signifie : attendre 5 secondes pendant la capture du signal de sortie de l'UART.
Maintenant, nous pouvons utiliser ces deux commandes dans n'importe quelle plateforme CI logicielle pour tester un nouveau micrologiciel sur un appareil réel, et tester la sortie UART de l'appareil par rapport à certains mots-clés prévus.

Intégration avec les actions de GitHub

Le logiciel CI construit une image du micrologiciel, et maintenant nous pouvons même la tester sur un vrai matériel ! Nous devrions ajouter quelques commandes supplémentaires qui utilisent l'utilitaire `curl` pour envoyer le micrologiciel construit à la carte de test, et ensuite capturer sa sortie de débogage.
La commande `curl` nécessite une clé API secrète, que nous ne voulons pas exposer au public. En général, la bonne façon de procéder est la suivante :

- Allez dans les paramètres de votre projet sur GitHub (vous pouvez cloner le dépôt avec les exemples du serveur web), puis allez sur / *Secrets* / *Actions*
- Cliquez sur le bouton *New repository secret*
- Nommez-le `VCON_API_KEY`, collez la valeur dans une case *Secret*, cliquez sur *Add secret*

L'un des projets d'exemple [22] construit un micrologiciel pour la carte RP2040-W5500, alors flashons-le avec une commande `curl` et une clé API sauvegardée. La meilleure façon est d'ajouter une cible de Makefile pour les tests, et de laisser *GitHub Actions* (logiciel *CI*) l'appeler :

(voir *https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/blob/main/.github/workflows/test.yml*)

```
- run: make -C step-7-webserver/pico-w5500 test VCON_API_KEY=${{secrets.VCON_API_KEY}}
```

Notez que nous donnons une variable d'environnement `VCON_API_KEY` à `make`. Notez également que nous invoquons la cible `test` de Makefile, qui devrait construire et tester le micrologiciel. Dans le **listage 6**, vous pouvez voir la cible `test` de Makefile.

Explication :

- ligne 34 : la cible `test` dépend de la cible du téléversement, c'est pourquoi le téléversement est exécuté en premier. (voir ligne 38)
- ligne 35 : lit l'UART pendant 5 secondes et l'enregistre dans */tmp/output.txt*
- ligne 36 : cherche la chaîne de caractères `Ethernet : up` dans la sortie, et échoue si elle n'est pas trouvée.
- ligne 38 : la cible de `upload` dépend de la version, c'est pourquoi `build` s'exécute avant de tester le micrologiciel.
- ligne 39 : nous flashons le micrologiciel à distance. Le drapeau `--fail` de l'utilitaire `curl` le fait échouer si la réponse du serveur n'est pas réussie (not HTTP 200 OK).

Dans le **listage 7**, vous pouvez trouver l'exemple de sortie de la commande `make test` décrite ci-dessus.
C'est fait ! Maintenant, nos tests automatiques assurent que le micrologiciel peut être construit, qu'il est bootable, et qu'il initialise la pile réseau correctement. On peut facilement développer cette méthode : il suffit d'ajouter des actions plus complexes dans les fichiers binaires de votre micrologiciel, d'imprimer le résultat via l'UART, et de vérifier la sortie attendue au cours du test.

Bons tests !

220665-C-04

Listage 6. Makefile pour le serveur web sur le Pico.

[voir https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/blob/main/steps/step-7-webserver/pico-w5500/Makefile]

```
32 # Requires env variable VCON_API_KEY set
33 DEVICE_URL ?= https://dash.vcon.io/api/v3/devices/1
34 test: update
35   curl --fail -su :$(VCON_API_KEY) $(DEVICE_URL)/tx?t=5 | tee /tmp/output.txt
36   grep 'Ethernet: up' /tmp/output.txt

38 update: build
39   curl --fail -su :$(VCON_API_KEY) $(DEVICE_URL)/ota --data-binary @firmware.bin
```

Listage 7. Sortie de la commande Make Test.

```
$ make test
 curl --fail ...
 {"success":true,"written":59904}
 curl --fail ...
 3f3 2 main.c:65:main                    Ethernet: down
 7d7 1 mongoose.c:6760:onstatechange     Link up
 7e5 3 mongoose.c:6843:tx_dhcp_discover  DHCP discover sent
 7e8 2 main.c:65:main                    Ethernet: up
 81d 3 mongoose.c:6726:arp_cache_add     ARP cache: added 192.168.0.1 @
90:5c:44:55:19:8b
 822 2 mongoose.c:6752:onstatechange     READY, IP: 192.168.0.24
 827 2 mongoose.c:6753:onstatechange            GW: 192.168.0.1
 82d 2 mongoose.c:6755:onstatechange            Lease: 86336 sec
 bc3 2 main.c:65:main                    Ethernet: up
 fab 2 main.c:65:main                    Ethernet: up
```

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (sergey.lyubka@cesanta.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

À propos de l'auteur

Sergey Lyubka est ingénieur et entrepreneur. Il est titulaire d'un Master en physique de l'université d'État de Kiev, en Ukraine. Sergey est directeur et cofondateur de Cesanta, une entreprise technologique basée à Dublin, en Irlande (Embedded Web Server for electronic devices : https://mongoose.ws). Il est passionné par la programmation embarquée « bare-metal » de réseaux



Produits

- **Dogan Ibrahim,** *Nucleo Boards Programming with the STM32CubeIDE* **(Elektor 2020)**
  www.elektor.fr/19530
- **Dogan Ibrahim,** *Programming with STM32 Nucleo Boards* **(Elektor 2015)**
  www.elektor.com/18585

LIENS

[1] Ce guide sur GitHub : https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide
[2] Sergey Lyubka, « Guide de programmation bare-metal (1) » Elektor 7-8/2023 : https://elektormagazine.fr/220665-04
[3] Sergey Lyubka, « guide de programmation bare-metal (2) » Elektor 9-10/2023 : https://elektormagazine.fr/220665-B-02
[4] CMSIS version 5 : https://github.com/ARM-software/CMSIS_5
[5] En-têtes STM32 CMSIS pour la famille F4 : https://github.com/STMicroelectronics/cmsis_device_f4
[6] Step 5 CMSIS folder : https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/tree/main/steps/step-5-cmsis
[7] Manuel de référence RM0090 pour les contrôleurs STM32F4xx [PDF] : https://tinyurl.com/stm32f4man
[8] Step 6 Clock Folder : https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/tree/main/steps/step-6-clock
[9] Bibliothèque du réseau Mongoose : https://github.com/cesanta/mongoose
[10] mongoose.c : https://raw.githubusercontent.com/cesanta/mongoose/master/mongoose.c
[11] mongoose.h : https://raw.githubusercontent.com/cesanta/mongoose/master/mongoose.h
[12] Exemples de Mongoose : https://github.com/cesanta/mongoose/tree/master/examples/device-dashboard
[13] Exemple de serveur web, net.c : https://raw.githubusercontent.com/cesanta/mongoose/master/examples/device-dashboard/net.c
[14] Exemple de serveur web, packed_fs.c : https://tinyurl.com/packedfsc
[15] Step 7 Webserver directory : https://github.com/cpq/bare-metal-programming-guide/tree/main/steps/step-7-webserver
[16] Example: Successful run of Continuous Integration : https://tinyurl.com/bmgoodrun
[17] vcon.io: https://dash.vcon.io/
[18] Carte Raspberry Pi W5500-EVB-Pico : https://docs.wiznet.io/Product/iEthernet/W5500/w5500-evb-pico
[19] Flashage de l'ESP32 : https://vcon.io/docs/#module-flashing
[20] Configuration du réseau : https://vcon.io/docs/#module-registration
[21] Câblage : https://vcon.io/docs/#module-to-device-wiring
[22] Exemple de serveur web pour la carte Pico : https://tinyurl.com/picowebeg

KURTH ELECTRONIC

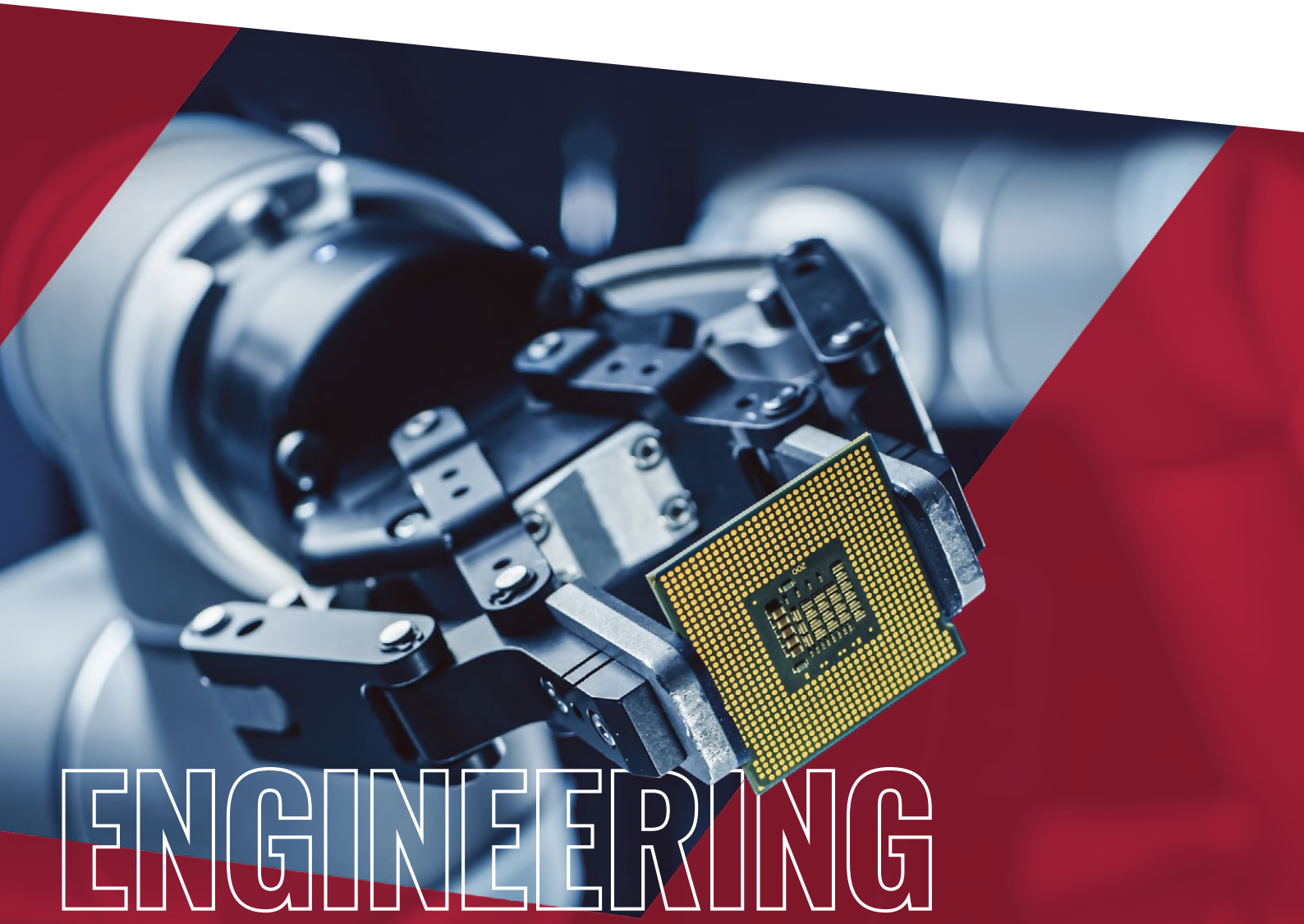
Que vous cherchiez à localiser un câble ou à le contrôler, que vous ayez besoin de vérifier le fonctionnement de la ligne ou de résoudre des problèmes, nous avons l'équipement adéquat — fabriqué en Allemagne, bien sûr.

Renseignez-vous dès aujourd'hui et procurez-vous un petit assistant pour accomplir de grandes tâches !

Contact
alexander.vanstaa@gossenmetrawatt.com

www.kurthelectronic.de





ENGINEERING A BETTER WORLD

IMAGINE THAT. WE CAN.

Let us take you on a journey of discovery. Whether you design, build or maintain, we have ingenious technologies and solutions to help engineer a better world for everyone.



LoRa, un couteau suisse (2)

le matériel et le logiciel

Gilles Brocard (France)

Après avoir abordé le protocole LoRa dans la première partie, nous allons entrer dans le détail de la réalisation d'un émetteur-récepteur LoRa à partir d'un petit module du commerce. Piloté par un Arduino Nano et un programme entièrement dédié au paramétrage et à l'émission/réception LoRa, le montage final constitue un véritable couteau suisse LoRa.

Le petit circuit imprimé décrit ici réuni un module LoRa, une carte Arduino Nano, un régulateur 5 V, quelques LED et des bornes à vis pour connecter aisément toute sorte de capteurs, de commandes, un écran OLED I²C ou des LED supplémentaires. Ce montage est d'une grande flexibilité, due en partie à son programme. Il constitue un véritable couteau suisse LoRa.

Le schéma (**figure 1**) se résume aux liaisons entre l'Arduino Nano et le module E220-900M30S avec un régulateur de tension et une LED confirmant la présence du +5 V et deux autres LED indiquant une émission (TX) ou une réception (RX).

K2 permet de connecter d'autres composants au circuit. Les ports A0 à A5 sont des entrées analogiques ou E/S numériques suivant le paramétrage. En plus, A4 et A5 peuvent être configurés en bus I²C pour piloter des capteurs en I²C ou encore un petit afficheur OLED 128 × 64 pixels. A6 et A7 sont deux entrées uniquement analogiques. Les entrées analogiques du Nano ont une résolution de 10 bits. La borne +5 V peut fonctionner en entrée ou en sortie.

La sortie DIO2 du module LoRa est reliée à l'entrée TX de l'aiguillage d'antenne et à la grille de T1, qui sert d'inverseur logique. Son drain commande l'entrée RX de ce même aiguilleur d'antenne.

LED1 (blanche) signale une émission (TX). La LED2 (verte) indique la réception (RX) d'un signal LoRa valide, mais sans renseignement sur son contenu. En complément, le programme active pendant une seconde le port A2 si le message attendu est détecté. Cela permet facilement de transformer le montage en une télécommande à grande portée.

Alimentation

La tension d'entrée sur K3 est de 24 V maximum. Il est aussi possible d'alimenter le montage directement en 5 V par K4. Dans les deux cas, l'alimentation doit être capable de fournir jusqu'à 750 mA.

Un dissipateur pour IC1 est optionnel, puisqu'en mode LoRa le rapport cyclique émission/repos est tellement petit (1% maxi) que la dissipation moyenne reste toujours très faible. En réalité, on peut presque aller jusqu'à 35 V à l'entrée. En effet, même avec 750 mA consommé pour un signal de sortie de 30 dB, la puissance à dissiper n'atteint même pas 0,25 W (en supposant que le circuit soit au repos le reste du temps).

Le circuit imprimé

Le circuit imprimé (**figure 2**) mesure 87 mm × 50 mm et peut se loger dans la plupart des boitiers de blindage (optionnel). La sortie antenne est faite avec un connecteur SMA, parfaitement adaptée à cette fréquence proche du gigahertz (ce qui n'est pas le cas des BNC). Le câblage est facile. Les LED, les résistances et les condensateurs de 100 nF et de 1 µF sont en CMS 1206, facile à souder. Les autres composants sont traversants. Si votre platine à des trous non métallisés (**figure 3**), n'oubliez pas les straps, les quelques traversées du plan de masse et ceux pour les liaisons de D4 et D5 entre les deux faces du circuit.

Si vous souhaitez réaliser des liaisons avec de grandes portées (10 km et plus), il est conseillé de placer le circuit imprimé dans un petit boitier étanche, directement au pied d'une antenne placée en hauteur (2 m du sol est un optimum), afin de minimiser les pertes dues au câble HF. Une autre solution consiste à remplacer l'Arduino Nano par un ESP32. Ainsi, les messages pourront transiter en Wi-Fi, avant d'être relayés en LoRa. Les modifications à apporter au programme sont mineures, une version adaptée pourra être fournie.

Un commutateur de mode TX/RX peut être connecté entre les contacts D2 et GND du bornier K1. Il permet de changer, à tout moment, le mode de fonctionnement du module en émission (ouvert) ou en réception (fermé). Si le montage n'est utilisé que dans le mode RX, pontez les contacts 1 et 2 de K1. En mode TX fixe, laissez les contacts ouverts.

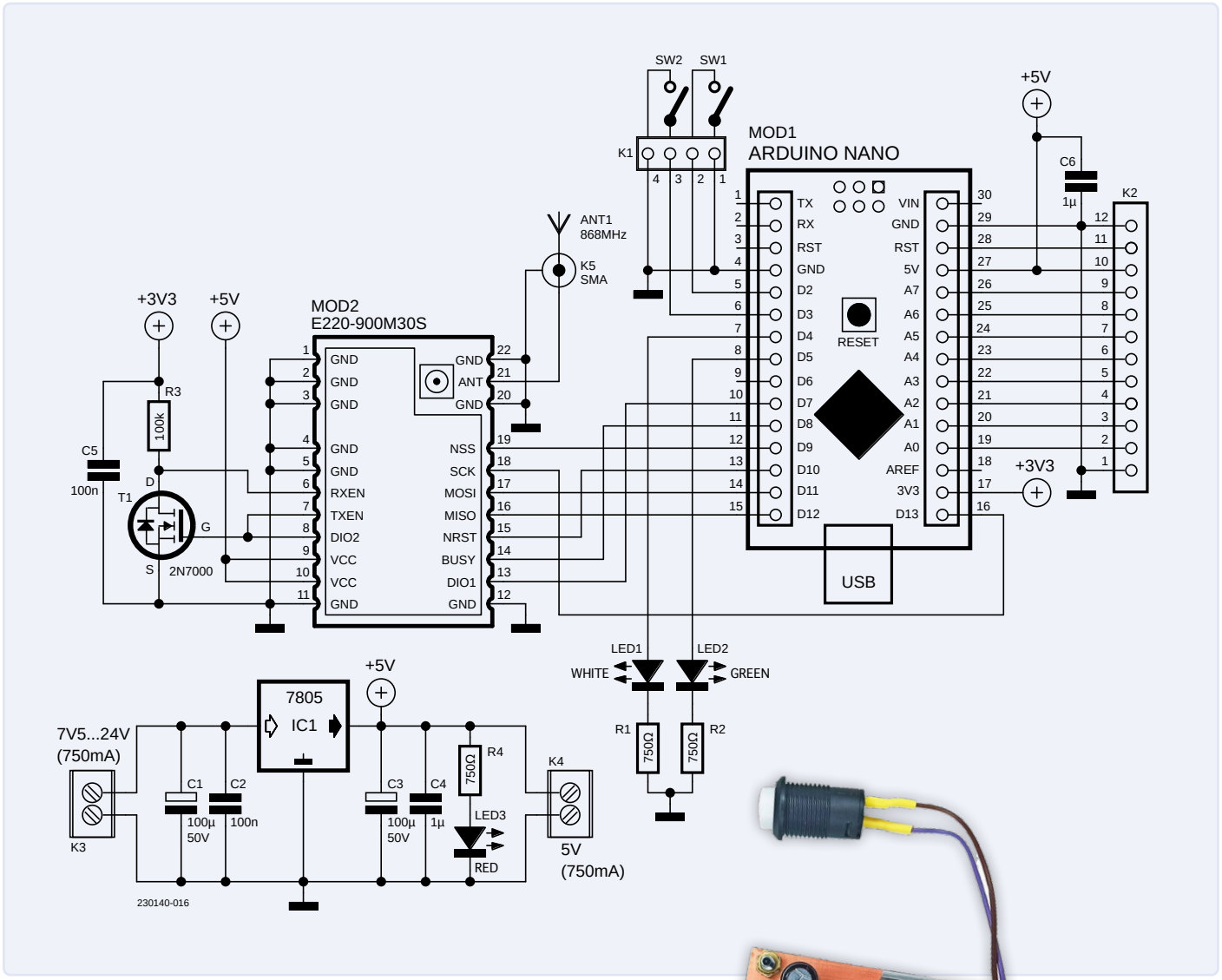


Figure 1. Le schéma du couteau suisse LoRa.

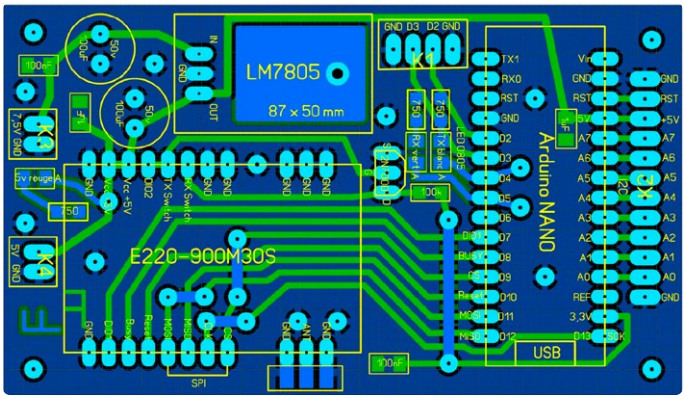


Figure 2. Les fichiers du circuit imprimé sont disponibles avec le code source du programme sur la page internet de cet article [1].

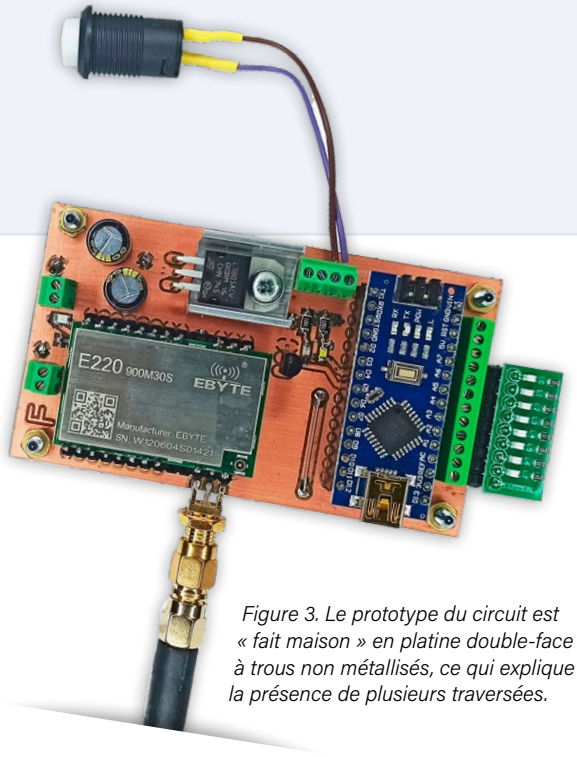


Figure 3. Le prototype du circuit est « fait maison » en platine double-face à trous non métallisés, ce qui explique la présence de plusieurs traversées.

Le programme

Le programme du Nano [1] vous permet de modifier facilement les paramètres LoRa pour toute sorte d'expérimentation et de tentative de grande portée d'une transmission LoRa. Il y a un record à battre… Le logiciel permet également le basculement à chaud entre l'envoi (TX) et la réception (RX) de messages. La connexion de nombreux capteurs analogiques ou numériques (I^2C) est également possible. Voir l'encart « Présentation rapide du programme de gestion du LLCC68 » pour savoir comment le programme est organisé.

Optimisation LoRa

Le LLCC68 permet d'informer l'émetteur de la qualité de réception du signal pour qu'il puisse adapter les paramètres d'émission (puissance, SF, CR, etc.). C'est l'un des moyens d'ajustement utilisé par la couche LoRaWAN.

- Le RSSI (*Received Signal Strength Indication*) est la valeur de la puissance du signal reçu que le récepteur peut renvoyer à l'émetteur. Ce dernier peut ensuite modifier les paramètres d'émission, augmenter ou réduire sa puissance d'émission afin d'augmenter l'autonomie tout en maintenant un niveau suffisant de transmission.
- La sensibilité. Le LLCC68 peut mesurer le niveau de réception minimum lui permettant d'extraire un signal sans erreur. Cette valeur est très faible dans le cas du LLCC68, puisqu'elle peut atteindre –129µdBm en fonction des paramètres choisis.
- Le SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) est le rapport entre la valeur de la puissance du signal reçu et le niveau du bruit ambiant que le LLCC68 mesure en dehors des périodes de réception de données. Dans le cas de LoRa, le niveau du bruit peut être très largement supérieur à celui du signal (SNR négatif).
- La fonction *GetStats* fournit le nombre total de paquets reçus, le nombre de ceux reçus avec erreur et le nombre de ceux reçus avec erreur d'entête. La fonction *ResetStats* réinitialise toutes les statistiques.

La lecture des 106 pages de la fiche technique n'est pas indispensable, mais très utile pour approfondir certains sujets traités dans cet article. Nous vous conseillons également de lire le remarquable document rédigé par les enseignants du Lycée Dorian [3]. Il traite de la couche physique LoRa, mais aussi du LoRaWAN et de la démodulation LoRa pour laquelle Semtech ne fournit aucune info.

Les principaux paramètres LoRa

Tous les paramètres LoRa sont rassemblés entre les lignes 83 et 111 :

Ligne 83 : la bascule pour le fonctionnement en LoRa.
Ligne 84 : le paramétrage de FS, BW, CR et LDRO.
Ligne 99 : la configuration du paquet envoyé est paramétrée à l'aide de neuf octets, les trois derniers sont communs avec la modulation FSK.

Pour chacune de ces trois lignes de commande (lignes 83, 84 et 99), le premier octet n'est pas un octet de paramétrage, mais l'*opcode* (la commande) qui indique au LLCC68 ce qu'il doit faire des octets suivants. Il y a 41 opcodes en total. Consultez la fiche technique pour plus de détails. Vous y trouverez également les 36 adresses des registres de configuration.

SF, le facteur d'étalement

La sensibilité de la partie analogique de la réception du signal ne peut être modifiée que par le gain du préamplificateur d'entrée, qui est paramétrable (voir ligne 154 du programme). Mais, comme nous l'avons vu, plus on augmente la valeur de SF, plus le débit binaire diminue. Or l'efficacité du traitement numérique de reconstitution du message étant inversement proportionnelle au débit binaire, la sensibilité numérique augmente donc avec la valeur de SF (ainsi que le temps de transmission). Cela s'ajoute à la sensibilité de la partie analogique, permettant de grandes valeurs de la sensibilité, et donc des portées plus importantes.
SF correspond aussi au nombre de bits transmis pendant la durée T_s, c'est-à-dire par symbole.
Les temps de transmission d'un symbole T_s et d'un message de 24 octets sont présentés dans le **tableau 1**. Semtech fournit sur son site un calculateur (**figure 4**, [2]) qui permet une évaluation précise des durées de transmission, de la consommation et du budget de liaison. N'hésitez pas à l'utiliser, car bien qu'il ne soit pas fait spécifiquement pour le LLCC68 (mais pour les SX1272 à SX1277), les résultats sont quasiment identiques. L'augmentation d'une valeur de SF à la suivante double presque la durée de transmission, comme on peut le constater sur le tableau 1.
La valeur du débit de transmission binaire (*bit rate*) est R_b et est exprimée par la formule :

$$R_b = SF \cdot (BW / 2^{SF}) \cdot 4/(4+CR) \text{ (bits/s)} \qquad (1)$$

Puisque SF est égal au nombre de bits par symbole, on peut en déduire la vitesse en baud R_s (*symbol rate*) :

$$R_s = R_b / SF \text{ (baud)}$$

Comme les trois valeurs BW, SF et CR sont accessibles, on paramètre facilement la vitesse de transmission que nous souhaitons.

CR, le taux de codage

LoRa permet d'augmenter la robustesse du codage en augmentant la redondance du signal. Pour CR = 1, le taux de redondance est de 4/5, ce qui veut dire que cinq bits sont utilisés pour en coder quatre.

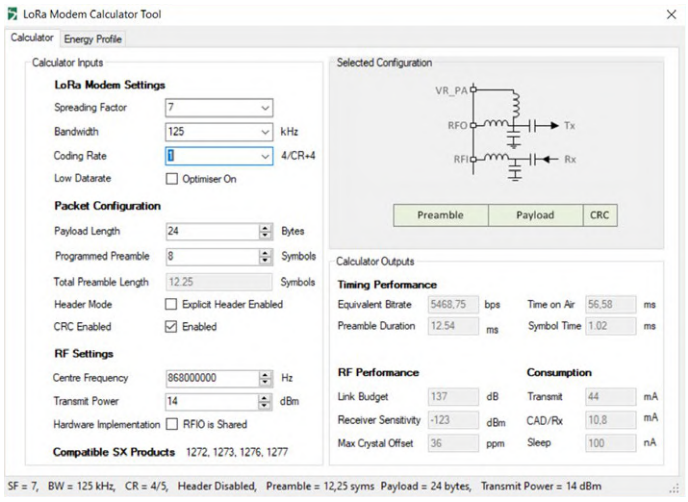


Figure 4. Le calculateur modem LoRa de Semtech existe aussi en version en-ligne.

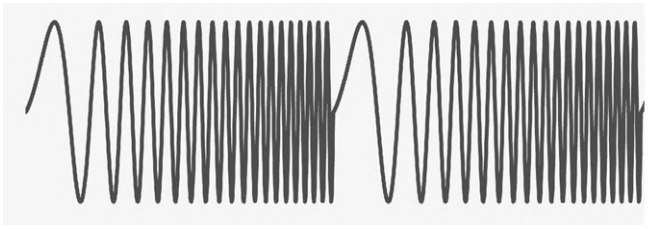


*Figure 5. Représentation de deux **chirps** (avec une modulation augmentée pour l'illustration).*

Tableau 1. Les durées de transmission en fonction du facteur d'étalement SF.

SF	R_b (bit/s)	R_s (baud)	Durée préam-bule (ms)	T_s (ms)	Durée trans-mission (ms)
5	15,625	3,125	3,135	0,256	16,37
6	9,375	1,562,5	6,27	0,51	30,85
7	5,468,75	781,3	12,54	1,02	56,58
8	3,125	390,6	25,09	2,05	102,91
9	1,757,8	195,3	50,18	4,10	185,34
10	976,5	97,7	100,35	8,19	370,69
11	537,11	48,8	200,70	16,38	659,46

Ces valeurs sont sans entête. La présence d'un entête augmentera les durées. Ici, CR = 1, BW = 125 kHz, un message (payload) contient 24 octets et un préambule consiste en 8+4,25 = 12,25 symboles. $T_s = 2^{SF}/BW$.
Le facteur d'étalement SF correspond également au nombre de bits transmis pendant la durée T_s. *Les valeurs* R_b *et* R_s *du tableau sont celles obtenues avec le calculateur Semtech données pour être compatibles avec les produits SX1272 à 1277. Bien que le fondeur ne le précise pas, elles sont également compatibles avec le LLCC68. Remarque : les délais de transmission* R_b *d'un bit du payload (message utile) et d'un bit du préambule ne sont pas identiques.*

Pour CR = 4, le taux est de 4/8, soit huit bits pour en coder quatre. Puisque tout avantage à une contrepartie, augmenter CR fait diminuer R_b (voir équation 1) et, par conséquent, augmente la durée de transmission d'un message.

BW, la bande passante

La largeur de bande BW est aussi appelée encombrement spectral du signal modulé. La variation d'un *chirp* (**figure 5**) qui s'étend de F – df à F + df détermine la bande passante occupée. Puisque, selon l'équation 1, R_b est proportionnel à BW, on peut réduire la durée de transmission d'un message en choisissant une valeur plus grande pour BW. Contrairement aux autres paramètres, il n'y a pratiquement aucune contrepartie à cette augmentation, hormis l'encombrement de la bande de fréquence.

L'optimisation des données pour les faibles débits

Compte tenu de la durée potentiellement longue du paquet à des valeurs de SF élevées (10 ou 11), l'option d'optimisation des données pour les faibles débits (LDRO, *Low Data Rate Optimize*) doit être activée. Elle améliore la fiabilité de la transmission vis-à-vis des variations de fréquence pendant la durée de la transmission et de la réception du paquet. Son utilisation est obligatoire lorsque la durée du symbole T_s dépasse 16 ms. Par exemple, on peut voir au tableau 1 que si SF = 11, LDRO doit être activé, car T_s > 16 ms. L'émetteur et le récepteur doivent utilisent la même valeur pour LDRO.

Présentation rapide du programme

Le programme de 48 Ko comporte 571 lignes, dont une grande partie de commentaires très détaillés (en français). Ils renvoient aux numéros de pages de la fiche technique du LLCC68. Le programme est structuré simplement afin de pouvoir être adapté à tout type d'application.

Ligne 1 : le programme inclut la bibliothèque *SPI.h*. Elle fait partie de la dotation initiale de l'EDI Arduino. Aucune installation de bibliothèque n'est à prévoir.
Lignes 5 à 15 : deux tableaux, l'un pour stocker le message à émettre (TX), le second pour stocker le message reçu (RX).
Lignes 17 à 28 : regroupement de l'initialisation des bornes d'entrées et de sorties pour faciliter l'adaptation à tout type d'application.
Lignes 31 à 48 : déclaration des variables nécessaires pour les calculs internes du programme et les adresses des registres du LLCC68 utilisées par le programme.
Lignes 50 à 56 : déclaration des variables du paramétrage général du LLCC68.
Lignes 57 à 81 : déclaration des variables dédiées à la modulation FSK (les trois derniers paramètres du paquet sont communs avec LoRa).
Lignes 83 à 111 : déclaration des variables pour la modulation LoRa.
Lignes 113 à 170 : déclaration des variables pour le paramétrage de toutes les fonctions RF du LLCC68
Ligne 172 : la fonction Arduino obligatoire *setup*
Ligne 197 : l'autre fonction Arduino obligatoire *loop*. Elle se divise en deux parties. Le commutateur de mode RX/TX détermine quelle partie est exécutée.
Lignes 232 à 277 : cinq fonctions de correction de certaines limites du LLCC68 (voir chapitre 15 de la fiche technique)
Lignes 278 à 311 : les fonctions *Message, busy* et *RX_Wait*, liés au mode RX. Dans la fonction *RX_Wait*, une boucle infinie attend la réception d'un message LoRa valide. Le commutateur de mode permet de sortir de la boucle et de passer du mode RX au mode TX.
Lignes 313 à 355 : *TXRX_Setup*, le paramétrage commun aux deux modes RX et TX, puis *TX_Setup* pour les paramétrages du mode TX et *RX_Setup* pour les paramétrages du mode RX
Ligne 356 : la fonction *TX_Send* qui permet le lancement du mode TX et démarre l'émission d'un message.
Ligne 371 : la fonction *RX_Read* qui lance le mode RX et place le programme dans une boucle infinie en attendant un message LoRa valide.
Ligne 411 : la fonction *Fsk_Setup* qui paramètre le mode FSK.
Ligne 433 : la fonction *Lora_Setup* qui paramètre le mode LoRa.
Lignes 454 à 483 : regroupent les fonctions de *commande SPI* puis *Status* qui permet de connaitre l'état du LLCC68.
Lignes 484 à 571 : regroupent les fonctions de mesure *RSSI*, *SNR* et les *statistiques* des erreurs de transmission et du nombre de messages reçus. Ils peuvent être réémis pour optimiser la liaison.

Vitesse de transmission

La vitesse de transmission d'un message en LoRa et la portée de la transmission est la résultante des valeurs de SF, CR et BW et LDRO, mais également du choix d'avoir un entête (option ***explicite***) ou pas (option ***implicite***) et de la longueur de l'entête, lorsqu'il est présent.

Retour sur les modules E220-900T

Les logiciels destinés au pilotage des modules E220-900T 22 ou 30 présentés dans la première partie [5] ne permettent pas le paramétrage LoRa comme vous pouvez le faire maintenant. Ils ajustent automatiquement les paramètres qui vont bien pour obtenir la vitesse de transmission désirée. C'est fort dommage, car chaque arrangement a ses avantages et ses inconvénients. Il est donc intéressant de pouvoir choisir. C'est la raison qui nous a fait sélectionner le module E220-900M30S qui vous donne, via sa liaison SPI, toute latitude dans son paramétrage.

Utilisation du logiciel

Toutes les commandes et les paramétrages, hormis celles qui sont spécifiques à votre capteur, sont rassemblés en début de programme et sont abondamment commentés. D'autre part, pendant l'exécution du programme, vous pouvez suivre pas à pas son déroulement, sur le moniteur série de votre PC, car le programme comporte un grand nombre de `serial.print`. Voir aussi l'encart **Présentation rapide du programme** pour plus de détails.

Envoyer un message (TX)

En tout début de programme, ligne 6, il y a un tableau `write_buffer` qui, au moment du lancement du programme, doit contenir votre message. Pour cela, remplacez les codes ASCII des lignes 7 et 8 par votre message (127 octets maxi en ASCII). Si votre message est une valeur numérique (p. ex. issue de la mesure d'un capteur), il vous faudra la convertir en ASCII avant de l'inscrire dans le tableau.
Respectez le format du tableau. Ne changez pas les deux premiers octets : 0x0E est la commande (*opcode*) nécessaire au LLCC68 pour écrire dans le tampon ; 0x80 est l'adresse du début de la partie TX du tampon. Toutefois, il faut modifier la valeur du troisième octet, qui est le nombre total d'octets de votre message. Elle sera utile lors de la récupération du message au moment de la réception. Attention, toutes les valeurs sont en hexadécimale.
Suivant la longueur de votre message, vous pourrez être amené à modifier la valeur de plusieurs paramètres : longueur maximale du message (ligne 99, octet 4 et 7), mais également les lignes 125 et 126 pour la réception. Ligne 122, vous pourrez changer la répartition du Buffer entre réception et émission et les paramètres spécifiques à LoRa (lignes 83 à 112).
Mettez l'interrupteur SW_1 en position TX (ouvert), puis relancez le programme. Votre message est ensuite envoyé périodiquement, espacé d'un délai préprogrammé (ligne 229). Il faudra, vraisemblablement, réajuster le rapport temps d'occupation/temps de repos pour qu'il ne dépasse pas 1 % (contrainte de la règlementation française pour l'émission LoRa).

Recevoir un message (RX)

Positionnez l'interrupteur SW_1 en position RX (fermé), puis relanciez le programme. Il va alors attendre la réception d'un message LoRa valide qui sera automatiquement placé dans le tableau `recevoir_buffer` (ligne 14). Il vous suffira de le lire.
Une autre manière de faire consiste à modifier la fonction `RX_Read`, ligne 371, qui permet de récupérer un message reçu par la boucle, ligne 381 à 396. Il contient une fonction de reconnaissance (optionnelle) de la lettre « A » qui déclenche la mise à 1 du drapeau `Message_Valide`. C'est un exemple qui allume une LED de la carte, mais qui peut faire une télécommande.

Quelques idées d'application

La balise GPS pour animal, personne, drone ou autre objet est un exemple d'application de notre couteau suisse LoRa. Mais, le programme que nous avons réalisé est très versatile et il permet un grand nombre d'autres applications, tel que :

- La centralisation de données (humidité du sol, ensoleillement, etc.) d'une exploitation agricole ou d'une station météo.
- Une centrale domotique étendue à un jardin, un parc, plusieurs maisons, une rue entière ou même un village.
- La surveillance (incendie, sécurité) ou la télémétrie d'une zone étendue ou isolée (piscine, terrain de sport, unité industrielle, etc.).
- Une centrale de distribution de l'heure, des phases de la lune et celles des principales planètes vers des horloges réceptrices réparties dans une maison ou un monument plus important (musée, mairie, etc.) ou dans tout le quartier d'une ville.

Il y en a bien plus encore, mais il est probable que d'autres idées germent déjà dans votre imagination…

230140-B-04

La norme européenne

Vous pouvez émettre avec le protocole LoRa sur la bande 868 MHz en respectant la réglementation européenne [4]. En voici le résumé :

1. Ne pas émettre en dehors de la bande des 868 MHz.
2. Ne pas utiliser la bande passante BW = 500 kHz.
3. Ne pas dépasser 14 dBm (25 mW) de puissance rayonnée dans l'air. Cela peut correspondre à beaucoup plus en sortie du module suivant les pertes entre le module et l'antenne.
4. Ne pas émettre pendant plus de 1% du temps (rapport cyclique). Cela veut dire que si le temps de transmission d'un message est de 0,1 seconde, nous ne pouvons effectuer une nouvelle émission que toutes les 0,1 × 100 = 10 secondes, soit six fois par minute (ce qui suffit à de nombreuses applications).

Prenons un exemple. Si, comme l'auteur, votre compagnon est un chien Beagle, très fugueur, dont vous souhaitez connaitre les coordonnées GPS afin de pouvoir le retrouver lors de ses fugues, un collier contenant un récepteur GPS, un émetteur LoRa et une petite batterie suffit. Il vous renvoie six fois par minute la position du chien dans un rayon de 10 km en campagne. L'ensemble consomme peu d'énergie et on a un système léger, petit et avec une grande autonomie.



À propos de l'auteur

Gilles Brocard est ingénieur-conseil à la retraite et formateur LTspice. Il est également spécialiste de la conception de convertisseurs (SMPS).

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (brocard.gilles.b26@gmail.com), ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Produits

- **Radio Logicielle HackRF One Great Scott Gadgets (1 MHz à 6 GHz) (SKU 18306)**
  www.elektor.fr/18306
- **CircuitMess Chatter – DIY LoRa Communicator (SKU 20407)**
  www.elektor.fr/20407
- **Claus Kühnel,** *Develop and Operate Your LoRaWAN IoT Nodes*, **Elektor 2023 (SKU 20147)**
  www.elektor.fr/20147

LIENS

[1] Code source et circuit imprimé : https://www.elektormagazine.fr/230140-B-04
[2] LoRa modem calculator tool : https://lora-developers.semtech.com/build/tools/calculator
[3] Lycée Dorian: « Caractérisation de l'interface radio LoRa d'un réseau de communication LoRaWAN » , eduscol.education.fr : https://www.elektormagazine.fr/lycee-dorian
[4] Réglementation officielle radio pour la France: https://www.arcep.fr/uploads/tx_gsavis/21-1589.pdf
[5] Première partie : https://www.elektormagazine.fr/230140-04



NOUVEAUX oscilloscopes R&S®MXO 5

La série R&S®MXO 5 fournit une technologie révolutionnaire d'oscilloscopes pour accélérer votre compréhension et vos tests de systèmes électroniques.

Avec des modèles quatre et huit voies, les spécifications de la série R&S®MXO 5 impressionnent, faisant que l'instrument dépasse les autres choix de l'industrie.

De plus, les oscilloscopes de la série R&S®MXO 5 sont la quintessence de la technologie de pointe en fournissant des résultats rapides et précis. Avec une technologie personnalisée et des fonctionnalités révolutionnaires, ces oscilloscopes sont les outils parfaits pour la compréhension des comportements de circuits.

En savoir plus :
www.rohde-schwarz.com/product/mxo5

ROHDE&SCHWARZ
Make ideas real

conception et construction de **microphones MEMS**

Peter Riccardi (États-Unis))

Vous pouvez dépenser des milliers d'euros pour un microphone à champ libre. Mais avant de le faire, découvrez ce circuit basé sur les MEMS, qui vous offrira de superbes performances à un coût bien moindre.

Les acousticiens et les ingénieurs en acoustique ont souvent recours à des microphones de mesure pour acquérir des signaux physiques au cours de leurs expériences. Les microphones à condensateur typiques de sociétés telles que PCB Piezotronics coûtent plus de 1000 USD. La qualité de ces microphones est superbe, mais il existe des alternatives disponibles pour les amateurs et les passionnés qui vous permettront d'obtenir les performances dont vous avez besoin pour une fraction du coût. Ici, on étudie une conception basée sur les MEMS avec l'objectif d'avoir un plancher de bruit aussi bas que possible et une réponse stable en fréquence dans la bande audio de 20 Hz à 20 kHz.
Le prototype doit être peu coûteux, simple à concevoir et à assembler, et s'intégrer de manière simple dans le flux de travail typique d'un acousticien expérimentateur. Les projets typiques en acoustique sont alimentées par des entrées IEPE DAQ, de sorte que le microphone fonctionnera avec une excitation IEPE [1], ce qui permet d'alimenter le préamplificateur et les éléments MEMS. La technologie des microphones MEMS s'est améliorée au cours des dernières années, de sorte que leur bruit de fond est assez faible. Le moyennage analogique par l'utilisation d'un réseau en parallèle permet de réduire davantage le bruit ; nous utiliserons cette méthode ici.

Schéma électrique

Il existe de nombreux types de microphones MEMS qui pourraient répondre aux exigences de ce projet. Ici, nous avons choisi le TDK ICS-40300 pour sa réponse étendue en basse fréquence (grâce à un volume arrière étendu) : 6-20 000 Hz, sa sensibilité raisonnable : -45 dBV à 94 dB SPL, et son faible bruit de fond : -108 dBV. Sur le plan mécanique, il sera logé dans un boîtier d'un diamètre nominal de 0,5 pouce. Cela lui donnera un petit facteur de forme et permettra une utilisation facile dans un laboratoire acoustique avec les calibrateurs existants, les supports de micro, etc. Un connecteur BNC situé à l'arrière du boîtier alimentera l'IEPE et émettra la forme d'onde modulée en tension. Un réseau sera conçu pour réduire le bruit de fond. L'objectif est de disposer de quatre éléments dans le réseau, pour une amélioration maximale du bruit de 6 dB. Pour obtenir la gamme dynamique la plus large possible, le préamplificateur fournira un gain pour amener la sortie maximale prévue du microphone au rail d'alimentation. Ici, ce sera 3,3 V. Selon la fiche technique, la tension maximale de sortie est de 0,355 V_{rms} @ 130 dB SPL. Quelques calculs rapides permettent d'obtenir des valeurs plus intuitives.
Tout d'abord, la sensibilité doit être exprimée en mV/Pa. Le niveau de pression acoustique (SPL) est :

$$dB\ SPL = 20 \log_{10} (P_{rms} / P_{ref})$$

SPL est une valeur en décibels. P_{rms} est la moyenne quadratique de la pression mesurée. P_{ref} est la pression de référence (20 µPa dans l'air). Avec un simple calcul, on obtient 1,417 Pa_{pk} à la sensibilité nominale de -45 dBV. Maintenant, la tension (en mV) doit être dérivée de façon similaire à partir de la valeur donnée de -45 dBV. Ici, la tension de "référence" est supposée être de 1 V. L'équation de base serait la suivante :

$$dBV = 20 \log_{10} (V / 1\ V)$$

produisant une tension de crête de 5,623 mV_{pk}. Remarque : par définition, le niveau de pression acoustique correspond à une forme d'onde de pression moyenne quadratique. La tension étant une simple valeur en décibels, le numérateur et le dénominateur de la fonction logarithmique sont supposés être des valeurs de crête. En divisant la tension de crête par la pression de crête, on obtient la sensibilité suivante :

$$sensitivity = 1.417\ Pa_{pk} / 5.623\ mV_{pk} = 3.968\ mV / Pa$$

La sensibilité sera multipliée par tout gain dans le préamplificateur, de sorte que la sensibilité peut être réécrite comme suit :

$$sensitivity = 3.968\ {}^{mV}/_{Pa} * A$$

où :

A = gain

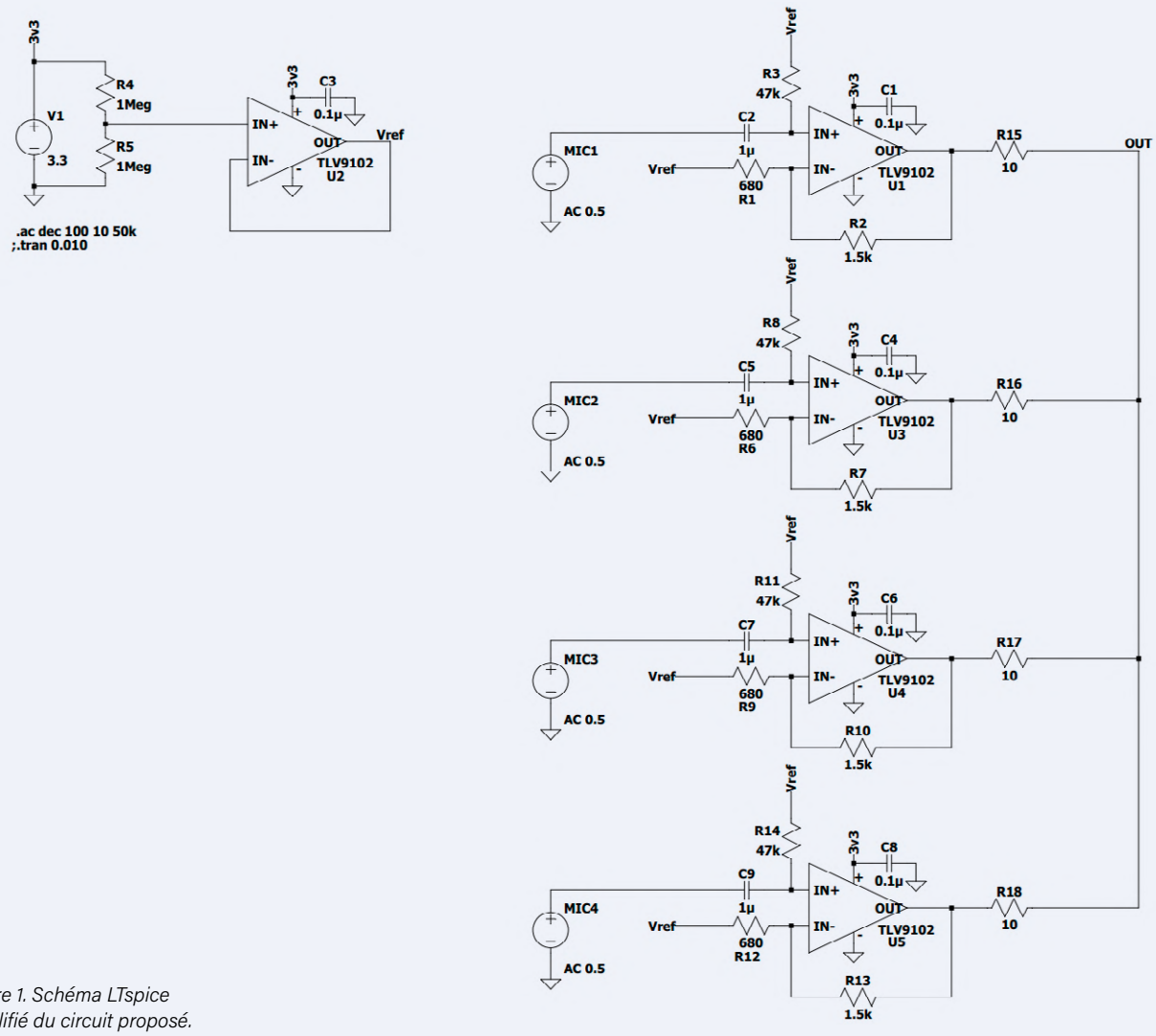


Figure 1. Schéma LTspice simplifié du circuit proposé.

On est loin de la qualité de mesure la plus typique de 50 mV/Pa, mais c'est un compromis nécessaire pour utiliser les éléments MEMS à basse tension avec un large intervalle dynamique d'amplitudes de pression – jusqu'à 130 dB SPL. Un microphone à condensateur ordinaire peut osciller jusqu'à 20 V_{pk-pk} pour les modèles à faible tension. Il est possible d'augmenter cette sensibilité en ajoutant du gain au préamplificateur. Pour maximiser la gamme dynamique de notre système, nous devons tenir compte de la marge de manœuvre. Nous avons choisi des amplificateurs à basse tension, fonctionnant sur une rampe de 3,3 V. Cela garantit une faible consommation d'énergie, tout en maximisant le niveau de variation de tension que le système peut produire. La fiche technique précise la tension maximale de sortie du microphone à la pression nominale la plus élevée qu'il peut atteindre ; cette valeur peut être utilisée pour calculer le gain. Selon la fiche technique, la tension de sortie maximale est de :

V_{out} = 0.355 V_{rms}

La tension de sortie crête à crête est d'environ :

V_{out} = 0.355 * 1.414 = 1 V_{pk-pk}

L'oscillation totale d'un amplificateur opérationnel rail à rail fonctionnant sur un rail unipolaire de 3,3 V est d'environ 3,3 V. Le gain, pour atteindre l'oscillation maximale, serait donc :

$$A = \frac{output}{input} = \frac{3.3\ V_{pk-pk}}{1.00\ V_{pk-pk}} = 3.3$$

Cela implique également l'utilisation d'une masse virtuelle à 3,3 V/2 = 1,65 V et qui constituera donc la tension de référence, V_{ref}, utilisée dans ce circuit. Les éléments du microphone peuvent avoir un décalage de tension continue considérable, de sorte que les sorties de chaque microphone doivent être couplées en courant alternatif par un simple filtre RC. Ici, un condensateur de 1 µF et une résistance de 47 kΩ sont utilisés, produisant une fréquence de coupure de :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{6.28 * 47{,}000 * 0.000001} = 3.4\ Hz$$

On a choisi une fréquence de coupure relativement élevée pour pouvoir utiliser un petit condensateur 0603 avec une tension nominale appropriée.

Circuit

Le circuit de la figure 1 est un schéma simplifié illustrant la topologie proposée. Le nœud de sortie constitué de résistances de 10 Ω forme un circuit de moyennage analogique. Théoriquement, le bruit généré par l'ensemble des ampli-op et le bruit généré (électriquement) dans les

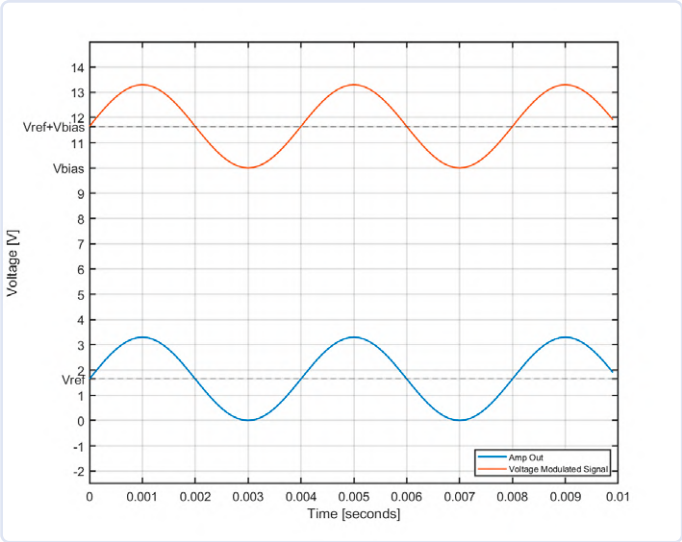


Figure 2. Formes d'ondes typiques et polarisation dans un système alimenté par IEPE. Ici, le signal injecté est une onde sinusoïdale de 250 Hz est. Le tracé bleu correspond à la sortie obtenue au niveau du nœud de calcul de la moyenne. La sortie est polarisée sur la tension de référence, V_{ref}, et on peut voir le signal osciller autour de cette tension continue. En décalant cette tension par une autre tension, V_{bias}, on peut programmer la sortie pour qu'elle fonctionne à une tension continue égale à environ la moitié de la tension de conformité prévue d'un DAQ IEPE. On a utilisé le 4431 de NI comme référence, qui produit 2,1 mA à une tension devant dépasser 20 VDC. Par conséquent, on a choisi une valeur autour de 10-15 VDC comme point de fonctionnement du système.

microphones MEMS ne sont pas corrélés. Il est donc possible d'obtenir une amélioration maximale du bruit de fond de 6 dB. Ce problème est compliqué parce que le bruit qui pourrait se produire à la sortie n'est pas uniquement dû à l'électronique. Les microphones MEMS sont sujets à un bruit acoustique dû aux interactions moléculaires de l'air en contact avec ses diaphragmes. Le phénomène du bruit dans le contexte des circuits électriques et des systèmes acoustiques est extrêmement complexe et dépasse largement le cadre de cet article. On suppose que, sur le plan électrique, les sources de bruit ne sont pas corrélées, et l'on espère que la majorité des bruits acoustiques ne le sont pas non plus. Au moins, le bruit acoustique qui n'est pas corrélé sera moyenné. Les lecteurs intéressés trouveront des informations complémentaires sur le bruit ici [2][3].

Remarque concernant la figure 1 : une tension de 3,3 VDC est généré du rail, avec un diviseur de tension à haute impédance tamponné pour produire une tension de référence égale à la moitié de la tension d'alimentation. Quatre éléments MEMS sont en parallèle, chacun avec son propre préamplificateur avec un gain nominal de A = 3,2. Le filtre RC élimine le décalage en courant continu des éléments MEMS tout en injectant simultanément la tension de référence dans la borne non inverseuse. Les sorties de chaque ampli-op sont reliées entre elles par des résistances à faible impédance. La séparation ohmique permet aux tensions d'être effectivement moyennées à leur nœud de sortie sans créer de court-circuit entre les bornes et saturer les transistors de sortie.

Alimentation IEPE et distribution de puissance

Integrated Electronics Piezo-Electric (IEPE) est une norme intelligente de distribution de puissance utilisée dans de nombreux systèmes d'acquisition de données (DAQ). Elle résout ingénieusement le problème de l'alimentation et de la réception d'un signal sur une interface à deux fils. Pour ce faire, elle exploite les propriétés variables d'une source de courant constant. Rappelons qu'une source de courant constant a - dans le cas idéal - une impédance de sortie

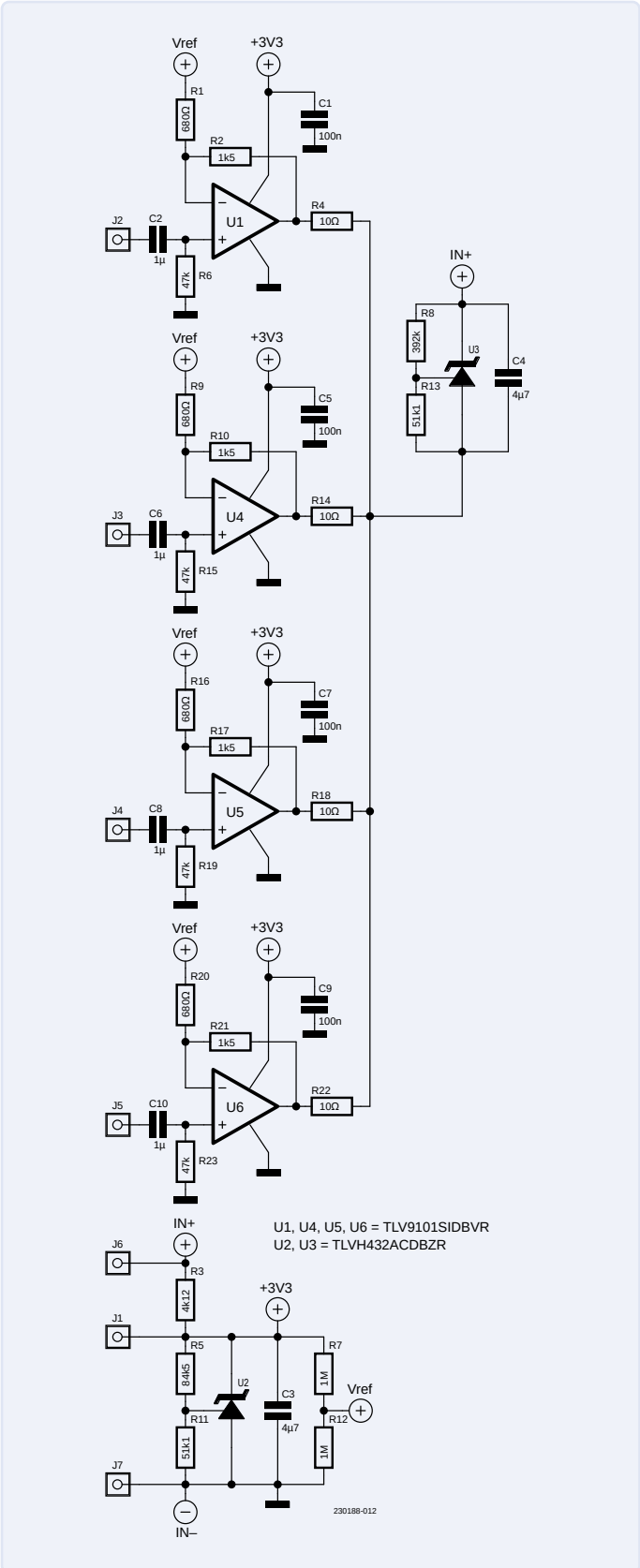


Figure 3. Le schéma du circuit conçu, construit et testé. On a initialement omis le tampon sur la tension de référence (voir figure 1) dans le premier prototype. Il s'agit d'une erreur de conception qui pose des problèmes. Il ne faut donc pas l'omettre si l'on reproduit le travail. Les références "J" sont des pastilles à trous traversants pour souder des "fils volants". Le connecteur BNC dans le boîtier mécanique est câblé point à point au préamplificateur. Le câble positif du connecteur alimente U2, le régulateur de 3,3 V, et est traversé par une tension égale à VIEPE - la tension de conformité définie. La sortie du nœud de sommation alimente un autre régulateur Zener réglé à environ 10 VDC, produisant ainsi la tension de conformité totale comme illustré à la figure 2.

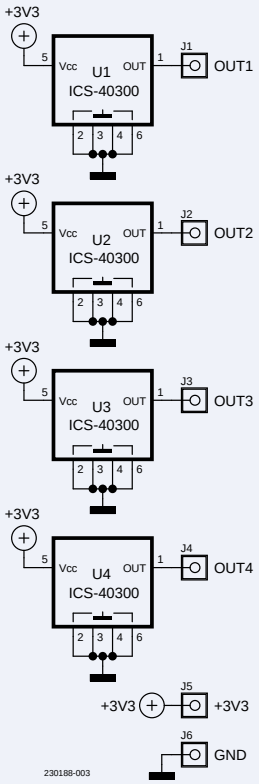


Figure 4. Schéma de la carte MEMS "porteuse" - un petit circuit imprimé circulaire qui abrite les quatre microphones et comporte un certain nombre de pastilles traversantes pour le câblage des câbles de signaux de sortie (entrées du préamplificateur) et pour l'alimentation et la mise à la masse. Comme on peut le voir, il y a au total six références "J", quatre signaux de sortie, plus 3,3 V et GND.



Figure 5. Un microphone construit, emballé dans un boîtier imprimé en 3D avec le couvercle enlevé. L'emballage final est surdimensionné pour une conception nominale de 0,5 pouce, mais il est assez approprié pour une démonstration rapide du concept.

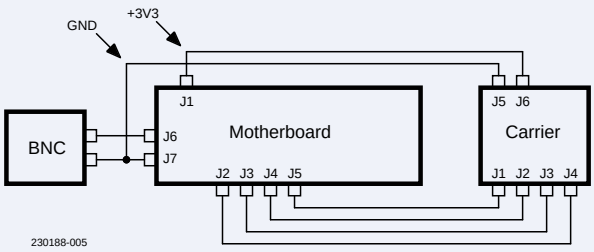


Figure 6. Le guide du câblage des circuits est présenté ici. Les tracés bleus correspondent aux signaux, les tracés noirs à la masse et les tracés rouges au rail d'alimentation. La "carte mère" est le préamplificateur, et le "support" contient les quatre microphones.

infinie. En pratique, cela se traduit par une pente très élevée de la courbe V-I. Cela signifie que la source de courant introduit un courant dans la charge (le préamplificateur et le microphone) quelle que soit la tension qu'elle reçoit. Ainsi, le préamplificateur peut moduler la tension - appelée tension de conformité - et un courant constant circulera toujours dans le préamplificateur pour ses rails d'alimentation et sa distribution. La **figure 2** montre un exemple de forme d'onde observée dans un système basé sur l'IEPE.

Le 4431 de NI a été utilisé comme DAQ de "référence" approprié parce que les composants de National Instruments sont largement utilisés dans la recherche acoustique et que leurs sources d'IEPE sont toutes similaires. Le 4431 délivre 2,1 mA et a une tension de conformité qui dépasse 20 VDC. Si le point de fonctionnement en courant continu du système se situe dans ces limites, le circuit fonctionnera. Il convient de prévoir une marge de manœuvre suffisante pour que la tension alternative maximale polarisée par la tension de conformité continue ne dépasse pas les conditions de fonctionnement maximales.

Nous pouvons maintenant utiliser le courant constant de 2,1 mA pour concevoir notre schéma de distribution de puissance. Nous avons utilisé des régulateurs shunt Zener pour leur faible courant de cathode requis et leur facilité d'utilisation. Les ampli-op et les microphones MEMS consomment le plus d'énergie. D'après leurs fiches techniques, ils ont respectivement les caractéristiques suivantes :

I_q = 150 µA et I_q = 250 µA

En supposant qu'on a cinq ampli-op et quatre MEMS, le tirage de courant pour leur alimentation est égal à 1,75 mA. Les 350 µA restants alimenteront les régulateurs shunt. Le régulateur Zener alimentant le rail 3,3 V aura une résistance réglant son courant de cathode. On a choisi le TLVH432 comme référence Zener car il est ajustable. Il peut fonctionner avec 100 µA de courant de cathode. Le régulateur de tension de polarisation n'aura pas de résistance en série pour régler son courant de cathode. Il " absorbera " simplement la différence entre le courant consommé par le circuit et les 2,1 mA du courant fourni.

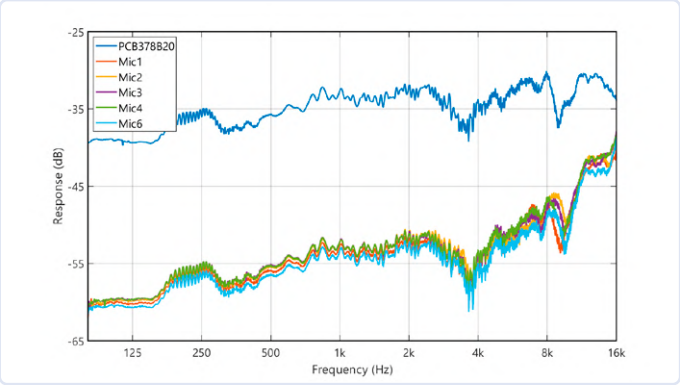


Figure 7. Réponse en fréquence des microphones (cinq d'entre eux) comparée à celle d'un microphone à champ libre PCB378B20. Ces mesures ont été effectuées dans une chambre semi-anéchoïque au-dessus de 200 Hz. Les tendances entre le microphone MEMS et le microphone commercial sont similaires. La plupart de ces "ondulations" ne sont pas de nature électrique, mais plutôt dues aux interactions acoustiques complexes des réflexions et des rebonds indésirables sur le support de la perche et d'autres surfaces dures dans la chambre. La différence notable est la tendance à la hausse des éléments MEMS au-dessus de 10 kHz, qui suit la FRF indiquée dans la fiche technique.

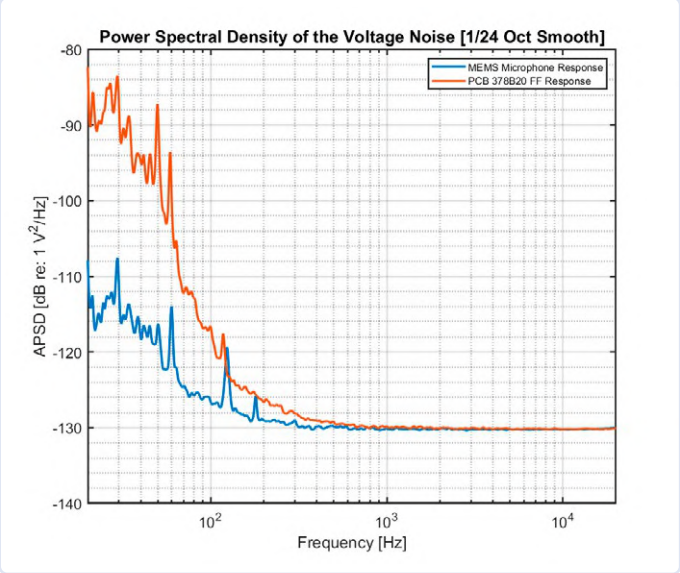


Figure 8. Bruit de tension mesuré dans une chambre semi-anéchoïque sans aucun son diffusé dans la chambre et sans correction de sensibilité (formes d'ondes de tension brutes). Au-dessus de 1 kHz, le microphone MEMS et le microphone commercial s'approchent tous deux du seuil de bruit du DAQ.

Vous trouverez un exemple complet de tous les calculs dans la note d'application complète proposée par Analog Devices [4]. En raison des pénuries d'approvisionnement et des problèmes possibles d'approvisionnement en références Zener à forte demande, une substitution appropriée serait de tirer parti d'une référence de tension flottante utilisant deux résistances et un NPN BJT 2N2222A (indice : consultez "741 op-amp discrete circuitry").

Prototype de préamplificateur et de microphone

Les **figures 3** à **6** illustrent le circuit final. Nous avons conçu deux circuits imprimés, un petit circuit circulaire pour loger les quatre éléments du microphone, et un petit circuit rectangulaire pour loger l'électronique du préamplificateur. Le circuit a été câblé point à point et assemblé dans un boîtier imprimé en 3D avec des dimensions proches de celles d'un microphone de mesure nominalement 0,5 pouce. Pour les résultats des mesures, voir les **figures 7** et **8**.

Conclusions et corrections

La première chose à noter est l'erreur évidente dans le schéma de la figure 3. Le circuit présenté a été conçu rapidement afin de répondre aux exigences de financement du projet initial. Il n'y a pas eu de temps pour la simulation. Ainsi, l'erreur évidente du rail surchargé n'a pas été détectée. Bien que le courant de sortie de ce rail soit très faible, de sorte que le circuit passe la "vérification" normale pour voir si le diviseur de tension est "rigide". Les amplificateurs opérationnels pilotent activement leurs sorties via la rétroaction à faible impédance pour égaliser les tensions des bornes inverseuses et non inverseuses. Il n'y a que 680 Ω de résistance entre la borne non inverseuse et la sortie du réseau diviseur. Le réseau diviseur a une séparation de 1 MΩ entre le point de mesure et le rail régulé. Donc, effectivement, l'ampli-op via sa rétroaction à faible impédance conduit activement la valeur sur ce nœud à être égale à sa propre sortie. L'effet est que le nœud de référence suit la sortie et se réduit essentiellement à un suiveur à gain unitaire, mais avec des interférences supplémentaires possibles. On a effectué toutes ces mesures sur le circuit original, comme le montre la figure 3. Il est donc possible d'améliorer les mesures de bruit. Un lecteur attentif aux calculs pourrait remarquer la faible sensibilité de la fonction de réponse en fréquence mesurée - c'est parce que l'amplificateur fonctionnait en mode gain unitaire, donc il était en baisse d'environ 10 dB. Lorsque cette carte sera remise en service, le tampon sera absolument nécessaire pour un fonctionnement correct.

Assemblage

Les travaux futurs impliquent de reconcevoir l'enceinte pour qu'elle soit plus robuste. L'assemblage a été assez difficile car il y avait plusieurs petites caractéristiques approchant les limites d'épaisseur de paroi de l'imprimante avec une buse de 0,4 mm. La meilleure solution consistera probablement à utiliser un microphone d'un diamètre nominal de 1 pouce. Les circuits imprimés ont toujours été conçus pour être fabriqués avec une technique flexible rigide pour faciliter l'assemblage. Cela n'a pas été possible pour le premier prototype à cause des contraintes de temps. La combinaison de la carte porteuse et du préamplificateur sur un seul modèle, sans la solution de câblage point à point, simplifiera grandement la complexité et réduira le temps d'assemblage. Le coût total de construction d'une de ces unités était d'environ 30 USD ; la figure de bruit mesurée et la réponse en fréquence sont assez bonnes par rapport au coût.

Tous les fichiers sont disponibles sur la page du projet sur le site Hackaday [5].

230188-04

Note de l'auteur

Je tiens à remercier l'équipe SPRAL de l'université d'État de Pennsylvanie pour son aide dans l'acquisition des mesures en chambre anéchoïque, et tout particulièrement M. Zane Rusk pour son soutien infatigable. De même, j'aimerais remercier l'Acoustical Society of America Chapter de l'université d'État de Pennsylvanie pour son soutien apporté tout au long du projet et lors de la présentation des travaux. PCBway a sponsorisé la construction de cinq microphones MEMS et a fourni tous les composants gratuitement. Je tiens à les remercier pour leur soutien au projet, qui a permis à des étudiants de troisième cycle de concevoir, construire et tester ces microphones de mesure gratuitement.

À propos de l'auteur

Peter Riccardi travaille actuellement dans le domaine de l'aérospatiale en tant qu'ingénieur en avionique (électronique). Il a suivi une formation en génie mécanique et a obtenu un diplôme en 2018 à l'université de Rowan. En 2022, Peter a obtenu une M.S. en acoustique à l'Université d'État de Pennsylvanie. Il s'intéresse principalement à l'électronique audio et à l'électroacoustique ; sa recherche consistait à proposer un modèle de transduction linéaire du circuit équivalent du transformateur de mouvement de l'air, un appareil électroacoustique innovant. Ses projets personnels comprennent des réseaux de croisement actifs montés sur mesure en rack avec des amplificateurs de puissance intégrés, des préamplificateurs de platines à faible bruit, des platines sur mesure (cardan mécanique, moteurs, emballage, etc.).

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (pjriccardi@pjroses.co) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Produit

> **Elektor Audio Collection (clé USB)**
> https://elektor.fr/19892

LIENS

[1] IEPE [Wikipedia]: https://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_Electronics_Piezo-Electric
[2] D. Self, "Chapter 1: Basics," Small Signal Audio Design, Focal Press, New York, NY, 2015, pp. 1–16.: https://amzn.to/43dVyTa
[3] T. B. Gabrielson, "Mechanical-Thermal Noise in Micromachined Acoustic and Vibration Sensors," in IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 40, no. 5, pp. 903-909, May 1993, doi: 10.1109/16.210197: https://ieeexplore.ieee.org/document/210197
[4] Analog Devices, "IEPE-Compatible Interface for Wideband MEMS Accelerometer Sensors," CN-0532, 2020: https://bit.ly/CN-0532
[5] P. Riccardi, "MEMS Based IEPE Powered Instrumentation Microphone," Hackaday.io: https://hackaday.io/project/185762-mems-based-iepe-powered-instrumentation-microphone

MiniPlacer : une nouvelle machine pick-and-place pour CMS

MiniPlacer est une nouvelle machine pick-and-place entièrement automatique spécialement destinée au montage des prototypes et des petites séries. Elle privilégie la simplicité d'utilisation et la rapidité du paramétrage plutôt que la vitesse d'exécution.

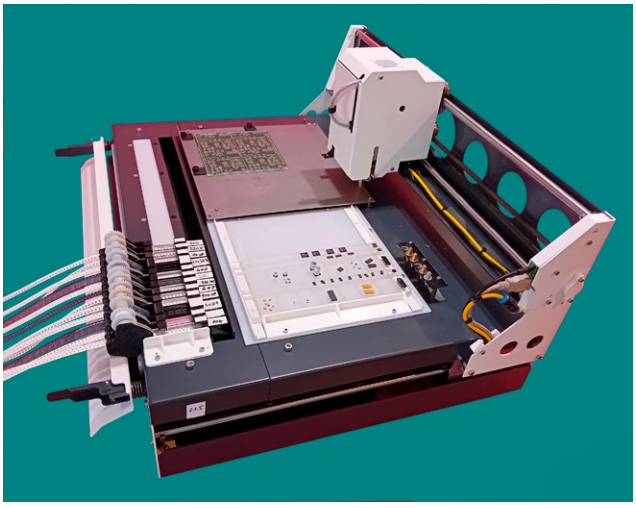
Une caméra facilite les réglages. L'analyse des images localise la position et l'orientation des composants. Des positionnements très précis sont obtenus par l'utilisation de règles découpées au laser.

Sa polyvalence exceptionnelle lui permet de s'adapter à une grande variété de composants, des plus petits aux plus grands. Les composants fournis en bande sont placés dans des chargeurs amovibles individuels. Les autres composants peuvent être posés dans des compartiments rectangulaires ou dans des casiers longs.

La machine change automatiquement sa buse de préhension pour s'adapter au mieux aux composants qu'elle doit placer.

Un logiciel simple et convivial commande la machine et un manuel d'utilisation détaillé guide la prise en main. Ce manuel peut être téléchargé sur le site www.sidena.com et une vidéo montre la machine en fonctionnement.

MiniPlacer s'adresse à tous ceux dont l'activité intègre la fabrication de cartes électroniques : PME, laboratoires de recherche et développement, enseignement.



Précision de positionnement = 0.05 mm
Taille minimum des composants : 0603
Surface du plateau : 220 x 280 mm
Encombrement : 570 mm x 680 mm - H 380 mm
Cadence : environ 300 composants / heure.

Conçu et fabriqué par SIDENA – 35 ch de la Cour de l'Orme – F78490 Grosrouvre
Toutes les informations sur *www.sidena.com/miniplacer*

outils à tester avant de souder

outils de simulation et de modélisation 3D gratuits



Stuart Cording (Elektor)



Vous avez une idée géniale pour un circuit ou un produit, mais vous souhaitez tester quelques notions de base avant de faire chauffer votre fer à souder ou d'allumer votre imprimante 3D ? Aujourd'hui, il est plus simple que jamais de déterminer ce qui est possible et ce qui ne l'est probablement pas. Il vous suffit d'allumer votre PC et de commencer à tester !

Vers la fin des années 1990, alors que j'étudiais l'ingénierie, le potentiel du PC en tant qu'outil à côté du fer à souder commençait à peine à se manifester. Les circuits pouvaient être décrits en format texte et simulés avec SPICE grâce à une commande DOS, ce qui permettait d'obtenir des graphiques VGA de l'amplitude et de la phase du signal. Un autre outil, basé sur Windows, permettait de simuler des circuits numériques, à condition que la machine ne tombe pas en panne pendant notre séance de travaux pratiques. Cependant, en dehors de l'université, l'accès à ces outils était réduit à des versions limitées dans le temps ou dans leurs fonctionnalités. Si vous aviez de la chance, vous auriez peut-être pu rester un peu plus longtemps au bureau pendant un stage et utiliser le logiciel de développement dont disposait votre employeur.

Aujourd'hui, la situation des logiciels dans l'industrie a considérablement évolué. De nombreux outils gratuits sont disponibles sur le marché, offrant des capacités plus que suffisantes pour permettre à la plupart des makers de tester une idée avant de commander des composants en ligne. D'autres sont gratuits pour les makers et les activités non commerciales, ce qui vous donne le temps d'apprendre à les utiliser avant de sauter le pas et de payer une licence. Et grâce à la puissance des navigateurs modernes, certains outils ne nécessitent même pas le téléchargement d'un logiciel. Il vous suffit de vous connecter et de commencer à concevoir !

Wokwi

Lorsque l'on accède à Wokwi [1], il est difficile de savoir si le site peut offrir un outil suffisamment puissant et utile. Mais, les apparences sont trompeuses. Derrière la simplicité de l'interface se cache une richesse matérielle et logicielle qui permet de simuler des applications complexes basées sur du matériel Arduino, Raspberry Pi Pico, STM32, et ESP32. L'accès aux fonctions de Wokwi est gratuit, mais tous les projets que vous créerez seront publics. Pour plus de confidentialité et l'accès à des fonctionnalités avancées, vous pouvez vous inscrire au "Wokwi Club" à un prix raisonnable. Les projets commencent par la sélection d'une carte à microcontrôleur, puis les utilisateurs sont invités à explorer l'un des nombreux projets existants comme point de départ. Le navigateur est partagé en deux, la partie gauche étant dédiée au développement traditionnel du code de la carte sélectionnée, tandis que la partie droite permet une représentation visuelle du matériel (**figure 1**). Il existe une gamme de composants dans la bibliothèque, allant des simples composants passifs et circuits logiques à des modules complets de SparkFun, des LED à sept segments, des LCD, des servos, et des télécommandes et récepteurs IR. Vous pouvez même démarrer une session de débogage si vous êtes familier avec le débogueur de code source GDB [2]. Sinon, il vous suffit de cliquer sur le bouton p*lay* pour exécuter votre code et simuler votre circuit. Les écrans s'actualisent, les LED clignotent et les signaux sonores retentissent, ce qui vous permet de tout tester.

L'environnement est bien documenté [3] et propose un blog fournissant des conseils, et il est soutenu par un canal Discord actif. Les projets Arduino sont sauvegardés au format *.ino*, ce qui permet de les copier facilement dans l'EDI Arduino, et il existe également un gestionnaire de bibliothèque. Les schémas de circuit sont enregistrés au format JSON, facile à lire. Pour documenter votre projet et partager votre expérience, vous pouvez écrire des notes au format *markdown* dans un

fichier *readme.md*. Des efforts sont également en cours pour prendre en charge l'outil via le fameux EDI Visual Studio Code de Microsoft et offrir un environnement d'intégration continue (CI) basé sur le cloud afin d'automatiser les tests.

Pour commencer

- Réveil Arduino avec module d'horloge en temps réel : *https://tinyurl.com/alrmclkino*
- Enregistreur MQTT météo avec ESP32 et MicroPython : *https://tinyurl.com/espmqttwl*
- Clavier matriciel Raspberry Pi Pico avec LED : *https://tinyurl.com/picokeypad*

QSPICE

SPICE, (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*), est un outil qui a vu le jour à l'université de Californie, à Berkeley, dans les années 1970. Il a aidé les ingénieurs à simuler leurs circuits analogiques avant de les intégrer sur le silicium avec une analyse mathématique complexe, en tirant parti de la puissance du langage FORTRAN pour le calcul numérique. Aujourd'hui, on trouve différentes versions de SPICE sous forme d'outils autonomes ou cachés dans le back-end des packages de conception de circuits.

Une nouvelle version est désormais disponible. QSPICE [4] a été lancé par Qorvo, une société américaine de semi-conducteurs qui développe son portefeuille de dispositifs de puissance, et qui a récemment ajouté des produits en carbure de silicium (SiC) grâce à l'acquisition de UnitedSiC en 2021. Leur outil de simulation a été développé par Mike Engelhardt, le concepteur de l'outil LTspice promu par Analog Devices (anciennement Linear Technology).

QSPICE ressemble à n'importe quel autre outil de simulation, fournissant un espace de travail pour dessiner des circuits (**figure 2**) et lancer une simulation, affichant les résultats dans le domaine temporel (**figure 3**). Cependant, par rapport à LTspice, le mode d'interaction suit les règles standard de l'interface utilisateur de Windows, comme tourner la molette de la souris vers l'avant pour zoomer. Cependant, c'est là que s'arrête la ressemblance. Dans une interview, Engelhardt a expliqué que cette version de SPICE est celle qu'il aurait créée il y a 25 ans s'il avait su ce qu'il sait aujourd'hui. Le changement le plus important est peut-être la prise en charge de la simulation en mode mixte avec un compilateur pour Verilog (qui est écrit à l'intérieur d'un fichier C++ - voir la démo VerilogCounter ci-dessous), ce qui permet la mise en œuvre d'appareils numériques. Il précise également que cet outil simule le circuit donné plutôt que de résoudre les équations complexes le mieux possible, contrairement à d'autres outils SPICE.

QSPICE utilise également les dernières fonctionnalités du système d'exploitation Windows qui offrent un accès simplifié au GPU de l'ordinateur via une API logicielle normalisée. Cela signifie que, lors de la simulation, les données de forme d'onde peuvent désormais être utilisées telles qu'elles sont présentées, ce qui évite la nécessité d'une compression et les problèmes associés qui en résultent. En outre, les graphiques sont nettement améliorés, tant pour l'affichage des circuits que pour les résultats de la simulation. Un autre avantage est la vitesse, qui s'est avérée plus grande sur les circuits de référence et qui a passé tous les tests - un taux d'échec de simulation d'environ 15 % est typique pour de tels outils.

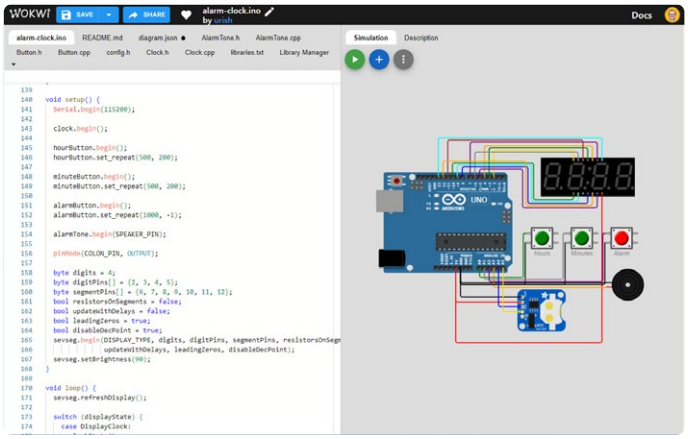


Figure 1. L'interface utilisateur de Wokwi reste simple, ce qui vous permet de vous concentrer sur le code (à gauche) et le circuit (à droite).

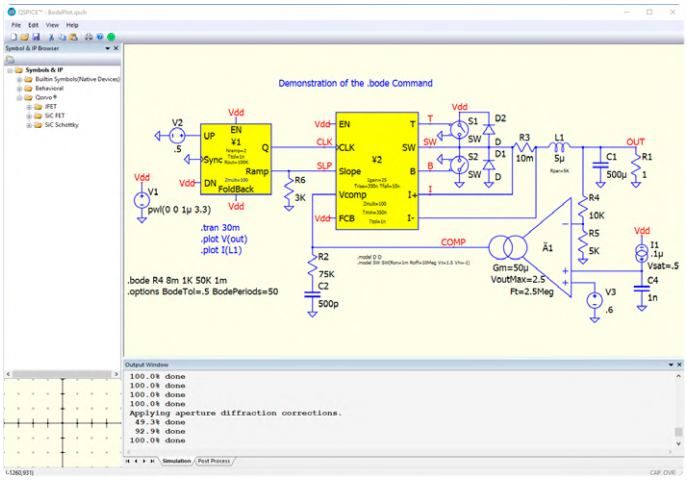


Figure 2. QSPICE offre une interface de conception de circuits conviviale, tandis que le GPU de votre PC augmente les performances de simulation.

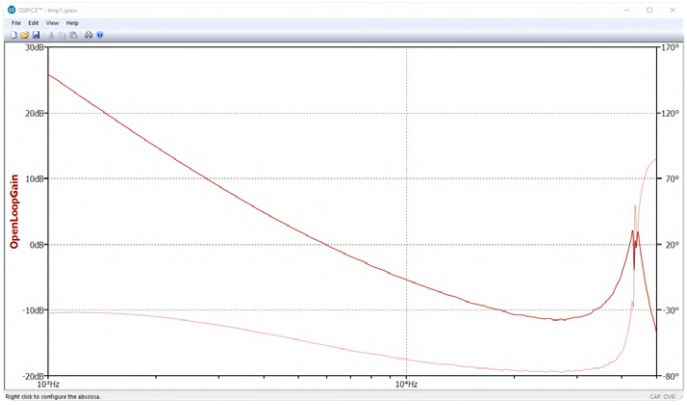


Figure 3. Le résultat de la simulation : un diagramme de Bode habituel mais avec une résolution plus élevée qu'avec les autres outils SPICE.

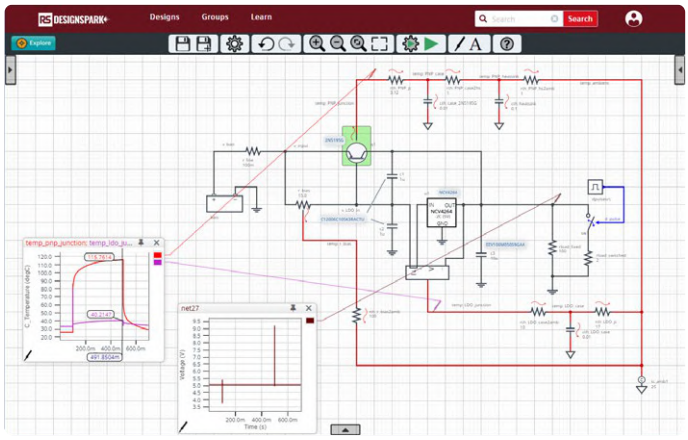


Figure 4. On peut également simuler les caractéristiques thermiques d'un circuit avec un simulateur de circuit de DesignSpark (un outil en ligne).

Une amélioration significative de la simulation concerne la saturation des composants tels que les JFET (SiC) et les commutateurs au nitrure de gallium (GaN) dans la région "on". Qorvo espère que cela aidera les ingénieurs à développer des systèmes avancés de gestion de l'énergie de future et deviendra un outil industriel auquel contribueront d'autres fournisseurs de semi-conducteurs. Actuellement, environ 1 000 composants sont pris en charge, ainsi que 20 exemples de projets.

Pour commencer

Allez dans le menu et sélectionnez *File Open Demo...*, puis :

- Testez la simulation numérique d'un compteur avec *VerilogCounter.qsch*
- Examinez une alimentation à découpage (à résonance) (SMPS) avec *SMPS.qsch*
- Créez un diagramme de Bode avec *BodePlot.qsch*

Simulateur de circuit DesignSpark

Le programme DesignSpark de RS Components a été lancé il y a plus de dix ans, évoluant vers une communauté qui encourage les ingénieurs et les activistes de l'ingénierie. Il s'appuie sur une gamme d'outils gratuits de conception de circuits imprimés et de modélisation 3D, ainsi que sur des abonnements qui ouvrent l'accès à des fonctionnalités avancées. Circuit Simulator [5], un outil basé sur un navigateur de Siemens PartQuest Explore, vient s'ajouter à cette liste d'outils. Il prend en charge les circuits analogiques, numériques et à signaux mixtes, mais l'aspect le plus intéressant est sans doute l'option de simulation multi-domaine.

La plupart des simulateurs de circuits simulent en fonction du circuit donné. Vous pouvez simplement introduire plusieurs ampères à travers une diode à petit signal, sans vous soucier de la faire claquer dès la première seconde du fonctionnement. La simulation multi-domaine signifie que la simulation électro-thermique et électro-mécanique sont également disponibles.

Il est plus facile d'expliquer cela avec l'un des circuits d'exemple disponibles. Le projet de régulateur élévateur utilisant un LDO NCV4264 d'Onsemi, génère une sortie de 5 V dans une charge de 100 Ω. Un circuit de test supplémentaire commute une charge de 2 Ω en entrée et en sortie, provoquant un statisme et un pic prévus dans la sortie de tension. Autour du circuit, on a construit un circuit thermique supplémentaire (**figure 4**). Il s'agit de la chaleur générée par un transistor plus un élément *Electrical Power to Heat Flow* qui s'enroule autour des composants électriques à deux broches tels que le LDO.

Il est évident qu'une telle simulation nécessite une compréhension des propriétés thermiques du circuit lors de sa fabrication, telles que le transfert de chaleur à travers le circuit imprimé, ce qui n'est pas connu de tout le monde. L'outil comprend une gamme de composants thermiques et électrothermiques tels que des transistors et des diodes avec des interfaces électrothermiques, un réseau thermique Cauer et un refroidisseur thermoélectrique Peltier.

Vous trouverez des composants magnétiques et électromécaniques, tels que des électro-aimants, des moteurs linéaires à courant continu et des moteurs triphasés. Si nécessaire, vous pouvez ajouter de nouveaux composants à votre bibliothèque. L'une des approches consiste à saisir les détails essentiels à partir de la fiche technique du composant. Sinon, ils peuvent être décrits avec SPICE ou VHDL-AMS [6].

Comme pour tous les outils de la gamme Design Spark, une inscription est nécessaire pour accéder à Circuit Simulator, et avec le plan Explorer gratuit, la simulation est limitée à une minute. La mise à niveau porte cette durée à 60 minutes. Une autre fonctionnalité astucieuse est la possibilité d'intégrer votre circuit dans votre propre site web, ce qui permet aux visiteurs d'explorer votre circuit, en déplaçant des sondes pour voir les résultats de la simulation.

Pour commencer

Créez un compte, connectez-vous et procédez au paiement :

- Commande de moteur pas à pas en boucle ouverte : *https://tinyurl.com/pqolstct*
- Système de direction assistée électrique avec un moteur PMSM : *https://tinyurl.com/pqpowerst*
- Ascenseur hydraulique pour voitures basé sur une motopompe triphasée : *https://tinyurl.com/pqcarlift*

Shapr3D

Avec l'apparition des imprimantes 3D, des outils ont été nécessaires pour concevoir les objets en 3D à imprimer. L'un des outils les plus répandus était SketchUp [7], un logiciel acheté par Google qui permettait d'ajouter des bâtiments à Google Earth. Deux décennies plus tard, la version gratuite de SketchUp n'est disponible que sous la forme d'un outil basé sur un navigateur, elle est peu pratique et n'a pas l'air d'avoir beaucoup changé.

Le problème des outils 3D est qu'ils sont difficiles à utiliser sur les écrans 2D dont la plupart d'entre nous disposent. Shapr3D [8] résout ce problème d'une manière convaincante. Disponible sous forme d'application pour Windows ou Mac, ou via l'App Store pour iPad, il est possible de télécharger le logiciel après s'être enregistré. L'interface utilisateur permet de comprendre facilement quelles sont les options de dessin en 3D disponibles à tout moment. Mais le plus astucieux, c'est que vous pouvez à tout moment passer en mode dessin 2D en appuyant sur la barre d'espace, évitant ainsi la confusion causée par le rendu. Ainsi, si vous êtes un adepte du dessin technique sur papier, vous pouvez commencer confortablement.

Vous serez tout aussi satisfait si vous préférez vous lancer directement dans un dessin en 3D (**figure 5**). Les dimensions et les angles sont facilement modifiables après qu'un objet a été dessiné ou qu'une face a été tirée, de même que les filets et les chanfreins. Les cercles sont placés au centre à l'aide de l'outil concentrique, même si seul un arc est disponible comme ligne de référence. Et, pour garantir la précision, la grille et l'accrochage sont faciles à configurer en fonction de vos besoins.

Shapr3D permet également de tester ses fonctionnalités avancées. Par exemple, il est possible de transformer un modèle 3D existant en un dessin mécanique, ou d'appliquer des matériaux à la surface pour se faire une idée de l'aspect du produit final (**figure 6**). La version gratuite permet d'exporter les modèles sous forme de fichiers STL ou 3MF pour l'impression 3D, bien que la résolution soit basse. Pour le reste, vos fichiers sont stockés dans le cloud.

Pour commencer

Pour les tests, nous avons téléchargé un support simple au format STEP [9] à partir de GrabCad [10], qui propose une série de modèles dans sa bibliothèque.

Testez d'abord, construisez plus tard

Bob Pease, un célèbre ingénieur en analogique de National Semiconductor, a toujours affirmé que son langage de programmation préféré était la soudure. Et il a raison - construire quelque chose sera toujours mieux et plus amusant que de la simuler. Cependant, si vous n'avez pas de composants à portée de main, ou si vous voulez explorer une idée pour en vérifier la faisabilité, vous pouvez utiliser gratuitement tous les outils listés ici avant de passer votre commande de composants.

230512-04

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (stuart.cording@elektor.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

À propos de l'auteur

Stuart Cording est ingénieur et journaliste et possède plus de 25 ans d'expérience dans l'industrie électronique. Vous trouverez un grand nombre de ses articles récents sur Elektor à l'adresse suivante : *www.elektormagazine.com/cording*. En plus d'écrire pour Elektor, il anime une émission d'interviews régulièrement diffusée en direct, Elektor Engineering Insights (*www.elektormagazine.com/eei*).



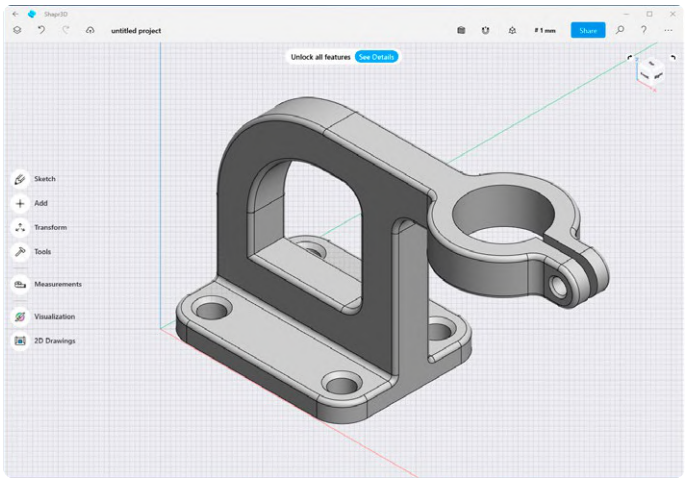


Figure 5. L'interface utilisateur de Shapr3D est très conviviale et permet une transition parfaite entre le dessin 3D et le dessin 2D.

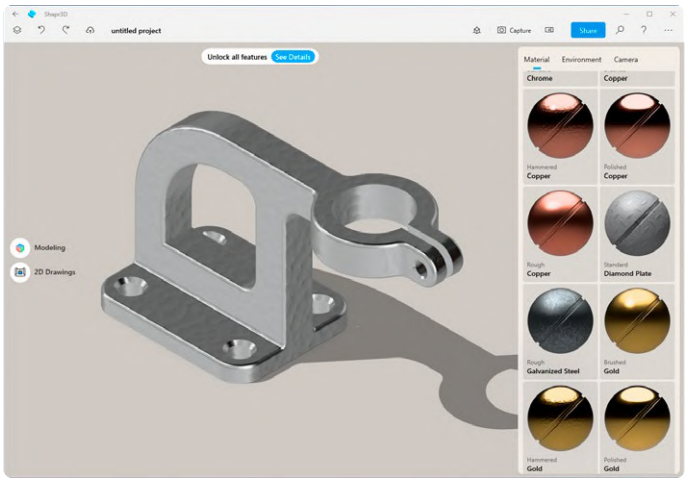


Figure 6. Des matériaux peuvent être appliqués aux modèles 3D finis. La version gratuite ne permet pas d'enregistrer les matériaux sélectionnés.

LIENS

[1] Wokwi : https://wokwi.com
[2] GDB Debugger Project: https://sourceware.org/gdb
[3] Documentation de Wokwi : https://docs.wokwi.com
[4] Qorvo QSPICE : https://tinyurl.com/qspicesimulator
[5] Simulateur de circuit DesignSpark : https://tinyurl.com/designsparkcs
[6] VHDL-AMS sur Wikipédia : https://tinyurl.com/wikivhdlams
[7] SketchUp : https://sketchup.com
[8] Shapr3D: https://shapr3d.com
[9] Example 3D model of bracket : https://tinyurl.com/bracketmount
[10] GrabCAD : https://grabcad.com

nouveaux outils de Microchip!

PICkit 5 et MPLAB ICD 5 sont disponibles maintenant !

Par Tam Hanna, pour Microchip

Il est loin le temps où les passionnés d'électronique bricolaient des programmateurs « maison » pour programmer les PIC et autres microcontrôleurs similaires. Microchip a récemment présenté son dernier débogueur/programmateur en circuit PICkit 5, qui est très abordable et qui est compatible avec la plupart des familles de microcontrôleurs Microchip. Pour le dépannage professionnel, le puissant débogueur/programmeur MPLAB ICD 5 est également disponible. Cet article explore leurs nouvelles fonctionnalités et montre comment intégrer les nouvelles versions dans un écosystème de développement existant.

Maintenant avec l'USB-C!

Microchip s'est toujours engagé à réduire l'encombrement de câbles dans les laboratoires des développeurs MPLAB. La variante précédente d'ICD 3 utilisait un connecteur USB-A, tandis que le PICkit 4 était équipé d'un connecteur Micro-USB.

La normalisation dans le monde des connecteurs USB signifie maintenant que le PICkit 5 [1] et l'ICD 5 [2] sont tous deux livrés avec un connecteur USB-C, qui est en train de devenir la norme pour tous les smartphones modernes. Les soucis engendrés par les différents câbles USB feront partie du passé, grâce à la standardisation de ce connecteur.

Pour les propriétaires de ces appareils, cela présente plusieurs avantages. Tout d'abord, pour un développeur, il est désormais facile d'utiliser le même câble pour recharger votre smartphone et pour vous connecter à votre environnement de développement. Cela permet de vous faire gagner de la place, et parfois de l'argent lors des voyages d'affaires, car vous pouvez emprunter des câbles USB-C presque partout en raison de leur utilisation généralisée dans l'industrie des smartphones.

La deuxième innovation concerne spécifiquement les propriétaires de la version « plus grande » du programmateur ICD 5. Grâce à son accès à une plus grande puissance, l'IC 5 peut fournir jusqu'à 1 A au circuit d'application. Dans de nombreux cas, cela élimine la nécessité de prévoir une deuxième source d'alimentation pour l'appareil testé. L'appareil de programmation plus petit est toujours restreint à une limitation de courant d'environ 150 mA, ce qui est probablement une concession à cause de sa plus petite taille.

En ce qui concerne la vitesse de programmation réelle, il n'y a pas d'avantages significatifs avec l'USB-C, car les deux programmateurs fonctionnent toujours « seulement » au débit de l'USB 2.0 High Speed, mais cela ne devrait pas être un problème majeur dans la pratique, étant donné la petite taille des fichiers de la plupart des images de microcontrôleurs. Les optimisations matérielles, en revanche, améliorent la « vitesse perçue ».

Et PoE !

Lors du développement d'applications comprenant des sections de tensions élevées, il est important d'assurer une bonne isolation galvanique entre l'étage haute tension et le reste du circuit, y compris le processeur, les signaux basse tension et les signaux des capteurs. L'un des avantages de l'utilisation d'une liaison de communication telle qu'un réseau Ethernet est qu'il utilise généralement des transformateurs d'isolation à chaque connecteur de réseau pour assurer l'isolation galvanique des signaux de données. Cela permet d'assurer une bonne isolation entre votre station de travail ou votre PC coûteux et tout appareil externe.

La dernière version de l'ICD 5 comporte un port réseau à l'arrière (**figure 1**). Ce qui est nouveau, c'est qu'il peut désormais alimenter « l'ensemble de l'application » par le biais de l'alimentation par Ethernet (PoE), s'il est configuré de manière appropriée dans votre réseau PoE. Cela peut fournir un courant conséquent au circuit de l'application, et signifie que vous n'aurez pas besoin d'un adaptateur secteur supplémentaire pour l'alimenter.

Heureusement, MPLAB X est également prêt à communiquer directement avec l'ICD 5 via Internet, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de câbler un câble USB-C supplémentaire entre votre PC et le programmateur.



Figure 1. Cette connexion permet également l'alimentation par Ethernet.

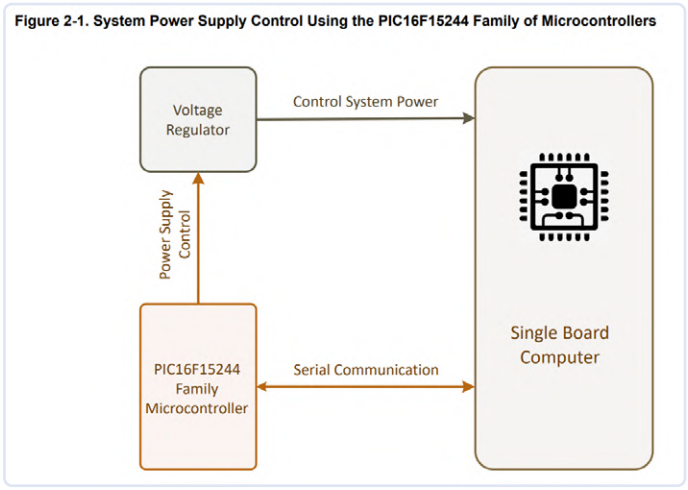


Figure 2. Même un microcontrôleur de gestion nécessite un micrologiciel ! (Source : [3])

Il est important de souligner que cette configuration favorise également l'expérimentation de l'intégration et de la distribution continues, bien que les anciennes versions du programmateur offraient des fonctionnalités similaires lorsqu'elles étaient utilisées avec une connexion Ethernet et un adaptateur secteur 9 V.
Le bloc d'alimentation fourni avec les versions antérieures du kit de développement ne fait plus partie de l'ensemble dans la version 5. Cela indique que l'alimentation peut également être fournie grâce à la capacité d'alimentation plus élevée des ports USB-C ou USB 3.0, par rapport aux versions USB précédentes.

PICkit 5 : fonctionnalités améliorées

Le développement d'un système électronique n'est souvent que la première partie d'une chaîne de valeur complexe. Ceux qui ne prennent pas en compte la « conception en vue de la producion » , et d'autres aspects similaires, peuvent être confrontés à des coûts élevés inattendus dès le départ ou à des problèmes au cours de la fabrication.
Un bon exemple sont les systèmes qui combinent un « microcontrôleur de gestion » avec un ordinateur de traitement, tels que décrits dans la note d'application AN4121 [3] et résumé par le schéma à la **figure 2**.
Une mauvaise planification, par exemple un mauvais positionnement du port de programmation du microcontrôleur, peut avoir un impact significatif sur les coûts d'assemblage et de maintenance du produit.
Si les développeurs peuvent ge téléchargementraison de micrologiciels à chaque carte individuelle d'un système prototype à l'aide de MPLAB, cette méthode devient longue et irréalisable lorsque l'appareil entre en production.
Avec le PICkit 5 et sa fonction *Programmer-To-Go*, Microchip offre une solution. En fait, cette fonction est disponible depuis plusieurs versions, et le secret réside dans l'emplacement microSD illustré à la **figure 3**, qui accueille une carte mémoire formatée en FAT32.
En utilisant MPLAB, les développeurs peuvent définir une image de micrologiciel à déployer automatiquement, et l'adaptateur de programmation peut alors la fournir aux appareils cibles qui sont connectés avec un minimum d'effort.
Ce qui est également nouveau avec le PICkit 5, c'est la possibilité de copier plus d'une image de micrologiciel dans la zone de mémoire du *Programmer-To-Go*. Cela permet d'utiliser le programmateur pour le « paramétrage ou l'assemblage final » de plusieurs modules. Le processus de programmation est lancé par le bouton habituel caché sous le logo à l'avant de l'appareil, de sorte que la sélection de l'image doit se faire via une autre interface de communication.



Figure 3. Le logement de la carte mémoire.

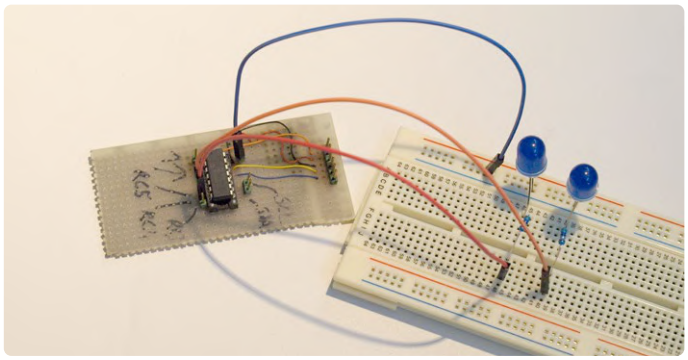


Figure 4. Cette ancienne carte servira de système de test.

...et amis de la norme radio Bluetooth

Pour configurer les nouvelles unités de programmation, vous aurez besoin de l'environnement de développement MPLAB version 6.10 ou supérieure, le processus d'installation en soi est assez standard, comme vous pouvez l'attendre de MPLAB. Outre l'installation classique du compilateur XC8, que Microchip gère séparément, soyez attentifs lors du démarrage initial de MPLAB, à lui accorder l'accès aux réseaux locaux et distants dans le pare-feu Windows. Ceci est particulièrement important si vous prévoyez d'utiliser la version la plus grande du programmateur avec sa connexion Ethernet.
Pour l'étape suivante, vous aurez besoin d'une carte SD. J'ai utilisé une carte de sauvegarde de 16 Go et je l'ai formatée avec une partition FAT32 sous Ubuntu. En recherchant une fonction particulière de la gestion de disques, vous veurrez q'une des particularités de l'application est qu'elle ne crée pas de partition par défaut, vous devrez donc le faire séparément.
Pour cette configuration, le banc de test matériel que j'utiliserai est une carte à base de contrôleur PIC16F1503 provenant d'un récent projet de consulting pour l'industrie automobile (**figure 4**).
Dans la première étape, comme d'habitude, choisissez l'option *File → New Project* pour générer un projet pour le compilateur XC8. Ensuite, démarrez le configurateur de code (MCC) pour générer un squelette de projet de base. Dans cette description, je suppose que vous êtes déjà familiarisé avec la programmation des PIC, je ne vous donnerais donc pas les détails de la manipulation générale.

Non compatible avec Windows 7

Il est important de savoir que Microchip déconseille explicitement l'utilisation de la cinquième version de ses programmateurs avec Windows 7. J'ai utilisé des ordinateurs fonctionnant sous Windows 10 ou 11 pour cet article. Cependant, certaines rumeurs circulent sur l'internet et prétendent que cela « fonctionne », du moins lorsque le programmateur peut être régulièrement connecté à un ordinateur fonctionnant sous Windows 10 ou Windows 11. MPLAB effectuant alors diverses mises à jour du micrologiciel et des tâches de maintenance dans le cadre d'une séquence de test.

Le seul point crucial est que deux broches GPIO doivent être déclarées comme des sorties. Dans les étapes suivantes, je définirai les broches RC4 et RC5 comme des sorties, puis le code sera généré.
Pour faciliter la compréhension des différences, j'écrirai un programme suivant un modèle spécifique dans cette structure d'exemple de projet, appelé *RunMeQuick1*. Ce programme allumera les LED ensemble à un rythme relativement lent.

```
void main(void)
{
    // initialize the device
    SYSTEM_Initialize();

    // When using interrupts, you need to
  // set the Global and Peripheral Interrupt Enable bits
    // Use the following macros to:

    // Enable the Global Interrupts
    //INTERRUPT_GlobalInterruptEnable();

    . . .
    IO_RC4_SetHigh()  ;
    IO_RC5_SetHigh()  ;
    while (1)
    {
            IO_RC4_Toggle()  ;
            IO_RC5_Toggle()  ;
            __delay_ms(1000);
    }
}
```

Dans l'étape suivante, ouvrez la vue *Project Properties*, où vous trouverez les paramètres permettant de configurer le fonctionnement de *Programmer-To-Go*, comme le montre la **figure 5**.
L'aspect le plus important ici est la section *Image Name*, qui est le nom que MPLAB attribue au fichier écrit. L'option *Send image to Tool* (Envoyer l'image à l'outil) indique à l'IDE de charger l'image générée sur la carte microSD du programmateur connecté.
Cocher la case *Program Device* est facultative. Car en plus de la fonction *Programmer-To-Go* « actuelle », elle détermine si un microcontrôleur PIC connecté doit être programmé avec l'image fournie.
L'utilisation de cette option peut s'avérer utile, par exemple, lorsque vous souhaitez mettre à jour l'image du *Programmer-To-Go*, tout en chargeant

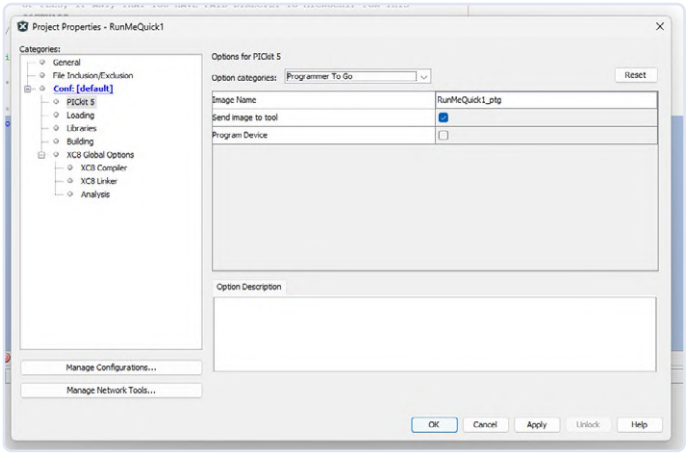


Figure 5. MPLAB assiste les développeurs en configurant le mode Programmer-To-Go.

le micrologiciel actuel sur une carte d'évaluation en vue d'un test final.
Le déploiement proprement dit doit ensuite *impérativement* être effectué à l'aide du menu illustré à la **figure 6**, qui lance une « mise à jour » de l'image du *Programmer-To-Go.*
Lors du déploiement, il arrive qu'un message d'erreur apparaisse, du type « `Transmission on endpoint 2 failed (err = -109)` ». Dans mon cas, ce problème a presque toujours été résolu en redémarrant le PC. D'ailleurs, si vous venez d'installer MPLAB, il est également recommandé de redémarrer à ce stade. Le déploiement est terminé lorsque la console d'état affiche le message « `The debug tool is in programmer to go mode` ».
Nous allons maintenant retourner à la page d'accueil MPLAB dans cette prochaine étape pour créer un autre projet, quasiment identique, nommé *RunMeQuick2*. Cela permettra d'illustrer les améliorations apportées à la deuxième génération de PICkit 5. Tout d'abord, nous devons redémarrer le MCC à nouveau. Le code destiné à contrôler les LED de signalisation ressemble maintenant à ceci :

```
void main(void)
{
    . . .

    IO_RC4_SetLow()  ;
    IO_RC5_SetHigh()  ;
    while (1)
    {
            IO_RC4_Toggle()  ;
            IO_RC5_Toggle()  ;
            __delay_ms(1000);
    }
}
```

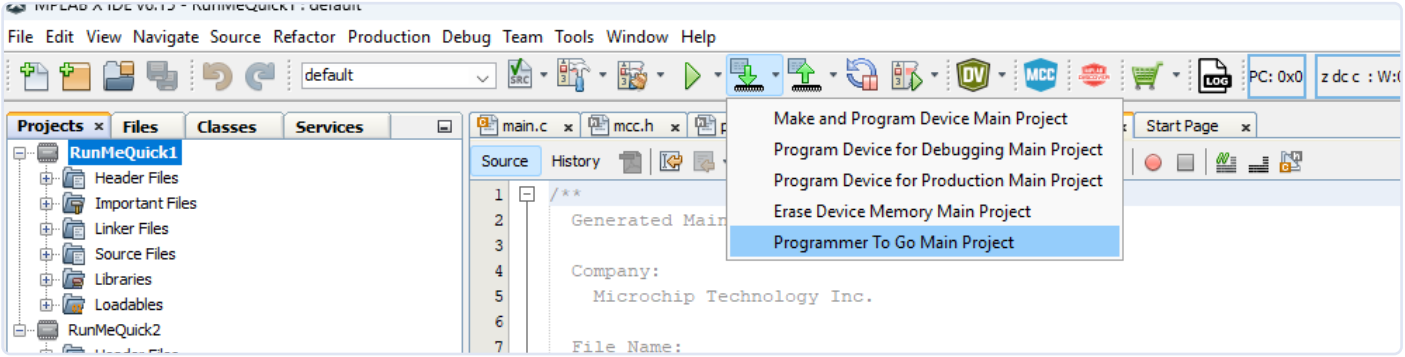


Figure 6. Cette entrée transfère l'image vers la carte SD.

To configure the connected PICkit, logically, you'll need to perform another execution, which should also conclude with the status message `The debug tool is in programmer to go mode`.

Pour configurer le PICkit connecté, logiquement, vous devrez effectuer une autre commande, qui devrait également se terminer par le message d'état « `The debug tool is in programmer to go mode` ». Dans l'étape suivante, vous pouvez déconnecter le programmateur de votre poste de travail. À ce stade, j'ai utilisé un chargeur de téléphone ordinaire pour alimenter le PICkit . La LED verte clignotante indique que l'appareil est en mode « *Programmer-To-Go* » et qu'il attend des instructions.

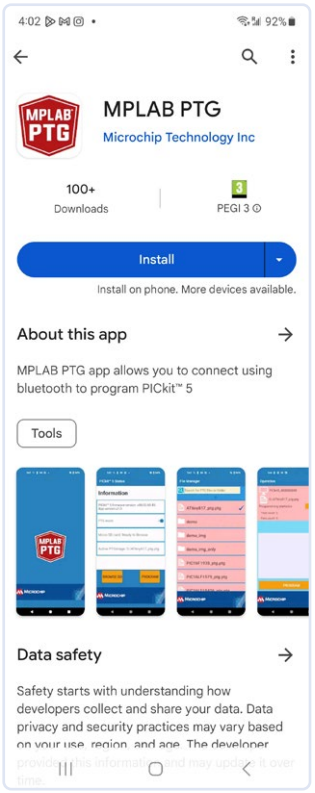


Figure 7. Cette application facilite la programmation à distance.

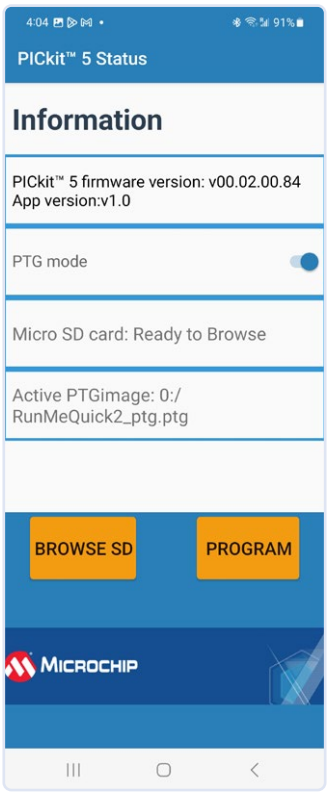


Figure 8. Le menu de démarrage...

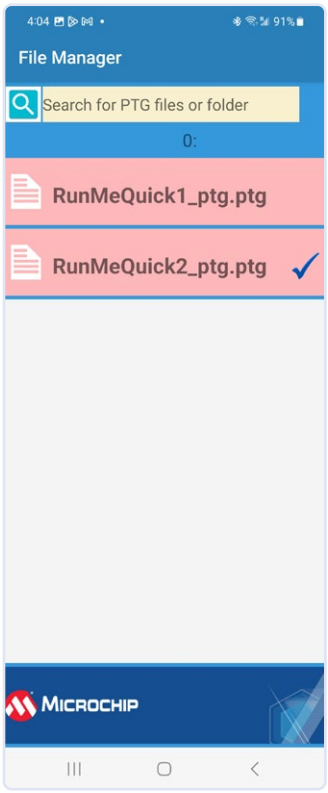


Figure 9. ...et une sélection d'images déployées.

Nous pouvons maintenant ouvrir le Play Store d'Android ou l'App Store d'Apple pour télécharger la nouvelle application de commande, qui n'est compatible qu'avec le module Bluetooth du PICkit 5. Dans les étapes suivantes, j'utiliserai un smartphone Samsung, et l'application apparaît dans le Play Store comme le montre la **figure 7**.

Lorsque vous utilisez Bluetooth LE, notez que le programme demandera diverses autorisations lors de son lancement initial. Cela est nécessaire en raison des exigences de Google et n'est pas critique ou contournable de quelque manière que ce soit.

À l'étape suivante, la boîte de dialogue de recherche apparaît, indiquant tous les équipements trouvés à proximité. Dans mon cas, en effectuant les tests, j'ai constaté qu'il était parfois nécessaire de cliquer sur le bouton « Annuler » avant de pouvoir accéder à la liste des périphériques de programmation trouvés.

Une fois les tâches terminées, le système affiche les écrans illustrés dans les **figures 8** et **9**, ce qui vous permet de déployer directement le micrologiciel choisi sur les appareils cibles connectés.

De nos jours, le smartphone est l'appareil le plus couramment utilisé qui fonctionne avec une interface graphique familière. L'exécution de l'application sur un tel équipement donne aux débutants une longueur d'avance par rapport à ceux qui partent de zéro en travaillant avec l'explorateur de projet souvent plus complexe de MPLAB sur un ordinateur de bureau. Il convient de noter qu'un smartphone est presque toujours à portée de main, de sorte que la station de travail (relativement plus puissante) n'est plus vraiment nécessaire, et cela peut réduire les coûts de manière significative, en particulier dans les grands déploiements.

Amélioration de mon environnement de développement

L'expérience suivante consiste à revenir sur ma station de travail Windows 10, que j'ai notamment utilisée pour écrire le manuel référencé dans l'encadré ci-dessous. Par défaut, la version 5.45 de MPLAB est installée sur cette machine, que j'utilise habituellement pour mes activités commerciales.

Maintenant, il est temps de visiter à nouveau le site web de MPLAB, où j'ai téléchargé la version 6.15. La dernière version de MPLAB peut être installée directement sur n'importe quelle version déjà existante. Une fois le processus d'installation terminé avec succès, MPLAB 6.15 propose d'utiliser les paramètres de la version précédente comme base de configuration de la nouvelle installation. Comme toujours, vous devrez confirmer certains paramètres dans le pare-feu Windows. L'IDE proprement dit démarre après avoir téléchargé le composant *Microchip Offline Help*.

Lors du démarrage initial de l'IDE, un processus d'analyse approfondie est lancé, qui entre autres tâches, vise à mettre à jour tous les fichiers de projet. En plus, il met à jour divers caches créés dans MPLAB X et les remplit avec des informations provenant des projets.

Pour l'étape suivante, j'ai choisi d'installer l'exemple de démonstration *CH9-Demo1* et j'ai connecté la carte, bien connue de mon manuel, au programmateur et au PC. La compilation s'est déroulée avec succès, mais le déploiement du micrologiciel échoue parfois sous Windows 10 avec l'erreur mentionnée précédemment « `Transmission on endpoint 2 failed (err = -109)` ». En dehors de cela, la nouvelle version de PICkit 5 s'intègre parfaitement dans mon flux de développement existant, et grâce aux optimisations en effet, le déploiement du code est souvent plus rapide dans de nombreux cas.

Mesurer le débit à l'aide de ICD5

Depuis quelque temps, Microchip améliore son IDE MPLAB en y ajoutant diverses fonctions pratiques, afin de permettre aux développeurs de visualiser plus facilement les données de mesure et de suivi générées par l'application intégrée.

L'une des caractéristiques intéressantes de l'ICD 5, est qu'il peut fournir à ce moteur de visualisation de données de MPLAB, des informations sur la consommation d'énergie du circuit d'application connecté. La spécification indique une résolution de mesure de courant de 0,29 µA, plus d'informations de mesure pour le contrôle du courant sont données dans le **tableau 1**.



Figure 10. Un petit inconvénient lors de l'utilisation du ICD 5.

Table 1. La précision du contrôle d'énergie, selon Microchip.

Current and Voltage	Resolution	Full Scale
Current	29 µA / step	1.0 A
Voltage	0.2087 mV / step	6.8 V

Nous pouvons maintenant cliquer sur *Tools Plug-in Downloads* et choisir *Microchip Plug-in Manager* dans la fenêtre qui s'affiche. Vérifiez si *MPLAB Data Visualizer* est déjà listé dans la partie *Installed*. C'est généralement le cas lors d'une nouvelle installation.
Logiquement, vous devrez alimenter le matériel cible à l'aide de la source d'alimentation intégrée de l'ICD 5. Le connecteur utilisé dans l'ICD5 est de type RJ45, alors que les adaptateurs plus anciens tels que l'ICD 3 ont un câble RJ11. Comme le montre la **figure 10**, le connecteur établit en principe un bon contact, mais ce n'est pas le connecteur le plus robuste ou le plus sécurisé.
Pour gagner du temps et de l'effort, nous pouvons utiliser les exemple de LED créés précédemment pour le PICkit pour tester la fonction de mesure de courant de l'ICD 5. Déconnectez le PICkit et connectez l'ICD5. Par souci de commodité, j'éviterai le câble réseau avec ses fonctions TCP/IP et je me connecterai plutôt via un câble USB-C.
Notez que pendant la configuration « initiale » d'un ICD, MPLAB doit effectuer une mise à jour du micrologiciel pour le FPGA, et ce processus unique prend un certaintemps..
Il est intéressant de noter que ce processus s'arrête souvent à 93% et continue ensuite « comme d'habitude » (**figure 11**). La raison pour laquelle MPLAB n'indique jamais avoir atteint un état de mise à jour de 100% ici n'est pas tout à fait claire.

A l'étape suivante, cliquez sur *Window Debugging Data Visualizer* pour lancer l'écran de bienvenue de *Data Visualizer*. Ensuite, dans la section *Power*, cliquez sur le bouton *Play* pour commencer l'acquisition des données.
MPLAB répond en affichant la fenêtre de la **figure 12**, indiquant qu'aucun formulaire de visualisation n'a été spécifié.
En réponse, cliquez sur la fonction *Plot Raw*, qui affiche maintenant un graphique. Si vous exécutez le programme qui fait clignoter alternativement les LED, vous obtiendrez des informations sur la consommation d'énergie, comme le montre la **figure 13**.
Des résultats plus intéressants peuvent être obtenus en utilisant *RunMeQuick1*, cet exemple allume et éteint alternativement les LED (**figure 14**).

Pour résumer

Microchip a introduit un certain nombre d'améliorations détaillées avec le PICkit 5 et l'ICD 5, qui aideront les développeurs à la fois dans la phase de débogage et de « production en série » du cycle de vie d'un projet. Les moteurs de recherche de pièces électroniques tels que *oemsecrets.com* sont capables d'identifier les meilleurs prix et niveaux de stock en temps réel pour les composants de divers distributeurs. Le MPLAB PICkit 5 In-Circuit Debugger/Programmer est vendu à 86 €, tandis que le MPLAB ICD 5 In-Circuit Debugger/Programmer est disponible à 360 €, ce qui n'est pas du tout trop cher pour ce qui est proposé. Les utilisateurs du PICkit 4 qui se sentent frustrés par l'*ancienne* interface souhaiteront peut-être passer à la nouvelle variante pour réduire le nombre de câbles. La fonction d'analyse de la puissance est également très utile et peut potentiellement permettre de réaliser des économies significatives par rapport à une carte SMU ou GPIB.

VF : Laurent Rauber - 230571-04

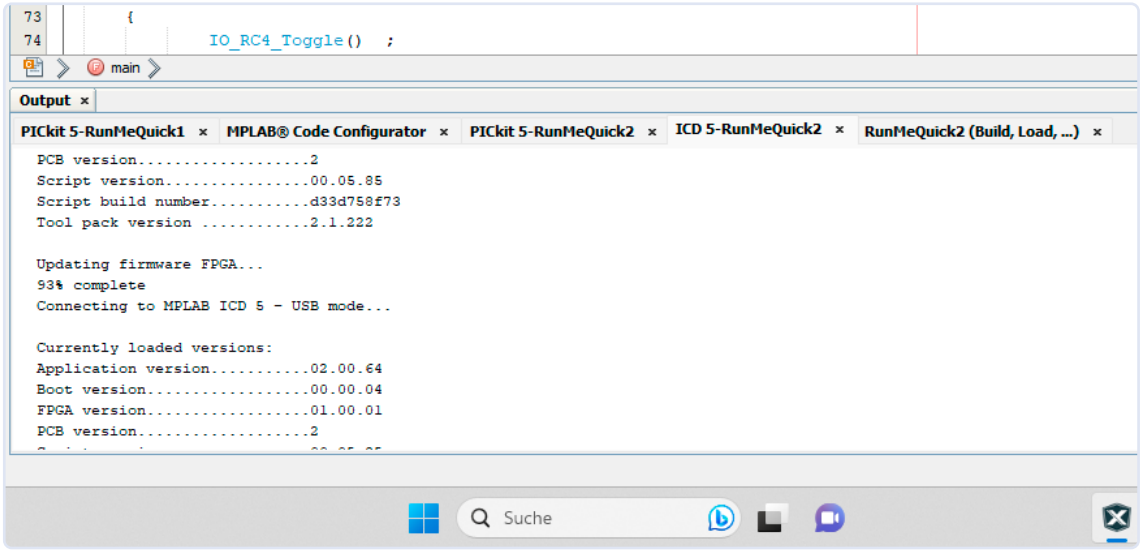


Figure 11. 93% indique ici que la tâche ici est entièrement achevée !

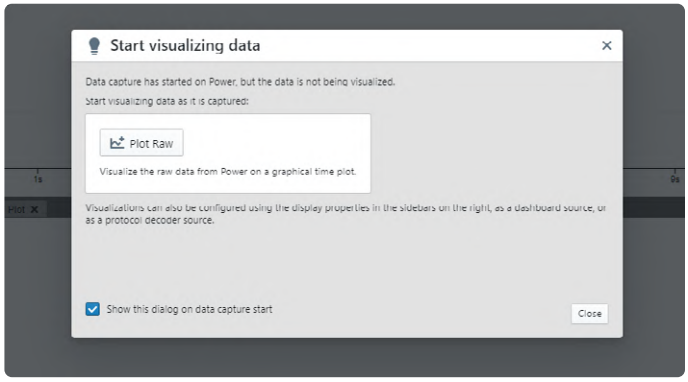


Figure 12. MPLAB demande comment les données capturées doivent être représentées ou visualisées.

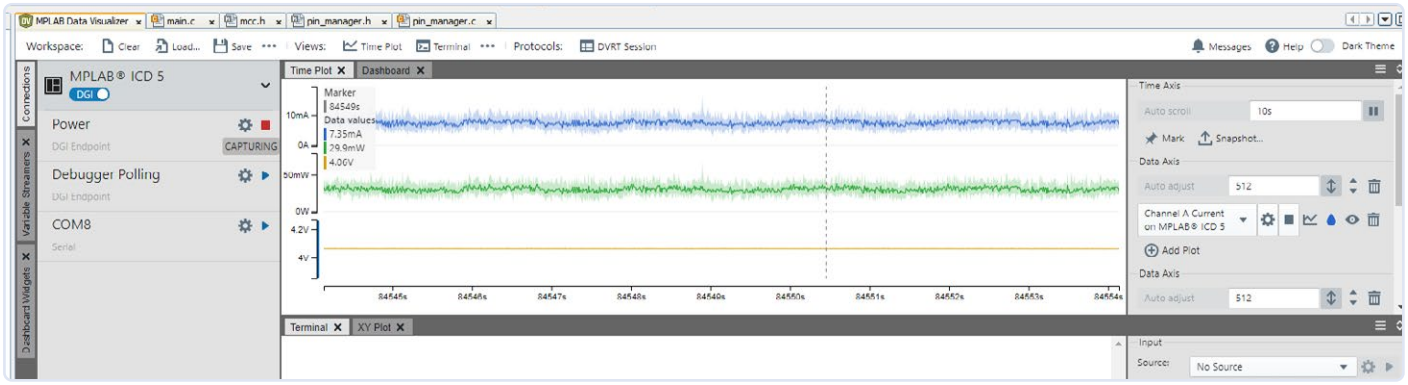


Figure 13. Ici, il y a toujours une LED allumée.

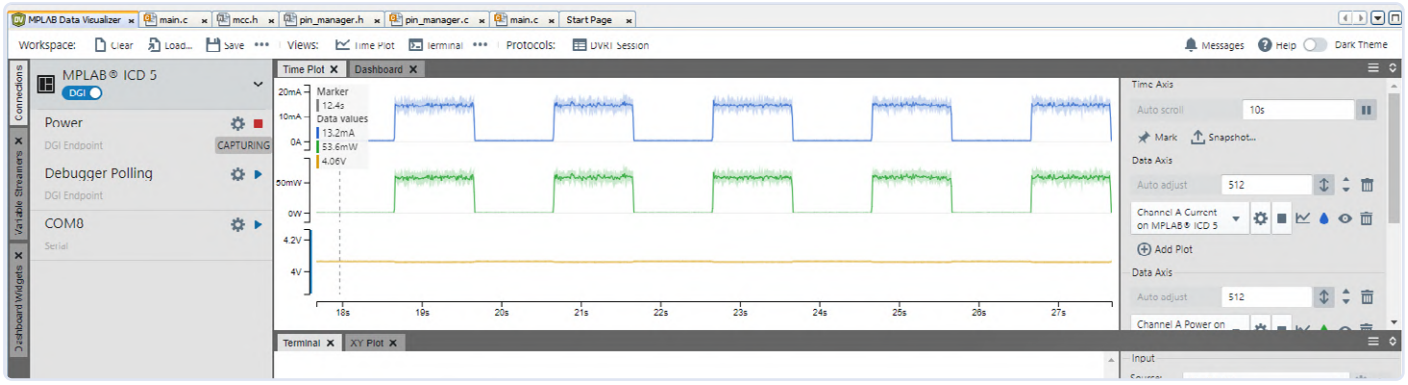


Figure 14. L'exemple montre clairement les changements dans la consommation en courant.

Demandez votre code de réduction de 15 % pour ces outils dès aujourd'hui !
Indiquez vos coordonnées, sélectionnez l'outil pour lequel vous souhaitez obtenir un bon de réduction de 15 % et vous recevrez un code de réduction unique à utiliser chez MicrochipDirect.

https://page.microchip.com/pic5_icd5



LIENS

[1] MPLAB PICkit 5 de Microchip : https://microchip.com/en-us/development-tool/pg164150
[2] MPLAB ICD5 de Microchip : https://microchip.com/en-us/development-tool/dv164055
[3] Note d'application AN4121 : https://microchip.com/en-us/application-notes/an4121

prototypage rapide d'électronique souple et extensible

comment la Voltera NOVA accélère l'innovation dans les systèmes électroniques portables

Par Stuart Cording, pour Voltera

La plupart de vos expériences avec les circuits imprimés (PCB) utilisent des substrats FR4 de couleur verte. Ce classique de l'industrie est recouvert de cuivre, puis se transforme, en y retirant le cuivre de trop, en un circuit électrique correspondant au projet souhaité. Mais, comme dans le monde de l'impression 3D, de nouvelles machines fonctionnent par impression du circuit électrique. Les chercheurs peuvent ainsi remplacer le FR4 rigide par des substrats flexibles et extensibles.



Figure 1. La Voltera NOVA est un outil puissant, pesant 35 kg et suffisamment grand pour accueillir des substrats allant jusqu'au format A4.

L'électronique s'est infiltrée dans presque tous les secteurs de notre vie. En fait, il est difficile de trouver un appareil qui ne contient pas d'une manière ou d'une autre des composants électroniques. Et si les matériaux et les processus traditionnels de fabrication de circuits imprimés sont optimisés pour leurs besoins, les chercheurs en électronique médicale les trouvent souvent sous-optimaux, en particulier lorsqu'ils conçoivent des systèmes destinés à être portés par une personne. Le corps humain ou animal n'est pas uniforme et la peau s'étire lors du mouvement. Il faut donc en tenir compte dans les applications électroniques. Les circuits imprimés flexibles existent depuis longtemps, utilisant des cartes FR4 reliées les unes aux autres par des pistes de cuivre sur du polyimide, également connu sous le nom de Kapton. Mais si le mouvement de flexion est suffisamment important, ce matériau ne s'étire pas.

L'électronique flexible est réalisable ; elle est quelque peu difficile à fabriquer et hors de portée de la plupart des équipes réalisant des prototypes. Par exemple, le polyuréthane thermoplastique (TPU) est à la fois souple et extensible, et les conducteurs peuvent être appliqués avec un processus de dépôt de métal, connu sous le nom de pulvérisation cathodique. Dans le vide, la surface est bombardée d'ions gazeux accélérés par une haute tension. Une fois en contact, ils forment une liaison étroite avec le matériau cible. Cette méthode est souvent utilisée pour appliquer de l'aluminium ou des alliages tels que le tungstène-titane ou l'aluminium-cuivre. Sinon, on revient à la sérigraphie, que vous avez probablement essayée pour la dernière fois à l'école. Comme pour l'impression d'affiches ou de t-shirts, les encres conductrices sont appliquées sur le substrat avec un masque appliqué sur une maille en acier ou en nylon pré-tendu avant de chauffer l'encre pour la durcir.

Approche additive dans la fabrication de circuits

Le processus de prototypage est donc soit lent et coûteux, soit lent et compliqué. Toutefois, cette situation est en train de changer grâce au développement d'imprimantes de circuits imprimés, répétant la forte croissance des imprimantes 3D pour les plastiques. Grâce à l'écriture directe d'encre (DIW: Direct Ink Writing), ces machines utilisent une approche additive, plutôt que soustractive, pour appliquer la matière conductrice là où elle est nécessaire.

Il existe sur le marché deux types d'approches pour l'impression rapide de circuits prototypes. La première utilise un système de transfert positif, similaire à une seringue médicale. L'encre est placée dans un réservoir dans lequel un piston en plastique ou caoutchouc actionne une pression. Si l'on fait abstraction de la complexité de la dynamique des fluides des encres conductrices, cette méthode est relativement fiable. Un déplacement contrôlé du piston permet de délivrer continuellement la même quantité d'encre à travers la buse. Une obstruction peut représenter un problème, mais c'est un défi pour tout distributeur travaillant avec des matériaux thixotropes [1] (fluides dont la viscosité change lorsqu'ils sont cisaillés). En outre, pour les réservoirs auto-remplis, l'air emprisonné peut modifier le débit. Le stockage entre deux utilisations peut également poser des problèmes. Il faut peut-être réfrigérer ou même congeler l'encre, bien que certaines encres puissent être stockées à température ambiante.

L'autre approche est le jet d'encre thermique, où des cartouches d'encre conductrice servent à imprimer sur un substrat cible. Cette technologie permet d'atteindre une impression très fine lorsque la machine est correctement réglée, et peut être utilisée avec des substrats rigides et souples. Toutefois, les encres compatibles ont une viscosité relativement faible, ce qui réduit le nombre d'options disponibles. D'autres soucis surviennent également. La faible viscosité de l'encre peut entraîner la formation de perles ou au contraire s'étaler sur certains substrats, ce qui se traduit par une faible adhérence, à moins d'appliquer des revêtements spéciaux. En outre, comme une grande partie de l'encre est constituée de solvants, elles ne laissent souvent que peu de substance conductrice sur les éléments imprimés durcis. Il peut en résulter des problèmes de soudabilité et une résistance des pistes plus élevée que souhaitée. Une impression en multipasse permet de remédier à ces problèmes, mais elle peut affecter la taille minimale des éléments imprimés en raison d'erreurs d'alignement. Le colmatage des buses est une autre source de frustration. Les encres se déstabilisent si elles sont mal stockées, ce qui entraîne des obstructions dus à la formation d'agglomérats. Et même si les recommandations de stockage sont respectées, la chaleur du processus de jet d'encre thermique peut déjà provoquer le durcissement d'une partie de l'encre dans les buses.

NOVA - Une plate-forme modulaire avec doseurs

Voltera, l'entreprise canadienne qui a lancé la V-One [2] il y a environ sept ans, s'attaque aux défis du prototypage rapide de circuits souples. Cette imprimante était premièrement destinée aux substrats rigides, mais les utilisateurs entreprirent également la réalisation de circuits souples. Avec la NOVA [3], sa nouvelle imprimante lancée à la fin de l'année dernière, Voltera s'est lancée à fond dans l'électronique flexible et extensible (**figure 1**).

Tirant parti de ses connaissances en matière d'impression par dosage volumétrique positif, l'entreprise a conservé les doseurs de type seringue. Cependant, le matériel a été considérablement amélioré, avec un asservissement de la pression intégrée à la tête d'impression. Un dispositif de chauffage de 12 watts maintient la température de l'encre à une valeur constante, ce qui garantit une distribution plus homogène durant l'application. Aussi incroyable que cela puisse paraître, même les variations d'air conditionné d'une pièce à l'autre peuvent provoquer des différences dans la façon dont l'encre est diffusée. Compte tenu de la grande variété de substrats et d'encres proposés, les utilisateurs peuvent rapidement tester des matériaux dont la viscosité varie de 1 000 à 1 000 000 cps (centipoises). Ainsi, si les encres à base d'argent comme le Conductor 3 [4] sont facilement disponibles et conviennent à la fois aux circuits rigides et flexibles, vous pouvez également remplir le réservoir avec les mêmes encres conductrices que celles utilisées pour la sérigraphie de circuit électronique afin de répondre à vos propres besoins.



Figure 2. Le Smart Dispenser est doté d'un chauffage intégré et d'un système de commande du débit basé sur l'IA. La sonde Smart Probe est dotée d'une pointe en rubis permettant une cartographie précise de la surface de substrat.

La NOVA pèse 35 kilogrammes, ce qui signifie que vous aurez besoin d'un endroit permanent pour la caser. Et, avec ses dimensions de 675 × 605 × 345 mm, il faudra disposer d'une table. À l'avant, un tiroir sert à ranger du matériel et des outils. À l'intérieur, des inserts en mousse permettent d'y disposer en toute sûreté la tête d'impression et la sonde de surface, ainsi que les autres outils dont vous aurez besoin en cours d'utilisation. Bien que l'appareil soit équipé d'une prise Ethernet, le guide de l'utilisateur recommande de brancher le dongle wifi fourni, et de l'utiliser pour communiquer avec l'imprimante. Au lieu de fournir un logiciel à installer sur votre PC, cet appareil fonctionne au travers du navigateur. Cela signifie que, quels que soient le système d'exploitation et le fabricant de votre ordinateur, vous n'aurez aucun souci pour faire fonctionner l'imprimante. De plus, dans un environnement de laboratoire, tout le monde peut accéder facilement à l'appareil en fonction de ses besoins. Toutefois, si le wifi ne vous convient pas, un câble Ethernet est aussi disponible.

Fixation des substrats flexibles

Le substrat souple est maintenu en place sur la table d'impression en titane poreux à l'aide d'une pompe à vide intégrée. La surface est suffisante pour traiter des circuits allant jusqu'au format A4. La succion empêche le substrat de se plier durant l'impression et constitue une meilleure solution de fixation que le serrage. Le chariot est fixé à un portique X-Y-Z qui accueille simultanément deux outils. Il s'agit du Smart Dispenser et du Smart Probe (**figure 2**). Ce dernier est doté d'une sonde à pointe en rubis qui cartographie avec précision la surface du substrat. Les outils sont facilement montés et détachés grâce à l'accouplement cinématique avec leviers de verrouillage. Des LED intégrées indiquent à l'utilisateur l'état de l'outil.

Le Smart Dispenser est équipé d'un capteur de pression permettant une commande asservie pour assurer un débit d'encre constant. Les seringues sont des types standard de 5 cm^3 pouvant être remplies avec 2.5 ml d'encre. Des seringues de remplacement sont disponibles auprès de Voltera et de ses partenaires. Il est possible d'imprimer des pistes allant jusqu'à 0.1 mm, tandis que le pas de 0.4 mm pour les dispositifs de montage en surface sont possibles en choisissant la bonne combinaison de buse et d'encre. Une série de buses de 100 µm, 150 µm et 225 µm est disponible. Cependant, grâce à l'utilisation de seringues avec embout "Luer Lock", il est possible de lui fixer n'importe quelle buse standard, ce qui permet de trouver la combinaison optimale pour l'encre sélectionnée afin d'obtenir les dimensions de piste souhaitées.

L'avantage le plus important de la NOVA est de loin sa flexibilité lors de tests d'encres et de substrats. En fonction de sa composition, l'encre peut ne convenir qu'à des substrats rigides. D'autres peuvent être utilisées sur des substrats flexibles mais non extensibles. Le polyimide (flexible) et le TPU (extensible) sont des matériaux populaires, mais vous devrez également vous assurer que l'encre adhère à la surface. Certains expérimentent également le papier, qui est poreux. Si l'encre est absorbée dans le substrat, il y a un risque que les pistes conductrices ne puissent pas se former. Dans ce cas, l'emploi de papier couché peut représenter un remède.

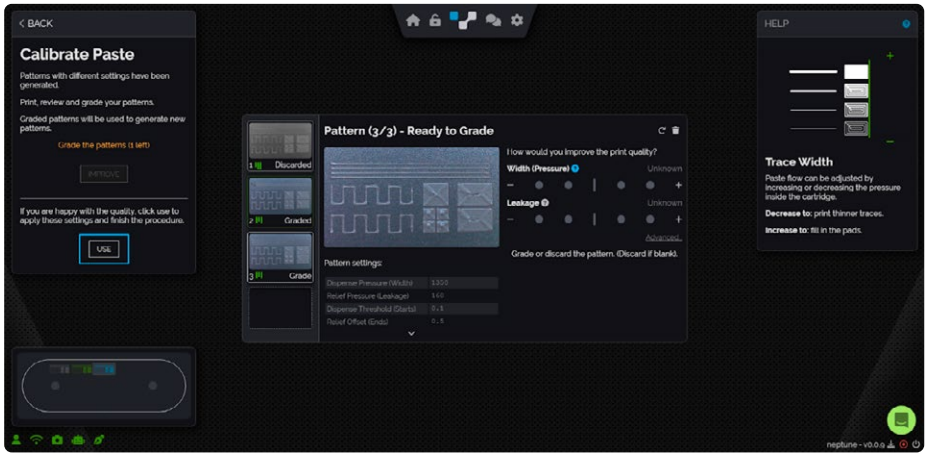


Figure 3. Le logiciel de la NOVA est basé sur un navigateur. Nous voyons ici, en action, le processus d'étalonnage faisant appel à l'IA.

Calibrage assisté par caméra

Avant de commencer l'impression, il faut procéder à un étalonnage basé sur l'IA (**figure 3**). Les motifs sont imprimés sur une carte d'étalonnage dédiée et amovible, plutôt que sur le substrat cible, qui est intégrée à l'unité. Il n'est donc pas nécessaire de nettoyer le substrat cible, un autre support d'étalonnage, avant l'impression. La NOVA intègre également une caméra de 8 mégapixels qui prend des photos de l'impression d'étalonnage. Après chaque tentative, l'image est affichée dans l'interface utilisateur, ce qui permet de déterminer plus facilement si le dosage est conforme à vos besoins.

Durcissement et soudure

Après l'impression, l'étape suivante est le durcissement de l'encre, qui nécessite un four séparé. Par exemple, l'encre Conductor 3 pour circuits flexibles a été conçue pour durcir selon un profil déterminé, 90 °C pendant cinq minutes, suivi de 120 °C pendant 20 minutes, soit un peu plus de la moitié du temps nécessaire avec la génération d'encre précédente. Il est important de comprendre que le processus de durcissement a pour but d'évaporer les solvants se trouvant dans l'encre, laissant les polymères liants restants pour maintenir les particules conductrices en place. Par conséquent, l'épaisseur des pistes peut diminuer au cours de ce processus.

Pour certaines applications, il suffit de déposer les pistes conductrices sur un substrat flexible ou extensible. D'autres, en revanche, peuvent nécessiter l'ajout de certains composants. En fonction de l'encre utilisée, il peut s'avérer nécessaire de brunir les pastilles sur lesquelles seront soudés les composants. En outre, les températures de soudage doivent souvent être abaissées pour protéger à la fois les pistes électriques ainsi que le substrat. Par exemple, l'encre Conductor 3 ne nécessite pas de brunissage. En revanche, une soudure étain-bismuth-argent (SnBiAg) ou une pâte à braser sera nécessaire avec un simple fer à souder ou lors du soudage par refusion alors que la température n'est que de 180 °C.

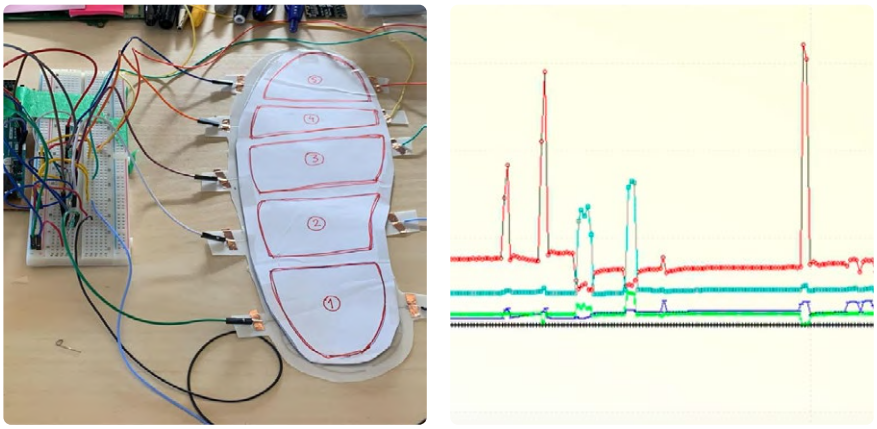


Figure 4. Ce capteur pour semelle de chaussures a été réalisé avec un substrat TPU et d'une encre argentée extensible. Associé à un Arduino MEGA, il permet de mesurer la pression exercée par la plante du pied.

D'autres méthodes pour relier des matériaux flexibles ou extensibles à votre circuit électronique comprennent des fixations par pincement, des colles conductrices ou l'ajout d'un talon pour y placer un connecteur à force d'insertion nulle, qui pourrait également nécessiter d'inclure un raidisseur.

Premiers essais avec des circuits imprimés extensibles

L'équipe Voltera a travaillé dur pour trouver les combinaisons optimales de substrats et d'encres en testant des applications portables. L'une d'entre elles consistait en un capteur de pression pour semelles de chaussures, destiné à mesurer la répartition du poids et à évaluer les erreurs de posture et de démarche (**figure 4**). Le prototype utilise le film TPU Intexar de Celanese et l'encre conductrice argentée extensible Intexar PE874 du même fournisseur. Le capteur imprimé recouvert d'un film de carbone connecté à un Arduino MEGA, permet de représenter graphiquement la répartition de la pression.

Un autre projet a utilisé les mêmes matériaux pour réaliser un dispositif de chauffage destiné à être intégré dans un vêtement (**figure 5**). L'élément chauffant est laminé sur le tissu à l'aide d'une presse à T-shirt couramment utilisée pour apposer des photos, tandis qu'un joint de compression mécanique permet d'appliquer de l'énergie. Les substrats extensibles peuvent également être imprimés avec de l'encre conductrice pour créer des jauges de contrainte. Ce phénomène a été utilisé à bon escient dans un gant de commande pour une main robotisée (**figure 6**). Des pistes plus épaisses se sont révélées plus efficaces, tandis que de l'adhésif conducteur MG Chemicals 9400 a permis de connecter les fils aux capteurs.

La technologie des imprimantes additives pour circuits imprimés permet aux chercheurs et aux équipes d'ingénieurs de réduire les délais de développement et de faire évoluer leurs idées beaucoup plus rapidement. Les encres conductrices peuvent même être utilisées pour corriger des erreurs survenues dans la conception d'un circuit imprimé en imprimant simplement les pistes manquantes ou supplémentaires, puis en les durcissant. L'électronique portable représentait depuis longtemps un défi. En effet, les composants électroniques réellement extensibles destinés à être utilisés à proximité de la peau ne pouvaient être fabriqués qu'à l'aide de techniques coûteuses de pulvérisation de métal ou de processus de sérigraphie compliqués. Désormais, avec la Voltera NOVA, les chercheurs peuvent innover et créer des prototypes intra-muros en quantités suffisantes pour réaliser des essais significatifs, et cela pour une fraction des coûts.

VF : Laurent Rauber - 230633-04

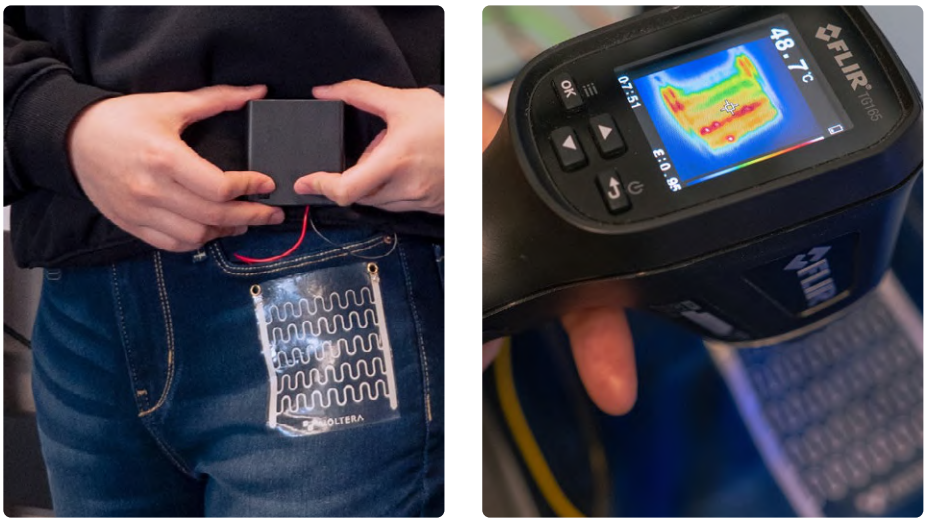


Figure 5. Un chauffe vêtement flexible comme celui-ci pourrait être utilisé pour favoriser la circulation sanguine en dilatant les vaisseaux sanguins.

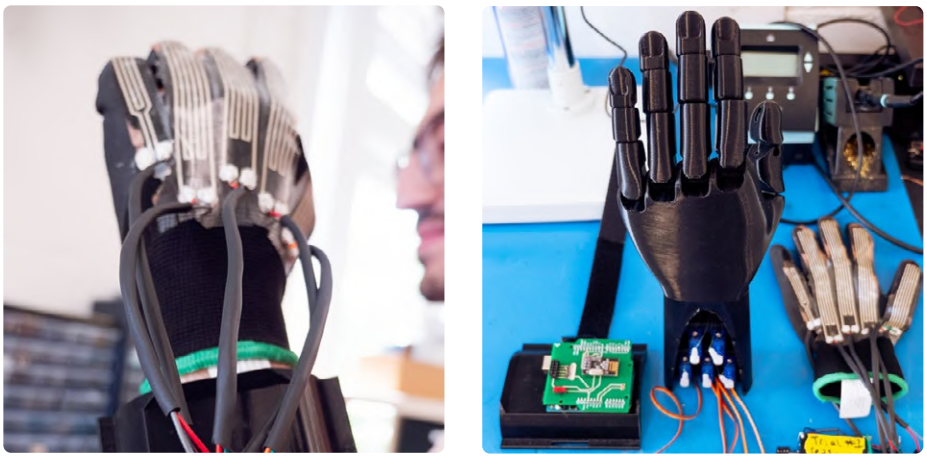


Figure 6. En exploitant les variations de résistance de l'encre conductrice sur un substrat extensible, les jauges de contrainte situées dans les doigts de ce gant pourraient contrôler une main robotisée.

LIENS

[1] À propos des liquides thixotropes : https://ptm-mechatronics.com/en/topics/wiki/thixotropic-liquids
[2] V-One — A desktop PCB printer: https://voltera.io/v-one
[3] NOVA — A modular dispensing platform: https://voltera.io/nova
[4] Conductor 3 Ink: https://store.voltera.io/products/conductor-3-ink-cartridge-2ml
[5] Elektor Expert Paper : guide d'achat d'imprimantes pour circuits imprimés : https://elektormagazine.fr/elektor-pcb-printer

isolation galvanique

utilisation d'optocoupleurs à phototransistor

Eleazar Falco (Würth Elektronik eiSos)

Les optocoupleurs transmettent des signaux électriques par voie optique à travers une barrière d'isolation transparente afin d'isoler galvaniquement deux parties de circuit l'une de l'autre. Quels sont les aspects qui jouent un rôle important dans leur utilisation et quelles sont leurs limites ?

Un optocoupleur est un composant capable de transmettre un signal électrique par couplage optique entre deux circuits isolés galvaniquement. Contrairement aux transformateurs ou aux condensateurs, qui ne peuvent transmettre que des signaux alternatifs à travers leur barrière d'isolation, les optocoupleurs transmettent aussi bien des signaux continus que des signaux alternatifs. C'est pourquoi ils sont très appréciés pour de nombreuses applications telles que les alimentations isolées et les interfaces de communication.

Pour concevoir une application opérationnelle, robuste et fiable avec des optocoupleurs, il est essentiel de comprendre, non seulement les principaux paramètres et les éléments parasites du composant, mais aussi l'influence d'autres facteurs tels que la température ou le point de fonctionnement. Dans ce contexte, les facteurs les plus importants sont le ratio de transfert de courant (CTR) et la capacité parasite de sortie de l'optocoupleur, qui limitent la plage de fréquences de fonctionnement et la puissance de commutation.

Cet article couvre les bases du fonctionnement de la famille WL-OCPT [1] d'optocoupleurs à sortie à phototransistor de Würth Elektronik, y compris la spécification de ses paramètres pour un point de fonctionnement donné et les points importants à prendre en considération lors de la conception.

Structure et fonctionnement

Un optocoupleur à phototransistor se compose d'un émetteur de lumière infrarouge (LED IR, arséniure de gallium (GaAs)) et d'un détecteur de lumière (phototransistor), tous deux couplés optiquement et généralement encapsulés dans un boîtier à 4 broches. Ce composant est disponible dans une variété de tailles et de méthodes de soudage pour répondre aux différentes exigences d'espace et d'isolation des diverses applications. La série WL-OCPT est basée sur une structure coplanaire à double moulage composée d'un cadre métallique en alliage de cuivre et d'une coupole en époxy transparent assurant la liaison optique entre la LED IR et le phototransistor (**figure 1**). Une telle structure associe une barrière d'isolation mécaniquement robuste à des valeurs de tension d'isolation très élevées (par exemple, 5 kV) pour une petite taille compacte.

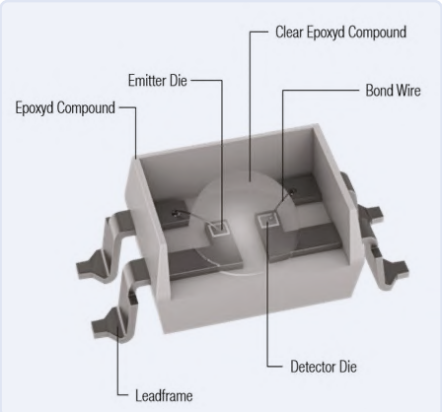


Figure 1. Structure typique d'un optocoupleur de la famille WL-OCPT.

Le principe de fonctionnement de l'optocoupleur : une conversion du courant en lumière a lieu dans l'émetteur lorsque la LED IR émet un rayonnement infrarouge (c'est-à-dire des photons) d'une intensité proportionnelle au courant qui la traverse. Ces photons traversent le milieu optique et, après réflexion sur la surface intérieure de la coupole, atteignent la zone base-collecteur sensible à la lumière du phototransistor. C'est là qu'a lieu la reconversion de l'énergie lumineuse en courant : les électrons de valence du phototransistor « absorbent » l'énergie du photon et « sautent » dans la bande de conduction, générant un courant entre le collecteur et l'émetteur - comme dans un transistor bipolaire NPN classique. Le rapport entre le courant de collecteur du phototransistor (I_C) et le courant de la LED IR (I_F) est le paramètre le plus important de l'optocoupleur : le ratio de transfert du courant continu (CTR). Le symbole électrique d'un optocoupleur à phototransistor est illustré à la **figure 2**.

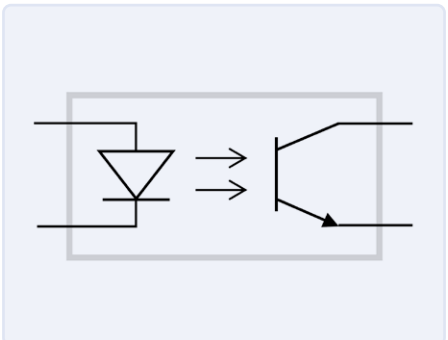


Figure 2. Symbole électrique d'un optocoupleur à phototransistor.

Tableau 1. Exemple de tri d'optocoupleurs basé sur le CTR (WL-OCPT séries 816/817).

Groupes de CTR : WL-OCPT séries 816 et 817
Conditions de test I_F = 5 mA, V_{CE} = 5 V, T = 25 °C

Groupe	Min.	Max.	Unité
aucun	50	600	%
A	80	160	%
B	130	260	%
C	200	400	%
D	300	600	%

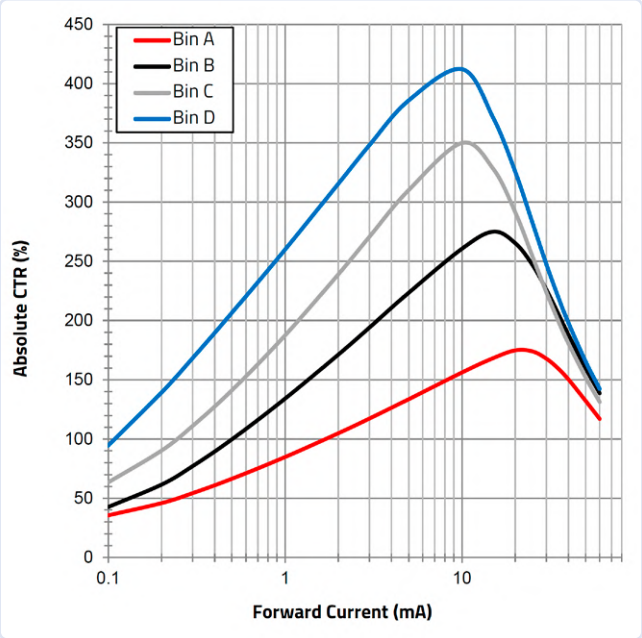


Figure 3. CTR absolu en fonction de I_F (pour V_{CE} = 5 V, T = 25 °C ; WL-OCPT 817).

Ratio de transfert du courant continu (CTR)

Le CTR est le paramètre de gain de courant de l'optocoupleur, exprimé comme le rapport entre le courant du collecteur (I_C) et le courant de la LED (I_F) dans l'**équation 1**:

$$CTR = \frac{I_C}{I_F}$$

Il convient de noter que l'équation 1 est valable lorsque le phototransistor est polarisé dans sa zone de fonctionnement active. Par analogie, le CTR correspond au paramètre statique h_{FE} ou β (bêta) d'un transistor bipolaire, tandis que le courant de la LED correspondrait à son courant de base. En termes fonctionnels, l'optocoupleur peut donc être considéré comme un transistor bipolaire NPN à « base isolée ». Il convient également de noter que le CTR est généralement exprimé en pourcentage (%) (**équation 2**) :

$$CTR(\%) = \frac{I_C}{I_F} \cdot 100$$

Les tolérances importantes et les variations de la valeur CTR causées par divers facteurs constituent l'un des principaux défis de la conception d'un optocoupleur.

Tolérance de production CTR et tri des composants

Les limitations auxquelles se heurtent les procédés de fabrication des semi-conducteurs font qu'il est difficile de produire des composants de caractéristiques et de valeurs de paramètres identiques. Les diodes électroluminescentes IR sont produites sur des galettes de substrat GaAs, où il est difficile d'obtenir un dopage des semi-conducteurs et une épaisseur de couche totalement uniformes. Il en résulte des taux de conversion courant-lumière différents pour chaque LED sur la galette (c'est-à-dire que l'énergie lumineuse émise par chaque LED pour un courant donné est différente). Il en va de même avec les phototransistors, qui manifestent une différence de sensibilité à la lumière (c'est-à-dire que leurs courants de collecteur sont différents à énergie lumineuse reçue identique). Ces deux facteurs affectent directement la dispersion du CTR en production, mais ils ne sont pas les seuls. Par exemple, les variations de transparence et de réflectance de la coupole en époxy qui relie optiquement la LED et le phototransistor contribuent également à la dispersion du CTR.

Comme une trop grande dispersion du CTR poserait problème à beaucoup d'applications, le CTR de chaque optocoupleur est mesuré en production à un point précis de fonctionnement en courant continu, la valeur mesurée servant à ranger le composant dans un groupe de CTR. Chaque groupe garantit une valeur CTR minimale et maximale dans des conditions de test spécifiées et est indiqué par une lettre supplémentaire, comme le montre le **tableau 1** pour la série WL-OCPT 816/817. Bien que cela réduise la plage de tolérance initiale à prendre en compte dans la conception, le CTR dépend également des conditions de fonctionnement telles que la tension de polarisation en courant continu et la température, conditions qui doivent également être prises en compte.

Variation du CTR due au courant de la LED

La plage de CTR à l'intérieur d'un groupe n'est valable que pour un courant de LED (I_F) et une tension collecteur-émetteur (V_{CE}) donnés. Pour la série WL OCPT, ces valeurs sont respectivement de 5 mA et 5 V. Pour un courant de LED différent, le domaine de CTR résultant sera différent, comme le montre la **figure 3** sur laquelle le CTR absolu est représenté en fonction du courant de LED d'un échantillon de chaque groupe (pour V_{CE} = 5 V). On peut voir que le CTR augmente avec le courant de la LED jusqu'à un certain point, au-delà duquel le comportement s'inverse, c'est-à-dire qu'une nouvelle augmentation du courant de la LED entraîne une diminution du CTR. Ceci est dû à l'efficacité non linéaire de la conversion courant-lumière de la LED combinée à la variation du gain du phototransistor. Pour I_F = 5 mA, le CTR de chaque composant se situe dans la plage du groupe correspondant, comme prévu.

Lorsque le phototransistor entre dans la zone de saturation, la valeur du CTR et la courbe caractéristique changent également, comme le montre la **figure 4** pour V_{CE} = 0,4 V : le CTR est plus faible et la courbe caractéristique culmine à un courant de LED plus faible. Il est à noter que les courbes caractéristiques des figures 3 et 4 ne correspondent qu'à un échantillon unique de chaque groupe. La fiche technique de la série WL-OCPT présente aussi les courbes caractéristiques du CTR normalisées à la valeur mesurée pour I_F = 5 mA. Pour un courant de LED inférieur à 10 mA et avec un phototransistor fonctionnant dans la zone

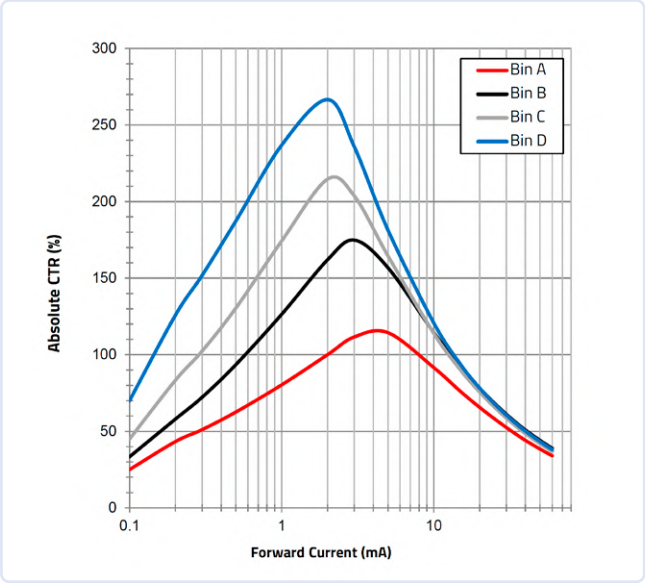


Figure 4. CTR absolu en fonction de I_F (pour V_{CE} = 0.4 V, T = 25 °C).

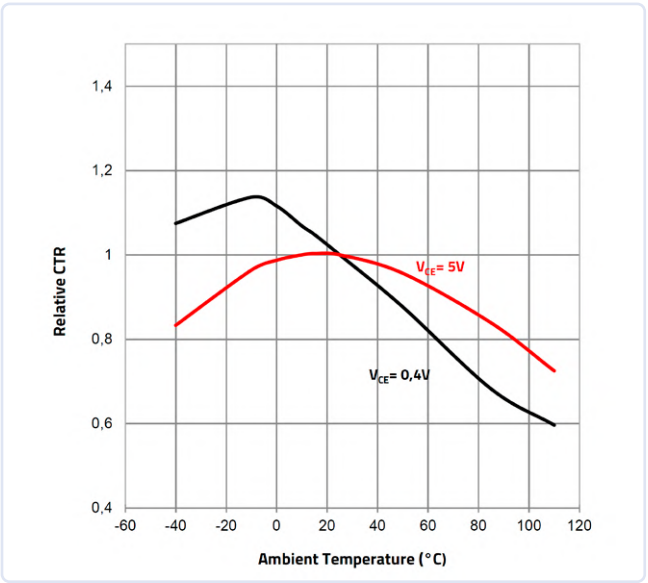


Figure 5. CTR en fonction de la température (pour I_F = 5 mA).

active (V_{CE} = 5 V), toutes les caractéristiques normalisées sont très proches, quel que soit le groupe [2]. Étant donné que la caractéristique CTR relative d'un groupe dans cette gamme ne dépend pratiquement pas de la valeur absolue du CTR, pour tout composant du groupe, cette valeur peut être estimée à l'aide de l'**équation 3** :

$$CTR_{IF} \approx CTR_{rel(IF)} \cdot CTR_{5mA}$$

Au-delà de 10 mA, les courbes caractéristiques relatives présentent un écart plus important par rapport à la valeur absolue du CTR, de sorte que l'équation 3 est moins précise dans cette plage. Lorsque le phototransistor fonctionne à saturation, l'empilement des courbes caractéristiques est dans une certaine mesure inversé, et l'équation 3 n'est précise qu'au-dessus de 5 mA environ [2].

Variation du CTR en fonction de la température

La température de fonctionnement du composant affecte à la fois l'efficacité de l'émission de la LED et le gain lumière-courant du phototransistor, et à cet égard affecte le CTR de l'optocoupleur de manière non linéaire – ainsi que le montrent les courbes caractéristiques de la **figure 5**. Ces courbes sont valables pour tous les groupes et pour un courant de LED d'environ 5 mA. C'est la température de l'environnement opérationnel qui est prise en compte ici, à laquelle la température de jonction du composant est directement proportionnelle.

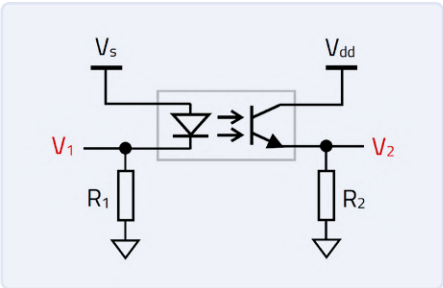


Figure 6. Circuit recommandé pour la mesure du CTR.

Mesure du CTR

La mesure du CTR pour les conditions de polarisation en courant continu spécifiques à une application est simple si les courants sont mesurés sur la base de l'Équation 1. Ceci est également vrai pour la configuration recommandée représentée sur la **figure 6**, où seuls des capteurs de tension sont utilisés. Une configuration de collecteur typique est utilisée ici. La résistance de sortie R_2 ainsi que la tension de polarisation Vdd sont prises égales aux valeurs du circuit final de l'application utilisant l'optocoupleur, et la résistance de LED R_1 est égale à R_2. Ensuite, on augmente la tension d'entrée continue (V_S) jusqu'à ce que la tension collecteur-émetteur (V_{CE}) atteigne la valeur cible. Le CTR pour ce point de fonctionnement en courant continu est donné par **l'équation 4** :

$$CTR = \frac{V_2}{V_1}$$

Autres paramètres

La note d'application ANO007 [2] offre des informations beaucoup plus détaillées sur les optocoupleurs, mais qui sortent du cadre de cet article. On y trouve en particulier :

- un exemple d'estimation de la plage de CTR ainsi que du CTR en courant alternatif et petits signaux.
- l'estimation de la réponse en fréquence et de la largeur de bande avec des valeurs mesurées.
- le temps de commutation et ses fluctuations
- la tension de polarisation en courant continu de l'optocoupleur
- une modélisation SPICE

230546-04



À propos de l'auteur

Eleazar Falco est titulaire d'un diplôme d'ingénieur électricien de l'Université de Elche en Espagne. En 2014, il a rejoint Dyson, en Grande Bretagne, où il a travaillé sur le développement de l'électronique d'appareils électro-ménagers, en particulier l'alimentation et la commande de moteurs. Depuis 2018, il est ingénieur d'application chez Würth Elektronik, en Allemagne, où il s'occupe d'alimentations à découpage.

LIENS

[1] Optocoupleur à phototransistor WL-OCPT de Würth Elektronik : https://tinyurl.com/weoptocouplers

[2] Falco, Eleazar : comprendre les optocouplers à phototransistors. Note d'application ANO007 de Würth Elektronik : http://www.we-online.com/ANO007

la solution complexe ou la solution Anybus ?

un Ethernet industriel embarqué réalisé en deux jours plutôt qu'en plusieurs mois

Contribué par HMS Networks

La mise en réseau industrielle occupe une place toujours plus importante dans le contrôle des machines, des usines et des entrepôts. Ce qui a commencé par une simple gestion de données d'entrée et de sortie à distance s'est transformé en réseaux extrêmement modulables qui peuvent contrôler, de la manière même la plus complexe, des usines entières dotées de milliers de nœuds. La plupart des nœuds sont souvent des produits finis, comme des lecteurs, des stations E/S ou des capteurs. Mais que se passe-t-il si vous souhaitez connecter un réseau industriel au nouvel appareil que vous développez ?

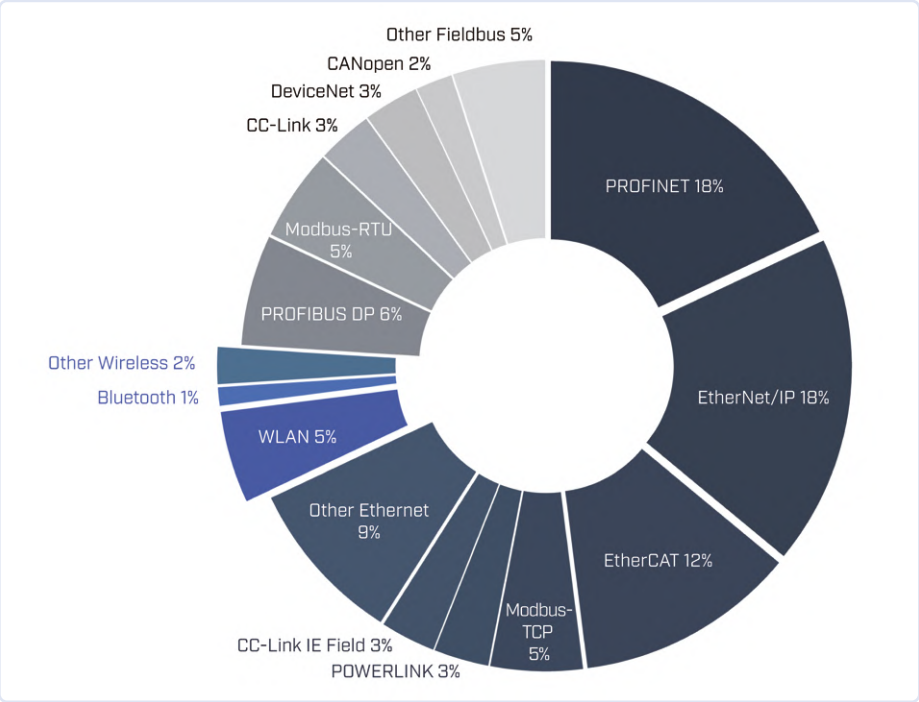


Figure 1. L'étude réalisée en 2023 par HMS Networks montre une croissance globale de 7 % du nombre de nœuds installés.

Réseaux industriels

Il est important de comprendre que le terme « réseaux industriels » intègre un large éventail de protocoles industriels. Il y a les bus de terrain comme Profibus, Modbus RTU ou CANopen principalement utilisés dans des environnements qui impliquent de longues distances. Cela pourrait être par exemple de grandes cuves de carburant pour lesquelles les capteurs et autres nœuds peuvent être installés à des centaines de mètres.
D'autres réseaux reposent sur l'Ethernet, comme Profinet, EtherNet/IP ou EtherCAT (**figure 1**). Ils offrent une haute qualité, voire même des propriétés en temps réel où la précision joue un rôle majeur. Les protocoles les plus rapides peuvent atteindre des durées de cycle de 50 µs et un écart de < 1 µs. Ils permettent la synchronisation très précise de moteurs. En plus des aspects de temps réel, les connexions cloud sont de plus en plus utilisées dans l'industrie. Pour cela aussi, il existe différents protocoles. Actuellement, près de 25 % du marché utilise des bus de terrain et 70 % des variantes de l'Ethernet. Les autres 5 % ont opté pour le sans-fil.
Toutefois, le choix des protocoles à utiliser n'est pas complètement libre. Ceux-ci sont souvent liés à un fabricant spécifique de PLC et qui, à son tour, occupe sa propre part spécifique sur le marché mondial. Par conséquent, en Europe, des protocoles tels que Profibus, Profinet ou EtherCAT sont très populaires, tandis qu'en Amérique du Nord, l'Ethernet/IP est le plus souvent utilisé.
Supposons que vous avez développé un lecteur de code-barres qui doit être utilisé dans des applications logistiques. Les intégrateurs de système qui vont utiliser le lecteur dans leurs systèmes détermineront le réseau qu'ils vont utiliser, ce qui se fait souvent également en concertation avec le client final. Le choix du protocole dépendra au final du client, et vous n'avez aucun contrôle sur sa localisation ou sur le PLC qu'il est susceptible d'utiliser. C'est la raison pour laquelle votre lecteur doit être en mesure de prendre en charge plusieurs protocoles.

Conception d'interfaces de réseau industriel

Quelles sont les implications dans la conception d'un produit qui inclut plusieurs interfaces de réseau industriel ? Il y a évidemment les différents matériels informatiques et logiciels requis. Tous les bus de terrain utilisent des connecteurs différents. Le bus de données CAN possède son propre lecteur physique (ISO 11898), Profibus (DP) utilise le RS485, etc., mais même les variantes d'Ethernet présentent des différences. La plupart sont en 100 Mbit/s, mais dès que vous allez au-delà du RJ45 et de la PHY (couche physique Ethernet), vous commencez à voir les différences. Ils sont susceptibles d'utiliser des sous-couches MAC conçues différemment, ainsi que des mémoires tampons, parfois des horloges temps réel (IEEE 1588), ou leur contrôleur Ethernet (EtherCAT) très particulier. Le réseau CC link IE, souvent utilisé au Japon, est une connexion gigabit. De plus, certaines industries utilisent des connexions à fibre optique par défaut plutôt que celles traditionnelles en cuivre.

Le côté logiciel est encore plus complexe. Des processeurs de flux de données à haute vitesse et des piles sont disponibles sur le marché pour chaque protocole. Mais il ne s'agit pas de simples bibliothèques que vous pouvez associer dans votre logiciel embarqué. Ils exigent des connaissances approfondies sur le fonctionnement d'un protocole spécifique et sur la façon de mettre en œuvre ses éléments. De plus, chaque pile sera fournie avec un lecteur séparé devant être adapté au matériel informatique cible. Les piles proviennent souvent de fournisseurs différents, chacun ayant leur propre API, de sorte que le logiciel d'application doit à son tour être adapté à chaque protocole utilisé. Tous les protocoles implémentés doivent être certifiés afin qu'ils répondent à l'ensemble des exigences techniques du réseau. Et bien sûr, le développement de protocoles se poursuit, ce qui signifie que des mises à jour régulières sont nécessaires.

Comme nous l'avons déjà mentionné, le traitement des protocoles se fait sur trois couches : la couche du matériel (avec la sous-couche MAC), le traitement du flux de données à haute vitesse, et la pile qui traite le protocole. Ces éléments sont souvent séparés dans la conception, par exemple un ASIC pour la première couche et différentes couches de logiciels dans le microcontrôleur pour les deux autres. Il n'est pas surprenant que cela ne fonctionne pas toujours d'une manière fluide. Par conséquent, la conception d'une interface multi-réseau est aussi une occupation complexe et longue qui peut prendre des mois.

Alors, existe-t-il un moyen plus simple ?

Depuis 1995, l'équipe qui travaille sous la marque Anybus de l'entreprise suédoise HMS Networks développe des interfaces de réseau complexe qui assument toutes les tâches liées à la communication. Le CompactCom 40 Anybus est la quatrième génération d'un développement continu visant à prendre en charge les réseaux les plus récents et les plus rapides, comme les réseaux gigabits ou les protocoles TSN prometteurs.

CompactCom Anybus regroupe toutes les couches, à savoir logiciel, traitement des données et pile(s), dans son chip NP40, les deux premiers éléments étant intégrés dans un FPGA et la pile fonctionnant sur le microcontrôleur intégré, tous deux étant optimisés pour la communication. Le module fonctionne avec une seule API identique pour tous les protocoles, ce qui est unique.

La force de CompactCom Anybus réside dans le traitement des informations plutôt que dans leur transfert. Outre les variantes locales et globales bien connues, un nouveau type de variable est créé : la *variable réseau.* Elle est stockée dans le CompactCom et correspond au mécanisme avec lequel les données sont échangées avec votre application. Si vous remplacez un module CompactCom avec une version destinée à un protocole différent, les mêmes variables continuent d'être partagées. Au final, rien ne change pour votre application. Un seul développement vous donne un accès direct à tous les bus de terrain et protocoles Ethernet connus.

Le CompactCom Anybus est disponible dans différents facteurs de forme. Il y a la forme module (Anybus M40) pouvant être facilement installée par glissement dans un connecteur sur une carte de circuit imprimé (**figure 2**). Le module est livré complet avec le bon connecteur réseau, p. ex. RJ45 pour les variantes Ethernet et SUB-D9 pour Profibus. Le module présente l'avantage de pouvoir être installé ultérieurement, éventuellement par les utilisateurs finaux au moment de la mise en service.

Il y a également la forme brique B40 (une carte enfichable), laquelle peut être facilement insérée sur deux connecteurs sur une carte de circuit imprimé. Contrairement au module M40, la B40 est livrée sans connecteur réseau ce qui permet d'utiliser n'importe quel connecteur. Les deux versions utilisent le même chip NP40 et sont identiques sur le plan technologique.

Le CompactCom peut être intégré à votre application via un échange de données en parallèle (8/16 bits) ou par liaison SPI avec le microcontrôleur. De plus, une simple réinitialisation suffit avec connexion à une E/S du

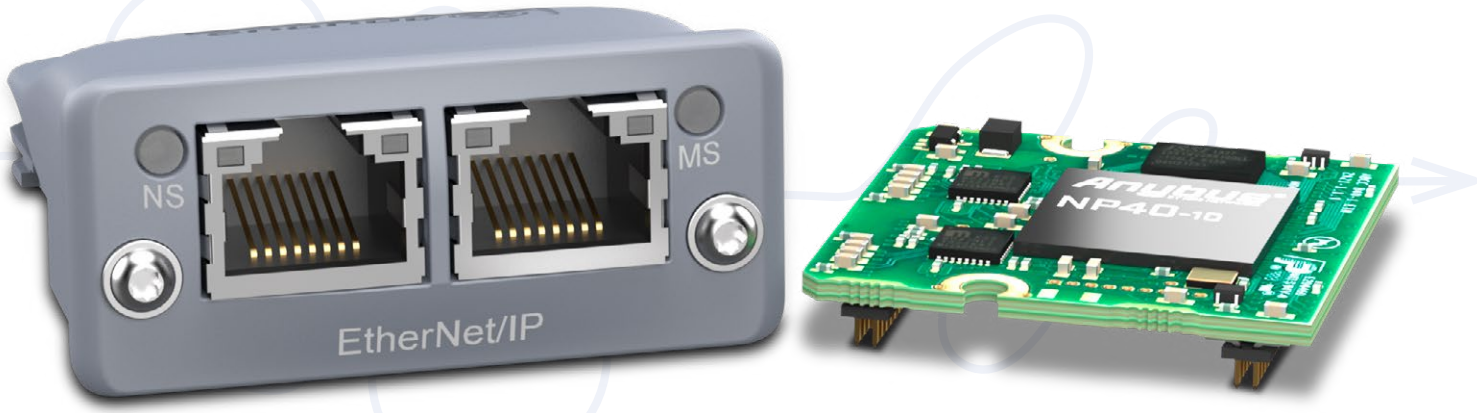


Figure 2. Module M40, complet avec connecteurs et brique B40 : une solution enfichable, idéale pour les appareils à espace limité.

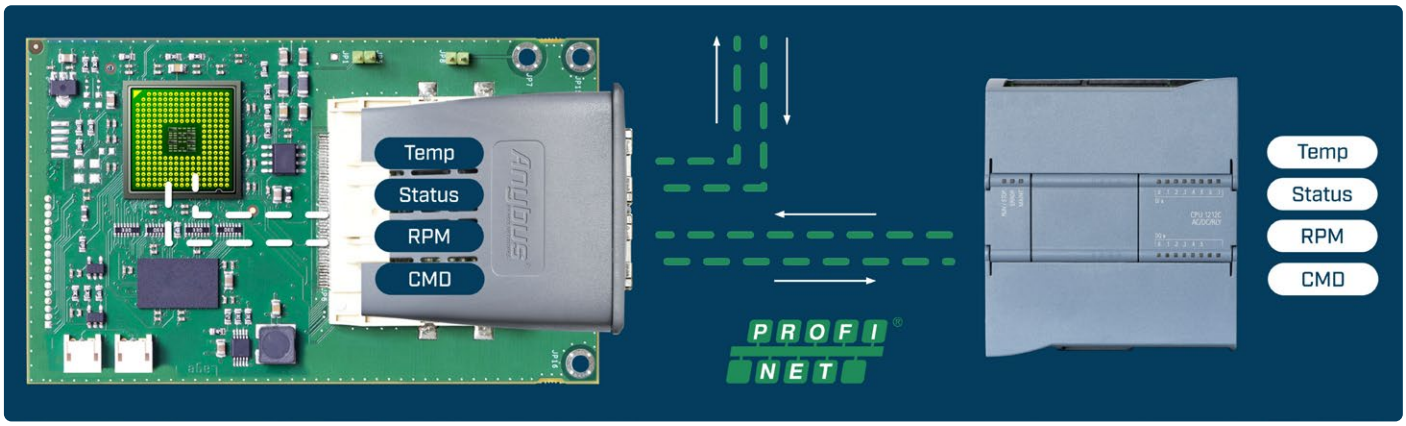


Figure 3. CompactCom Anybus échange des informations avec le PLC et d'autres nœuds.

microcontrôleur. Une petite interface logicielle écrite dans le langage de programmation C est disponible pour une intégration sans frais supplémentaires.

Un temps d'implémentation plus court présente de nombreux avantages

Cette solution complète intégrée d'HMS Networks raccourcit considérablement le temps nécessaire à l'implémentation. Lorsque le matériel informatique est prêt, le logiciel sera opérationnel dans un délai de 2 à 3 jours, et les premières informations seront échangées avec le PLC ou maître.

Le CompactCom Anybus est pré-certifié et le fonctionnement selon la norme du protocole est garanti (**figure 3**). La pré-certification du CompactCom accélère considérablement l'ensemble du processus de certification, car il est souvent possible de réaliser les tests dans un laps de temps plus court.

Simple grâce à ses nombreuses fonctions

Le CompactCom Anybus offre de nombreuses fonctions supplémentaires. Toutes les variantes Ethernet sont équipées d'un serveur Web qui permet d'interfacer l'application finale via un navigateur standard. De plus, il dispose d'une structure de fichiers complète accessible par FTP, lequel peut être utilisé pour télécharger un microprogramme hôte, par exemple. Il prend également en charge les clients de messagerie électronique, les WebSockets, etc. Pour plus d'informations sur la solution CompactCom Anybus, consultez [1].

230603-04

LIEN

[1] Anybus par HMS Networks: https://anybus.com





votre liste de contrôle DFM essentielle

comment commencer à concevoir pour la fabrication

Mark Patrick (Mouser Electronics)

La course pour commercialiser de nouveaux produits électroniques est sans fin. Les équipes de conception et d'ingénierie évoluent dans un environnement ultra-dynamique où des prototypes doivent être livrés en quelques semaines seulement. Malheureusement, la vitesse à laquelle les conceptions deviennent des produits masque parfois un certain nombre des défis qui apparaissent au cours de la planification de la production. Il arrive ainsi que le lancement d'un produit doive être reporté, le temps de résoudre les problèmes techniques. De nos jours, la quasi-totalité des conceptions électroniques est soumise à de multiples contraintes, les plus courantes étant l'ensemble des fonctionnalités du produit, l'espace disponible et le profil de consommation électrique. La mise en production d'une conception achevée offre parfois aussi des difficultés supplémentaires à l'équipe d'achat. Cela concerne notamment :

- la disponibilité des composants et les délais de fourniture ;
- le risque de pièces contrefaites ;
- l'obsolescence et autres problèmes relatifs au cycle de vie.

Ensemble, les équipes de conception et d'achat sont confrontées à de nombreux défis, mais l'adoption d'une approche DFM (design-for-manufacture, que l'on pourrait traduire par « conception pour la fabrication ») offre un cadre où les éventuels problèmes peuvent être mis en évidence avant la phase de production. En utilisant une liste de contrôle DFM, les fabricants se donnent les moyens d'éviter les problèmes de production et de rationaliser l'ensemble de la conception, de la chaîne d'approvisionnement et du processus de production.

Identifier vos défis

Pour l'équipe de conception, se lancer dans le développement d'un nouveau produit revêt parfois de curieux aspects. Le point de départ est généralement une spécification marketing qui définit les caractéristiques, les fonctions et les capacités d'un nouveau produit en fonction des attentes du marché. C'est sur cette base que les équipes d'ingénierie s'appuient pour définir un concept initial et identifier une myriade d'autres demandes liées à la conception. En règle générale, les disciplines fonctionnelles dictent la composition des équipes d'ingénierie qui sont alors réparties en fonction, notamment, des aspects mécaniques, matériels, logiciels et, de plus en plus, de l'expérience utilisateur. Chaque équipe constitutive examine la spécification dans l'intention de relever les éventuels problèmes ou la nécessité de disposer d'informations complémentaires. De nombreuses demandes peuvent avoir une incidence sur plusieurs fonctions d'ingénierie ou révéler d'éventuelles contraintes de conception. Voici quelques exemples de demandes que peut formuler l'équipe mécanique :

- Le produit sera-t-il porté au poignet ? Quelle est la taille maximale optimale pour tels groupes d'utilisateurs ?
- L'utilisation en extérieur du produit exige-t-elle qu'il soit étanche ?

L'équipe chargée du matériel électronique peut demander :

- Quelle est l'autonomie prévue de la batterie ?
- Quel type d'écran répond aux exigences de la spécification : lisible en plein jour, commandes tactiles
- Quel est l'espace maximal disponible pour le circuit imprimé (PCB) ? L'espace est une sorte de puzzle dynamique où toutes les pièces doivent tenir ensemble : PCB, écran, batterie, etc.

Lancer une nouvelle conception relève bien souvent du casse-tête, car cela nécessite une coopération et une communication étroites entre les équipes chargées respectivement de l'approvisionnement, de la production, du marketing et de l'ingénierie. Ainsi, lorsque l'équipe d'ingénierie mécanique prend une décision concernant un composant ou la conception, cela peut avoir une incidence pour les autres groupes fonctionnels de l'entreprise, pas seulement pour leurs collègues ingénieurs. Par exemple, le fait de monter un écran d'une certaine manière peut détériorer l'expérience utilisateur et affecter la sensibilité de l'écran tactile.

Établir votre stratégie DFM

Votre stratégie de conception pour la fabrication (DFM) doit établir un cadre clair couvrant chaque décision liée à la conception et son impact potentiel sur :

- la sélection et l'achat de composants ;
- la manutention du matériel ;
- le coût de la nomenclature ;
- le processus de production ;
- l'assemblage final ;
- le contrôle qualité et les tests ;
- le support tout au long du cycle de vie.

La raison d'être de tout processus DFM est de faciliter le développement et la production de produits, de maîtriser les coûts et d'assurer une commercialisation fluide. Un cadre DFM réussi est un processus unique qui s'appuie sur une approche holistique et implique une communication et une collaboration étroites

entre tous les groupes fonctionnels concernés. Les problèmes de conception, les difficultés liées à l'approvisionnement et les contraintes de production peuvent de cette manière être résolus avant que des retards importants ne surviennent.
Mais pour cela, une communication claire, continue et opportune est primordiale.

Points essentiels de la liste de contrôle DFM

Votre liste de contrôle DFM devrait couvrir de nombreux sujets. Vous trouverez ci-dessous quelques-uns des problèmes les plus courants que rencontrent les fabricants de produits électroniques, regroupés par fonction commerciale.

Considérations techniques :

Conception discrète ou décisions relatives aux modules :

Il s'agit d'un problème fréquent auquel sont confrontées de nombreuses équipes d'ingénierie. De nombreuses fonctions de circuits populaires sont aujourd'hui intégrées aux circuits intégrés de base. Les émetteurs-récepteurs sans fil, par exemple, peuvent être conçus à partir de zéro par des ingénieurs RF spécialisés, mais aussi achetés sous la forme d'un module unique, compact et préalablement conforme à la réglementation en vigueur. On en trouve aussi sous forme de système sur puce (SoC) sans fil pré-intégré à un microcontrôleur. Il en va de même des convertisseurs CA-CA. Quelques considérations à cet égard :

- Un module présente l'avantage d'être un élément de nomenclature unique (BOM), ce qui permet de réduire considérablement les dépenses d'ingénierie non récupérables. En revanche, est-il possible de la paramétrer en adéquation avec les exigences de l'application ?
- Une approche discrète peut répondre avec précision aux critères de conception, mais cela se fera au détriment du temps d'ingénierie et alourdira la nomenclature. La conception justifie-t-elle une approche discrète ?
- Quel est le coût de la nomenclature du module par rapport à une poignée de composants discrets ?
- Par ailleurs, le coût de la nomenclature n'est pas le seul facteur à prendre en compte. L'approvisionnement, la gestion des stocks et le stockage peuvent s'avérer plus coûteux que les composants eux-mêmes. Quels coûts et inconvénients supplémentaires cela entraîne-t-il ?
- Les modules sont souvent conçus avec l'idée d'optimiser l'encombrement et d'occuper le moins de place possible sur la carte. Avez-vous besoin de gagner de la place dans votre conception ?
- Dans quelle mesure les paramètres du circuit discret se rapprochent-ils d'un module approprié ? Est-il possible d'adapter la conception de façon à ce qu'elle puisse intégrer un module pour produits de base ?

Conformité sur le plan de la sécurité et de l'approbation de type :

- À quelles normes votre conception doit-elle se conformer ? L'isolation de l'utilisateur, la sécurité, les interférences électromagnétiques (EMI) et la compatibilité électromagnétique (CEM), l'approbation de type RF et la sécurité fonctionnelle ne sont que quelques exemples courants.
- Des estimations de temps et de coûts ont-elles été calculées pour assurer la conformité ? S'agit-il d'une compétence spécialisée qui nécessite un conseil externe ?
- Une approche modulaire pourrait-elle supprimer le besoin de tests de conformité, simplifier considérablement les tâches complexes de tests de production et améliorer le débit de production ?

Critères de sélection des composants :

À première vue, ce sujet peut paraître relativement simple. Cependant, la sélection des composants peut avoir des conséquences graves sur l'approvisionnement, la gestion de la nomenclature et la recherche de sources d'approvisionnement alternatives. Les ingénieurs peuvent ainsi spécifier une pièce particulière en fonction des besoins du circuit sans envisager le besoin ultérieur de disposer de composants alternatifs, de plusieurs fournisseurs ou d'autres options d'approvisionnement.

- Composants passifs : ils sont généralement spécifiés avec une valeur de tolérance donnée dans une gamme de produits spécifique. Les composants haute tolérance sont-ils indispensables ? La technique de construction, la céramique, le polymère, etc., influent également sur le prix des condensateurs. La sélection de toutes les pièces avec la même méthode de construction et une valeur de tolérance inférieure réduit les coûts et la complexité de la nomenclature, ainsi que les risques de problèmes de gestion des stocks.
- L'équipe d'approvisionnement achète-t-elle déjà un composant particulier ? Quel en est le degré de disponibilité ? Une seconde source d'approvisionnement fiable a-t-elle été identifiée et des commandes ont-elles déjà été passées auprès de celle-ci ?
- De nombreux circuits imprimés sont disponibles dans différents formats de boîtier. La spécification porte-t-elle sur la pièce la moins encombrante ?
- Le format de boîtier du circuit imprimé est-il un article de commande spéciale ? Un format de boîtier plus courant répondrait-il toujours aux exigences de conception ?
- Le composant est-il courant et facilement disponible ? Le constructeur a-t-il communiqué une date de fin de vie ?

Chaîne d'approvisionnement :

Disponibilité des composants :

- L'équipe d'ingénierie a-t-elle envisagé des composants alternatifs qui pourraient simplifier l'approvisionnement, réduire le coût de la nomenclature et faciliter les tests de production ?
- Quel volume est généralement commandé pour constituer le stock et qu'est-ce que cela représente exprimé en nombre d'unités du produit final ?
- Vos fournisseurs de composants communiquent-ils régulièrement avec l'équipe d'approvisionnement ? Vous tiennent-ils informés des éventuels retards, pénuries ou affectations de produits ?
- Une liste de composants essentiels susceptibles de faire l'objet de difficultés d'approvisionnement a-t-elle été dressée ? Cette liste est-elle régulièrement mise à jour et vérifiée ? Leurs alternatives provenant d'une deuxième source d'approvisionnement sont-elles également surveillées ?

Autres risques liés à l'approvisionnement :

- Vos fournisseurs assurent-ils de façon standard la traçabilité des composants ? Des pièces contrefaites peuvent apparaître à tout moment dans la chaîne d'approvisionnement de composants électroniques. Il est donc nécessaire d'assurer une surveillance permanente. Travaillez uniquement avec des

fournisseurs de composants réputés et insistez sur la traçabilité.
- Vos fournisseurs surveillent-ils également les pièces reconditionnées ? À l'instar des pièces contrefaites, une fois que celles-ci sont intégrées dans un produit, elles entraînent des temps d'arrêt coûteux, une perte de production et des coûts de remplacement de matériel.
- Tous les documents et les certificats pertinents relatifs aux composants reçus ont-ils été vérifiés ? Obtenir une certification peut s'avérer complexe, mais c'est une étape obligatoire pour certaines applications de produits.

Production :

Réduisez la manutention des composants :

- Combien de fois manipulez-vous les composants après réception ? Les éléments peu coûteux – comme les composants passifs – occupent peu d'espace. Les déplacer d'un endroit à un autre requiert du temps et de la main-d'œuvre, et cela a un coût. Les composants ont-ils été livrés sur le lieu de production ?
- Les tests de traçabilité et de conformité des composants sont-ils effectués à proximité du lieu de production ?
- Vos fournisseurs de composants peuvent-ils vous aider à réduire la manutention ? Fournissent-ils un service de « kitting » (préparation de kits) ?

Simplifiez le processus d'assemblage :

- Combien d'étapes et de processus l'assemblage du produit final requiert-il ? Est-il possible de rationaliser ces processus ? Certaines tâches pourraient-elles être combinées ?
- Le fait d'utiliser des modules permettrait-il de réduire la charge liée aux tests et à l'inspection de la production ?
- Fait-on appel à des sous-traitants pour les tâches de sous-assemblage ? Est-ce pratique et efficace ? Pourraient-ils faire davantage, ou est-ce une tâche spécialisée ?

En plus des facteurs qui ont une incidence pour des groupes fonctionnels particuliers, le fait que la chaîne d'approvisionnement soit mondialisée oblige à tenir compte de nombreux autres facteurs liés à la géopolitique, au développement durable et à l'environnement.

Considérations liées à la mondialisation

- L'approvisionnement des fabricants de composants en matériaux bruts est-il surveillé par votre fournisseur ou par vous-même ? L'un de vos composants contient-il des minéraux ou des terres rares ou en pénurie ?
- Dans quelle mesure votre chaîne d'approvisionnement en matériaux est-elle exposée à des conflits commerciaux régionaux ou nationaux ou à des tensions géopolitiques ? Êtes-vous abonné(e) aux flux d'actualités des fournisseurs concernés ?
- Quelle est votre politique concernant les critères environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) ? Réalisez-vous ou faites-vous réaliser par une organisation tierce un audit de vos fournisseurs et la surveillance de leurs performances en matière de développement durable ?
- Avez-vous une politique de responsabilité sociale de l'entreprise (RSE) ? Dans quelle mesure vos méthodes de conception et d'ingénierie de produits s'y conforment-elles ?
- Certains de vos fournisseurs sont-ils situés dans des régions qui ont été confrontées ou sont exposées à des catastrophes environnementales ? Existe-t-il un plan de secours au cas où cela se reproduirait et provoquerait une interruption dans la chaîne d'approvisionnement ?

Cette liste de contrôle DFM ne couvre que quelques-unes des différentes étapes clés de l'élaboration et du déploiement d'une stratégie DFM. Communiquer de façon régulière et ouverte entre l'ensemble des fonctions internes, des fournisseurs de composants et des fabricants de sous-ensembles permet d'identifier plus précocement les problèmes.

Mouser soutient votre stratégie DFM avec des outils et des services en ligne

Mouser fournit des outils gratuits tels que Forte, une application de gestion de nomenclature et d'inventaire, pour répondre à vos besoins en matière d'approvisionnement en composants. Cet outil vous fournit une base pour la gestion de votre produit tout au long de son cycle de vie. Forte inclut plusieurs fonctionnalités qui vous feront gagner du temps, notamment :

- un indicateur de confiance pour la correspondance des pièces permet de s'assurer que l'article correct a été sélectionné dans la nomenclature ;
- les conditions de remise multiquantités sont mises en évidence en fonction des changements de quantités dans la nomenclature ;
- la possibilité d'importer une nomenclature à l'aide de n'importe quel fichier de feuille de calcul populaire ou d'en créer directement une dans Forte ;
- une notification en cas d'éventuels avertissements liés au stock ou à l'obsolescence ;
- la possibilité d'exporter la nomenclature.

Une liste complète des principales fonctionnalités de Forte et un guide de démarrage rapide sont disponibles ici [1].
Pendant les phases de conception matérielle et mécanique, des informations complètes sur les produits (fiches techniques, modèles CAO 3D, empreintes de circuits imprimés, etc.) sont disponibles en téléchargement gratuit à l'adresse suivante [2].
De plus, vous trouverez une collection d'outils tels que des calculateurs de conversion, le partage de projet, des API, l'automatisation des commandes, l'entretien et bien d'autres en suivant ce lien [3]. N'hésitez pas à explorer cette liste.

230576-04

LIENS

[1] Liste complète des principales fonctionnalités de Forte : https://eu.mouser.com/bomtool
[2] Fiches techniques, modèles CAO 3D, etc. : https://eu.mouser.com/electronic-cad-symbols-models
[3] Mouser outils et des services en ligne : https://eu.mouser.com/servicesandtools

Rejoignez la communauté Elektor



Devenez membre **maintenant !**

elektor GOLD membership



- accès à l'archive numérique depuis 1978 !
- 8x magazine imprimé Elektor
- 8x magazine numérique (PDF)
- 10 % de remise dans l'e-choppe et des offres exclusives pour les membres
- accès à plus de 5000 fichiers Gerber



Également disponible

abonnement elektor GREEN membership sans papier !

- accès à l'archive numérique d'Elektor
- 10 % de remise dans l'e-choppe
- 8x magazine Elektor (PDF)
- accès à plus de 5000 fichiers Gerber

www.elektormagazine.fr/membres

elektor design › share › earn



filaments pour l'impression 3D

types, caractéristiques et utilisation dans le prototypage

Transfer Multisort Elektronik Sp. z.o.o.

L'impression 3D réalisée est une solution déjà bien établie sur le marché, bien que dans la perception de nombreuses personnes, elle soit encore assez fraîche et innovante. La possibilité d'imprimer des objets entiers à partir de zéro a changé, non seulement notre façon de penser le prototypage, mais aussi le processus de mise en œuvre de tels projets. Tout comme une imprimante traditionnelle ne peut pas se passer d'une cartouche ou d'un toner, une imprimante 3D ne peut rien faire sans un filament, et cela peut avoir diverses propriétés auxquelles il convient de prêter attention lors du choix d'un matériau.

Source : © mari1408/Adobe Stock

Que sont les filaments d'impression 3D ?

Les filaments d'impression 3 [1] sont des matériaux thermoplastiques utilisés pour imprimer des objets 3D par dépôt de matière fondue par une imprimante 3D. Ils sont disponibles en différents types et couleurs et sont fabriqués à partir de matériaux tels que l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène), le PLA (polylactide), le PET (polyétherphtalate), le nylon et bien d'autres. Ils sont livrés sous forme de bobines enroulées sur des rouleaux, qui sont ensuite insérées dans l'imprimante 3D. Le matériau thermoplastique déroulé est forcé à travers une buse chauffée à une température qui le fait fondre. La buse, contrôlant le flux de matière, se déplace dans l'espace selon les instructions dictées par le logiciel (par exemple CAM). Ceci est similaire à la stéréolithographie (SLA), dans laquelle la production est également réalisée en appliquant des couches successives durcies au laser. L'impression 3D est utilisée dans de plus en plus de domaines, ce qui génère un élargissement de la liste des filaments disponibles sur le marché. Certains sont basés sur des matières premières naturelles, tandis que d'autres sont entièrement synthétisés à partir de matériaux artificiels. Cependant, tous ces types ont une caractéristique en commun : ils se présentent sous la forme de fibres fines et longues, de plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de mètres de long, enroulées sur des bobines de différentes tailles standards. Ces bobines sont pratiques à monter et à démonter sur l'imprimante et (grâce aux couvercles latéraux) elles protègent bien les fibres contre le glissement de la bobine.

Les filaments de fournisseurs reconnus sont disponibles en deux diamètres de fibre de base : 1,75 mm et 2,85 mm. Généralement, ils sont fabriqués avec soin et sans épaississement accidentel ni irrégularité. Ceci est très important pour la qualité du processus d'impression, car chaque cordon est une surépaisseur de matière dans la buse et un comportement légèrement différent du matériau lorsqu'il est appliqué dans la couche courante, et il convient de rappeler que l'épaisseur d'un une seule couche typique représente environ 80 % du diamètre de la buse, qui est généralement légèrement inférieur à un demi-millimètre (par exemple, pour une buse de Ø 0,4 mm, la couche résultante sera de 0,32 mm).

Caractéristiques des types de filaments les plus importants

Il existe de nombreux types de filaments, et donc les matériaux à partir desquels ils sont fabriqués. Cependant, il existe un groupe qui peut certainement être appelé les plus populaires qui méritent d'être connus lorsque vous travaillez avec des imprimantes 3D :

ABS (acrylonitrile butadiène styrène)

C'est l'un des types de filaments d'impression 3D les plus populaires. L'ABS est durable et résistant à la compression et à l'abrasion, et résiste également bien aux températures élevées. C'est donc un matériau idéal pour imprimer des éléments exposés à un travail de longue durée dans des conditions exigeantes. Cependant, il peut être difficile à traiter et dégager des odeurs dangereuses et désagréables lors de l'impression, et sans lit chaud et colle de lit, il est sujet au gauchissement. Sa température d'impression varie de 210 à 250 °C. Les filaments ABS [2] sont issus d'un procédé de synthèse thermoplastique. Ce procédé consiste à mélanger trois composants : l'acrylonitrile, le butadiène et le styrène, dans un dispositif spécial appelé mélangeur continu, afin d'obtenir une

masse homogène. Cette masse est chauffée à haute température pour la faire fondre, puis elle est passée à travers une buse qui la transforme en fines fibres. Dans l'étape suivante, ces fibres sont refroidies et enroulées sur des rouleaux. Un bon mélange des ingrédients et une bonne fusion et formation des filaments sont cruciaux pour des filaments de haute qualité qui fonctionneront bien dans les imprimantes 3D.
Une application typique de l'ABS comprend par exemple les appareils électroménagers, casques de vélo et blocs pour enfants. Toutes sortes de boîtiers, couvercles, poignées, leviers ou petits éléments de finition sont également en ABS. Il faut aussi souligner que ce matériau ne doit pas entrer en contact avec des aliments.

PLA (acide polylactique)

Il s'agit d'un type de filament non toxique et biodégradable, facile à traiter et sans danger pour l'environnement, ce qui en fait la variété la plus populaire de filaments d'impression 3D aujourd'hui. Le PLA est plus flexible et moins résistant aux hautes températures que l'ABS. En même temps, il est plus facile à imprimer car il ne se déforme pas et il ne nécessite pas de table chauffante, il a besoin de températures d'impression plus basses (180-230 °C) et il n'émet pas d'odeurs désagréables. L'utilisation du PLA est très large et comprend, par exemple, des produits d'exposition (figures) ou divers éléments de construction, ce qui facilite la disponibilité de plusieurs de ses versions de couleur. Les filaments PLA [3] sont fabriqués à la suite du thermoplastique processus de synthèse. Ce processus consiste à mélanger des matières premières naturelles (par exemple l'amidon de maïs) avec des additifs chimiques tels que l'acide lactique (acide polylactique) et le polyéthylène glycol. Cette masse, comme dans le cas de pratiquement tous les filaments, est chauffée à haute température puis passée à travers une buse appropriée pour la transformer en fibres minces. Dans l'étape suivante, ces fibres sont bien sûr refroidies puis enroulées sur des rouleaux.
Un problème important est la faible résistance du PLA aux températures plus élevées, c'est pourquoi les éléments imprimés à partir de celui-ci ne doivent pas être utilisés à des températures supérieures à 55-60 °C. La possibilité d'utiliser des éléments de cette matière première comme base lorsque l'on travaille avec des filaments aux propriétés spécialisées (par exemple conductrices) et sa biodégradabilité constitue un autre avantage.

PETG (polyéthylène téréphtalate avec un mélange de glycol)

C'est un type de filament durable et flexible avec une résistance totale à l'eau et aux produits chimiques, c'est pourquoi il est régulièrement utilisé pour imprimer des articles tels que des bouteilles et autres emballages. Les filaments PETG [4] sont fabriqués par un processus de synthèse thermoplastique qui mélange des matières premières telles que l'acide téréphtalique et le glycérol et plusieurs composés chimiques supplémentaires, par exemple les antioxydants et les stabilisants. La résistance de ce filament aux produits chimiques (huiles, graisses ou essence) constitue son grand avantage et pour ces raisons il est très souvent utilisé. Il se caractérise également par la transparence, ce qui est important dans de nombreuses applications.

PA (nylon)

C'est un type de filament durable et flexible, insoluble et résistant à l'abrasion et aux dommages mécaniques. Le nylon est souvent utilisé pour imprimer des pièces qui doivent supporter de lourdes charges, telles que des engrenages et des ressorts de dilatation. Dans le même temps, il convient de tenir compte de ses propriétés hygroscopiques et, lors de l'impression, de la protection contre les fumées nocives qu'il émet. Les filaments de nylon [5] sont créés par un processus de synthèse thermoplastique utilisant des matières premières telles que l'acide azélaïque et le glycérol, auxquels sont ajoutés des antioxydants et des stabilisants.

PC (polyacrylonitrile)

C'est un type de filament qui résiste aux températures élevées et qui se caractérise d'une très bonne durabilité. Le PC, appelé polycarbonate, est souvent utilisé pour imprimer des pièces qui doivent résister à des températures élevées et à des contraintes. Les filaments PC sont fabriqués par un processus de synthèse thermoplastique qui mélange des matières premières telles que le bisphénol A et l'acide carboxylique avec des additifs chimiques sous la forme d'antioxydants et de stabilisants.

TPE (élastomères thermoplastiques) et ses variants

Ce matériau est un plastique aux propriétés caoutchouteuses, ce qui le rend extrêmement flexible et durable. Il convient de noter, cependant, qu'il ne s'agit pas fondamentalement d'un type de matériau, mais de toute une large classe de copolymères et de mélanges de polymères dont les fibres souples et extensibles résistent à des contraintes que ni l'ABS ni le PLA ne peuvent supporter. Les filaments TPE [6] sont couramment utilisés dans la fabrication de pièces automobiles, d'appareils électroménagers et de fournitures médicales, mais ils ne sont pas faciles à manipuler – le TPE est souvent difficile à tamponner.
Le polyuréthane thermoplastique (TPU) [7], dont les filaments sont très populaires, est une variété spéciale de TPE est. En le comparant au TPE ordinaire, ce matériau est légèrement plus rigide, ce qui facilite l'impression. Il est également un peu plus durable et conserve mieux sa souplesse à basse température. Cependant, tout comme le TPE, c'est aussi un filament d'impression exigeant – il nécessite un chemin de filament étroit et une vitesse d'impression lente à des températures comprises entre 210 et 230 °C.
Le copolymère thermoplastique (TPC) est une autre variété de TPE. Il n'est pas si répandu, mais dans certaines applications, son avantage est une plus grande résistance aux produits chimiques et aux rayons UV, et aux températures pouvant atteindre jusqu'à 150 °C sans trop endommager le matériau.

Impression 3D en prototypage

L'importance de l'impression 3D pour le prototypage ne peut être surestimée aujourd'hui. Cette technologie permet de créer les modèles physiques rapides et peu coûteux, ce qui raccourcit la phase de conception et de test et permet mettre en œuvre beaucoup plus rapidement un produit dans sa forme finale. Sur la base de l'impression 3D, les concepteurs et les ingénieurs peuvent créer de nombreuses variantes physiques d'un produit donné pour tester

la forme, la taille et la fonctionnalité, et par conséquent choisir la meilleure option. Cela fonctionne parfaitement, par exemple dans l'industrie automobile, où l'impression 3D est couramment utilisée dans la conception et la création de prototypes d'éléments de carrosserie ou de pièces montées ultérieurement dans l'intérieur des véhicules.
Un autre exemple d'utilisation de l'impression 3D dans le prototypage est le processus de la création de modèles médicaux, tels que des prothèses, des endoprothèses ou des outils chirurgicaux. Ici, le fait de raccourcir le temps de recherche du formulaire final est également d'une grande importance, c'est pourquoi la popularité des imprimantes 3D dans l'industrie médicale augmente à un rythme très rapide. Finalement, il convient de mentionner le prototypage des moules eux-mêmes pour la production par injection – ici aussi, l'utilisation de l'impression 3D permet finalement la production rapide et facile de nouveaux produits en plastique.
Il existe encore un autre aspect de l'utilisation de l'impression 3D dans les processus de prototypage – il s'agit de l'aspect financier. En réalisant les prototypes de manière indépendante, au lieu de les confier à des sous-traitants externes, nous pouvons épargner des fonds ainsi que de protéger mieux la propriété intellectuelle d'un fabricant donné.

Impression 3D en électronique

Il est évident que l'impression 3D a également trouvé une application dans la conception de l'électronique. Lors de la conception CAO/FAO, des programmes distincts conçoivent les cartes de circuits imprimés, l'électrotechnique et les boîtiers. Avec la possibilité d'imprimer immédiatement, ces boîtiers peuvent être conçus et modélisés rapidement et efficacement jusqu'à ce que l'optimum soit atteint.
Cependant, les dernières solutions ont permis quelque chose de plus : l'impression des boîtiers [8] avec l'électronique intégrée à



Source : © ProstoSvet / Adobe Stock

l'intérieur. C'est le résultat de la combinaison de deux processus assez indépendants jusqu'à présent – l'impression 3D et l'agencement automatique des éléments sur PCB [9] – avec une solution très intéressante, qui est un filament conducteur. Le résultat est donc une machine pour la production d'appareils électroniques entièrement fonctionnels. Tout d'abord, l'ensemble du circuit conducteur doit être conçu dans l'environnement approprié, puis envoyé au logiciel qui combine l'ensemble dans un fichier, à partir duquel l'imprimante lit des informations sur l'impression du boîtier, la création de connexions conductrices et la disposition des composants.
L'impression 3D permet également de produire de petites séries, de produire des commandes individuelles ou encore de produire des éléments pour des bêta-tests. En outre, il permet également de créer des pièces de rechange pour des appareils non standard, généralement très coûteux.

Filaments dans l'offre de TME

TME propose des filaments produits par de nombreux fournisseurs reconnus et présentant un large spectre de matériaux à base d'ingrédients synthétiques et naturels.
Il s'agit donc de plastiques tels que l'ABS dans différentes variétés, ASA (acrylonitrile-styrène-acrylate) [10], HIPS (High Impact Polystyrène) [11], PA (nylon, c'est-à-dire polyamide), PCABS (un mélange de polycarbonate et ABS) [12], PET (polyéthylène téréphtalate), PLA (polylactide), PMMA (polyméthacrylate de méthyle) [13], PVA (alcool polyvinylique) [14], SILK (variante du PLA brillant) [15] et élastomères thermoplastiques TPE et TPU. L'offre est complétée par des filaments adaptés aux applications industrielles spécialisées de la série iglidur® [16] à base de polymères de base hautes performances avec un mélange de différents types de fibres et de lubrifiants solides. Ces derniers composants confèrent aux matériaux les propriétés préférées requises dans des applications étroites spécifiques, par exemple la durabilité, la résistance ou le frottement et l'usure limités nécessaires des éléments imprimés. En conséquence, ils sont parfaits pour dans la production de roulements.

230577-04

LIENS

[1] filaments pour l'impression 3D : https://tinyurl.com/tmefilamentFR
[2] Filaments ABS : https://tinyurl.com/tmeabsfilamentFR
[3] Filaments PLA : https://tinyurl.com/tmeplafilamentFR
[4] Filaments PETG : https://tinyurl.com/tmepetgfilamentFR
[5] Filaments de Nylon : https://tinyurl.com/tmenylonfilamentFR
[6] Filaments TPE : https://tinyurl.com/tmetpefilamentFR
[7] Filaments TPU : https://tinyurl.com/tmetpufilamentFR
[8] Boîtiers électroniques : https://tinyurl.com/tmeboitier
[9] PCB universels : https://tinyurl.com/tmeunipcbFR
[10] Filaments ASA : https://tinyurl.com/tmeasafilamentFR
[11] Filaments HIPS : https://tinyurl.com/tmehipsfilamentFR
[12] Filaments PCABS : https://tinyurl.com/tmepcabsfilamentFR
[13] Filaments PMMA : https://tinyurl.com/tmepmmafilamentFR
[14] Filaments PVA : https://tinyurl.com/tmepvafilamentFR
[15] Filaments SILK : https://tinyurl.com/tmasilkfilamentFR
[16] Filaments de la série iglidur : https://tinyurl.com/tmeiglidurfilamentFR

Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.
Siège de l'entreprise : ul. Ustronna 41 | 93-350 Łódź, Pologne
tme@tme.fr | https://www.tme.eu/fr

elektor TV

Elektor LabTalk (émission en anglais)

Dans notre dernier livestream, nos experts ont exploré le Raspberry Pi 5 et abordé les possibilités qu'il offre à vos projets !

Les nouvelles caractéristiques du Raspberry Pi 5 ont été abordées lors de ce livestream sur la chaîne YouTube Elektor TV. Avec son processeur Arm Cortex-A76 à quatre cœurs cadencés à 2,4 GHz, il est jusqu'à trois fois plus rapide que son prédécesseur.

Vous pouvez maintenant revoir l'épisode d'Elektor LabTalk ici : www.elektormagazine.fr/labtalk13





Vous avez manqué le livestream ? Pas de souci, nous avons tout prévu ! Retrouvez les moments forts du livestream et d'autres contenus sur le Raspberry Pi dans notre playlist YouTube sur Elektor TV.

www.elektormagazine.fr/pi-playlist

Restez informé et rejoignez notre chaîne YouTube Elektor TV : **www.youtube.com/@ElektorTV**

spécialistes pour une **analyse efficace des signaux des bandes ELF à EHF**

les derniers analyseurs de spectre en temps réel de la série SPECTRAN® V6 d'Aaronia

Contribué par Aaronia AG

Les ondes millimétriques ou EHF (Extrêmement hautes Fréquences) offre une bande passante énorme et une haute résolution en raison de ses hautes fréquences et des courtes longueurs d'onde qui y sont associées. Cependant, les hautes fréquences constituent également un défi majeur pour l'analyse des signaux, car la propagation des signaux EHF est sujette à l'absorption et à la dispersion. Avec les analyseurs de spectre USB en temps réel de la série SPECTRAN® V6, Aaronia AG fournit les outils appropriés pour toutes les analyses requises.

Les analyseurs de spectre en temps réel de la série SPECTRAN® V6 X USB sont spécialement conçus pour les mesures en champ proche et en champ lointain, pour mesurer et localiser les sources de rayonnement parasite ou pour surveiller les problèmes de CEM. La bande passante en temps réel jusqu'à 450 MHz et la vitesse de balayage supérieure à 3 000 GHz/s accélèrent considérablement toutes les mesures nécessaires, et permettent ainsi d'économiser du temps et de l'argent.

Dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 55 GHz, les nouveaux appareils SPECTRAN® V6 X de la série PLUS peuvent détecter et localiser des signaux parasites, même très brefs, et déterminer ou éliminer leur cause. La vitesse de balayage des séries ECO, 5G et XPLORER peut atteindre 3 THZ/s. Elle permet une mise à jour plus rapide du spectre et la détection des signaux transitoires, ce qui est particulièrement important lors de l'analyse des signaux à saut de spectre ou lors de la recherche d'interférences intermittentes.



Figure 1. SPECTRAN® V6 ECO 150XA-6 avec une entrée (Rx) avec 44 MHz RTBW et un générateur de signaux (Tx) de 44 MHz en sortie.

Par exemple, si des analyseurs SPECTRAN® V6 à deux entrées sont utilisés, les deux entrées peuvent être utilisées pour mesurer simultanément de chaque côté d'un blindage. Les deux résultats peuvent alors être comparés l'un à l'autre en temps réel, sans avoir par exemple à changer la configuration de la mesure ou à reconnecter les câbles. Cela simplifie les opérations de mesure et réduit considérablement les efforts.

En combinant plusieurs analyseurs SPECTRAN® V6, la bande passante en temps réel peut être augmentée à volonté. La mise en cascade de seulement quatre analyseurs V6 permet une mesure en temps réel par exemple de 20 MHz à 1 GHz, ce qui signifie un avantage de temps inégalé pour un grand nombre de mesures. « La technologie de mesure, ainsi que les exigences qui lui sont imposées, évoluent à une vitesse fulgurante » , déclare Thorsten Chmielus, directeur général d'Aaronia AG. « Avec nos analyseurs de spectre USB en temps réel, nous sommes en mesure de réagir rapidement aux nouvelles situations. Avec le développement continu de la série SPECTRAN®, nous établissons toujours de nouveaux standards et nous assurons l'avenir de nos produits »

Une solution efficace pour les petits budgets — SPECTRAN® V6 ECO

Avec le SPECTRAN® V6 ECO (**figure 1**), Aaronia ouvre une nouvelle part de marché dans l'analyse de spectre en temps réel. Dans sa version de base, le périphérique USB offre une bande passante en temps réel (RTBW) de 44 MHz et une plage de fréquences étendue de 9 kHz à 6 GHz. L'ECO 100XA-6 d'entrée de gamme, incluant le logiciel dédié



Figure 2. SPECTRAN® V6 5G-500XA-50 avec entrée « basse fréquence » et entrée « haute fréquence ».

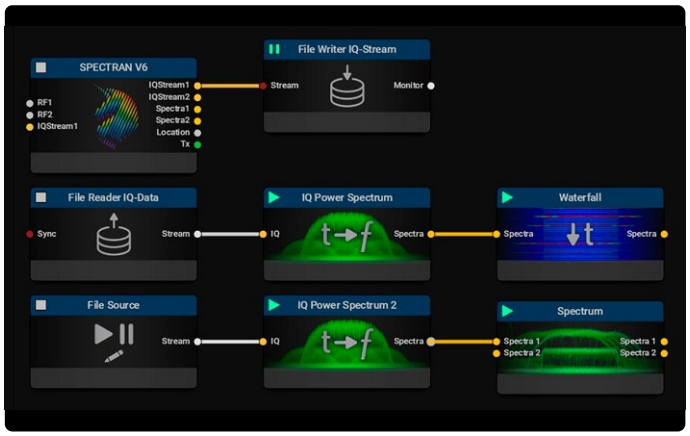


Figure 3. RTSA-Suite PRO enregistrant la bande IQ complète.

RTSA-Suite PRO, coûte moins de 1500 euros, une révolution sur le marché des analyseurs de spectre en temps réel. L'appareil peut également être commandé avec un générateur de signaux intégré ou en tant que version double réception. Ce dernier modèle comble le fossé entre les radios logicielles abordables, mais de faible puissance, et les analyseurs haut de gamme, coûteux et rapides. Avec ses deux entrées indépendantes, le SPECTRAN® V6 ECO 200XA-6 offre 2 × 44 MHz RTBW à portée de main. D'autre part, il atteint une vitesse de balayage de 3 THz/s grâce à la fonction *LO tictoc* unique et brevetée.

L'année prochaine, les appareils seront également disponibles en version 18 GHz pour moins de 10000 euros, avec un générateur de signaux inclus. En outre, presque tous les modèles pourront être complétés par une entrée *PowerMeter* en option, qui permet de détecter de manière fiable les pics de signaux jusqu'à 70 GHz.

Pour les mesures dans l'environnement radio mobile, les appareils de la série SPECTRAN® V6 5G (**figure 2**) sont convaincants. En plus de la bande FR1 précédente, ils supportent également les nouvelles bandes 5G entre 24 GHz et 53 GHz (FR2) ainsi que WiGig 45 GHz (802.11aj). Les profils de fréquence associés sont désormais inclus dans la dernière version de *RTSA Suite PRO*.

Le logiciel est un élément déterminant

Toutefois, ce n'est pas seulement la largeur de bande en temps réel, ainsi que la vitesse de balayage et la probabilité d'interception (POI) du matériel qui sont étonnantes. C'est plutôt le logiciel utilisé qui joue un rôle décisif. Avec le logiciel modulaire de contrôle et d'analyse du spectre en temps réel *RTSA-Suite PRO*, Aaronia fournit un ensemble de logiciels puissants pour l'enregistrement des signaux et l'analyse des données. Ainsi, la fonction *Record & Replay* du SPECTRAN® V6, en combinaison avec *RTSA-Suite PRO*, permet l'enregistrement et la relecture de toute la bande passante en quadrature (IQ), (**figure 3**). De cette façon, toutes les informations nécessaires pour restaurer un signal peuvent être stockées sur l'ordinateur connecté localement pour un examen détaillé. Un autre avantage inestimable est la durée d'enregistrement pratiquement illimitée, qui ne dépend que de la capacité du support de stockage utilisé. La facilité d'utilisation est une priorité absolue pour Aaronia. Grâce au système modulaire, même les tâches de mesure complexes peuvent être configurées en très peu de temps par glisser-déposer. En combinant différents blocs, une image visuelle de la configuration de mesure est créée. Les « missions » fréquemment utilisées peuvent être sauvegardées en tant que projets finis et rappelées si nécessaire. De nombreuses configurations prédéfinies peuvent être téléchargées sur le site web d'Aaronia [1]. Elles peuvent être importées dans *RTSA-Suite PRO*, de sorte que les mesures peuvent être lancées immédiatement. Si les fonctions supplémentaires sont payantes, Aaronia offre à tous les clients existants la possibilité de tester la fonction dans des versions d'essai complètes de 30 jours.

De nombreux modules, d'une valeur totale de 7782,00 euros, sont déjà inclus gratuitement dans la version de base. Il s'agit notamment de diverses vues 2D et 3D, du traitement IQ, de déclencheurs, de décodeurs AM/FM, de lecture et d'écriture de fichiers, de HTTP à distance ou de scripts, entre autres.

Pas seulement pour le SPECTRAN® V6

Le logiciel *RTSA-Suite PRO* peut non seulement être utilisé avec les instruments de mesure de Aaronia, mais il est également compatible avec des appareils d'autres marques et élargit leur champ d'utilisation. Par exemple, si vous complétez votre analyseur de spectre Tektronix avec *RTSA-Suite PRO* via une licence logicielle d'environ 2500 euros, vous recevrez en prime le lecteur/enregistreur de fichiers pour l'enregistrement et la lecture des données, d'une valeur de 4550 euros.

Service de mise à jour

Aaronia offre un service de reprise exclusif pour ses produits. Si un ancien appareil ou la version précédente d'un produit doit être échangé contre un successeur, jusqu'à 50 % du prix d'origine sera crédité sur le nouvel appareil. Il suffit d'envoyer l'ancien appareil et la facture originale. Cette offre s'applique à tous les composants actifs, tels que les instruments de mesure et les amplificateurs.

Et à l'avenir ?

Aaronia travaille déjà sur les prochaines générations de SPECTRAN®. Avec une gamme de fréquences allant jusqu'à 110 GHz (selon le modèle), le SPECTRAN® V6 XPLORER est le nouvel acteur dans le domaine des hautes fréquences. En tant que plate-forme de développement abordable, il ouvre des domaines d'application complètement nouveaux grâce à ses performances.

230580-04

LIEN

[1] Site web d'Aaronia : https://aaronia.com

défis de l'analyse DFM pour les circuits flexibles et flexibles-rigides

DownStream Technologies

La construction de circuits imprimés flexibles et flexibles-rigides n'est pas un concept nouveau. Elle est devenue courante, car les ingénieurs recherchent des solutions alternatives comme support des circuits pour des produits électroniques de plus en plus petits. Le schéma sur une feuille pour un simple câble est analogue à son support physique plat. Un schéma sur de multiples feuilles, qui détaille un circuit flexible-rigide, n'a que peu de ressemblance visuelle avec son assemblage flexible-rigide tridimensionnel construit avec différents matériaux. Cependant, dans les deux exemples de schémas, les outils d'analyse basés sur les schémas sont appliqués de la même manière. Cette même vérité s'applique également aux circuits imprimés courants à deux ou plusieurs couches basés sur du FR4. Les outils d'analyse de circuits imprimés d'aujourd'hui sont applicables à toutes les combinaisons de circuits imprimés rigides, quel que soit le nombre de couches ou leur taille. Cependant, en raison des propriétés uniques des supports flexibles et des supports flexibles et rigides combinés, les conceptions flexibles nécessitent des outils spécifiques d'analyses, à la fois fonctionnelles et orientées vers la fabrication. L'analyse de l'intégrité telle que l'impédance, le couplage, la diaphonie et le bruit est devenu compliquée par les successions de variables dans les conceptions flexibles. Une même ligne de transmission peut être en *stripline* dans une zone flexible-rigide et en *microstrip* dans une zone flexible. Les types de matériaux et les constantes diélectriques au-dessus ou au-dessous d'une piste traversant un circuit varient également. Bien que les défis liés à l'analyse de l'intégrité du signal pour les conceptions flexibles méritent d'être discutés, cet article se concentrera sur les défis actuels de l'analyse de la conception pour la fabrication des circuits flexibles et flexibles-rigides.

Comparaison des circuits imprimés rigides avec les circuits flexibles et les circuits flexibles-rigides

Certains concepteurs conçoivent les circuits imprimés souples comme de simples circuits flexibles, mais il existe de grandes différences entre les circuits rigides et les circuits souples. Les deux technologies assurent une interconnexion électrique, mais sont fabriquées avec de différents types de matériaux et de techniques. Elles ont également des applications différentes. Il n'est pas nécessaire de concevoir un circuit imprimé flexible-rigide pour la carte mère d'un PC de bureau, mais le flexible-rigide est nécessaire pour la plupart des dispositifs médicaux implantés.

Un circuit imprimé rigide typique est composé de substrats en fibre de verre, recouverts de cuivre électrodéposé, et collés ensemble. Bien que les matériaux utilisés pour coller les substrats varient, il s'agit généralement de feuilles de tissu pré-imprégnées d'époxy non durci. Ce matériau de liaison n'est pas conçu pour être flexible. Le cuivre est gravé chimiquement pour créer un tracé de circuit. La dureté des substrats collés nécessite un routage mécanique pour découper les circuits imprimés bruts. Toutes les couches du circuit imprimé sont généralement de taille et de forme identiques, à moins qu'il n'y ait la présence de cavités, de composants intégrés ou d'autres constructions exotiques. L'empilement des couches du circuit imprimé rigide est identique sur toute la surface du circuit imprimé. Le masque de soudure et la sérigraphie sont presque toujours appliqués.

Les circuits imprimés souples sont constitués de cuivre recuit laminé sur des substrats de polyimide souple. Les couches ou noyaux flexibles sont produits avec ou sans adhésifs. Les circuits flexibles sans adhésif sont surtout utilisés dans les applications qui nécessitent des performances élevées, tandis que les circuits flexibles avec adhésif sont souvent utilisés dans les applications comportant un faible nombre de couches. L'utilisation la plus courante est la feuille de cuivre laminée sur un substrat avec un adhésif époxy ou acrylique. Le matériau du substrat et l'adhésif sont conçus pour être pliés afin de minimiser la cassure des pistes. Comme pour les circuits imprimés rigides, un procédé de gravure chimique est utilisé pour créer un schéma

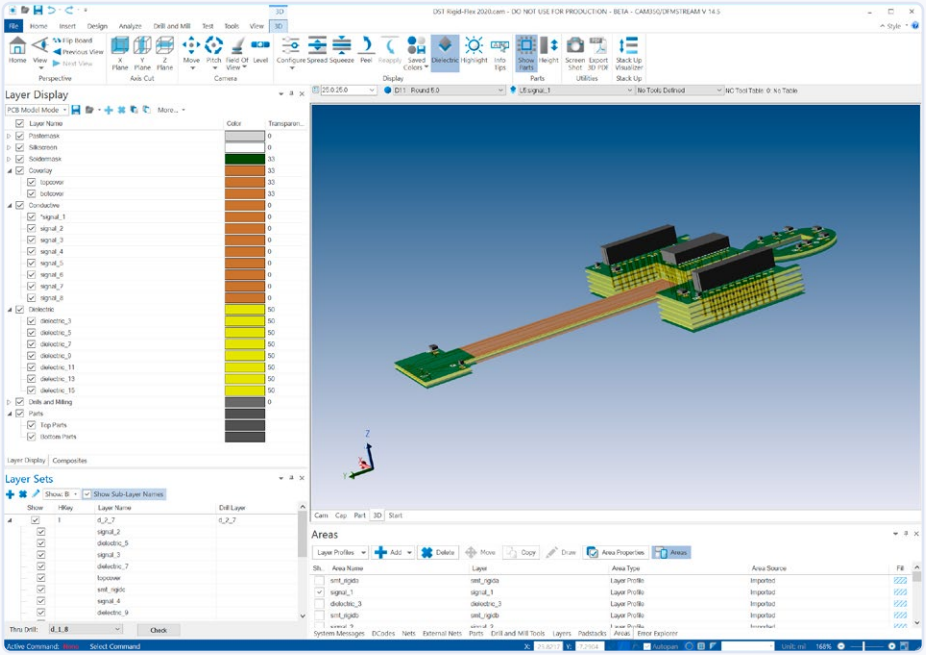


Figure 1. Une conception rigide-flexible en 3D avec des couches séparées pour une meilleure visualisation.

de circuit. La nature flexible des matériaux nécessite une découpe ou un détourage plutôt qu'un routage mécanique. Chaque couche d'un élément flexible double-face a une forme identique. Cependant, les matériaux flexibles à couches multiples sont susceptibles de présenter des variations de forme pour chaque couche ou noyau. Les circuits imprimés souples nécessitent un film isolant en couche mince sur les conducteurs, appelé *coverlay*. Contrairement aux masques de soudure pour circuits imprimés rigides, les *coverlays* sont découpés à l'emporte-pièce, tout comme les couches souples qu'ils isolent. La structure d'un circuit imprimé souple multicouche peut varier d'un bout à l'autre de la surface du circuit. C'est particulièrement vrai pour les circuits imprimés flexibles multicouches, où la forme des couches varie parmi l'ensemble des couches ou des noyaux. Une zone de plan de masse ou d'alimentation flexible est généralement hachurée, alors qu'elle est pleine pour les circuits imprimés rigides. Les hachures réduisent le risque de rupture des conducteurs. Les couches flexibles peuvent également être blindées par une feuille de cuivre ou d'argent. Le masquage et le blindage des couches flexibles ne sont pas rares, mais peu courants.

Les circuits imprimés flexibles-rigides sont évidemment une combinaison de matériaux rigides et flexibles. Les circuits imprimés *Rigid-Flex* sont essentiellement une combinaison hybride de matériaux et de procédés issus des circuits imprimés rigides et flexibles. Les deux types de matériaux sont généralement traités séparément et collés ensemble plus tard au cours du processus de fabrication. L'empilement des couches varie généralement beaucoup sur l'ensemble du circuit imprimé (**Figure 1**). Il peut y avoir des zones flexibles-rigides, flexibles uniquement, diverses combinaisons de couches rigides et flexibles, etc... Il y a aussi les circuits flexibles renforcés, où des FR4 vierges ou d'autres matériaux rigides sont collés de manière sélective à des supports flexibles pour leur donner de la rigidité. Le matériau rigide qui sert de raidisseur comporte rarement des conducteurs.

Les utilisation de circuits rigides par rapport aux circuits flexibles et flexibles-rigides

Les circuits imprimés rigides sont une technologie fondamentale dans les produits électroniques d'aujourd'hui. Les circuits imprimés rigides offrent une intégrité mécanique, une conductivité électrique et une fiabilité, mais sont limités par leur profil en deux dimensions. Leur planéité limite les concepteurs à deux dimensions, ce qui restreint considérablement la souplesse de la conception, en particulier lorsque la taille des appareils électroniques diminue. Les circuits imprimés flexibles sont pliés pour tirer parti d'un espace tridimensionnel, tout en accueillant des composants. Les circuits imprimés flexibles permettent une utilisation maximale de l'espace pour intégrer des composants électroniques, mais à un coût supérieur à celui des circuits imprimés conventionnels.

Les circuits imprimés rigides et souples sont présents dans de nombreux appareils électroniques. Toutefois, certaines applications bénéficient davantage d'un type particulier de circuit imprimé. Les circuits imprimés rigides conviennent aux produits tels que les téléviseurs, les ordinateurs de bureau, les lecteurs Blu-ray et d'autres produits électroniques de grande taille. Les circuits imprimés flexibles sont présents dans les smartphones, les montres connectées, les tablettes, les appareils photo, les imprimantes et les ordinateurs portables. Ils constituent une exigence fondamentale pour les dispositifs médicaux miniatures implantés tels que les stimulateurs cardiaques, les implants cochléaires et les défibrillateurs implantés. Les assemblages complexes de circuits imprimés multiples interconnectés par des fils ou des câbles sont souvent remaniés, avec des circuits imprimés rigides et flexibles pour améliorer la fiabilité, le poids et réduire l'encombrement. C'est le catalyseur de la conception de nombreux produits militaires et aérospatiaux avec des circuits imprimés souples rigidifiés. Un exemple est une balle intelligente à usage unique qui peut modifier sa trajectoire si la cible visée se déplace.

L'introduction de semi-conducteurs de petite taille ou montés en surface a marqué le début d'une révolution dans le domaine du reconditionnement miniature. Pensez au Walkman de Sony par rapport à un radio-cassette d'autrefois. Pendant des années, les circuits imprimés flexibles ont été cantonnés exclusivement au remplacement des câbles multifilaires. Qui ne se souvient pas de la présence d'un câble plat flexible connecté à la tête d'une imprimante matricielle ou à impact. La tête allait et venait sur le papier tandis que le câble fléchissait dynamiquement et assurait une interconnexion plus fiable entre la tête de l'imprimante et la carte mère. L'introduction du flexible-rigide ne change pas la donne de la même manière que les composants CMS, en raison de son application quelque peu limitée et de la différence de coût. Il ne faut pas s'attendre à ce qu'une nouvelle collection d'ordinateurs de bureau soit conçue avec des cartes mères rigidifiées pour réduire les coûts. Cependant, les technologies miniaturisées et fiables telles que les pilules avec des caméras, les téléphones cellulaires pliables ou les dispositifs médicaux implantés ne pourraient se passer de la technologie flexibls-rigide.

Conclusion

Les concepteurs et les fabricants ont assez bien réussi jusqu'à présent avec un accès limité aux outils d'analyse DFM (*Design For Manufacture*) spécifiques aux circuits souples. Aujourd'hui, les circuits flexibles et flexibles-rigides sont devenus plus courants et la technologie sous-jacente ne cesse d'évoluer. Comme c'est souvent le cas avec les nouvelles technologies, les outils de conception et d'analyse des circuits imprimés sont en train de rattraper leur retard. Les outils de CAO pour circuits imprimés ont été mis à jour pour prendre en charge la conception de circuits flexibles et flexibles-rigides, mais nombre d'entre eux ne disposent pas encore du support nécessaire pour transmettre intelligemment les données aux fabricants. Pareillement, la plupart des outils DFM à ce jour sont inadéquats pour analyser correctement les conceptions flexibles et flexibles-rigides afin de détecter les problèmes de fabrication. Chez DownStream, nous avons la chance d'avoir une longue liste d'utilisateurs entièrement impliqués dans des conceptions flexibles, qui se sont associés avec nous pour développer une solution DFM spécifique aux circuits souples. Et nous continuons à travailler avec ces clients pour améliorer nos capacités d'analyse DFM des produits flexibles. En plus du support d'analyse DFM décrit dans ce document, nous prévoyons la possibilité d'analyser d'autres traces de rupture potentielles telles que l'effet de la poutre en I, ainsi qu'une visualisation 3D et une DFM améliorées pour les circuits flexibles et flexibles-rigides dans leur état courbé. Il ne s'agit là que de quelques exemples. Tout comme la technologie sous-jacente, les outils de conception et d'analyse des circuits imprimés doivent également évoluer en permanence pour garantir le succès des clients, et c'est l'un des fondements de l'engagement de Downstream envers notre industrie.

230590-04



définir une ligne CMS

Contribué par Opulo

La fabrication de vos circuits électroniques est une tâche difficile. À très petite échelle, il est possible d'utiliser des pinces et de placer manuellement des composants sur un circuit imprimé enduit de pâte à braser, mais au-delà de quelques dizaines de circuits, cette méthode devient peu pratique. Si vous produisez des centaines de milliers d'unités par an, la location d'une usine qui se chargera de l'assemblage, de la programmation et du contrôle de la qualité peut être une bonne solution. Mais, comment faire si vous vous situez entre les deux situations ? Jusqu'à présent, deux options s'offraient à nous : l'assemblage manuel inefficace ou l'externalisation coûteuse.

Mais aujourd'hui, vous pouvez exploiter une ligne SMT pour produire des quantités de cartes tout en économisant de l'argent sur les frais généraux coûteux des fabricants sous contrat et en garantissant la qualité en conservant la production en interne. Dans cet article, nous vous montrons comment équiper et exploiter votre propre ligne SMT pour la fabrication de votre produit.

Pâte à braser et pochoirs

La première étape de la production SMT consiste à appliquer de la pâte à braser. Il s'agit d'utiliser une raclette pour déplacer la pâte sur un pochoir en acier inoxydable placé sur votre circuit imprimé, ce qui permet de n'appliquer la pâte qu'aux endroits où les composants en ont besoin (**figure 1**). Pour appliquer la pâte à braser avec succès, trois facteurs doivent être réunis..

Application de la pâte

Choisir la bonne pâte pour votre carte peut faire toute la différence pour le taux de réussite de votre ligne de production. Une bonne pâte se pochoirise facilement et refond proprement sans billes de soudure errantes. Chipquick SMDLTLFP250T3 est une excellente pâte basse température très facile à retravailler. Elle peut également être très utile pour les fours de refusion qui ont du mal à atteindre la température de refusion maximale standard de 250 °C. Cependant, si votre four de refusion peut facilement atteindre 250 °C, la Loctite GC10 est un excellent choix. Elle a une durée de vie incroyablement longue et reflue proprement avec une très faible probabilité de pontage ou de joints froids.

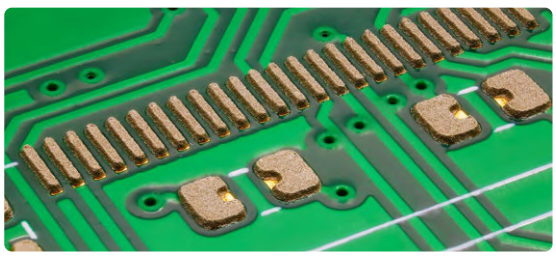


Figure 1. Carte LumenPnP avec pâte à braser.

Pochoir

Afin d'appliquer la pâte à souder uniquement là où les composants de votre carte le nécessitent, vous aurez également besoin d'un pochoir. Il s'agit de fines feuilles d'acier inoxydable découpées au laser, avec des trous qui s'adaptent exactement aux pastilles de votre circuit imprimé, de sorte qu'une raclette ne dépose la pâte qu'au bon endroit. Vous pouvez généralement les acheter sur mesure auprès de votre fournisseur de circuits imprimés à un prix très avantageux.

L'électropolissage de votre pochoir est une option de finition offerte par la plupart des ateliers de fabrication de cartes, et nous avons constaté qu'il prolongeait la durée de vie du pochoir et permettait une application plus propre de la pâte. Vous pouvez également choisir de faire encadrer votre pochoir, ce qui signifie que la feuille d'acier est montée dans un cadre en aluminium pour être utilisée avec un gabarit d'impression en pâte.

Imprimante de pâte à souder

Une imprimante de pâte aligne parfaitement votre pochoir sur votre circuit imprimé de manière reproductible. Il est essentiel d'aligner avec précision le pochoir sur votre circuit imprimé. Tout écart peut entraîner l'application de pâte sur les zones adjacentes, ce qui augmente considérablement les risques de ponts de soudure. L'imprimante de pâte à souder 3040 est un choix fiable et abordable, qui conserve son alignement bien après l'installation.

Placement des composants

La partie la plus difficile de la fabrication des circuits imprimés est sans aucun doute le placement précis des composants sur le circuit imprimé nu. Cette difficulté s'accompagne d'autres défis : même les machines basses de gamme peuvent coûter des dizaines de milliers de dollars et nécessitent un environnement industriel avec de l'air à haute pression pour fonctionner.

Cependant, la LumenPnP (**figure 2**) [1] est une machine de bureau *pick & place* qui vous permet d'assembler vos cartes pour une fraction du coût, dans n'importe quel environnement. La LumenPnP prend en charge des composants jusqu'à 0402, et elle dispose même de chargeurs alimentés qui fournissent un flux régulier de pièces à placer par la machine, ce qui signifie que le processus d'assemblage est entièrement automatisé. Après l'installation, il suffit de placer votre circuit imprimé recouvert de pâte à souder et d'exécuter le travail d'assemblage.

Elle est également conçue pour être hautement configurable et supporter une large gamme d'exigences en matière de cartes. La machine supporte jusqu'à 50 chargeurs motorisés, avec un espace pour deux douzaines de bandes, ce qui signifie que même un circuit imprimé avec de nombreux composants uniques peut être assemblé en un seul passage. Et même si vous avez une très grande carte à assembler, la LumenPnP peut assembler des cartes de 360 mm × 270 mm.

Le LumenPnP est entièrement à code source ouvert, ce qui signifie que vous pouvez modifier, comprendre et maintenir votre machine sans limitations. Elle dispose également d'une communauté forte de milliers de personnes, qui travaillent toujours sur des mises à jour, des modifications et des améliorations de la machine.

Refusion

Une fois votre carte est assemblée, vous avez maintenant besoin d'un four de refusion pour chauffer la pâte à braser et la faire refondre en soudure liquide. Ce processus de chauffage doit suivre un profil de température spécifique optimisé pour le type de soudure choisi.

Reflow Master Pro

Ce module matériel convertit un four grille-pain standard en four de refusion. Avec une interface utilisateur fantastique et de grandes performances, le Reflow Master Pro est ce qu'Opulo utilise pour tous les assemblages de circuits imprimés. Vous devez fournir votre propre four grille-pain et vous occuper vous-même de l'installation, mais les résultats en valent la peine.

Whizoo Controleo3

Whizoo offre une solution complètement prête à l'emploi pour ceux qui souhaitent acheter un produit prêt à être refondu. C'est un peu plus cher que les autres options, mais tout l'assemblage est fait pour vous. Le Controleo3 est également équipé d'un mécanisme permettant d'évacuer l'air chaud de la chambre de refusion une fois le processus terminé, ce qui permet de suivre de plus près la période de refroidissement du profil de température.



▲ *Figure 2. LumenPnP 3.1 avec alimentation électrique.*

Tests

Après la refusion, il est essentiel de tester votre circuit imprimé. Il n'existe pas d'approche unique, car elle dépend fortement de votre design, mais certains outils peuvent vous aider à réaliser des tests rapides et précis sur vos circuits imprimés assemblés.

Bien qu'il faille le modifier pour l'adapter à votre produit, un gabarit de test disponible dans le commerce peut constituer un excellent point de départ pour bâtir une solution de test. Ces gabarits disposent d'un plateau sur lequel le dispositif à tester (DUT) peut être monté, ainsi qu'une plaque qui se déplace vers le bas pour mettre en contact le DUT avec un ensemble de broches de test à ressort pour vérifier les connexions.

Ces broches devront être en contact avec des points de test dédiés sur votre circuit imprimé. Vous devrez donc tenir compte de ce gabarit de test dès le moment où vous concevrez votre produit. Bien entendu, il ne s'agit que d'une interface cohérente avec votre produit ; vous devrez donc développer le matériel et le logiciel qui effectuent les tests.

Toutefois, un test fonctionnel peut être plus rapide et plus facile à mettre en œuvre que l'utilisation d'un gabarit à broches. Un test fonctionnel implique l'utilisation réelle du produit, par exemple en connectant des moteurs à votre circuit imprimé et en vérifiant qu'ils fonctionnent correctement. Les tests que vous déployez dépendent de votre produit et de son échelle.

Conclusion

Avec des solutions pour tous les sujets abordés, vous êtes sur la bonne voie pour mettre en place une ligne d'assemblage CMS bien personnalisée. Les avantages de l'assemblage en interne sont considérables et vous libèrent des contraintes imposées par les grandes entreprises, qui exigent des commandes massives à des prix plus avantageux.

Pour en savoir plus sur la fabrication de matériel, consultez : « The Open Hardware Manufacturing Podcas » [2], où nous discutons des meilleures pratiques pour la fabrication de votre matériel et où nous interviewons des acteurs du matériel libre pour voir comment ils résolvent des problèmes difficiles en matière de fabrication.

230593-04

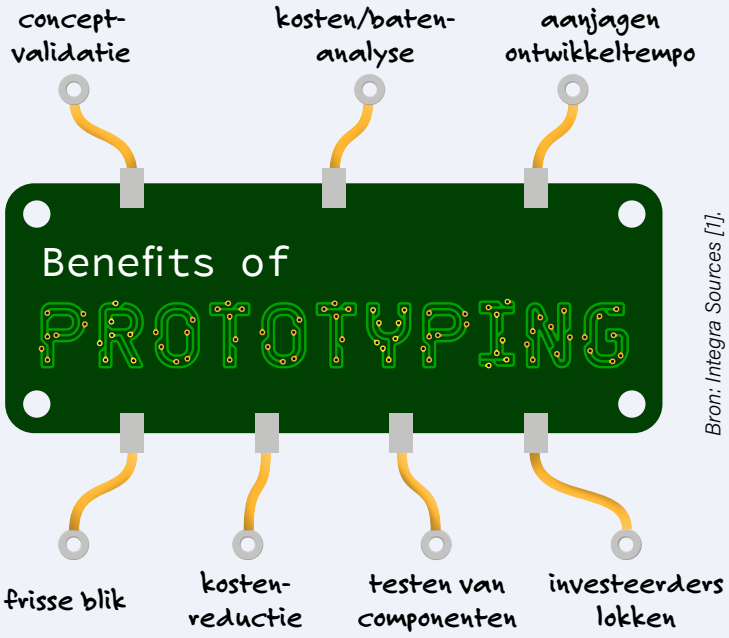
LIENS

[1] LumenPnP : https://opulo.io/products/lumenpnp
[2] "Open Hardware Manufacturing Podcast" : http://shows.acast.com/ohm-podcast

Le prototypage : avantages et inconvénients ?

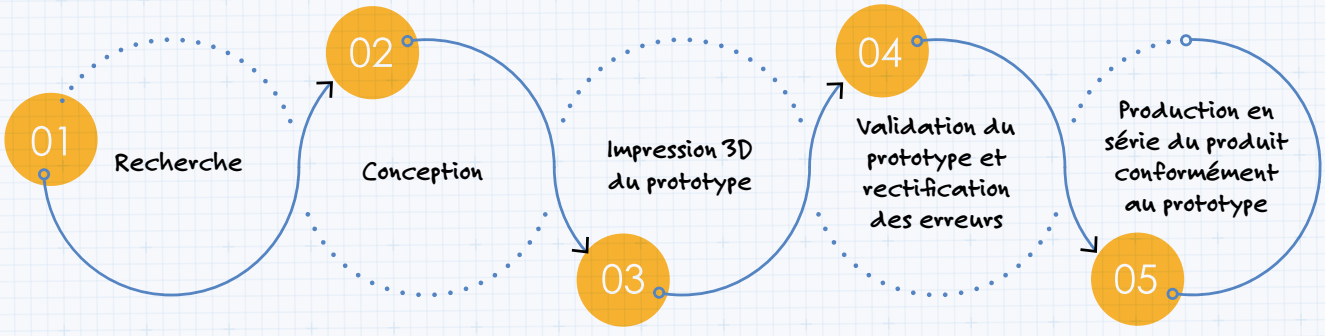
La plupart des électroniciens et des *maker* sont conscients de l'importance du prototypage. Les avantages sont nombreux, mais il y a aussi des risques à prendre en compte.

Quels sont les types de risques ? Tomber dans le cercle de la création continue de prototypes peut vous empêcher de réaliser le produit final ou d'atteindre votre objectif. Le modèle peut être confronté à des difficultés, telles que des défauts de fabrication, des coûts élevés, voire une absence de besoin du marché [2], à l'avenir. En outre, vous risquez de ne pas être le premier à commercialiser le produit final. Il est essentiel de trouver le bon équilibre. Et, n'oubliez pas : vous pouvez toujours discuter avec d'autres ingénieurs et *maker* sur la plateforme Elektor Labs (*elektormagazine.fr/labs*) pendant que vous travaillez sur vos prototypes !



Bron: Integra Sources [1].

Étapes du prototypage d'un produit fini



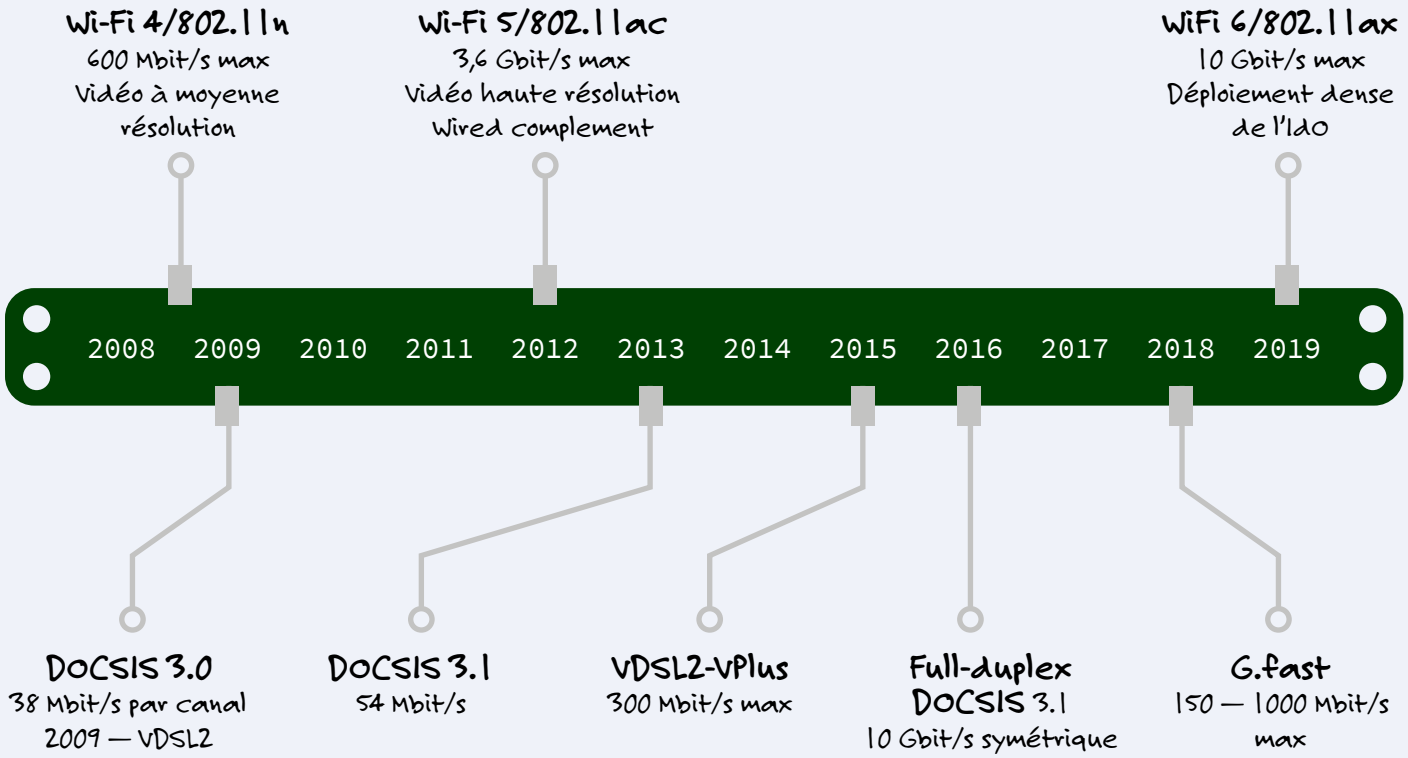
Source : The Engineering Projects

Grâce à l'impression 3D, les entreprises et les concepteurs indépendants peuvent créer des prototypes en quelques heures ou quelques jours. Cela permet de réduire les délais et d'accélérer le processus de développement des produits.

51 %

Le pourcentage des sociétés d'ingénierie et des entreprises industrielles qui utilisent l'impression 3D pour produire des prototypes et des composants de test. [4]

Évolution des technologies filaires et sans fil



27,4 %

Pourcentage de points d'extrémité WLAN équipés de Wi-Fi 6/802.11ax en 2023.

66,8 %

Pourcentage de points d'extrémité WLAN qui seront équipés de Wi-Fi 5/802.11ac [5].

LIENS

[1] Integra Sources, "What Makes Electronics Prototyping so Important for Successful Product Development?," 2022: https://tinyurl.com/integraproto
[2] European Comission, "No market need — Final evaluation report," 2017 [PDF]: https://tinyurl.com/nomarketneed
[3] The Engineering Projects, "What is Prototyping?," 2021: https://tinyurl.com/whatisprototyping
[4] Gitnux, "The Most Surprising 3D Printing Statistics And Trends in 2023," 2023: https://tinyurl.com/3dprintstats
[5] Cisco Annual Internet Report, 2018–2023, White Paper: https://tinyurl.com/cisconetreport



Figure 1. Genius 2 de wheel.me.

révolutionner le secteur de l'industrie

l'essor des robots mobiles autonomes (AMR)

Contribué par wheel.me

Sur la scène des nouveautés technologiques en constante évolution, une innovation se distingue par son potentiel de transformation dans de nombreux secteurs : les robots mobiles autonomes (AMR). Ces machines intelligentes, équipées de capteurs avancés, de systèmes de navigation et d'intelligence artificielle, redéfinissent la manière dont nous abordons différentes tâches et processus dans divers secteurs. Nous explorerons le monde fascinant des AMR et leur éventail d'applications pratiques dans les domaines de la fabrication, de la logistique, des soins de santé, de l'agriculture, etc.



Figure 2. Automatisez vos tâches avec les AMR flexibles

Les AMR représentent l'apogée des connaissances technologiques de haut niveau. Ils peuvent entre autres naviguer de manière autonome dans des environnements prédéfinis grâce à la communication entre de nombreux dispositifs et appareils essentiels (**figure 1**). Les capteurs, par exemple, semblables aux organes sensoriels des AMR, fournissent des données en temps réel sur l'environnement, assurant une navigation sécuritaire et la détection des obstacles fixes ou dynamiques. Les systèmes de navigation sophistiqués utilisent ces données sensorielles pour mettre à jour continuellement les cartes de l'environnement, ce qui permet une navigation précise et une adaptation en tout temps des conditions dynamiques. De plus, l'intelligence artificielle (IA) sert de moteur cognitif, améliorant l'efficacité des AMR en leur permettant « d'apprendre » de leurs expériences, d'optimiser leurs itinéraires et de s'adapter aux conditions dynamiques de l'environnement qui les entourent. C'est donc grâce aux capteurs de pointe, aux systèmes de navigation et à l'intelligence artificielle que les AMR deviennent des atouts inestimables permettant plus d'autonomie et de polyvalence dans divers secteurs d'activité.

Les AMR dans les industries

Les AMR révolutionnent les chaînes de production dans le secteur manufacturier en s'intégrant de manières homogène et harmonieuse dans les processus déjà existants. Ils peuvent transporter des matériaux, livrer des composants et exécuter diverses tâches avec précision et efficacité. Efficacité, flexibilité et économies de coûts représentent donc les principaux avantages des AMR dans le secteur industriel (**figure 2**).

Les AMR dans la logistique et l'entreposage

Les secteurs de la logistique et de l'entreposage n'ont pas tardé à adopter les AMR. Dans les grands entrepôts, ces robots uniformisent les opérations en déplaçant efficacement les marchandises, en préparant les commandes et en gérant les stocks. Les AMR peuvent travailler aux côtés des employés, améliorant ainsi la productivité. L'optimisation de l'exécution des commandes, la gestion des stocks et l'évolutivité sont les principaux avantages de cette technologie.

Les AMR dans les services de santé

Dans le secteur de la santé, les AMR s'avèrent inestimables. Ces robots sont utilisés pour des tâches telles que l'administration de médicaments, l'assistance aux soins des patients et la désinfection des chambres d'hôpital. Leur précision, leur fiabilité et leur capacité à fonctionner de manière autonome en font des outils essentiels dans les établissements de santé modernes.

Défis et tendances

Même si le potentiel des AMR est indéniable, plusieurs défis demeurent pour que leur adoption se généralise, notamment l'intégration dans les flux de travail existants, la garantie de la sécurité et la gestion des coûts initiaux. À mesure que la technologie murit et que les couts diminuent, nous prévoyons une adoption croissante des AMR grâce, entre autres, aux progrès en matière d'IA et à leur interconnectivité accrue.

Les AMR sont à la pointe de l'automatisation et s'apprêtent à remodeler les différents secteurs industriels. Des manufactures aux hôpitaux, des entrepôts aux secteurs de l'agriculture, l'adaptabilité et l'efficacité des AMR en font des outils indispensables pour les entreprises modernes. Wheel.me propose une solution innovante en transformant pratiquement n'importe quel objet en AMR, révolutionnant ainsi l'automatisation dans de nombreux secteurs d'activité. L'approche novatrice de wheel.me [1] offre une flexibilité inégalée, permettant aux entreprises d'adapter leurs équipements existants, tels que des chariots ou des racks, pour en faire des systèmes autonomes (**figure 3**). Cette flexibilité permet non seulement aux entreprises de rentabiliser leurs investissements, mais également de simplifier l'intégration des robots wheel.me a divers processus existants. Qu'il s'agisse de petites ou grandes entreprises, la tarification disruptive de wheel.me démocratise l'accès à la technologie d'automatisation de pointe, la rendant accessible à un plus grand nombre d'entreprises. De plus, les capacités de déploiement rapide de wheel.me permettent la mise en place et l'intégration rapide des solutions AMR et d'améliorer l'efficacité et de réaliser des gains économiques en l'espace de quelques semaines. Pour résumer, la technologie de wheel.me offre trois avantages : adaptabilité, prix abordable et agilité. Ces qualités rendent l'automatisation industrielle une option réalisable et innovatrice pour les industries de toutes tailles.

Avec l'évolution croissante de la technologie et la réduction des obstacles à l'adoption, on prévoit que ces robots joueront un rôle d'importance exponentielle dans l'amélioration de l'efficacité, la réduction des coûts et l'amélioration de la sécurité dans divers secteurs. L'ère des AMR est arrivée, et elle promet un avenir où l'automatisation n'est pas seulement simple, mais aussi incroyablement efficace.

230606-04



Figure 3. Transformez tout en un AMR avec wheel.me.

WEB LINK

[1] wheel.me : https://wheel.me

prêt à relever encore plus de défis

Rohde & Schwarz étoffe sa famille d'oscilloscopes nouvelle génération avec le modèle 8 voies de la gamme R&S MXO 5

contribué par Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz continue de faire évoluer sa gamme d'oscilloscopes de nouvelle génération. Après le lancement de la série R&S MXO 4 en 2022, l'entreprise annonce aujourd'hui la sortie du tout nouveau R&S MXO 5. Il s'agit du premier oscilloscope huit voies de la société. En s'appuyant sur les innovations inédites exploitées pour la première fois par le R&S MXO 4, cet oscilloscope permettra aux ingénieurs de relever leurs défis de conception les plus exigeants.



Figure 1. Le R&S MXO 5 est l'oscilloscope de nouvelle génération de Rohde & Schwarz, élaboré pour relever de nouveaux défis.

Rohde & Schwarz présente ses nouveaux oscilloscopes R&S MXO 5 (f**igure 1**), disponibles avec quatre ou huit voies. S'appuyant sur la technologie ASIC (f**igure 2**) de traitement MXO-EP de nouvelle génération développée par Rohde & Schwarz, et introduite avec le R&S MXO 4, les nouveaux oscilloscopes R&S MXO 5 à huit voies passent un nouveau seuil en terme de performances et de mesure.

Une première dans l'industrie pour un oscilloscope à huit voies

Le nouveau R&S MXO 5 montre davantage l'activité d'un signal dans les domaines temporel et fréquentiel que n'importe quel autre oscilloscope. Le R&S MXO 5 est le premier oscilloscope à huit voies au monde avec 4,5 millions d'acquisitions par seconde et 18 millions de formes d'onde par seconde sur plusieurs canaux. Les ingénieurs peuvent capturer les détails complexes des signaux et les événements ponctuels avec une précision exceptionnelle. Le R&S MXO 5 dispose d'un déclenchement numérique sur les huit voies, ce qui lui permet de surpasser ses concurrents en matière d'isolation précise des petites anomalies de signal. La capacité révolutionnaire de 45 000 FFT/s offre aux ingénieurs une visualisation inégalée des signaux de spectre, en particulier pour les tests EMI et des harmoniques.

En capturant jusqu'à 99 % de l'activité du signal en temps réel avec le taux d'acquisition le plus rapide au monde, le R&S MXO 5 accélère l'analyse du signal tout en détectant des événements rares et aléatoires qui échappent à la plupart des autres oscilloscopes. Ces caractéristiques permettent aux ingénieurs de mener plus efficacement les projets dans de multiples applications, de la conversion de puissance à l'analyse automobile, en facilitant les mesures de puissance et de l'intégrité des signaux, ainsi que le débogage des protocoles logiques et de bus.

Philip Diegmann, vice-président de la gamme oscilloscopes chez Rohde & Schwarz, déclare : « Le lancement du R&S MXO 4 en 2022 a introduit la nouvelle génération d'oscilloscopes avec des performances et une valeur inégalées. Chez Rohde & Schwarz, nous continuons à faire évoluer l'ergonomie de nos oscilloscopes vers de nouveaux niveaux. Aujourd'hui, nous sommes heureux de présenter le R&S MXO 5, qui s'inscrit dans la continuité de notre tradition d'excellence en matière



Figure 2. Un coup d'œil à l'intérieur révèle un ASIC 200 Gbit/s sur mesure : le MXO-EP, doté d'une grande puissance de traitement du signal.

d'oscilloscopes. S'appuyant sur les mêmes avancées technologiques, cette série d'oscilloscopes a été méticuleusement conçue par notre équipe de développement dédiée, pour capturer à la fois l'image globale et les plus petits détails des signaux électriques, avec une précision et une rapidité inégalées. Conçus pour relever de nouveaux défis, ces oscilloscopes permettront à nos clients de mieux tester et comprendre leurs systèmes électroniques. »

Mémoire standard la plus importante de sa catégorie

La série R&S MXO 5 offre une mémoire d'acquisition simultanée standard de

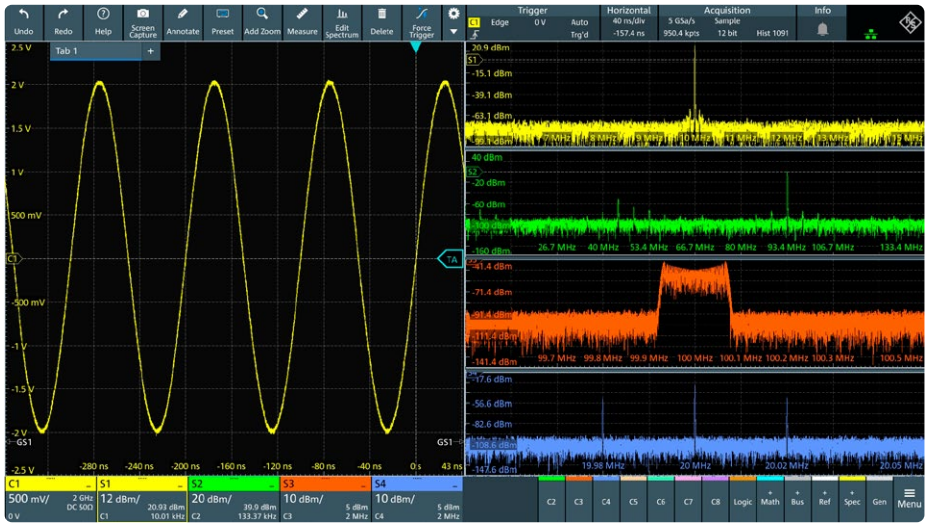


Figure 3. Un son sinusoïdal normal peut dissimuler de nombreux éléments du spectre. Les quatre spectres simultanés peuvent être réglés sur différentes périodes et échelles afin d'examiner divers détails liés à la fréquence.

500 Mpoints sur les huit canaux, soit le double de la mémoire standard de la concurrence. L'importante capacité de stockage peut être utilisée pour une capture de données étendue. De plus, une option d'extension de la mémoire permet de doubler la longueur d'enregistrement à 1 Gpoints pour les applications les plus exigeantes. La profondeur de mémoire exceptionnelle de l'oscilloscope R&S MXO 5 est essentielle pour une grande variété de d'applications de dépannage, permettant la capture de périodes de temps étendues et conservant des informations précises sur la bande passante, même sur les bases de temps les plus lentes.

Premier déclencheur numérique pour huit voies

En tant que premier oscilloscope à huit voies avec déclenchement numérique, le R&S MXO 5 établit une nouvelle norme en matière d'analyse des signaux. Le déclenchement numérique surpasse tous les autres *triggers* d'oscilloscope avec une sensibilité remarquable de 0,0001 div. Cette sensibilité permet d'isoler avec précision les petites anomalies de la couche physique, même en présence de signaux forts. Aucun autre instrument sur le marché ne peut égaler cette sensibilité de déclenchement. Les autres appareils nécessitent souvent des corrections de traitement du signal, pour aligner les événements de déclenchement du signal analogique, ce qui se traduit par des performances de déclenchement plus lentes et plus bruyantes. Le déclenchement numérique complète parfaitement l'architecture de numérisation verticale sur 18 bits des oscilloscopes, ce qui permet aux ingénieurs de profiter pleinement de la précision du R&S MXO 5.

Mesure optimale des radiofréquences

Le R&S MXO 5 excelle dans les mesures RF, tant dans le domaine temporel que dans le domaine fréquentiel. C'est le premier oscilloscope avec 45 000 FFT (Transformée de Fourier Rapide) par seconde. Cette vitesse exceptionnelle, associée à la possibilité d'afficher simultanément quatre spectres différents, indépendants du temps, offre aux ingénieurs une visibilité exceptionnelle des signaux RF, qui reste inégalée dans sa catégorie (**figure 3**). Les fonctionnalités avancées sont des caractéristiques standard du R&S MXO 5.

Une expérience utilisateur évoluée

Un grand écran tactile capacitif Full-HD de 15,6 pouces, avec une interface utilisateur intuitive, optimisent la courbe d'apprentissage et confèrent aux oscilloscopes R&S MXO 5 une expérience visuelle transparente et engageante. Le faible encombrement et le montage VESA de premier choix font de ces oscilloscopes l'outil idéal pour tout espace de travail d'ingénierie (**figure 4**). Le R&S MXO 5 a le niveau de bruit audible le plus bas de l'industrie, plus silencieux qu'un simple chuchotement, pour un environnement de laboratoire ciblé où les ingénieurs peuvent effectuer leurs tâches avec précision.

Prix de départ peu élevé

Les oscilloscopes R&S MXO 5 sont disponibles en quatre et huit voies, avec des gammes de bande passante de 100 MHz, 200 MHz, 350 MHz, 500 MHz, 1 GHz et 2 GHz. Les modèles à huit voies sont proposés à partir de 19 500 EUR, soit le prix d'entrée le plus bas de l'industrie dans cette catégorie d'instruments. Diverses options de mise à niveau sont disponibles pour les utilisateurs ayant des besoins d'application exigeants, telles que 16 canaux numériques avec une option d'oscilloscope à signaux mixtes (MSO), un générateur arbitraire intégré à deux canaux de 100 MHz, des options de décodage de protocole et de déclenchement pour les bus standard de l'industrie, ainsi qu'un analyseur de réponse en fréquence pour améliorer les capacités de l'instrument.

Les nouveaux oscilloscopes de la série R&S MXO 5 sont désormais disponibles auprès de Rohde & Schwarz et de partenaires de distribution sélectionnés. Pour plus d'informations, consultez le site [1].

Rohde & Schwarz présentera les nouveaux oscilloscopes de la série R&S MXO 5 au salon productronica 2023 à Munich, dans le hall A1.375, du 14 au 17 novembre 2023.

230607-04



Figure 4. Le montage VESA rend les oscilloscopes R&S MXO 5 idéaux pour tout laboratoire d'ingénierie.

LIEN

[1] Plus d'informations : https://www.rohde-schwarz.com/product/MXO5

démarrer en **électronique**

...amplifier les différences

Eric Bogers (Elektor)

À la fin de l'épisode précédent, nous avons brièvement décrit la source de courant constant et abordé les raisons pour lesquelles vous avez besoin d'un circuit qui fournit un courant constant à une charge variable. Nous avons également répondu à cette question : sans source de courant constant, serait-il impossible de construire un amplificateur différentiel ?

Amplificateur différentiel

Un amplificateur différentiel est au cœur de chaque amplificateur opérationnel (ampli-op). Un amplificateur différentiel possède deux entrées : une entrée inverseuse (IN-) et une entrée non inverseuse (IN+). Il amplifie la différence entre les deux signaux d'entrée. La **figure 1** montre le schéma d'un amplificateur différentiel.

Le diviseur de tension composé de R8 et R9 fournit une tension supérieure d'environ 2,7 V à la tension d'alimentation négative, de sorte que la tension aux bornes de R7 est d'environ 2 V. Il en résulte un courant de 2 mA - le transistor T3 agit comme une source de courant constant.

Si les tensions appliquées aux deux entrées de l'amplificateur différentiel sont égales, ce courant de 2 mA est divisé à parts égales entre les deux transistors situés en amont de la source de courant constant (1 mA chacun). Il en résulte une tension de 7,5 V aux bornes des résistances R1 et R2.

Nous appliquons maintenant une tension de quelques millivolts à l'entrée non inverseuse (IN+), ce qui fait augmenter le courant à travers T1 à 1,5 mA. La source de courant constant maintient le courant total à 2 mA étant donné qu'elle est conçue pour cela, le courant à travers T2 doit donc chuter à 0,5 mA. Cela signifie que la tension sur R2 tombe à seulement 3,75 V, donc la tension de sortie de l'amplificateur différentiel augmente de 3,75 V.

Si nous avions appliqué la tension à l'entrée inverseuse au lieu de l'entrée non inverseuse, le courant à travers T2 aurait augmenté au lieu de diminuer, et la tension de sortie aurait diminué.

Mais que se passe-t-il lorsque nous appliquons la même tension aux deux entrées ? La réponse est que la tension de sortie ne change pas, car le même courant traverse les deux transistors lorsque la même tension est appliquée aux deux entrées. En d'autres termes, un amplificateur différentiel amplifie la différence entre les tensions des deux entrées, plutôt que la somme des tensions.

L'un des principaux avantages d'un amplificateur différentiel est sa grande stabilité en température, à condition que l'augmentation de température dans les deux transistors soit la même. En effet, l'augmentation de la tension base-émetteur due à l'augmentation de la température est la même dans les deux transistors, qui se compensent donc mutuellement.

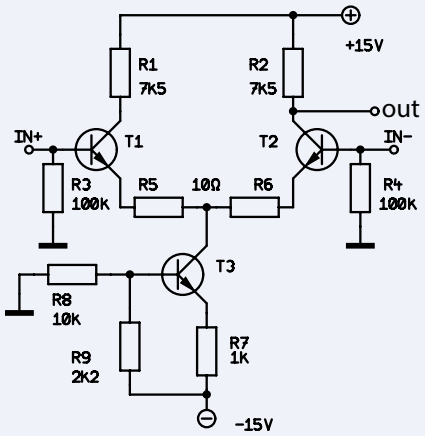


Figure 1. Amplificateur différentiel.

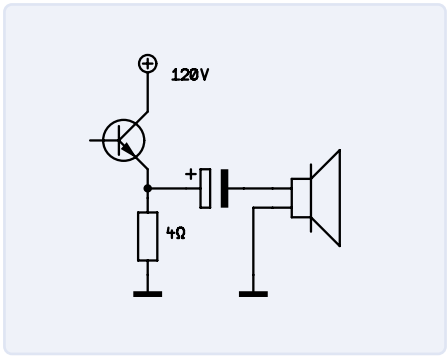


Figure 2. Étage de sortie de classe A.

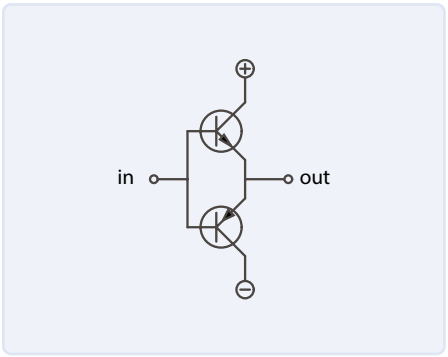


Figure 3. Étage de sortie push-pull.

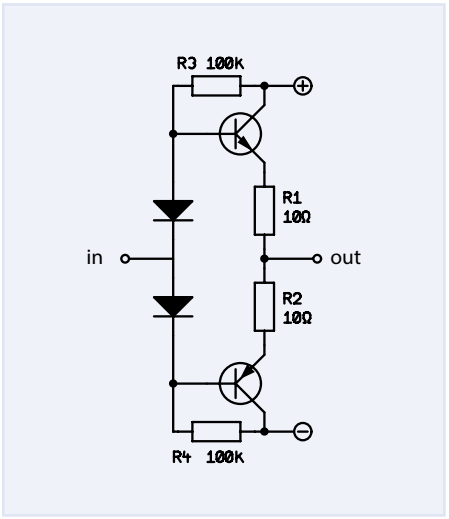


Figure 4. Amplificateur de classe B.

Amplificateur de classe A

Supposons que vous vouliez construire un amplificateur de puissance capable de fournir 400 W à une charge de 4 Ω. Comme vous l'avez probablement déjà deviné, vous pouvez utiliser un émetteur-suiveur pour cela (voir **figure 2**).

L'inconvénient d'un émetteur-suiveur est qu'il peut charger le condensateur de sortie mais ne peut pas le décharger – ce qui est essentiel pour le traitement des demi-périodes négatives du signal CA, dont on a besoin. Dans la pratique, le condensateur est déchargé par la résistance de l'émetteur. Cela signifie que sa résistance ne doit pas être supérieure à l'impédance de sortie, qui est également de 4 Ω dans ce cas.

(Pour nos lecteurs pointilleux, nous ignorons complètement le fait qu'un haut-parleur ne constitue pas une charge résistive, mais un appareil assez complexe dont l'impédance l'est tout autant. Pour qu'un haut-parleur fonctionne correctement, l'amplificateur doit avoir une impédance de sortie aussi faible que possible, pour que la membrane du haut-parleur soit convenablement amortie. Le rapport entre l'impédance de charge et l'impédance de sortie est appelé facteur d'amortissement et doit être aussi élevé que possible. Cependant, il n'est pas possible d'obtenir un bon facteur d'amortissement avec une résistance d'émetteur de 4 Ω. Pour cela, la résistance doit être beaucoup plus faible. Mais nous n'avons pas besoin d'entrer dans ces détails ici.)

Vous pouvez utiliser la formule suivante pour calculer la tension de sortie :

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{400\ \text{W} \cdot 4\ \Omega} = 40\ \text{V}$$

Il s'agit de la valeur efficace. La tension de crête est donc plus élevée et, comme vous devez alimenter les deux demi-périodes du signal à partir d'une seule tension d'alimentation (dans cet exemple), vous devez également doubler la valeur :

$$U_{\text{tt}} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}} = 113.14\ \text{V}$$

Cette valeur est certainement un peu réduite. Vous avez besoin d'un peu de marge, car il y a une petite chute de tension sur le transistor, et la tension sur le condensateur de filtrage va également chuter légèrement dans les demi-périodes du signal de sortie. En général, il faut ajouter quelques volts, ce qui donne une tension d'alimentation de 120 V. (Pour être clair, nous ne traitons ici que d'un montage théorique, et nous n'avons pas à nous préoccuper de savoir s'il serait réellement possible de trouver un transistor convenant à cet exemple).

Vous devez fixer le point de fonctionnement pour que la tension aux bornes de la résistance d'émetteur soit égale à la moitié de la tension d'alimentation. Pour dissiper la puissance dans la résistance d'émetteur et le transistor, cela signifie :

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(60\ \text{V})^2}{4\ \Omega} = 900\ \text{W}$$

En d'autres termes, même lorsque l'amplificateur ne fournit aucune puissance au haut-parleur, la dissipation totale de puissance est de 1800 W. C'est bien sûr totalement inacceptable.

Étage de sortie push-pull : amplificateur de classe C

La dissipation de puissance peut être considérablement réduite en utilisant deux transistors, chacun traitant à son tour les demi-périodes alternées du signal d'entrée.

Dans le montage de la **figure 3**, le transistor NPN amplifie les demi-périodespositives du signal et le transistor PNP amplifie les demi-périodes négatives. Ce circuit est appelé amplificateur de classe C et, malheureusement, il présente un inconvénient majeur : les deux transistors sont bloqués lorsque le niveau du signal d'entrée est inférieur à la tension directe de 0,7 V des jonctions base-émetteur. Cela entraîne une forte distorsion du signal de sortie de l'amplificateur.

Amplificateur de classe B

Il est facile de contourner ce problème de l'amplificateur de classe C en appliquant une tension de polarisation à la base de chaque transistor. Dans le montage illustré à la **figure 4**, deux diodes sont utilisées à cet effet. La tension aux bornes de chacune de ces diodes est égale à la tension directe base-émetteur du transistor correspondant. Un véritable amplificateur de classe B a un courant de repos nul, de sorte que chaque transistor ne conduit que pendant sa demi-période correspondante du signal sinusoïdal.

Cependant, les caractéristiques des transistors sont clairement non linéaires à des tensions légèrement supérieures à la tension directe entre la base et l'émetteur, ce qui entraîne une distorsion importante dans la pratique. On peut éviter cela en appliquant une tension de polarisation légèrement plus élevée à la base de chaque transistor, ce qui résulte en un courant de repos correspondant. Une valeur typique est d'environ 1 % du courant de sortie maximal. Dans le présent exemple, nous avons supposé que le courant de sortie de 10 A, le courant de repos serait donc d'environ 100 mA.

Le courant de repos est généralement obtenu en connectant un trimpot en série avec les deux diodes et en le réglant pour obtenir la valeur souhaitée. Les résistances d'émetteur sont essentielles pour la stabilité thermique du circuit. Lorsque les transistors chauffent, le courant de base (et donc le courant de collecteur) augmente fortement, en supposant une tension base-émetteur constante, ce qui fait que les transistors chauffent encore plus et que le courant augmente encore. et ainsi de suite jusqu'à ce que les transistors tombent en panne. C'est pourquoi il est nécessaire de monter les transistors de sortie et les diodes sur le même dissipateur thermique, de sorte que la tension directe des diodes diminue au fur et à mesure que la température augmente. Les résistances d'émetteur servent à réduire la tension base-émetteur.

Les résistances d'émetteur sont également indispensables lorsque plusieurs transistors de sortie sont connectés en parallèle, afin de garantir que la puissance dissipée est répartie uniformément entre les transistors, de manière à obtenir une puissance maximale plus élevée.

La dissipation de puissance à l'état de repos (sans aucun signal) est déterminée par la valeur du courant de repos. La formule pour un seul transistor est la suivante :

$$P = U \cdot I = 60\ \text{V} \cdot 0.1\ \text{A} = 6\ \text{W}$$

C'est vraiment négligeable par rapport à la dissipation de puissance d'un amplificateur de classe A, même si la dissipation doit être doublée en raison de la présence de deux transistors dans le circuit.

Il est facile de calculer la puissance totale dissipée en soustrayant la puissance de sortie de la puissance injectée dans l'amplificateur :

$$P_{in} = U \cdot I = 60\ \text{V} \cdot 10\ \text{A} = 600\ \text{W}$$

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} + P_{quiescent} = 600\ \text{W} - 400\ \text{W} + 12\ \text{W} = 212\ \text{W}$$

(Notez que la valeur de 60 V utilisée pour calculer la puissance d'entrée [au lieu de 120 V] est en fait correcte car chacun des deux transistors ne conduit que pendant la moitié du temps).

Malheureusement, l'exemple de calcul ci-dessus ne reflète pas exactement la pratique, car ici, nous avons choisi une valeur très basse pour la tension d'alimentation. Dans ce cas, la différence entre la tension d'alimentation et la tension de sortie maximale est inférieure à environ 3,6 V. Le double de cette valeur serait plus réaliste, du moins si l'on veut éviter de rendre les condensateurs de filtrage de l'alimentation ridiculement grands. Si l'on tient compte de ces éléments, la puissance dissipée maximale passe à 248 W.

Notez que lorsque nous parlons ici de la dissipation maximale de puissance, nous nous référons à des signaux sinusoïdaux. La dissipation de puissance maximale absolue se produit avec un signal de sortie carré dont l'amplitude est égale à la moitié de la tension d'alimentation. Dans cette condition, la puissance dissipée peut atteindre 264 W, soit 6 % de plus.

230533-04

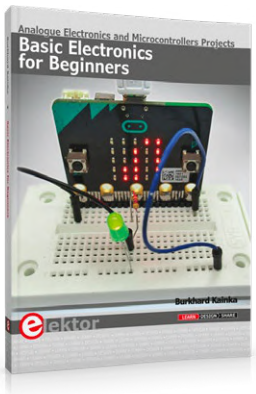
Note de la redaction : la série d'articles « démarrer en électronique » est basée sur le livre « Basiskurs Elektronik » de Michael Ebner, publié par Elektor.

Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Produits

- **B. Kainka,** *Basic Electronics for Beginners* **(Elektor, 2020)**
  Livre : www.elektor.com/19212
  E-Book : www.elektor.com/19213



wheel.me Genius 2



wheel.me a inventé la première roue autonome au monde qui transforme n'importe quel objet en robot autonome sans effort

Flexibilité maximale
Cas d'utilisation infinis, aucun changement d'infrastructure n'est nécessaire

Service de robotique
Offre tout-en-un, pas de coût initial important, conditions flexibles

Prix révolutionnaire
Faible risque, prix avantageux et retour sur investissement immédiat

Navigation facile
Détection dynamique des obstacles, mouvement omnidirectionnel et priorité à la sécurité



www.wheel.me

wheel_me

De notre magazine partenaire
Elettronica In
ELETTRONICA APPLICATA
elettronicain.it

Mini plaque de refusion

pour l'assemblage ou la réparation de petits circuits CMS

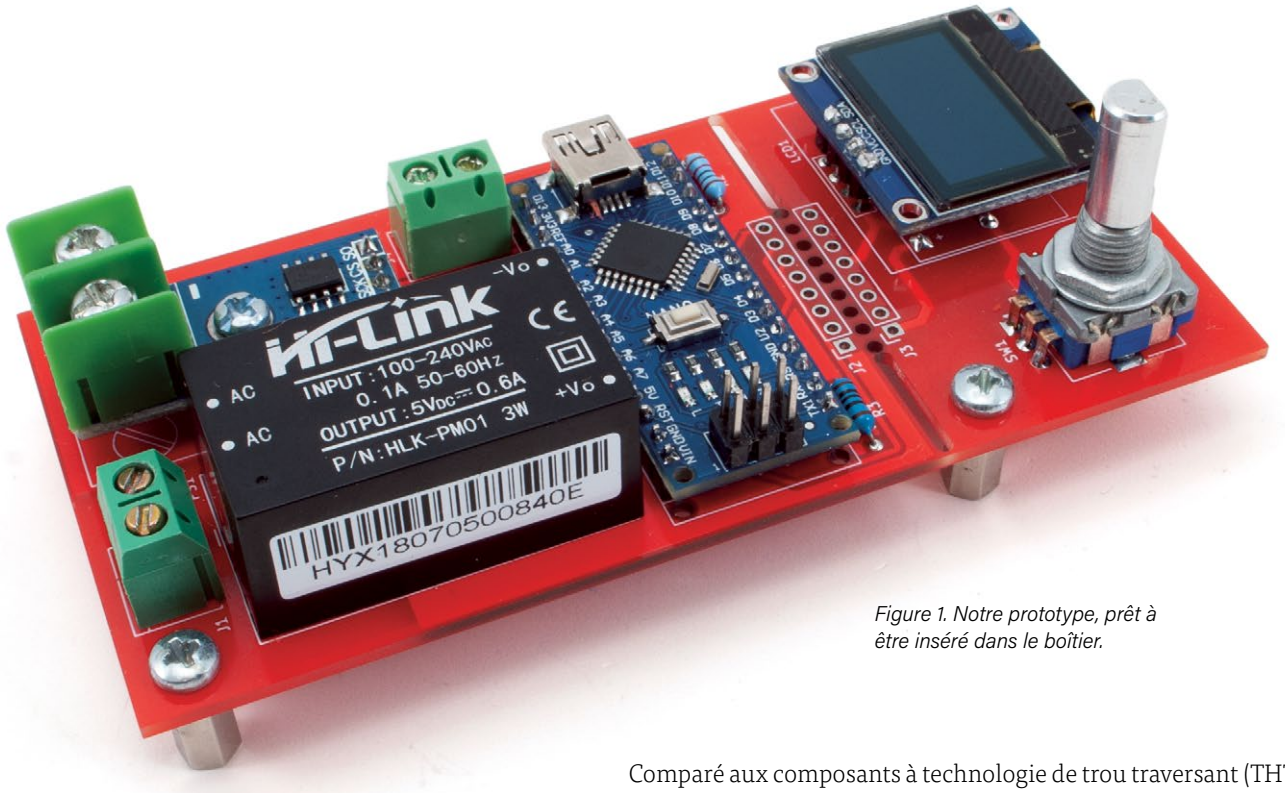


Figure 1. Notre prototype, prêt à être inséré dans le boîtier.

Massimo Divito (Italie)

Lors du passage aux composants miniaturisés CMS, beaucoup ont dû faire face à une série de difficultés d'assemblage. Outre le placement des composants, qui n'est pas si facile, il faut respecter des températures et des temps spécifiques pour le cycle de soudage. Les stations professionnelles de soudage par refusion sont coûteuses. Dans cet article, nous présentons une solution efficace, mais d'un prix raisonnable, pour l'assemblage et la réparation de nos cartes.

Comparé aux composants à technologie de trou traversant (THT), travailler avec des composants à technologie de montage en surface (CMS) peut être assez exigeant. Il faut une vue perçante, une main très sûre, un fer à souder avec une panne appropriée et, surtout, beaucoup de patience.

Lorsqu'un circuit comporte une majorité de composants montés en surface et, surtout, lorsqu'il s'agit de puces à plusieurs broches, la situation devient plus compliquée, d'autant plus si les éléments sont nombreux et rapprochés ; l'utilisation d'un fer à souder peut alors s'avérer impossible. C'est pourquoi nous avons imaginé un dispositif apte à répondre à vos besoins dans de telles situations : quelque chose de simple, peu coûteux et facile de mise en œuvre.

La technique de soudage utilisée dans le milieu professionnel pour les CMS s'appelle le soudage par refusion et utilise habituellement des fours. Nous avons plutôt pensé à une plaque chauffante, adaptée aux petits circuits, qui prend peu de place dans notre laboratoire et peut servir si nécessaire de préchauffage pour les opérations de soudage et de dessoudage avec la station à air chaud.

Le soudage par refusion est un procédé dans lequel une pâte à braser, composée d'étain en poudre et de flux liquide, est utilisée à la place de l'alliage étain/plomb normal (ou du type sans plomb pour les applications conformes à la directive ROHS) pour souder les composants sur la carte de circuit imprimé.

La pâte à braser est déposée sur les plages du circuit imprimé à l'aide d'une seringue ou d'un pochoir spécial, puis tous les composants électroniques sont d'abord placés avant de faire subir à l'ensemble un traitement thermique contrôlé, qui fait fondre l'alliage et soude les composants de manière permanente.

Comment ça marche

Notre conception consiste en une plaque d'aluminium chauffée par des résistances électriques qui fonctionnent sous 230 V ; le circuit imprimé à souder est placé sur cette plaque. Les résistances sont actionnées par un relais à semi-conducteurs, commandé à son tour par un circuit basé sur un Arduino Nano, comme on peut le voir sur le circuit entièrement assemblé de la **figure 1.** Le circuit est relié à un thermocouple de type K avec un œillet de maintien, vissé à la plaque, qui mesure en permanence sa température.
La commande se fait par un encodeur rotatif qui permet de sélectionner le mode de fonctionnement parmi deux profils différents : l'un pour les alliages d'étain avec plomb et l'autre pour les alliages sans plomb. Le troisième mode permet de régler la plaque à une température fixe ; cette fonction est utile, par exemple, pour préchauffer un circuit sur lequel on va travailler avec un stylet à air chaud. Nous avons ensuite ajouté un petit écran OLED de 0,96 pouces sur lequel nous sélectionnons le profil que nous voulons lancer et qui, pendant les phases de refusion, nous indique la température réglée et la température atteinte par la plaque, ainsi que le temps restant jusqu'à la fin du processus. Comme déjà mentionné, pour effectuer correctement le processus de soudage, il est nécessaire de suivre une courbe de température précise afin de permettre à la pâte à braser de fondre correctement et, en même temps, d'éviter que les composants ne soient endommagés par une chaleur trop élevée ; en règle générale, chaque fabricant spécifie, pour ses propres intégrales, la courbe optimale.
L'ensemble du processus est divisé en quatre étapes :

- préchauffage : les agrégats de la pâte à braser commencent à s'évaporer.
- trempage : les agrégats s'évaporent complètement, le flux fond et désoxyde les pastilles.
- refusion : la partie métallique de la soudure fond et crée une connexion mécanique et électrique permanente entre les composants et le circuit imprimé. Le flux s'évapore.
- refroidissement : l'étain se refroidit en se solidifiant.

Pour ce faire, il est nécessaire de connaître, à chaque instant du processus de refusion, la température que doit avoir la plaque. Étant donné que la température de la plaque (**figure 2**) est lue environ toutes les 250 ms, pour un seul profil d'une durée de 380 s, on doit connaître 1520 valeurs de température (380 000 / 250). Le stockage et l'accès à un si grand nombre de valeurs deviennent assez compliqués au niveau du micrologiciel, et tout changement ultérieur serait fastidieux. De plus, si comme dans notre cas, il y a deux profils (mais nous pourrions en ajouter d'autres si nous le souhaitions), le nombre de valeurs double. C'est pourquoi nous sommes arrivés à une solution alternative, grâce à laquelle nous pouvons définir seulement certaines des températures et, à partir d'elles, calculer les autres.
Si l'on regarde les graphiques des profils à la **figure 3**, on remarque que les variations de température, tant à la hausse qu'à la baisse, sont linéaires. Nous pouvons alors découper chaque profil en plusieurs segments, dont il suffit de connaître les extrêmes. Chaque segment est défini par deux paires de valeurs qui indiquent son début et sa fin, et chaque paire est composée des valeurs de secondes et de température, respectivement ; ces valeurs sont facilement stockées dans un tableau à deux dimensions composé de six éléments : les six pics qui décrivent précisément le profil.
Ainsi, si l'on veut connaître la valeur de la température à fixer sur la plaque à un instant donné, il suffit d'appliquer la méthode d'interpolation linéaire, qui permet d'extrapoler une valeur inconnue entre

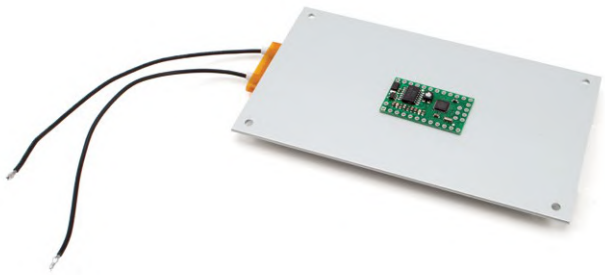
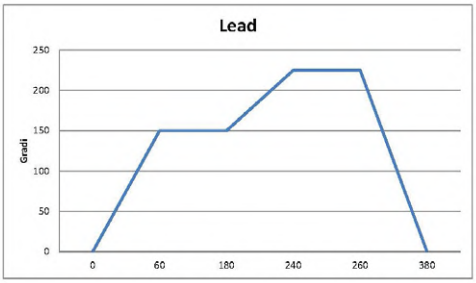


Figure 2. Pour le soudage, on peut placer une carte sur la plaque chauffante, après avoir enduit les pastilles de pâte à braser.

Lead	
time (s)	Deg. (°C)
0	0
60	150
180	150
240	225
260	225
380	0



Lead-free	
time (s)	Deg. (°C)
0	0
60	150
180	180
240	255
255	255
320	0

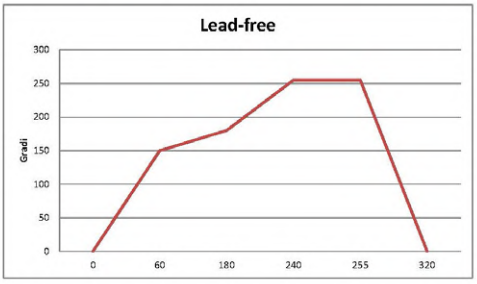


Figure 3. Courbes de température pour le soudage avec des alliages avec et sans plomb.

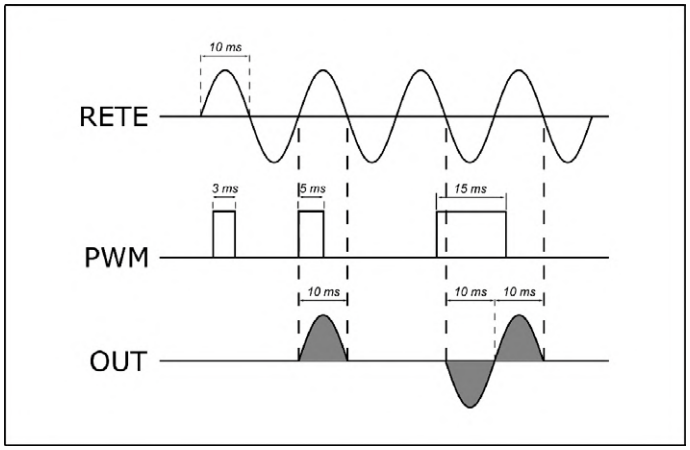


Figure 4. Principe de fonctionnement de la méthode de déclenchement au passage par zéro pilotée par MLI (RETE = tension secteur).

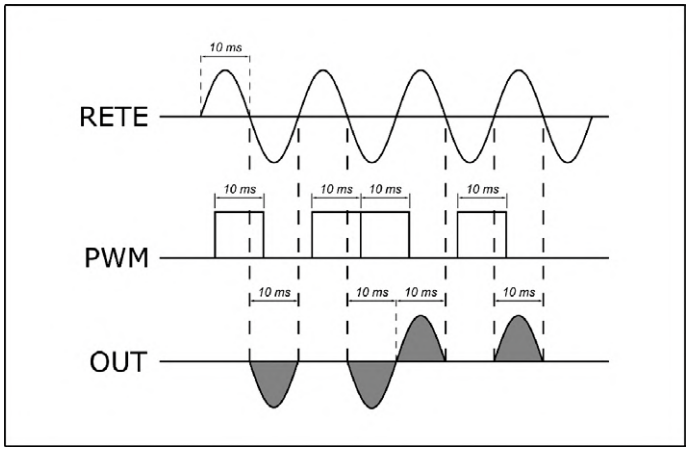


Figure 5. Comportement de la méthode de déclenchement au passage par zéro pilotée par PWM à 1 Hz (RETE = tension secteur).

deux valeurs connues. Connaissant la valeur de la température que la plaque devrait avoir et sa température réelle, nous pouvons l'activer ou la désactiver en conséquence. Pour que la température suive plus précisément ce qui est indiqué par le profil, nous utiliserons la technique de commande PID. Ce type de commande ajuste simplement une quantité en la surveillant constamment et en agissant sur certaines variables, en essayant de la maintenir proche de la valeur de consigne. Il est clair que l'opération n'est pas si triviale, en fait, elle suit des formules mathématiques précises. Heureusement, il existe des bibliothèques spéciales pour Arduino qui facilitent grandement cette opération.

Comme déjà mentionné, pour allumer la plaque, nous utilisons un relais à semi-conducteurs doté d'une fonction de détection du passage par zéro, qui fait que le changement d'état de sa sortie - c'est-à-dire la transition entre « on » et « off » et vice versa - ne se produit que lorsque l'onde de tension du réseau, dont on se souvient qu'elle est de 50 Hz, passe par 0 V. Cela signifie qu'entre le moment où nous excitons ou désexcitons le relais et le moment où il allume ou éteint la charge, il peut s'écouler quelques millisecondes.

Il est clair que cette particularité ne permet pas d'avoir un contrôle exact de la sortie. En effet, piloter le relais avec une impulsion d'une durée inférieure à celle d'une demi-onde, que nous aurons peut-être envoyée une milliseconde après le passage à zéro, aura pour conséquence de ne pas allumer la charge. En revanche, si nous envoyons l'impulsion exactement au point de transition zéro, la charge s'allumera, mais elle ne s'éteindra qu'au prochain passage à zéro. Si l'on prend l'exemple de la **figure 4**, après une MLI qui a piloté le relais pendant un total de 23 ms, la sortie est active pendant un total de 30 ms. Une solution consisterait à utiliser un circuit détecteur de passage à zéro qui, comme son nom l'indique, peut détecter tous les moments où la tension du réseau passe par zéro, afin de synchroniser correctement la sortie du MLI. Dans notre cas, afin de ne pas compliquer davantage le circuit, nous avons résolu ce problème en utilisant une fréquence MLI très basse, plus précisément 1 Hz. De cette manière, nous aurons une période totale d'une seconde, ou mieux, de 1000 millisecondes, divisée en 100 étapes de 10 millisecondes chacune. En pratique, pour chaque variation de 1 % du rapport cyclique, nous aurons une variation de la longueur de l'impulsion de 10 ms, ce qui correspond exactement à la durée d'une demi-onde de la fréquence du réseau. De cette manière, la valeur du rapport cyclique que nous fixons sera correctement transmise à la sortie du relais, puisque nous sommes certains que le même retard appliqué à l'activation de la charge sera également appliqué à sa désactivation, la seule différence étant un retard possible allant de 1 à 9 millisecondes, qui décalera toute l'onde vers l'avant (**figure 5**). Cette conception ne prévoit que la régulation du chauffage, tandis que le refroidissement s'effectue naturellement par dissipation de la chaleur. La courbe réelle ne sera donc pas identique à la courbe théorique. Beaucoup dépend de l'environnement dans lequel nous opérons, mais nous pouvons vous assurer qu'après plusieurs essais, nous n'avons jamais eu de problèmes pour terminer le processus de refusion avec d'excellents résultats.

Schéma de câblage

L'utilisation d'Arduino (U1), simplifie le circuit (**figure 6**) ; en effet, en plus de celui-ci sur la carte, il n'y a qu'un module avec un MAX6675. On utilise cette puce pour amplifier le signal présent aux bornes du thermocouple de type K, le convertir d'analogique en numérique et le restituer via l'interface SPI. En effet, la lecture de ce signal via les entrées analogiques serait plus compliquée, car les amplitudes impliquées sont de l'ordre du microvolt et, de ce fait, devraient être correctement amplifiées, et le bruit électrique pourrait affecter la mesure. C'est pourquoi nous avons décidé d'utiliser cette puce et, plus précisément, un module pré-assemblé (BRD1) qui l'inclut, puisque le MAX6675 n'est produit qu'en format CMS !

Les signaux provenant du thermocouple sont régulièrement convertis et envoyés à travers les broches SCK, CS et SO connectées aux entrées numériques de U1, qui les traite et décide, en fonction, d'augmenter ou de diminuer la température de la plaque, dont l'élément chauffant est commandé par un relais à semi-conducteurs. Dans notre cas, nous avons utilisé un relais Fotek SSR-25-DA - logé dans le même boîtier et non visible sur les schémas - qui supporte des charges jusqu'à 25 A. Le pilotage de ce relais se fait via une sortie numérique à travers la résistance R1, comme on le fait habituellement pour allumer une LED. Dans notre cas, nous allons piloter un opto-isolateur intégré, situé dans la section d'entrée.

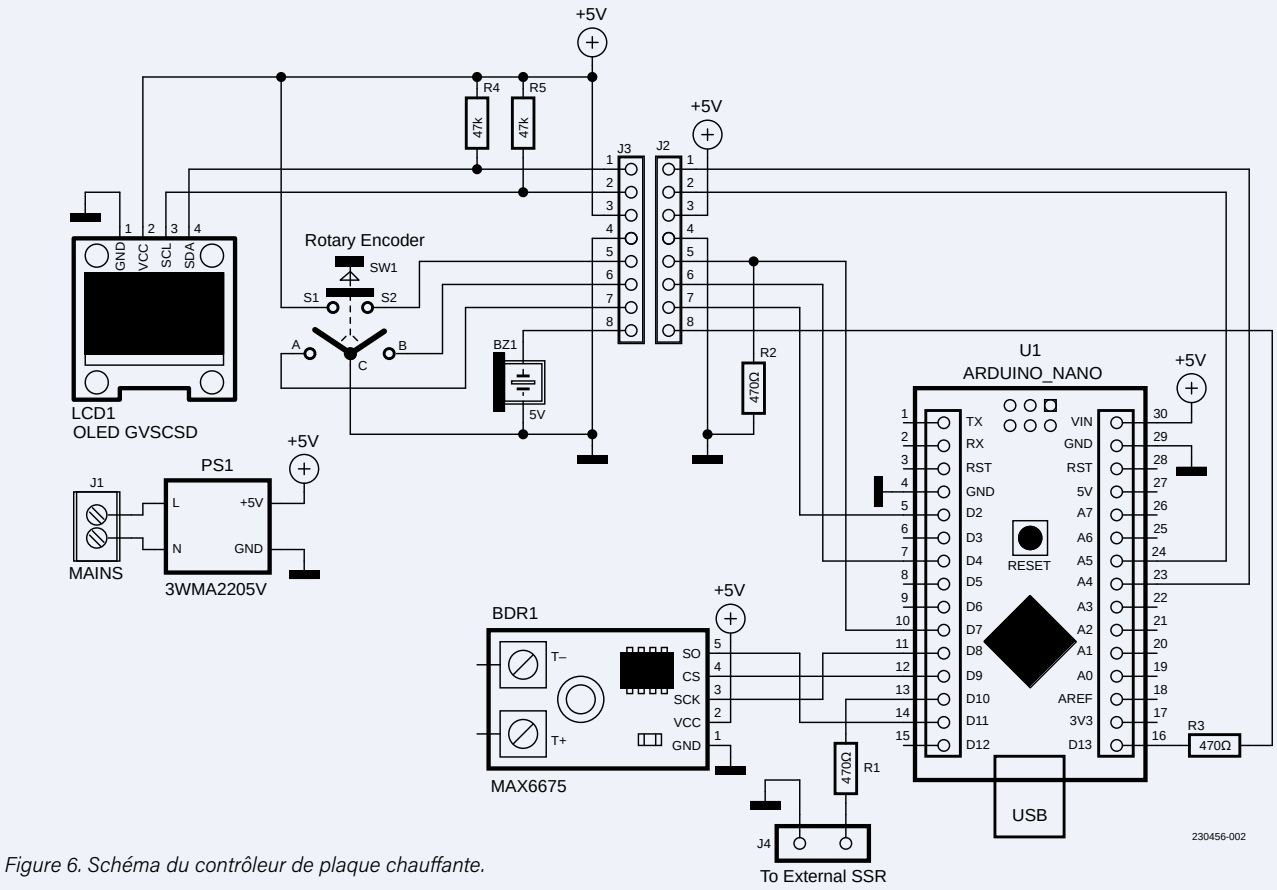
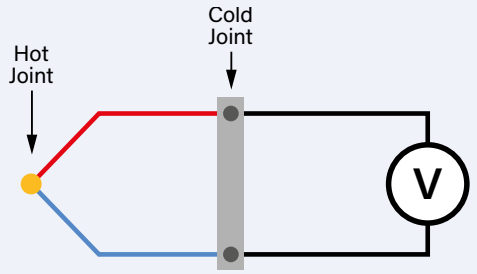


Figure 6. Schéma du contrôleur de plaque chauffante.

Le thermocouple



Les thermocouples sont des transducteurs de température couramment utilisés dans de nombreux domaines : industriel, scientifique, ingénierie, etc. Grâce à leur petite taille et à leur temps de réponse rapide, ils peuvent être utilisés même dans des environnements particulièrement critiques, car ils sont capables de mesurer avec précision une large gamme de températures. Leurs grands avantages sont qu'ils sont très simples, durables et peu coûteux.

Les thermocouples sont conçus pour mesurer les températures élevées des corps physiques, des composants et des substances.

Chaque thermocouple est constitué de deux pièces métalliques différentes reliées en un point appelé « jonction chaude ». Ce point est mis en contact avec l'objet ou la substance dont la température doit être mesurée. L'autre extrémité, celle formée par les deux fils libres, est appelée « jonction froide » et, si elle est connectée à un voltmètre, la différence de température entre les deux jonctions crée une différence de potentiel proportionnelle à la température (effet Seebeck). On trouve des thermocouples sous des formes très différentes les unes des autres, mais leur principe de fonctionnement reste fondamentalement le même. La soudure froide provient de la différence entre le métal des fils du thermocouple et celui des fils de connexion.

Il existe différents types de thermocouples, mais le type K est certainement le plus utilisé dans l'industrie. Il est constitué d'une combinaison de fils à base de nickel et les plages de mesure vont de -200 à +1260 degrés Celsius. De plus, la résistance à la corrosion et à l'oxydation du nickel lui permet d'être utilisé dans une large gamme d'applications.

Le choix d'utiliser un tel composant est dicté par le fait que la charge qui lui est appliquée est pilotée en MLI, c'est-à-dire par une séquence d'impulsions qui allume et éteint la plaque plusieurs fois par seconde. Un relais électromécanique ordinaire, outre qu'il n'aurait pas la vitesse de commutation requise, ne durerait pas longtemps et ses contacts seraient irrémédiablement endommagés par l'arc électrique.

Sur les broches SDA et SCL de l'Arduino, nous avons connecté LCD1, un petit écran d'un pouce basé sur la puce SSD1306, en ajoutant les résistances de rappel haut R4 et R5. En outre, nous avons le codeur rotatif en quadrature SW1, avec ses broches A et B connectées aux entrées numériques de U1 : on voit sur le schéma que nous n'avons pas ajouté de résistances de rappel haut, mais avons activé via le logiciel celles situées à l'intérieur du microcontrôleur ; la broche C est connectée à GND à la place. Le bouton-poussoir intégré à l'arbre du codeur, qui permet les différentes sélections, est connecté d'un côté à Vcc et de l'autre à la broche 10 de U1, avec la résistance de rappel bas R2.

Enfin, il y a le buzzer, BZ1, connecté à la broche 9 de U1 via la résistance R3. L'ensemble du circuit est alimenté par le module PS1, un

convertisseur CA/CC de Hi Link qui se monte directement sur le circuit imprimé. Ce module a une entrée de 230 V CA et une sortie de 5 V, 600 mA. Cette solution évite l'emploi d'une alimentation externe, en facilitant le logement de l'ensemble du circuit dans un seul boîtier.

Firmware

Le croquis Arduino, téléchargeable à l'adresse [1], est assez volumineux, aussi nous ne commenterons ici que certaines parties, celles qui sont directement pertinentes à comprendre et qui vous permettent de personnaliser le projet à votre guise. Pour commencer, voici les quatre bibliothèques que nous utilisons :

- Affichage (*U8g2* par Oliver)
- MAX6675 (*MAX6675_Thermocouple* par Yurii Salimo)
- PID (*PID* par Brett Beauregard)
- PWM (MLI) (*https://github.com/maxint-rd/FastPwmPin*)

Ensuite, les broches connectées au MAX6675 et à l'encodeur rotatif sont définies, ainsi que deux symboles graphiques personnalisés qui composeront l'icône du thermomètre sur l'écran. Notez que dans les déclarations initiales, le tableau `profiles`, qui, comme nous l'avons mentionné, définit les deux profils de soudage :

```
int profiles [2][6][2] = {
{{0, 0}, {60, 150}, {180, 150}, {240, 225},
    {260, 225}, {380, 0}}, // Lead profile
{{0, 0}, {60, 150}, {180, 180}, {240, 255},
    {255, 255}, {320, 0}} // Lead-free profile
};
```

Ici, vous devrez agir si vous voulez changer ou ajouter un profil, en modifiant les valeurs du tableau de manière appropriée et en vous rappelant que, pour chaque paire de valeurs, la première se réfère au temps en millisecondes et la seconde aux degrés ; les tableaux de la figure 3 clarifieront le concept. Après ce tableau se trouve un autre bloc de variables qu'il peut être utile de modifier :

```
int tempMinPreheater = 60;
  //set the minimum temperature that
    // can be set as a preheater
int tempMaxPreheater = 250;
  //set the maximum temperature
  // that can be set as the preheater
int tempStepPreheater = 5;
  //set the value of the setting
  // steps for the preheater
int tempAmbient = 50;
  //set the maximum ambient temperature,
  // if the plate is warmer, the
  // remelting process cannot be started
int tempAdjust = 0;
  //correction of the
  // temperature read by the probe
```

Toutes ces lignes de code sont accompagnées de commentaires, de sorte qu'il est facile de voir que les deux premières indiquent les valeurs minimales et maximales qui peuvent être définies ; la troisième indique la valeur qui sera ajoutée ou soustraite aux degrés définis pour chaque rotation de l'encodeur ; ces valeurs se réfèrent uniquement à la fonctionnalité de préchauffage. La variable `tempAmbiente` indique la valeur maximale que la plaque peut avoir avant de commencer le processus de refusion et est appelée température ambiante, car la plaque prend généralement la température de l'environnement dans lequel elle se trouve. Cette méthode permet d'éviter de commencer un processus de soudage immédiatement après en avoir terminé un autre. En effet, dans ce cas, cela fausserait la courbe de refusion avec le risque de faire échouer toute la procédure. La variable `tempAdjust` permet de corriger la lecture de la température de la plaque.
Le reste du croquis ne nécessite que peu de commentaires. La lecture des boutons et de l'encodeur se fait sans utiliser d'interruptions : pour lire l'appui long sur P1 et pour mettre à jour périodiquement l'affichage, on utilise plutôt quelques temporisateurs. Dans le code qui gère la fonctionnalité de refusion, nous pouvons voir comment nous utilisons la formule d'interpolation linéaire pour calculer à quelle température régler la plaque :

```
reflowNowTime = (unsigned long)(millis() - reflowStartTime);
  // Calculates how many milliseconds
  // the reflow cycle started;
for (int i = 0; i < 6; i++) {
 if ((reflowNowTime >=
   (profiles[profile][i][0] * second)) &&
    ( reflowNowTime <
      (profiles[profile][i + 1][0] * second)) {
  xa = profiles[profile][i][0] * second;
  xb = profiles[profile][i + 1][0] * second;
  ya = profiles[profile][i][1];
  yb = profiles[profile][i + 1][1];
  tempTarget = ((((reflowNowTime - xa) *
        (yb - ya)) / (xb - xa)) + ya;
  // y0=( ( (x0-xa)*(yb-ya) ) / (xb-xa) ) + ya
  // Linear interpolation formula

  phaseActual = i;
  ruleHeater();
 }
}
```

Dans la boucle for, nous parcourons le tableau des profils pour obtenir les valeurs connues, sur *l'axe x*, les millisecondes, et sur *l'axe y*, les degrés centigrades. Nous obtenons ainsi les valeurs `xa`, `ya`, `xb`, `yb`, tandis que `x0` sera égal aux millisecondes écoulées depuis le début de la phase de refusion : avec ces valeurs, nous pouvons calculer `y0`, qui représente la valeur de la température à régler pour notre plaque chauffante.

Réalisation pratique

Un circuit imprimé spécial a été conçu pour le contrôleur, ce qui facilite son montage et le rend compact et soigné. Ce circuit imprimé nous donne la possibilité de détacher la partie encodeur et affichage pour permettre son installation dans une grande variété de configurations ; si vous décidez de scinder le circuit



Figure 7. Le système complet, y compris le thermocouple, vissé à l'aide de la cosse à œillet.

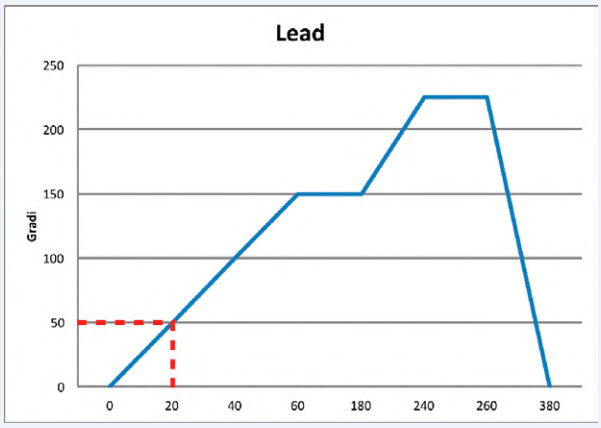
imprimé, vous devrez évidemment connecter les deux parties via les connecteurs J2 et J3. L'emplacement optimal du circuit est dans un boîtier en plastique qui permet une isolation totale. Une solution pourrait consister à utiliser une boîte de jonction pour les installations électriques, dont le couvercle serait précisément percé pour l'affichage et l'encodeur rotatif.
Étant donné la présence de la tension réseau, on peut envisager de rassembler dans le boîtier le circuit, le relais statique et la prise de 230 V pour la connexion de la plaque et la sonde thermocouple de type K. Pour permettre une lecture précise de la température, il est important de positionner cette dernière correctement, éventuellement en la fixant solidement à la plaque chauffante avec un support métallique. Une solution pourrait consister à l'insérer dans une cosse à œillet en aluminium, puis à la serrer à l'aide d'une pince sans exagérer la pression pour éviter de l'endommager. De cette façon, la sonde (**figure 7**) peut être fixée à la plaque avec une simple vis, en ajoutant éventuellement une pâte thermoconductrice à la connexion mécanique, comme celle utilisée pour les processeurs de PC, qui favorise la conduction thermique pour améliorer la précision de la lecture.
Une autre solution consisterait à la laisser « libre » et à la coller sur le circuit imprimé que vous soudez, à chaque fois que vous effectuez un processus de refusion, à l'aide d'un morceau de ruban adhésif en kapton.

Avertissement : Apportez le plus grand soin à la fabrication et au câblage, compte tenu de la présence de la tension du secteur, qui est très dangereuse : N'oubliez pas de relier le fil de terre à la fiche et à toutes les parties métalliques de l'appareil, y compris la plaque.

Étalonnage et utilisation

Une fois l'Arduino programmé et le projet assemblé, après avoir soigneusement vérifié le câblage (en particulier celui du 230 V), nous pouvons mettre le circuit sous tension et vérifier son bon fonctionnement. Toutefois, avant de l'utiliser, il convient d'effectuer un étalonnage simple mais utile. Dans la pratique, selon l'endroit où l'on place la sonde de type K, il peut y avoir une légère variation des relevés ; cela est dû à la disposition des résistances chauffantes, qui sont généralement centrées, et c'est précisément à ces endroits que l'on obtiendra une lecture plus précise. Au fur et à mesure que nous nous déplaçons, les relevés présentent de petites différences qui augmentent à mesure que la distance par rapport à la source de chaleur s'accroît.
Pour corriger la lecture, nous avons prévu la variable `tempAdjust` qui, par défaut, vaut 0. Si vous disposez d'un moyen de lire la température de la plaque à l'aide d'un thermomètre infrarouge ou autre, vous pourrez vérifier la température lue par notre circuit et celle relevée avec le thermomètre. Vous devrez affecter la valeur résultant de la différence entre les deux à la variable ci-dessus. De cette façon, vous pourrez corriger la lecture à une valeur plus proche de

Interpolation linéaire



En mathématiques, l'interpolation désigne une méthode permettant de trouver de nouveaux points dans le plan cartésien à partir d'un ensemble fini de points de données. Elle permet ainsi de déduire, de manière approximative, la tendance d'une courbe en n'en connaissant que quelques points. Dans l'interpolation linéaire, qui est aussi la méthode d'interpolation la plus simple, il suffit de deux points adjacents, identifiés par (xa, ya) et (xb, yb), en les joignant pour tracer un segment.
Par conséquent, pour calculer le point (x0, y0), intermédiaire aux points connus, nous utilisons la formule :

$$y0 = \frac{(x0 - xa)(yb - ya)}{xb - xa} + ya$$

Donnons un exemple en nous référant à la figure et en substituant à la formule les points du premier segment, à savoir (0,0) et (60,150), en supposant que nous voulons connaître la valeur de y0 étant donné que x0 = 20

$$y0 = \frac{(20 - 0)(150 - 0)}{60 - 0} + 0$$

$$y0 = \frac{20 * 150}{60}$$

$$y0 = \frac{3000}{60}$$

$$y0 = 50$$

la réalité. Une fois cette étape franchie, vous serez prêt à souder vos circuits. Nous vous recommandons toutefois de commencer par des circuits de petite taille, par exemple de petits adaptateurs SOIC-DIL – vous devrez vous familiariser avec la quantité de pâte à braser à déposer sur les pistes et le positionnement correct des composants.

Utilisation pratique

En plus d'être utilisé pour le soudage par refusion, ce modèle peut également servir de préchauffage de circuit imprimé pour le soudage et le dessoudage à l'aide d'une station à air chaud. Dans ce dernier cas, le circuit imprimé doit être porté à environ 150 °C, puis les composants à souder sont chauffés avec la station à air chaud, ce qui fait fondre le flux et la soudure.

VF : Denis Lafourcade — 230456-04

Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr.)

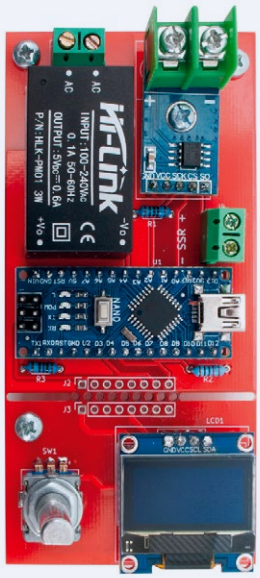
Produits

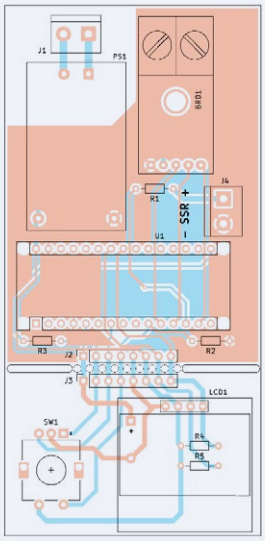
- **Four à refusion infrarouge T-962 amélioré (version Elektor) (SKU 20346)**
  www.elektor.fr/20346
- **Station de retouche CMS à air chaud 2-en-1 ZD-8922 (SKU 20141)**
  www.elektor.fr/20141

LIEN

[1] Téléchargement du logiciel :
https://elektormagazine.fr/230456-04

Liste des composants





Résistances

R1...R3 = 470 Ω
R2 = 10 kΩ
R4...R5 = 47 kΩ

Modules

U1 = Arduino Nano
PS1 = 3WMA2205V (Module PSU)
BRD1 = MODMAX6675 (pour thermocouples de type K)
LCD1 = OLEDGVSCSD (0.96 pouce OLED)

Divers

BZ1 = buzzer 5 V (sans oscillateur)
Barrette femelle, 4 broches
Barrette femelle, 15 broches
Barrette femelle, 5 broches
Bornier à vis, 2 pôles
Encodeur rotatif avec bouton-poussoir



Q&A avec Alberto Savoia

Fondateur & Agitateur d'innovation, Pretotype Labs LLC

ne commencez pas avec un prototype, **mais plutôt avec un « pretotype »**

vérifiez qu'il existe un marché pour votre produit avant d'allumer votre fer à souder



Stuart Cording (Elektor)

Nous, les techniciens, nous possédons un outil puissant. Grâce à notre connaissance de l'électronique et des logiciels, il ne faut pas grand-chose pour imaginer une solution à la pointe de la technologie aux problèmes qui nous entourent. Et, à partir de là, il n'y a qu'un pas à franchir pour fonder une entreprise et dominer le monde. Qu'est-ce qui pourrait mal tourner ? Eh bien, beaucoup de choses.

La plupart des sources indiquent que 20 % des nouvelles entreprises font faillite avant la fin de leur première année et que 50 % d'entre elles ont disparu avant la cinquième année [1]. Les raisons de l'échec vont des problèmes juridiques au surmenage, en passant par la perte des objectifs et un produit de mauvaise qualité. Mais, aucune de ces raisons ne figure parmi les cinq raisons principales. Aussi incroyable que cela puisse paraître, après beaucoup de travail et d'argent dépensé, 42 % des start-up qui ont échoué font état de l'absence d'un besoin du marché [2].

Alors, pourquoi les start-up se trompent-elles autant sur cet élément fondamental de leur stratégie commerciale ? Alberto Savoia a consacré beaucoup de temps à cette question. En tant qu'ancien employé de Sun Microsystems et de Google, il a vu comment les start-up réussissent, en construisant une entreprise de 100 millions de dollars avec un budget de 3 millions de dollars. Mais, il a également créé une entreprise qui a reçu 25 millions de dollars de capital-risque en espèces. Alberto a parlé à Elektor du succès et de l'échec des produits, de sa passion pour la soudure et des raisons pour lesquelles tout le monde devrait essayer le *prétotypage*.

Stuart Cording : à la lecture de votre profil, on pourrait penser que vous êtes parfaitement qualifié pour créer une start-up réussie. Pourtant, votre troisième start-up a échoué, pourquoi ?

Alberto Savoia : eh bien, c'était une situation catastrophique. Au cours des cinq années, nous avons embauché près de 100 personnes qui se sont engagées à nos côtés et qui avaient des stock-options. Alors oui, quand ça n'a pas marché, je me suis senti mal pour tout le monde. C'est ce qui m'a incité à me pencher sur la question et à y répondre. Nous avions embauché les meilleures personnes, c'est vrai. Nous avions les meilleurs investisseurs en capital-risque de la Silicon Valley, qui ont levé 25 millions de dollars, et nous avions donc beaucoup d'argent. Les gens nous ont dit que le produit fonctionnerait. Et nous l'avions construit.

Mais cela n'a pas fonctionné. Qu'avons-nous fait de mal ? Il s'est avéré que nous avions construit ce que j'appelle le mauvais « produit ». Quelle que soit la qualité de la construction ou de la façon dont vous l'avez commercialisé, le produit n'a pas réussi à s'imposer sur le marché. Cela m'a amené à me demander comment je pouvais savoir si un produit allait être le « bon ».

À propos de Alberto Savoia

En tant que premier directeur de l'ingénierie de Google, Alberto Savoia a dirigé l'équipe qui a lancé Google AdWords. Plus tard, en tant qu'agitateur de l'innovation chez Google, il a développé le prétotypage, un système rigoureux basé sur des données pour valider les nouvelles idées de produits. Avant de rejoindre Google, Alberto a été un entrepreneur en série prospère et le premier directeur de la recherche en technologie logicielle aux laboratoires de Sun Microsystems, où il a joué un rôle clé dans le développement de la technologie et des outils Java.

Le travail d'Alberto sur l'innovation a été reconnu et récompensé par l'industrie, notamment par le prix de l'innovation technique du Wall Street Journal, le prix des 25 meilleurs directeurs techniques d'InfoWorld et le prix de la technologie de l'année d'InfoWorld. Aujourd'hui, il est très sollicité en tant que conférencier, enseignant et coach, réputé pour sa capacité à aider les organisations à libérer tout leur potentiel d'innovation et de croissance. Depuis son atelier inaugural sur l'innovation entrepreneuriale à Stanford en 2011, jusqu'à son accompagnement actuel des entreprises du classement Fortune 500, Alberto a eu un impact profond et durable sur la gestion des produits et les pratiques d'innovation de nombreuses entreprises de premier plan dans le monde entier. Son dernier livre, « The Right It-Why So Many Ideas Fail and How to Make Sure Yours Succeed », a été publié par HarperCollins en 2019.

Stuart Cording : la plupart des livres recommandent deux choses pour créer une start-up réussie : un business plan solide et une équipe formidable. Pourquoi cela ne suffit-il pas ?

Alberto Savoia : j'ai rédigé une douzaine de plans d'affaires et j'en ai vu plusieurs centaines, lorsque j'aidais les sociétés de capital-risque à faire preuve de diligence raisonnable. Permettez-moi de vous dire que la plupart des business plans sont des œuvres de fiction. J'enseigne aux gens à rédiger des plans d'affaires. Prenez trois ou quatre marqueurs de couleurs différentes. Pour tout ce qui est une hypothèse est marqué avec le surligneur rouge. Tout ce qui relève de la conviction ou de l'espoir, utilisez un marqueur jaune, et ainsi de suite.

Ainsi, une fois que l'on a éliminé tout ce qui n'est pas pertinent, comme la réussite d'une autre entreprise, il ne reste plus qu'une demi-page de choses essentielles. Le reste n'est que fiction, en particulier la prévision financière à cinq ans !

Stuart Cording : alors, comment savoir si votre idée d'entreprise est gagnante ?

Alberto Savoia : c'est pourquoi j'ai élaboré la définition « The Right It », un produit qui sera une réussite s'il est exécuté avec les compétences requises. Cela signifie que le mauvais produit échouera sur le marché, quelle que soit la qualité de son exécution. C'est donc la première chose.

La question suivante est de savoir si mon produit est le bon. La première chose que je fais est de le décrire dans un langage très précis. Vos lecteurs sont probablement tous des ingénieurs, ils ne diront donc pas : « je vais utiliser une résistance d'une valeur élevée ». Ce n'est pas suffisant. Combien d'ohms aura-t-elle ? Combien de watts devra-t-elle supporter ?

Je pars donc d'une supposition, d'une hypothèse claire, et ensuite je la teste. Il s'agit d'êtres humains et de marchés, il n'y a donc pas 0 % ou 100 % de chances de succès. Je travaille plutôt en termes de probabilité de réussite, en répartissant nos chances en cinq groupes : 10 %, 30 %, 50 %, 70 % et 90 %. Je fais des expériences, je vérifie si l'hypothèse est confirmée, puis j'apporte des modifications pour voir si nous pouvons améliorer nos chances de réussite.

Stuart Cording : il s'agit donc de construire d'abord un prototype ou un produit minimum viable (MVP) qui, par définition, prend du temps et coûte beaucoup d'argent, non ?

Ou, existe-t-il un meilleur moyen ?

Alberto Savoia : ne vous y trompez pas, je suis très heureux devant un fer à souder ou un compilateur. J'aime construire des choses, n'est-ce pas ? Ce que je n'aime pas, c'est construire des choses qui échouent alors que j'aurais pu construire des choses qui réussissent. Pour résoudre ce problème, j'ai inventé un nouveau terme appelé « pretotyping », une version simplifiée de « prétendre développer des prototypes ». Par exemple, j'ai eu l'idée de construire un contrôle de tonalité, « The Delicious One », pour les audiophiles, parce qu'il y a une tendance à fabriquer des amplificateurs neutres qui ne modifient pas le signal d'entrée. J'ai fini par le fabriquer, mais il m'a fallu des mois pour le mettre au point. Alors, pour m'assurer que c'était le bon avant de commencer, j'ai fait un *pretotyping*.

Je savais très précisément à quoi il devait ressembler, alors j'ai fabriqué une grosse boîte noire avec des entrées, des sorties et un joli bouton. Il n'y avait rien à l'intérieur, mais je l'ai utilisé pour faire des photos et créer un site web que vous pouvez toujours visiter *deliciousdecibels.com*. J'en ai fait la promotion sur des sites dédiés aux audiophiles aux États-Unis, et si quelqu'un m'envoyait un courriel, je lui disais que l'appareil était encore en cours de développement et qu'il coûterait 300 dollars. Ils ont donc maintenant des intérêts en jeu. Plus tard, j'ai partagé avec eux les courbes de contrôle de la tonalité. J'ai créé une vidéo et je leur ai écrit à nouveau pour leur dire qu'ils pouvaient le précommander pour 50 dollars s'ils le souhaitaient. Les gens qui ont passé des précommandes se sont retrouvées impliqués dans l'aventure.

C'est ainsi que j'ai recueilli mes propres données sur le marché pour mon contrôle de tonalité. Il ne s'agit pas d'informations sur le succès d'appareils antérieurs, appelées « données d'autres personnes » ou « OPD » (*Other People's Data*). Recueillez vos propres données, (ou YODA, *gather Your Own Data*), à l'étape du *pretotyping*.

Stuart Cording : dans votre livre, ***The Right It*****, vous présentez quelques approches astucieuses de pretotyping, mais certaines suggestions, comme le fait de simuler « The Delicious One », risquent de dépasser les limites éthiques pour certains. Comment les adeptes de cette approche ont-ils abordé ce problème ?**

Alberto Savoia : l'approche adoptée pour le contrôle de la tonalité est connue sous le nom de « *fake door testing* ». Vous n'avez donc pas le produit, mais vous faites semblant de l'avoir. Ce n'est pas contraire à l'éthique, sauf si vous collectez de l'argent auprès d'investisseurs,



Figure 1. Pretotype de « The Delicious One », utilisant la technique du fake door testing.



Figure 2. Prototype du contrôle de tonalité, développé une fois que suffisamment de « données propres » sur sa viabilité ont été collectées.

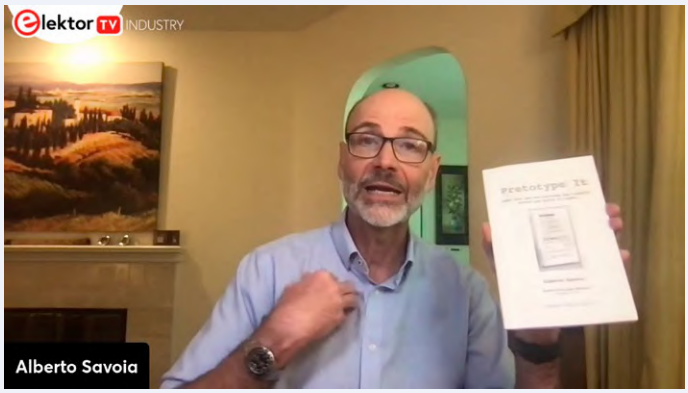


Figure 3. Avant de s'engager à écrire un livre sur les techniques de pretotyping, Alberto a prétotypé le livre. L'intérêt qu'il a suscité auprès de ses collègues a montré qu'il existait un marché pour ce livre

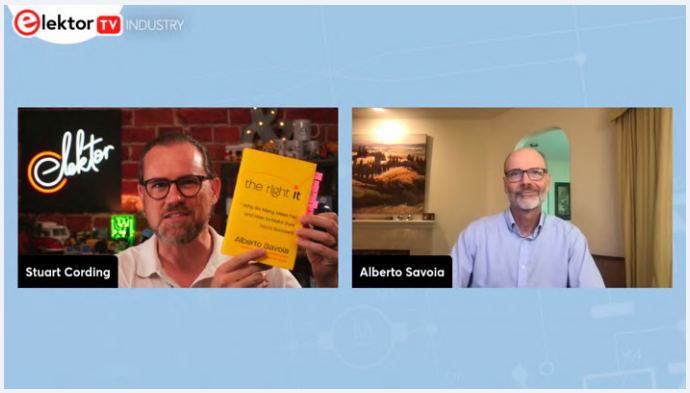


Figure 4. Fort du succès du pretotype, Alberto a reçu une avance pour écrire « The Right It », qui a nécessité neuf mois de travail.

ou si les gens achètent le produit, mais sans jamais le recevoir livré. En fait, je ne pourrais pas enseigner ces approches à l'université de Stanford si elles ne passaient pas un examen éthique.
Les entrepreneurs et les inventeurs font partie de nos ressources les plus précieuses, si ce n'est les plus précieuses. Ainsi, le plus grand problème éthique, à mon avis, est que les gens n'apprennent pas aux entrepreneurs à utiliser leurs ressources pour construire des produits dont le monde a réellement besoin. Lorsque vous faites du *pretotyping*, vous effectuez de petits tests sur un petit échantillon de personnes. Avec le *fake door testing*, la pire chose qui puisse arriver est de dire : « je suis désolé, le produit n'est pas disponible, mais je vous remercie d'avoir témoigné de l'intérêt pour ce produit ». En cliquant sur un bouton de votre site web, vous obtenez un vote indiquant qu'ils veulent le produit.

Stuart Cording : vraiment, Alberto, as-tu déjà vu quelqu'un trouver « le bon truc », et voir sa start-up échouer, malgré un financement et une équipe compétente ?
Alberto Savoia : oh oui, bien sûr. L'idée peut être très bonne. Mais comme je l'écris dans le livre, il n'y a aucune garantie que vous soyez celui qui va réussir, n'est-ce pas ? Que se passe-t-il alors ? Vous constatez qu'il y a une demande pour votre matériel. Vous construisez votre appareil, vous faites tout ce qu'il faut. Et puis certains développent une application logicielle, qui fait en fin de compte la même chose sur un smartphone pour une fraction du prix… En effet, de nombreuses applications sorties premièrement ont échoué, car Apple et Android ont intégré leurs fonctionnalités directement dans le système d'exploitation. Donc, oui, vous pouvez échouer même si vous avez une très bonne idée. Mais cela devient une question de mise en œuvre, ce qui n'est pas mon domaine d'expertise.
Donc, encore une fois, votre YODA (*recueil de données*) prouvant votre hypothèse, il est pratiquement garanti qu'elle réussira si elle est viable. J'aime l'électronique, et je pense qu'Elektor est un excellent magazine. Je dis donc à vos lecteurs d'appliquer la même rigueur et la même attitude expérimentale pour tester le marché, que celles qui sont utilisées pour tester et créer votre produit.
Malheureusement, il n'y a pas de garanties dans la vie, mais il y a des échecs évitables, n'est-ce pas ? Ce qui fait le plus mal, c'est de dépenser 5 millions de dollars pour construire un projet, de le lancer et de le voir échouer. Je reçois des courriels de ce genre chaque semaine, disant : « J'aurais aimé lire votre livre avant ». En effet, cet échec de cinq ans aurait pu être évité en cinq jours, en comprenant que personne ne voulait acheter votre produit.



L'interview complète d'Alberto est disponible sur la chaîne YouTube Elektor TV - Industry dans l'épisode 27 d'Elektor Engineering Insights (https://youtu.be/-wTUKiTfF5s). Et si vous souhaitez en savoir plus sur YODA, *les tests d'hypothèses de marché et les techniques de pretotyping, jetez un coup d'œil à* " The Right It - Why So Many Ideas Fail and How to Make Sure Yours Succeed " *par Alberto Savoia, publié par Harper One (ISBN 978-0-06-288465-7) [3].*

230484-04

À propos de Stuart Cording

Stuart Cording est ingénieur et journaliste et possède plus de 25 ans d'expérience dans l'industrie électronique. Vous trouverez un grand nombre de ses articles récents sur Elektor à l'adresse suivante : www.elektormagazine.com/cording. En plus d'écrire pour Elektor, il anime une émission d'interviews régulièrement diffusée en direct, *Elektor Engineering Insights* (*www.elektormagazine.com/eei*).

LIENS

[1] Taux de défaillance des start-ups : https://failory.com/blog/startup-failure-rate
[2] Absence de marché — Rapport d'évaluation finale [PDF] : https://tinyurl.com/nomarketneed
[3] « The Right It » par Alberto Savoia : https://albertosavoia.com/therightit.html

2023: l'Odyssée de l'IA

assistance à la conception d'un projet matériel

Brian Tristam Williams (Elektor)

Après avoir exploré les capacités de ChatGPT précédemment, en particulier notre discussion sur les mathématiques discrètes, j'ai pensé de plus en plus au problème de la Tour d'Hanoï, et j'ai décidé de me lancer dans un projet matériel ambitieux avec l'aide de notre amie l'IA.

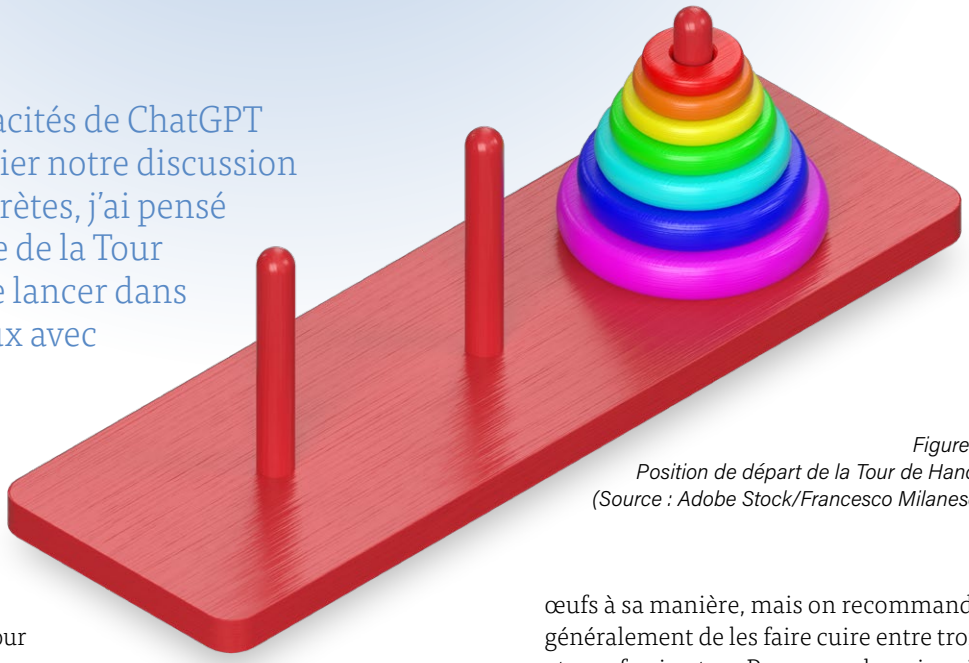


Figure 1.
Position de départ de la Tour de Hanoi.
(Source : Adobe Stock/Francesco Milanese)

La Tour d'Hanoï

Rappelons tout d'abord les règles de la Tour d'Hanoï : il s'agit d'un casse-tête mathématique classique qui implique trois piquets, ou tiges, et un certain nombre de disques percés de trous qui peuvent être placés sur n'importe quel piquet (**figure 1**). Les disques sont de tailles différentes et le jeu commence avec tous les disques empilés les uns sur les autres, le plus grand en bas et le plus petit en haut, sur un seul piquet. L'objectif est de déplacer l'ensemble des disques vers un autre piquet, (un disque à la fois). Vous pouvez effectuer autant de déplacements que vous le souhaitez, mais vous ne pouvez pas placer un disque sur un autre plus petit. Pour en savoir plus, consultez la page Wikipédia du jeu [1], ou essayez-le vous-même en ligne [2].

Ce problème est souvent utilisé dans l'enseignement des algorithmes récursifs en informatique, car le nombre minimum de mouvements requis pour déplacer une tour de n disques est toujours une puissance de deux moins un. Par exemple, dans l'exemple le plus minimal, supposons que nous n'ayons qu'un seul disque et que nous devions le déplacer vers un autre piquet. Combien de déplacements seraient nécessaires ? Eh bien, avec n = 1, le nombre minimum de déplacements, $2^n - 1 = 1$. Un seul coup, évidemment. Commencez avec deux disques, et il vous faudra $2^2 - 1$, soit trois coups. Trois disques nécessitent au moins sept coups, quatre disques 15 coups, et ainsi de suite.

Construction

Après de longues nuits de réflexion, j'ai décidé de créer une minuterie pour la Tour d'Hanoï qui se règle automatiquement, avec un mouvement par seconde – si j'y parviens. Lorsque l'énigme est résolue, vos œufs sont cuits. Bien sûr, chacun aime ses œufs à sa manière, mais on recommande généralement de les faire cuire entre trois et neuf minutes. Pour mes besoins, je pense que huit disques sont idéaux, ce qui prendra $2^8 - 1$, soit 255 déplacements pour le résoudre. À raison d'un déplacement par seconde, nous parlons de quatre minutes et 15 secondes. Cela me convient. (Naturellement, il faudrait pouvoir l'ajuster aux préférences des autres, mais c'est un détail pour plus tard).

Comme la programmation d'un microcontrôleur en langage assembleur, C, ou Arduino, etc., ne me pose aucun problème et que je peux manier un fer à souder sans me brûler les doigts, la programmation, la conception du circuit imprimé (si nécessaire) et la construction ne posent guère de problèmes. La raison pour laquelle ce projet est considéré comme ambitieux pour moi est que je suis nul en génie mécanique, même si je suis fasciné par la physique informatique depuis que j'ai découvert les premiers bras robotiques de bureau d'antan.

Je dois construire une sorte de mécanisme qui soulève chaque disque de son piquet, le déplace au-dessus d'un autre, et le dépose proprement à sa place. Je suis conscient que faire cette opération une fois par seconde n'est pas une tâche facile, mais c'est mon objectif pour l'instant.

Demander l'aide de ChatGPT

Ainsi, avec mon concept en place, j'ai demandé l'aide de ChatGPT. Nous avons eu une très longue discussion, qui ne s'est arrêtée que lorsque mon crédit GPT-4 s'est épuisé et que je n'ai pas pu continuer pendant un certain temps. C'est peut-être une bonne chose, car cet article ne devrait pas être trop long. Je ne vais pas répéter ici l'intégralité de la discussion de 9784 mots, mais vous trouverez le chat original à [3]. J'ai commencé par expliquer que j'avais besoin d'aide pour la conception mécanique de mon projet. ChatGPT a été très enthousiaste de m'aider. Il a proposé quelques bonnes idées de conceptions, telles qu'une base rotative pour déplacer les tours au lieu d'avoir à déplacer un bras d'un piquet à l'autre. Mais le soulèvement peut aussi se faire de différentes manières. Faut-il utiliser une pince, un électro-aimant, une ventouse ou autre chose ? Et comment le bras doit-il se déplacer de haut en bas ? Un actionneur linéaire semble intéressant, mais il est généralement assez coûteux, et donc peut-être excessif pour ce projet. Bien sûr, le bot a souligné que nous aurions besoin de capteurs pour détecter certaines choses, par exemple lorsqu'un disque est saisi fermement, et peut-être aussi lorsqu'il est déjà soulevé suffisamment haut (si le logiciel ne peut pas le suivre). Il voulait aussi aider à détecter la taille de chaque disque, mais je ne pensais pas que c'était nécessaire parce que l'état instantané du jeu sera enregistré dans la mémoire de toute façon.

Absolutely, Brian. Designing a motorized arm from scratch can indeed be a bit daunting. Here's a basic outline of a motorized arm concept that might work for your project:

Motorized Arm Structure:

1. **Base Structure**:
   - **Material**: Start with a sturdy material like aluminum or steel for the base to hold the motors and arms.
   - **Design**: A circular or hexagonal base that allows for the placement of three spikes equidistant from each other.
2. **Arm Mechanism**:
   - **Servo Motors**: Utilize servo motors at the base for the rotation of the arm around the central axis.
   - **Linear Actuator**: Implement a linear actuator for vertical movements, allowing the arm to lift and lower the discs.
3. **End Effector**:
   - **Design**: A simple clamp or fork design could work to pick up and hold the disks securely.
   - **Material**: Consider lightweight materials like plastic or aluminum to reduce the load on the motors.
4. **Control System**:
   - **Microcontroller**: Use a microcontroller (like Arduino or Raspberry Pi) to control the motors and actuators, following the Towers of Hanoi algorithm to move the disks accurately.
   - **Power Supply**: Ensure a reliable power supply to the motors and controller.
5. **Software**:
   - **Programming**: You'll program the microcontroller with the sequence of moves based on the Towers of Hanoi solution algorithm.
   - **Manual Override**: Implement a manual override system to stop or reset the operation if needed.

Figure 2. ChatGPT a immédiatement trouvé de bonnes idées.

Nous avons tout ce qu'il faut

Alors que nous explorons le thème de l'IA pour nous aider à réaliser nos idées créatives, qu'il s'agisse de concevoir un produit électronique, d'écrire le code de notre dernière idée fantaisiste ou, bien sûr, de nous aider à créer de véritables œuvres d'art, il convient de noter que nous avons déjà créé cette année deux couvertures de magazine impressionnantes en utilisant des images générées par l'IA. Ce retour quelque peu rafraîchissant à l'époque où nos couvertures étaient des œuvres d'art illustrées à la main ne peut pas être géré par le robot seul, et c'est pourquoi notre directeur artistique extrêmement talentueux, Harmen Heida, a dû affiner les messages et actualiser soigneusement le résultat final à l'aide de ses outils graphiques numériques ordinaires.

N'étant pas moi-même un artiste, je suis toujours un peu envieux de la créativité dont il faut faire preuve pour créer une couverture accrocheuse, sans parler du magnifique magazine que vous avez maintenant entre les mains. Si Midjourney [4] peut nous aider à voir ce que nous ne pouvions qu'imaginer auparavant, il existe de nombreuses autres visions, plus techniques, que nous pouvons réaliser grâce à l'IA.



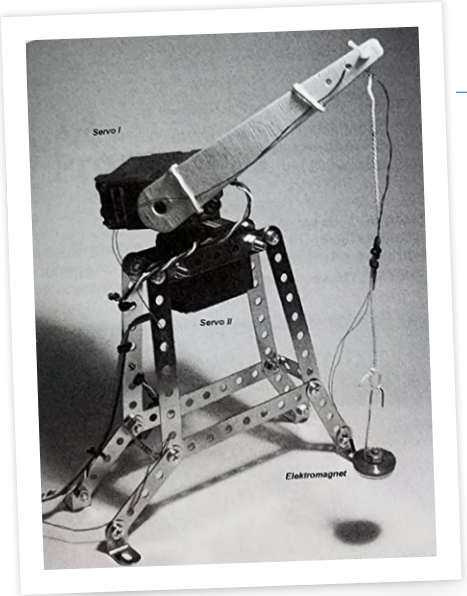


Figure 3: Voici comment Spanner construit un prototype (Source : Arduino: Circuits and Projects Guide (Elektor, 2013))

Je lui ai demandé de me donner les grandes lignes de la construction. J'ai été impressionné par les éléments qu'il a pris en compte (**figure 2**). Il a tenté de m'aider avec le logiciel, mais je lui ai répété que je pouvais le faire moi-même, que je voulais juste une conception mécanique qui ne détruirait pas la cuisine avec des disques volants.

Choix des composants

Lorsque nous avons abordé la question de la rotation du mécanisme pour passer d'un piquet à l'autre, nous avons dû choisir entre un servo (ma première idée) et un moteur pas à pas. Lorsque j'ai demandé lequel choisir, il a expliqué en détail les avantages et les inconvénients des deux solutions. D'après les réponses (voir [3]), je préfère toujours un servomoteur pour la rotation autour de l'axe Y.

Et comment obtenir un mouvement vertical le long de l'axe Y ? Un actionneur linéaire, ou peut-être un moteur à une tige filetée bon marché ? Je suis sûr qu'il y a de meilleures solutions, et peut-être que nos lecteurs ou mes brillants collègues chez Elektor ont une idée, mais je voulais juste résoudre ce problème moi-même avec l'aide de ChatGPT (et beaucoup de recherches sur Google pour trouver des pièces appropriées).

Après avoir discuté du mouvement vertical, nous sommes arrivés à la conclusion que la minuterie ne devrait pas être démarrée tant que l'eau ne bout pas. Cela prend un certain temps. Que faire ? La casserole qu'on surveille ne déborde jamais ? À moins de trouver un moyen de faire en sorte que la minuterie surveille l'eau. Capteur de température ? En écoutant le son ? Minuterie fixe ? Nous verrons cela plus tard. Tout d'abord, construisons une tour fonctionnelle.

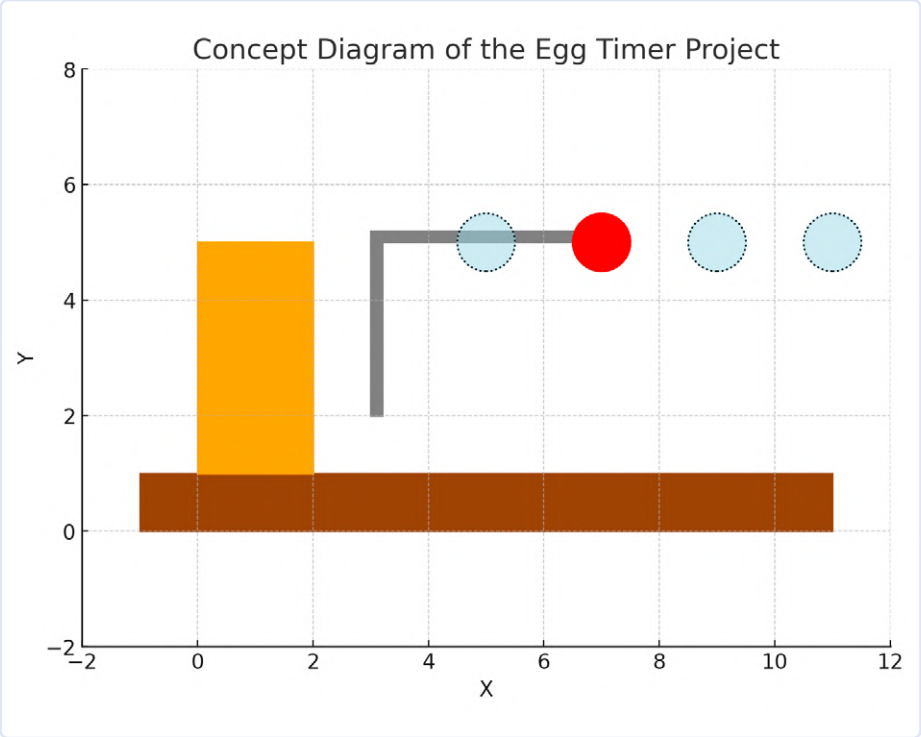


Figure 4. Ce croquis conceptuel n'était pas très encourageant.

J'ai décidé de réaliser un prototype sur quelque chose de simple, comme le jeu Meccano que j'avais acheté lorsque je travaillais avec Günter Spanner sur son livre *Arduino: Circuits and Projects Guide (Elektor, 2013)*. Le livre m'a même donné le goût d'assembler quelques structures mécaniques simples (**figure 3**), je suis donc heureux de *Meccanotyper* mon projet. Plus tard, nous pourrons parler de la découpe au laser de certaines pièces personnalisées.

Visualisation

La possibilité d'afficher des visualisations est ce qui différencie le GPT-4 des versions précédentes, j'ai lui donc demandé de me montrer ce qu'il avait à l'esprit. J'avais le choix entre une esquisse en 2D, un diagramme de flux ou un diagramme conceptuel, et j'ai opté pour le dernier. Cependant, le résultat n'était pas du tout "intelligent" (**figure 4**).

J'espérais donc que l'esquisse en 2D donnerait quelque chose qui ressemblerait vraiment aux idées dont nous avions parlé. Ce n'était guère mieux (**figure 5**) - les

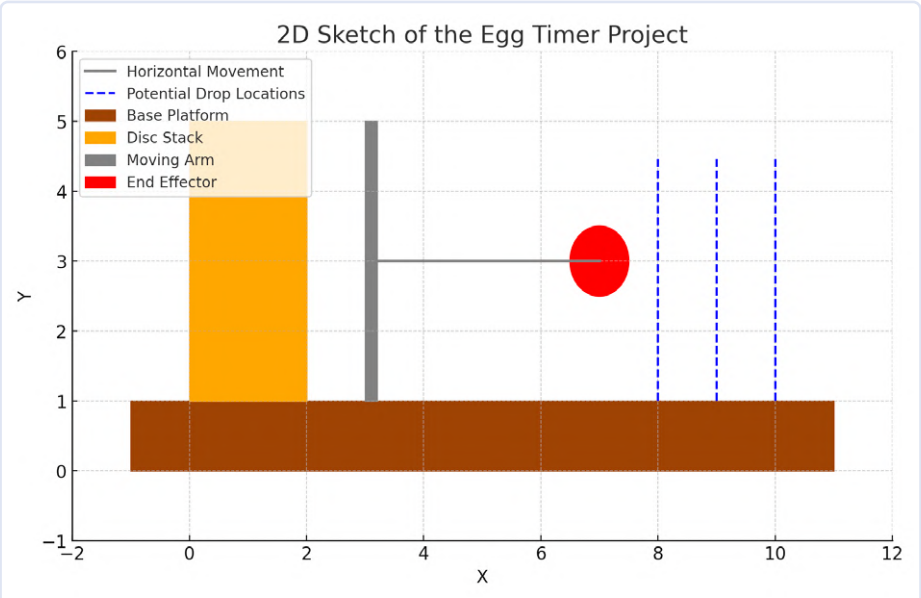


Figure 5. L'esquisse en 2D n'était pas beaucoup mieux.

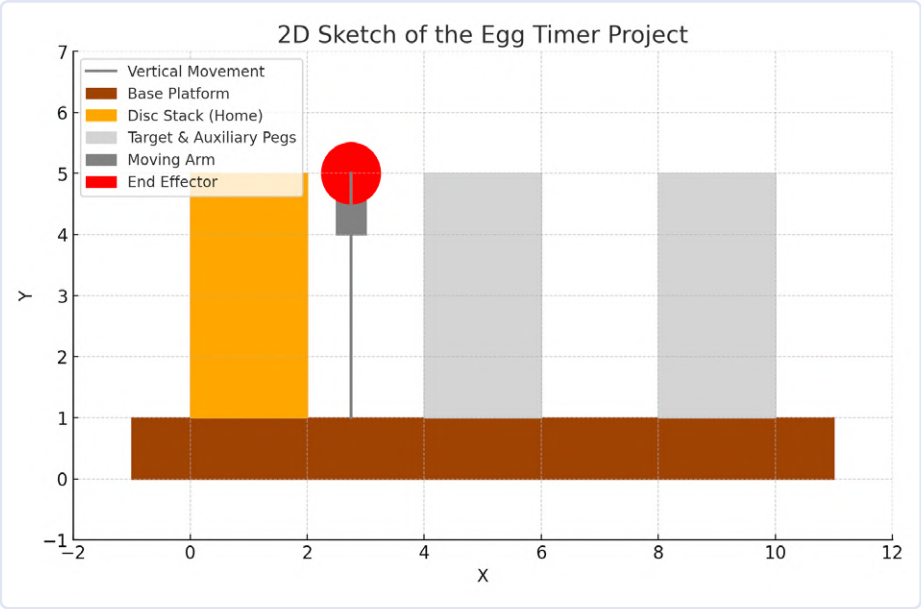


Figure 6. Après cette esquisse 2D améliorée, j'ai laissé tomber l'idée de visualisation.

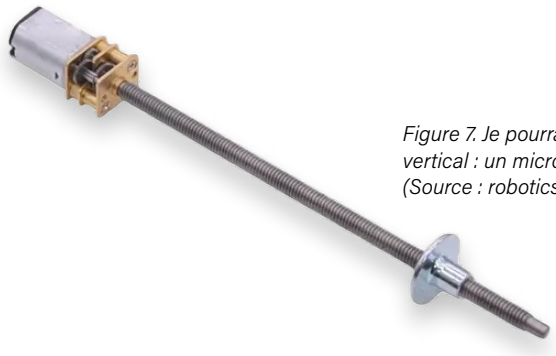


Figure 7. Je pourrais utiliser ceci pour le déplacement vertical : un micromoteur N20 à tige filetée de 100 mm. (Source : robotics.org.za/N20-500-L100-6V)

disques (tous de la même taille, apparemment) ne sont même pas sur l'un des piquets ! Après quelques corrections, nous avons obtenu la **figure 6**, mais, à ce stade, j'ai décidé que les visualisations ne seraient pas un grand succès, du moins pas avec les messages-guides que j'utilisais.

Je suis revenu brièvement sur ma décision lorsqu'il m'a proposé une "visualisation" sous la forme d'un fichier sans extension que je pouvais télécharger. Ce fichier mystérieux m'intriguait suffisamment pour que je veuille l'étudier.

Donc, à ce stade, j'ai décidé d'utiliser un servo pour la rotation de la base et une griffe de robot pour attraper les disques. Ce que nous avons conclu, avant d'épuiser mes jetons, c'est une discussion sur le type de mécanisme linéaire à utiliser, en particulier je me suis renseigné sur un moteur N20 à une tige M4 de 100 mm, 500 RPM, 6 V (**figure 7**).

À suivre…

À ce stade, non seulement mon temps de calcul est écoulé, mais nous n'avons plus de place pour cet article. Je me suis lancé dans un projet qui ne peut pas être résolu avec mes connaissances en électronique, et qui reste donc un défi. La prochaine fois, je vous tiendrai au courant des progrès réalisés !

230181-C-04



À propos de l'auteur

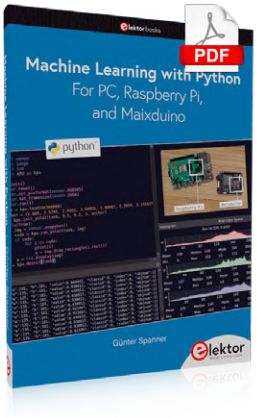
Brian Tristam Williams a toujours été fasciné par les ordinateurs et l'électronique depuis qu'il a eu son premier "micro-ordinateur" à l'âge de 10 ans. Son aventure avec Elektor Magazine a commencé lorsqu'il a acheté le magazine pour la première fois à l'âge de 16 ans. Depuis, il n'a cessé d'explorer le monde de l'électronique et de l'informatique. Il a commencé à travailler pour Elektor en 2010 ; aujourd'hui, il garde un œil sur les dernières tendances technologiques, notamment en matière d'intelligence artificielle et d'ordinateurs monocartes tels que le Raspberry Pi.

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (brian.williams@elektor.com).

Produit

- **Dr. Günter Spanner, *Machine* Dr. Günter Spanner,** *Machine Learning with Python for PC, Raspberry Pi, and Maixduino* **(E-book), Elektor 2022**
  www.elektor.com/20150



LIENS

[1] Tours de Hanoï - Wikipédia : https://fr.wikipedia.org/wiki/Tours_de_Hano%C3%AF
[2] Tour de Hanoï — Maths Is Fun: https://mathsisfun.com/games/towerofhanoi.html
[3] Discussion avec ChatGPT sur ce projet : https://tinyurl.com/chatgpthanoi
[4] Midjourney - Outil de génération d'images par IA : https://midjourney.com

Bruxelles et l'innovation

soutien aux technologies avancées

Priscilla Haring-Kuipers (Pays-Bas)



Illustration : Midjourney

L'Europe est connue pour ses excellents scientifiques, mais lorsqu'il faut commercialiser les idées, d'autres régions du monde sont à la pointe. C'est pour remédier à cette situation que le Conseil européen de l'innovation (European Innovation Council ou EIC) a été créé en 2021. Je me suis rendue à Bruxelles, avec Isabel Obieta Directeur du Programme « Électronique Responsable » (EIC Programme Manager for Responsible Electronics) et Francesco Matteucci Directeur du Programme "Matériaux avancés pour l'énergie et l'environnement durable" (EIC Programme Manager for Advanced Materials for Energy & Environmental Sustainability), pour présenter les actions de l'EIC pour le soutien de l'innovation éthique.

Priscilla : parlez-nous du Conseil Européen pour l'Innovation

Francesco : l'EIC a été créé en 2021, avec l'objectif de surmonter le paradoxe Européen. En Europe, nous avons les meilleurs scientifiques du monde, mais pas les meilleurs entrepreneurs dans le domaine scientifique. Nous sommes une agence à guichet unique, c'est à dire que nous subventionnons l'ensemble de la démarche d'innovation, depuis l'idée, jusqu'à la commercialisation des produits issus de nos innovateurs en technologie avancée, selon trois schémas de subventionnement : Découverte, Transition et Accélération, incluant l'utilisation des fonds de l'EIC qui favorisent les investissements équitables pour les sociétés bénéficiaires. Il y a deux catégories de recours à l'EIC ; l'un est ouvert à tout type proposition en technologie de pointe et l'autre concerne les challenges identifiés et soutenus par les Directeurs de Programmes.

Priscilla : quel est votre rôle en tant que Directeur de Programme ?

Isabel : nous avons chacun notre propre histoire et nous apportons notre vision personnelle à l'EIC. Ce n'est pas nous qui décidons ce qui doit être financé, mais notre challenge est de trouver des sociétés, dans le monde entier, que nous pensons être pertinentes, et les mettre en relation. En tant qu'éclaireuse à la recherche d'opportunités, j'essaie de suivre une vingtaine de projets, en Transition, je suis cinq projets et en Accélération, environ une dizaine. Je souhaite acquérir les bases de l'électronique et changer la façon dont les dispositifs pourraient être produits selon une approche plus durable, ainsi, je pense que je dois approfondir mes connaissances pour aborder en profondeur cette aventure depuis ses débuts.

Francesco : nous faisons partie de la communauté de notre domaine et nous l'aidons à croitre et innover et mettons en valeur son impact socioéconomique. Nous sommes affectés pour une durée limitée (maximum quatre ans) et collaborons à des challenges d'environ 50 à 100 millions d'Euros sur des sujets spécifiques. J'ai lu de nombreuses publications et rencontré beaucoup de scientifiques, ingénieurs et experts financiers, afin de déterminer où se situait le futur dans mon domaine. J'ai apporté mon aide à des projets dans mon portefeuille scientifique en tendant à minimiser la réinvention de la roue. J'ai rencontré les partenaires de mes projets, les aidant avec un réseau d'investisseurs, chefs d'entreprises et autres personnalités remarquables. Je pense qu'il est de ma responsabilité de stimuler les jeunes scientifiques et entrepreneurs, comprendre ce dont ils ont besoin, afin que cela ait une influence sur ce qu'ils font.

Isabel : nous sommes très ouverts, nous assistons à toutes sortes d'évènements au cours duquel nous pouvons être directement contactés, ainsi de nombreuses personnes le font. Nous agissons afin de comprendre qui-est-qui dans notre



Figure 1. Isabel Obieta.

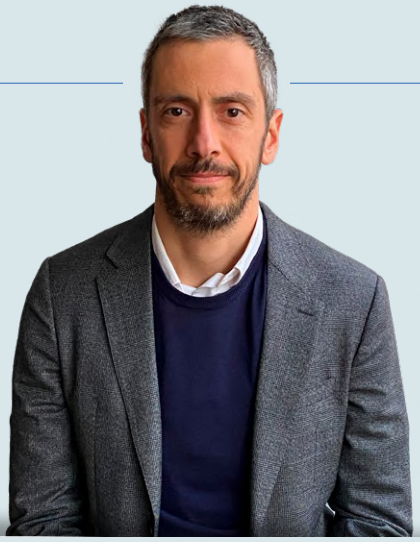


Figure 2. Francesco Matteucci.

domaine et soutenons les projets durant ces journées d'innovation. C'est parfois dans le cadre d'une recherche fondamentale, nous essayons alors de comprendre ce qui se trouve au-delà de l'aspect purement scientifique. Je pense que c'est important, nous sommes tous des experts dans nos domaines, nous pouvons en parler et apporter une contribution réelle.

Francesco : notre rôle ne dépend pas uniquement de notre expérience sur le sujet, mais également des réactions des bénéficiaires. Cela dépend beaucoup de la relation personnelle que nous entretenons, je pense que c'est ce qui rend notre job intéressant. Nous organisons également nos propres évènements en liaison avec le Conseil Européen de la Recherche qui accueille les Prix Nobel, nous y associons les investisseurs et les dirigeants des grandes entreprises ainsi que les entrepreneurs.

Priscilla : quels sont les développements éthiques dans votre domaine ?

Isabel : l'un de mes challenges est l'innovation fondamentale dans les circuits intégrés utilisant les nouveaux matériaux. Il y a déjà des personnes qui travaillent sur l'électronique organique qui pourrait être une piste. Le remplacement du silicium est devenu impossible, mais il se pourrait que pour certains composants spécifiques, un procédé additif pourrait être utilisé à la place du procédé soustractif actuel, ou utiliser moins de matériaux.

Francesco : on parle beaucoup de durabilité, et en particulier, l'impact socioéconomique de l'électronique. Je pense que nous avons besoin de cartographier l'ensemble de la chaine de valeur et créer de bons indicateurs de performances concernant la durabilité.

Isabel : j'entrevois un changement important cette année. Une pression importante vient des règlements, mais il y a également une prise de conscience et un changement provenant des entreprises de fabrication de semi-conducteurs. Je suis assez optimiste.

Priscillia : que pensez-vous que soit la question éthique la plus importante ?

Isabel : un exemple concerne l'industrie 5.0 centrée sur l'humain, où l'on peut aider un employé à mieux accomplir son job, mais aussi se considérer partie prenante de son environnement professionnel. Je pense que l'aspect social de l'électronique est important, nous ne devons pas oublier que l'électronique est là pour nous aider dans notre mode de vie.

Francesco : avons-nous considéré l'approche holistique d'un point de vue environnemental ? Si oui, avons-nous identifié les indicateurs de performances permettant de comparer la solution A avec la solution B ? Par exemple, l'extraction de l'hydrogène nécessite une énorme quantité d'eau fraiche, nous devons donc considérer les problèmes liés à sa distribution. Voulons-nous procurer aux populations l'eau pour survivre, ou extraire de l'hydrogène pour propulser un avion ?

Isabel : il existe des moyens pour tout évaluer. Nous pouvons contrôler les cultures à l'aide de toutes sortes de capteurs, mais est-ce que cela se justifie économiquement, et quels sont les impacts environnementaux liés à leur production et leur déploiement ? Nous essayons de créer des indicateurs qui soient simples, mais réalistes. Il y a également une contribution possible à la communauté de nos bénéficiaires, en les aidant à évaluer ce qu'ils font et le changement que cela peut engendrer.

VF : Jean Boyer — 230489-04

LIENS

[1] Isabel Obieta, responsable du programme pour une électronique responsable : https://eic.ec.europa.eu/isabel-obieta_en

[2] Francesco Matteucci, directeur du programme « Matériaux avancés pour l'énergie et la durabilité environnementale » : https://eic.ec.europa.eu/francesco-matteucci_en

[3] Conseil européen de l'innovation : https://eic.ec.europa.eu/index_en

Conseil européen de l'innovation - Budget total, 10,1 milliards d'euros

"L'EIC (European Innovation Council) est un programme phare Européen, permettant d'identifier, développer et assurer la croissance des technologies de pointe et des innovations qui remettent en cause les pratiques existantes " selon trois axes de financement :

- Pathfinder: research and deep tech projects with a high degree of scientific ambition and risk — up to 4 million euros per project.
- Transition: maturation and validation of novel ideas from lab to business — up to 2.5 million euros per project.
- Accelerator: supporting SMEs to develop and scale up to new markets or disrupt existing ones — up to 2.5 million euros per project.

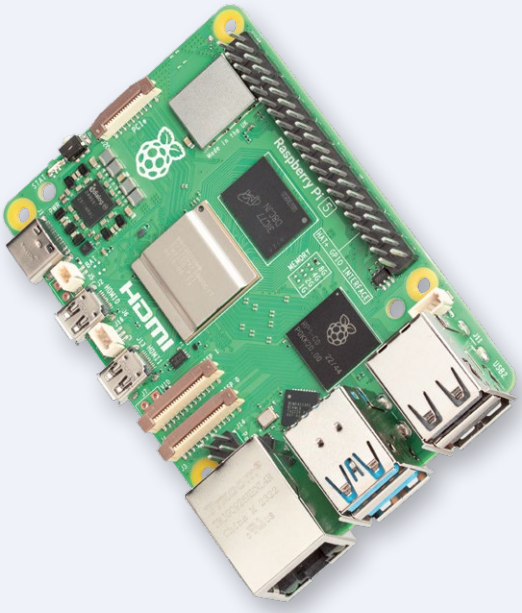
elektorstore

www.elektor.fr

e-choppe Elektor

des produits et des prix surprenants

L'e-choppe Elektor a évolué. D'abord simple commerce de proximité pour nos productions (livres, magazines, kits et modules), c'est désormais une boutique en ligne bien rodée qui propose des produits surprenants à des prix très étudiés. Ce sont les produits que nous aimons et testons nous-mêmes. Si vous avez une suggestion, n'hésitez pas : sale@elektor.fr.



Raspberry Pi 5 (8 Go de RAM)

Le nouveau Raspberry Pi 5 offre plus de performances que jamais. Grâce à un CPU, un GPU et une RAM plus rapides, le Raspberry Pi 5 est jusqu'à 3 fois plus rapide que son prédécesseur déjà rapide. En plus de l'augmentation de la vitesse, le Raspberry Pi 5 (qui intègre la nouvelle puce Raspberry Pi RP1 pour des capacités d'E/S avancées) offre également pour la première fois les fonctionnalités suivantes : RTC, un bouton marche/arrêt et une interface PCIe.

Prix : 94,95 €

www.elektor.fr/20599

Mastering the Arduino Uno R4

Based on the low-cost 8-bit ATmega328P processor, the Arduino Uno R3 board is likely to score as the most popular Arduino family member so far, and this workhorse has been with us for many years. Recently, the new Arduino Uno R4 was released, based on a 48-MHz, 32-bit Cortex-M4 processor with a huge amount of SRAM and flash memory. Additionally, a higher-precision ADC and a new DAC are added to the design. The new board also supports the CAN Bus with an interface.

Prix : 34,95 €

Prix (membres) : 31,46 €

www.elektor.fr/20619



Joy-Pi Advanced – Plate-forme de développement pour Raspberry Pi, Arduino et ESP32



Prix : 369,00 €

Prix (membres) : 332,10 €

www.elektor.fr/20589

PiKVM V4 Plus – KVM sur IP pour Raspberry Pi CM4



Prix : 449,00 €

Prix (membres) : 404,10 €

www.elektor.fr/20580

Kit avancé Raspberry Pi Pico avec 32 modules et 32 projets



Prix : 59,95 €

Prix (membres) : 53,96 €

www.elektor.fr/20581

Affichage tactile HD IPS CrowVi de 13,3" (1920x1080)



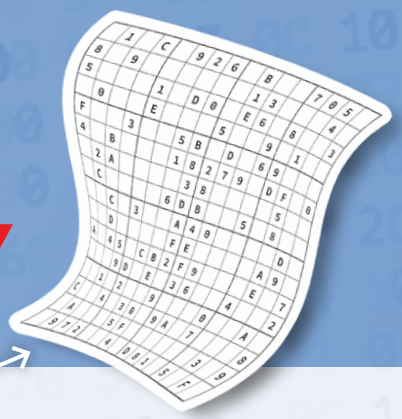
Prix : 199,95 €

Prix (membres) : 179,96 €

www.elektor.fr/20583

hexadoku

casse-tête pour elektroniciens



La dernière page de votre magazine propose toujours une grille de sudoku particulière. Éteignez le fer à souder, oubliez les écrans, rangez les pinces et les fils. Faites travailler votre matière grise d'une autre façon : attrapez un crayon pour remplir la grille d'hexadoku. N'oubliez pas d'envoyer votre réponse pour tenter de gagner un bon d'achat.

Une grille hexadoku est composée de chiffres du système hexadécimal, de 0 à F. Remplissez le diagramme de 16 x 16 cases de telle façon que **tous** les chiffres hexadécimaux de 0 à F (0 à 9 et A à F) n'apparaissent **qu'une seule et unique fois** dans chaque rangée, colonne et carré de 4 x 4 cases (délimités par un filet gras). Certains chiffres, déjà placés dans la grille, en définissent la situation de départ.

Pour participer, inutile de nous envoyer toute la grille, il suffit de nous donner **la série de chiffres** sur fond grisé.



Participez et gagnez !

Nous tirons au sort cinq des réponses internationales correctes reçues dans les délais ; leurs auteurs recevront chacun un bon d'achat Elektor d'une valeur de 50 €.

Où envoyer votre réponse ?

Envoyez votre réponse (les chiffres sur fond grisé) avec vos coordonnées par courriel, avant le **15 décembre 2023** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

LES GAGNANTS

La solution de la grille du numéro de septembre/octobre 2023 est **013BE.**

La liste des gagnants est publiée ici : www.elektormagazine.fr/hexadoku

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

	4	2		D	9					6	0		B	E	
				1	4	6			A	7	E				
	7	E	1	0		2			C		F	9	3	D	
B					A	7	F	9	D	1					6
2	9	4	5	8							C	D	E	7	B
7		A	B	4							6	8	F		C
D			8	7	3	9			B	5	A	1			0
	0			B	C					E	4			9	
	A			F	7					B	1			C	
9			4	5	1	8			3	F	7	B			E
3		6	7	9							5	F	1		4
C	F	1	2	3							9	5	8	0	7
E					B	3	8	1	4	A					9
	1	C	3	A		5			9		8	6	7	B	
				6	F	E			7	C	3				
	8	9		C	0					2	B		A	4	

D	A	E	3	F	B	1	5	8	C	2	6	4	0	9	7
B	F	6	0	C	E	A	7	D	5	9	4	8	1	2	3
4	1	5	8	3	2	0	9	E	7	B	F	6	A	C	D
2	7	9	C	6	D	8	4	A	0	1	3	B	E	5	F
9	0	B	E	7	4	5	6	F	D	8	1	3	2	A	C
3	2	4	6	9	1	C	A	0	B	5	7	D	F	E	8
7	C	A	D	8	3	B	F	9	4	E	2	5	6	0	1
5	8	1	F	D	0	2	E	C	3	6	A	7	9	B	4
6	3	F	9	B	5	7	D	1	E	A	C	2	4	8	0
8	4	0	1	E	F	3	C	2	6	7	5	9	B	D	A
A	5	D	B	4	8	6	2	3	F	0	9	C	7	1	E
C	E	2	7	0	A	9	1	B	8	4	D	F	3	6	5
F	9	C	2	A	6	D	0	4	1	3	8	E	5	7	B
E	D	7	A	1	9	4	3	5	2	C	B	0	8	F	6
0	B	3	5	2	7	F	8	6	A	D	E	1	C	4	9
1	6	8	4	5	C	E	B	7	9	F	0	A	D	3	2

Tout recours est exclu, de même que le sont, de ce jeu, les personnels d'Elektor International Media et leur famille. Un seul gagnant par foyer.

TME
Electronic Components

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

GLOBAL DISTRIBUTOR OF ELECTRONIC COMPONENTS

Vous ne voulez plus attendre une carte PI ?

BPI

EN SAVOIR PLUS



Essayez Banana !

Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.
Łódź, Poland, export@tme.eu

Rejoignez-nous :

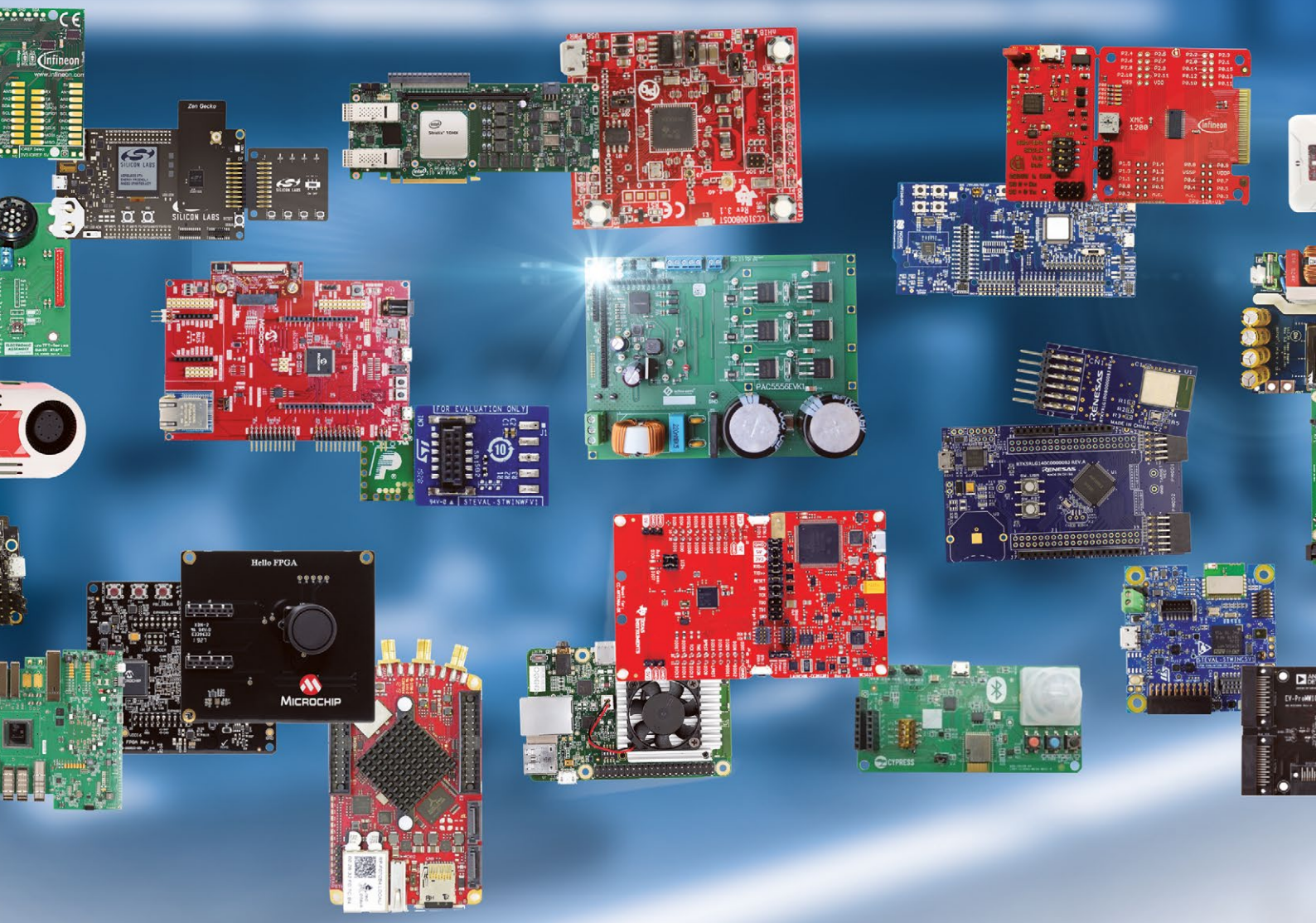
tme.eu

YOU NEED IT, WE HAVE IT!

tme.com

De nombreux outils de développement en un seul endroit

Provenant de centaines de fabricants fiables



Choisissez parmi une vaste sélection de produits sur **mouser.fr/dev-tools**

MOUSER ELECTRONICS



Les humains innovants réfléchissent au potentiel de l'IA depuis des siècles. Il est maintenant temps de tester la technologie.