

140
 PAGES

 amplificateur
 haut de gamme

Fortissimo-100

 projet pour les électroniciens
 et les audiophiles


p. 6

Venez nous rencontrer!


electronica

 November 15-18 2022
 Hall B4.440 Messe München


+ rubrique spéciale

WEEF 2022

Questions d'éthique

Regard sur l'éthique dans les affaires

p. 24

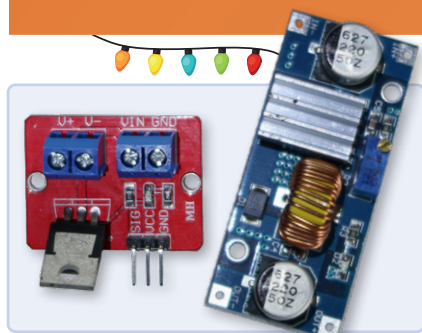
Circuits imprimés

trucs et astuces

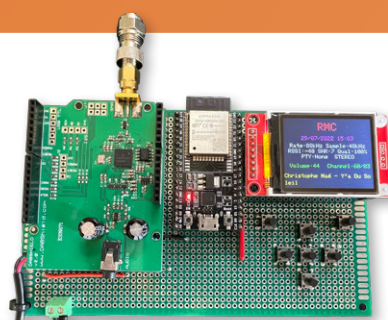
FOCUS SUR

Production et composants

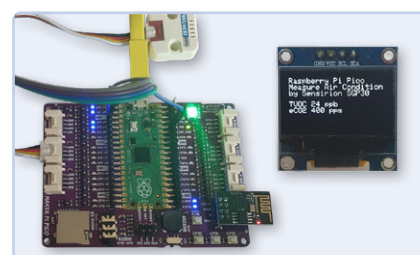
p. 56

 Le COVID-19 a-t-il donné
 un coup de fouet
 à l'innovation en ingénierie ?

 Guirlandes de LED avec ESP32
 et FreeRTOS
 clignotantes et scintillantes

p. 38


 Récepteur FM/DAB+
 le meilleur des deux mondes

p. 46


 Mesure de la qualité de l'air
 avec le RP2040
 visualiser les données
 sur ThingSpeak

p. 120



L 19624 - 498 - F : 15,50 € - RD



NOTRE GAMME PAR DES TECHNICIENS POUR LES TECHNICIENS

The best part of your project: www.reichelt.com/gamme

Uniquement le meilleur pour vous - provenant de plus de 1500 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.

STRUCTURE ENERGY: GÉRER EFFICACEMENT L'ÉNERGIE

Compteur d'énergie triphasé WLAN et commande des contacteurs

Surveillez individuellement la consommation des appareils ménagers, des circuits et des équipements de bureau



N° de commande :
SHELLY 3EM

115,⁹⁴

Shelly

Panneau solaire Jackery SolarSaga 100, pliable, 100 W

Alimentation électrique autonome pour les déplacements et la maison



N° de commande :
JACKERY SOL 100

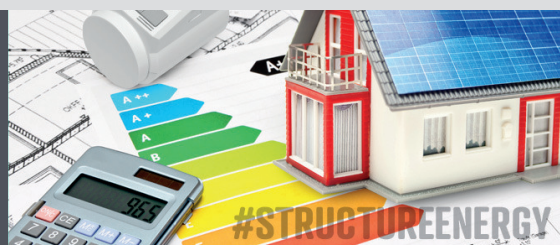
332,⁷⁶

Jackery

INTELLIGENT. OPTIMAL. PRATIQUE.

GÉRER EFFICACEMENT L'ÉNERGIE

Découvrir maintenant ► <https://rch.it/energy>



Types de paiement :



PRIX DU JOUR! Prix à la date du: 18.10. 2022

■ Excellent rapport qualité prix

■ Plus de 130 000 produits sélectionnés

■ Livraison fiable - depuis l'Allemagne dans le monde entier

www.reichelt.com

Assistance téléphonique: +33 9 75 18 03 04

reichelt
elektronik – Tirer le meilleur parti de votre projet

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.it/CG-FR> ou sur demande). Semblables aux illustrations. Sous réserve de coquilles, d'erreurs et de modifications de prix. reichelt elektronik GmbH & Co. KG, Elektronikring 1, 26452 Sande (Allemagne), tél. +33 97 518 03 04

Elektor est édité par :

PUBLITRONIC SARL

c/o Regus Roissy CDG

1, rue de la Haye

BP 12910

FR - 95731 Roissy CDG Cedex

Pour toutes vos questions :

service@elektor.fr

www.elektor.fr | www.elektormagazine.fr

Banque ABN AMRO : Paris

IBAN : FR76 1873 9000 0100 2007 9702 603

BIC : ABNAFRPP

Publicité :

Raoul Morreau

Tél. : +31 (0)6 4403 9907

Courriel : raoul.morreau@elektor.com

DROITS D'AUTEUR :

© 2022 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 – Doetinchem
Distribué en France par M.L.P. et en Belgique par A.M.P.

Jens Nickel

rédacteur en chef d'Elektor Magazine



Le haut de gamme au cœur du labo Elektor

Pour la deuxième fois cette année, vous avez entre les mains une édition extraépaisse de 140 pages. Même notre article vedette est de taille exceptionnelle : l'amplificateur audio haut de gamme Fortissimo-100 d'une puissance de 100/190 W est entièrement symétrique. Avec ses excellentes caractéristiques techniques, cet amplificateur rejoint les rangs des projets d'Elektor similaires que nous avons publiés au fil des décennies. Ton Giesberts s'est inspiré de l'amplificateur « The Discret » de notre laboratoire — un circuit de 1990 que les amateurs audio construisent encore aujourd'hui. Je suis sûr que, dans 30 ans, nous recevrons encore des questions et des requêtes concernant Fortissimo, notamment sur elektor-labs.com.

Avec sa longue liste de composants, l'amplificateur correspond au thème principal de notre numéro : production et composants. Ce n'est pas par hasard que nous nous concentrons habituellement sur ce domaine de l'électronique en novembre. Du 15 au 18 novembre, *electronica 2022* — « le plus grand salon mondial de l'électronique », selon la publicité officielle — se tient à Munich. Ce n'est pas une exagération : dans pas moins de 14 halls d'exposition, nous découvrirons des composants, des cartes et des modules, ainsi que des logiciels et des outils de développement et de production. Vous pouvez vous faire une idée de ce qui vous attend dans notre rubrique *Industrie*, qui commence à la page 56.

Elektor sera également présent au cœur du salon *electronica*, au Hall B4.440. Comme toujours, nous exposerons des produits et des livres intéressants sur notre stand, tandis que les rédacteurs d'Elektor présenteront les dernières tendances. En collaboration avec Messe München, nous organisons le *Fast Forward Award*, pour les jeunes entreprises. Cette année, nous avons recherché pour vous les jeunes entreprises les plus innovantes, dont les domaines vont des robots à quatre pattes aux vélos autonomes. Pour en savoir plus, rendez-vous à la page 95 !

Enfin, j'aimerais également vous inviter au Forum mondial de l'électronique éthique 2022 (WEEF), qui se tiendra le premier jour du salon (hall B3). En collaboration avec le magazine *Elektronikpraxis*, Elektor soutiendra l'éthique dans l'électronique pour la deuxième fois. Entre 10 h et 16 h, des experts reconnus dans le domaine participeront à un « *Ethics Talk Show* » avec nos modérateurs, Stuart Cording et Johann Wiesböck. Les questions et les commentaires sont les bienvenus ! À partir de la page 106, nous vous préparons à cet événement qui revêt une importance croissante.

Au plaisir de vous voir à Munich !

notre équipe



Rédacteur en chef :

Jens Nickel

Rédaction :

Asma Adhimi, Eric Bogers, Rolf Gerstendorf, Thomas Scherer,
Brian Tristram Williams

Laboratoire :

Mathias Claussen, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens

Maquette :

Giel Dols, Harmen Heida, Sylvia Sopamena



Elektor est membre de la FIPP, une organisation qui « se développe depuis presque 100 ans pour réunir des propriétaires de médias et des créateurs de contenu du monde entier ».

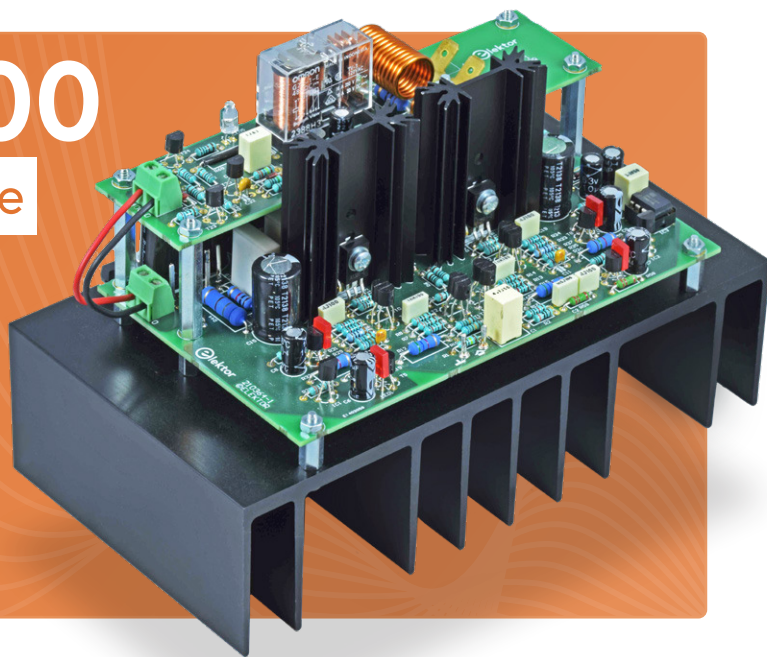


Elektor est membre de VDZ (association d'éditeurs de magazines allemands) qui « représente les intérêts communs de 500 éditeurs allemands grand public et B2B. »

Fortissimo-100

amplificateur haut de gamme

6



Rubriques

3 Édito

21 **FOCUS** Zone D

vérification de la fréquence des quartz et des circuits accordés

43 démarrer en électronique

...avec plaisir, on continue avec les Zener

52 sur le vif

Electronica Obscura

88 **FOCUS** drôle de composant, la série

fusible réarmable CTP

92 visite à domicile

... découvrez le thérémine

95 electronica fast forward 2022 - une initiative d'Elektor

équipe et calendrier

128 rétronique

elekterminal

134 questions d'éthique

Solarpunk : un avenir prometteur

138 hexadoku

casse-tête pour elektorniciens

104 **FOCUS** estimer le bruit interne d'un circuit intégré
méthode simple

114 **logiciel de calcul de filtres**
outils de conception de filtres analogiques

118 **éteins-moi cette télé !**
avec TV-B-Gone

130 **bibliothèque Wand et traitement d'images**
extrait du livre Kickstart to Python 3

Industrie electronica

56 **FOCUS** le COVID-19 a-t-il donné un coup de fouet
à l'innovation en ingénierie ?
Composants et solutions innovants de 2022

61 **FOCUS** Ersä i-CON TRACE
la station de soudage connectée pour professionnels

64 **FOCUS** infographies
Faits et chiffres

66 **qu'allons-nous faire de toute cette informatique ?**

68 **comment piloter l'afficheur E-Paper d'Ynvisible**

72 **innovation de tous les instants chez InnoFaith**
entretien avec Walter Arkesteijn

74 **automatisation industrielle**
rétrofit IoO facile et évolutif

78 **Qt pour le Raspberry Pi**
guide pas à pas pour la configuration du framework
d'interface graphique utilisateur

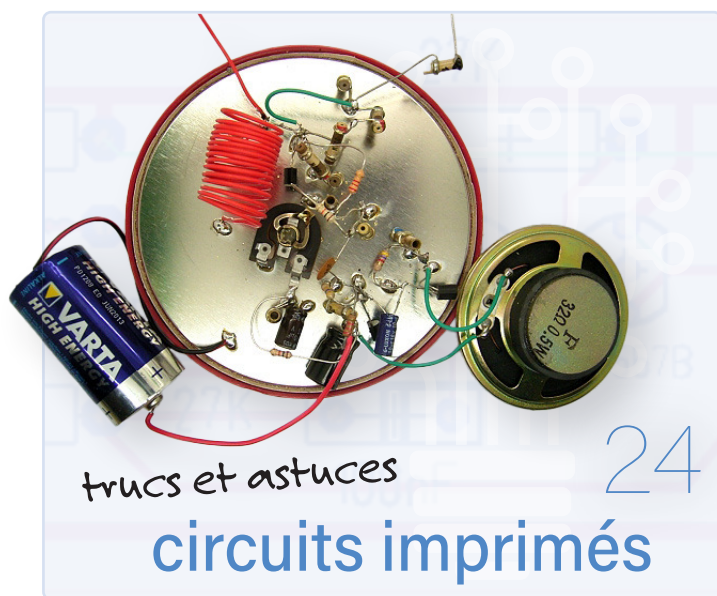
80 **les connecteurs linéaires ultra-plats facilitent
la gestion de données multi-sigaux**

Articles de fond

24 **FOCUS** trucs et astuces pour circuits imprimés

28 **FOCUS** souder — et alors ?
un regard approfondi sur la technologie de soudage moderne

35 **FOCUS** contrôleur de diode idéale
circuits à diodes à faible dissipation de puissance



- 82 intelligents - innovants - rentables**
les FPGA GateMate conçus et fabriqués en Allemagne
- 84 des outils pour soutenir le développement de capteurs à faible coût**

- 98 radiogoniométrie**
retrouver les capteurs météo sans fil égarés
- 120 mesure de la qualité de l'air avec le RP2040**

WEEF 2022

- 106 questions d'éthique**
Initié par WEEF
- 108 éthique et profit, un mariage de raison**
entretien avec le professeur Stefan Heinemann
- 112 l'index WEEF 2023**

Projets

- 6 amplificateur haut de gamme Fortissimo-100**
étage de sortie audio 100/190 W entièrement symétrique
- 32 commande de porte de garage par Bluetooth à réponse rapide**
ouvrez votre porte avec votre smartphone
- 38 guirlandes de LED avec ESP32 et FreeRTOS**
clignotantes et scintillantes
- 46 récepteur FM/DAB+**
le meilleur des deux mondes
- 54 procédé sans fil de débogage de micrologiciels**
tampon circulaire et serveur web sur l'ESP32
- 89 sortie analogique isolée pour Arduino Uno**

Bientôt dans ces pages

Le numéro de novembre-décembre 2022

Vous retrouverez dans le prochain magazine Elektor l'habituel mélange stimulant de réalisations originales, de circuits soigneusement étudiés, d'articles de fond, de sujets nouveaux, de trucs et d'astuces pour les électroniciens actifs. Le thème de ce numéro sera « électronique audio et vidéo ».

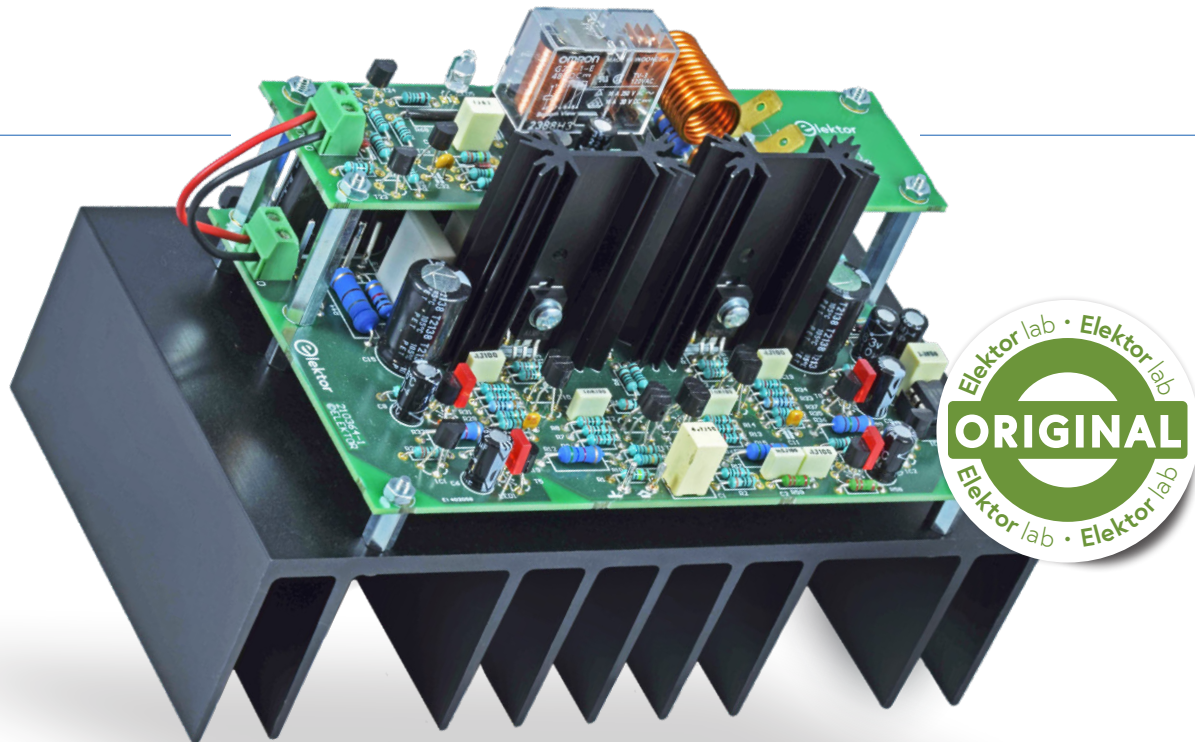
Quelques-uns des points forts :

- sortie vidéo avec microcontrôleurs
- caméra ESP32
- amplificateur de casque 32 Ω
- atelier: framework de développement audio pour ESP32
- satellites Spacebee pour la communication LoRa
- amplificateur à tubes
- ChipTweaker
- générateur de nombres aléatoires USB True
- alimentation ATX pour Raspberry Pi

Et bien d'autres choses encore !

Le numéro de janvier-février 2023 du magazine Elektor sera publié aux alentours du 5 janvier 2023. La date d'arrivée du magazine papier chez les abonnés dépend des aléas d'acheminement. Le contenu et les titres des articles peuvent être modifiés.





Amplificateur haut de gamme Fortissimo-100

Étage de sortie audio 100/190 W entièrement symétrique

Ton Giesberts (Elektor)

Il est désormais possible d'acheter des modules amplificateurs numériques pour des prix modérés, mais les amateurs audio haut de gamme font généralement la fine bouche à propos du son. En revanche, nos lecteurs aiment toujours construire les anciens circuits Elektor. Notre tout nouvel amplificateur, Fortissimo-100, va intriguer les électroniciens et les audiophiles : THD+N : 0,000,8 % à 50 W dans une charge de 8 Ω , puissance maximale 98 W dans 8 Ω ou 188 W dans 4 Ω avec THD $\leq$ 1 %. Les électroniciens trouveront pratique que seuls des composants traversants soient utilisés. Curieux ? Lisez la suite et chauffez votre fer à souder.

Lors de la réalisation de cet amplificateur haut de gamme, je me suis inspiré d'un ancien circuit d'Elektor conçu il y a plus de 30 ans, mais toujours aussi performant : *The Discret* [1] d'octobre 1990. Grâce à son circuit sophistiqué entièrement symétrique, cet amplificateur est toujours fiable et considéré haut de gamme. La question est de déterminer si le circuit peut être amélioré. Ma réponse est *Fortissimo*, qui signifie « Oui, certainement ! ».

Principes de bases

La **figure 1** montre la partie puissance de l'ancien étage de sortie (jaune clair) et le nouvel étage de sortie (bleu clair). La nouvelle version fonctionne également en classe AB, mais l'étage de commande est désormais implémenté dans une configuration symétrique d'amorçage. Les principales différences sont marquées en rouge. Sur le côté droit de la figure, les condensateurs C15 (le nœud entre R44/R45 et la sortie) et C16 (le nœud entre R46/R47 et la sortie) fournissent des tensions nettement plus élevées aux bases de T17 et T18. Le principal avantage est que l'étage de puissance construit avec des transistors de sortie peut être commandé avec des tensions plus élevées, de sorte que la tension de sortie maximale est supérieure de plus de 2 V sans nécessiter des tensions d'alimentation supérieures pour les étages d'amplification de tension. L'une des caractéristiques intéressantes de ce nouveau

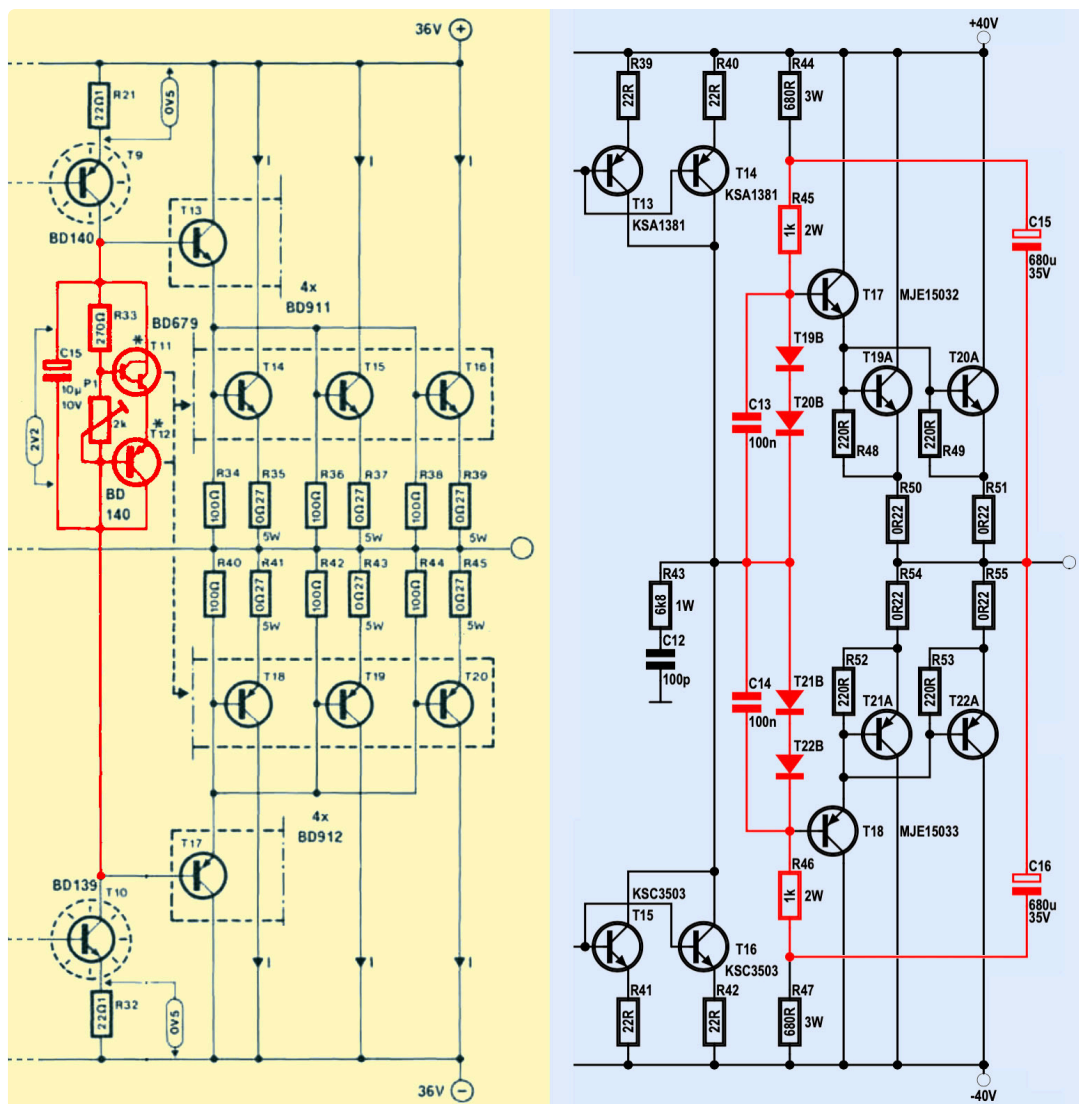


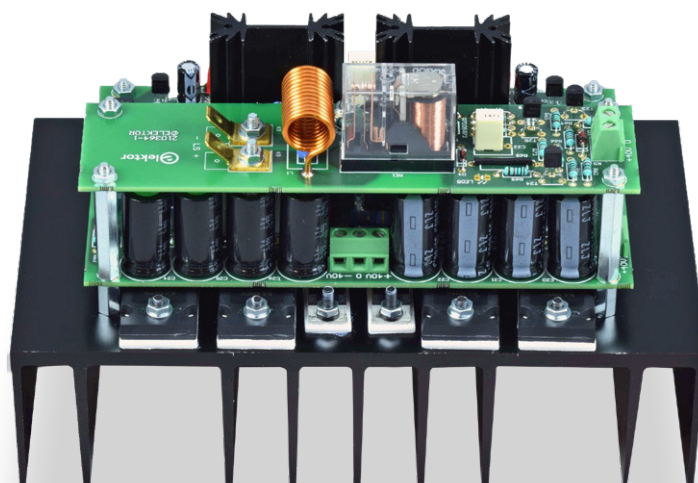
Figure 1. Comparaison entre l'ancien (à gauche) et le nouveau circuit (à droite) : réglage du courant de repos et amorçage symétrique.

circuit est qu'il ne nécessite pas de tension de polarisation réglable pour ajuster le courant de repos. Au lieu de cela, il comporte quatre diodes (T19B - T22B) connectées en série. La chute de tension sur ces diodes correspondant à la tension sur les quatre nœuds BE du circuit composées de T17 à T22A. Comme vous l'aurez deviné d'après leurs désignations, il s'agit de diodes supplémentaires intégrées aux transistors de puissance T19 à T22. Le couplage thermique de ces diodes est excellent, ce qui permet d'obtenir un courant de repos assez stable avec un circuit extrêmement simple. Ce couplage thermique est une caractéristique intéressante qui explique pourquoi les transistors complémentaires, NJL3281D (NPN) et NJL1302D (PNP) [2], sont appelés « ThermalTrak ».

Pour obtenir une puissance de sortie optimale, l'amplificateur nécessite des tensions d'alimentation symétriques réglées de ± 40 V. Pour une charge de 8Ω , la puissance maximale avec une distorsion (THD) $\leq 1\%$ est de près de 100 W, et pour une charge de 4Ω , elle est presque le double (voir l'encadré « **spécifications techniques** » à la fin de l'article).

De plus, le CI est double-face et avec trous métallisés, ce qui simplifie la construction de l'amplificateur. Les six transistors de puissance de l'étage de sortie sont centrés en dessous du CI qui est monté avec le circuit de protection, sur le dissipateur thermique. On obtient ainsi un module compact (**figure 2**). Ce montage ne nécessite que six trous de 3 mm dans le dissipateur thermique pour les transistors de puissance, plus six autres pour les entretoises. Si vous utilisez le dissipateur thermique SK53-100-SA de *Fischer Elektronik*, vous n'avez pas besoin de tarauder les filets M3, car les douze trous requis tiennent parfaitement entre les ailettes du dissipateur thermique. Il y a même une marge de tolérance pour les imprécisions. La partie mécanique de la construction

Figure 2. Le module amplificateur compact entièrement assemblé.



de l'amplificateur est probablement la plus compliquée. Nous y reviendrons plus tard.

Circuit

Le circuit de base de l'amplificateur (**figure 3**) peut être divisé en trois parties. Nous trouvons d'abord l'étage d'entrée avec des amplificateurs différentiels symétriques, puis l'étage *push-pull* qui, à son tour, commande l'étage de sortie. Un circuit de protection complète le tout. Tous ces aspects sont abordés plus en détail ci-dessous.

Amplificateurs différentiels

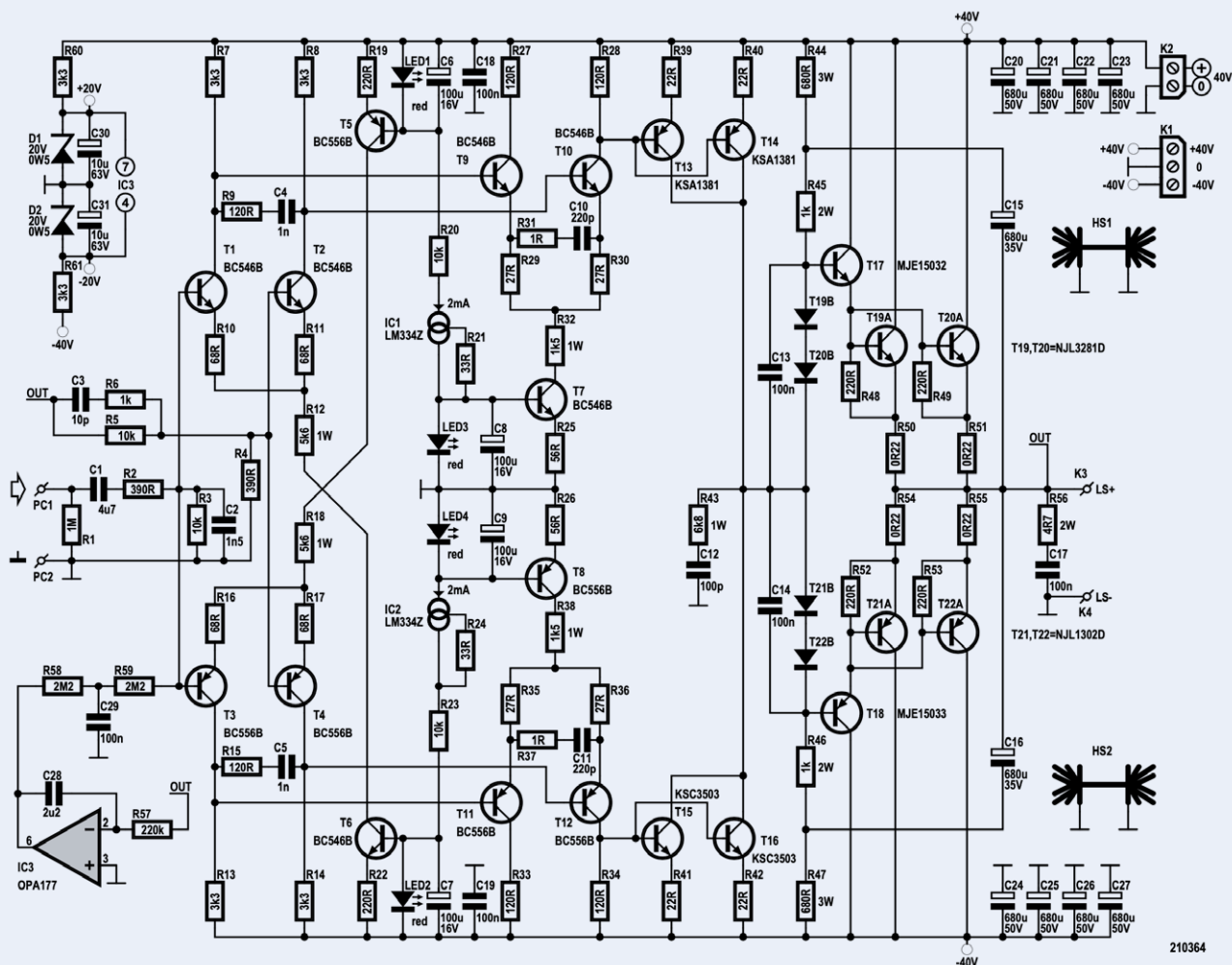
Les amplificateurs différentiels construits autour de T1/T2, T3/T4, T9/T10 et T11/T12 sont réalisés avec les fameux transistors BC546B/BC556B. Ceux-ci ont une fréquence de transition plus élevée que les versions ultérieures, notamment la paire KSC1845/KSA992. Remplacer les transistors BC546B et BC556B peut entraîner des problèmes, car leurs caractéristiques influencent la stabilité. Dans de nombreux cas, les autres types ont des brochages diffé-

rents. Vous aurez alors besoin d'autres réseaux de transistors pour compenser la fréquence, et peut-être d'un circuit complètement différent.

Les LED rouges rectangulaires placées à proximité des différents transistors fournissent des tensions compensées en température pour les sources de courant des amplificateurs différentiels. Pour limiter la dissipation de puissance des transistors sources de courant T5 – T8, nous avons utilisé des résistances de 1 W (R12, R18, R32, et R38) connectées en série avec leurs collecteurs. Les deux sources de courant intégrées, IC1 et IC2, ainsi que les résistances R21 et R24, stabilisent le courant traversant les LED à 2 mA. Bien que la tension nominale maximale des sources de courant intégrées soit suffisante pour les 40 V utilisés ici, par sécurité, les deux résistances R20 et R23, de 10 kΩ, sont connectées en série pour réduire la tension appliquée à moins de la moitié.

Le réseau de contre-réaction R4/R5 donne un gain global de 26,6. À cause de la (faible) chute de tension sur R2, le gain est réduit à environ 25,6. Le condensateur C2, ainsi

Figure 3. Le circuit du module amplificateur Fortissimo est entièrement symétrique.



210364

que les résistances R2 et R3, atténuent les signaux haute fréquence que l'amplificateur ne peut pas supporter. La tension d'entrée maximale pour avoir un signal de sortie non écrêté est légèrement supérieure à 1 V. C3 et R6 dans la boucle de contre-réaction assurent la stabilité à haute fréquence.

Pour des raisons de stabilité, nous avons placé des réseaux RC R9/C4 et R15/C5 entre les collecteurs des premiers amplificateurs différentiels construits autour de T1/T2 et T3/T4 afin de les compenser en fréquence. Les amplificateurs différentiels en aval construits autour de T9/T10 et T11/T12 fournissent un gain supplémentaire. Ils sont essentiellement destinés à commander à basse impédance l'étage amplificateur push-pull suivant, construit autour de T13 à T16. Les réseaux, R31/C10 et R37/C11, assurent également une compensation en fréquence.

Les résistances des collecteurs R27 et R33 permettent de maintenir égales les tensions collecteur-émetteur des deux transistors du second amplificateur différentiel. La différence de tension entre R27 et R28 et entre R33 et R34 doit être $\leq 0,35$ V (encore mieux, $\leq 0,1$ V), car, sinon, la tension U_{BE} et le gain h_{FE} des transistors du premier amplificateur différentiel ne seraient pas assez proches les uns des autres. Malgré leur positionnement rapproché, le couplage thermique des paires de transistors n'est pas aussi bon qu'avec un transistor double, car ils ne sont pas dans le même boîtier sur le même dé. Par conséquent, il peut y avoir des écarts mesurables.

Ces transistors ne sont pas disponibles en paires. Cela signifie que vous devez d'abord mesurer leurs caractéristiques, puis sélectionner les paires qui vont bien. La mesure du h_{FE} , par exemple avec un multimètre, ne suffit pas ici. Les valeurs d' U_{BE} ne doivent pas différer de plus de 1 mV pour une même tension collecteur-émetteur et un même courant collecteur. Si la tension U_{BE} de la paire des transistors NPN n'est pas la même que celle de la paire PNP, ce n'est pas un problème. La procédure de sélection des paires appariées à l'aide du circuit de test de la **figure 4** est décrite dans l'encadré « **Choix des transistors** » à la fin de l'article. Notez que les mesures dépendent fortement de la température ambiante.

Étage Push-Pull

T10 et T12 commandent un étage *push-pull*. Les deux paires de transistors de commande connectées en parallèle — T13||T14 (PNP) et T15||T16 (NPN) en boîtiers TO-126 ou SOT-32 — maintiennent le courant de collecteur de chaque transistor dans la région linéaire, même lorsque la sortie est maximale. Ce double courant de commande améliore la commande par rapport à la capacité parasite de l'étage de sortie. Nous utilisons ici les transistors complémentaires KSC3503 et KSA1381 d'*ON Semiconductor* (anciennement *Fairchild Semiconductor*). Ils sont bien adaptés à cet effet : avec une tension V_{CEO} de 300 V, ils peuvent non seulement supporter des tensions élevées, mais ont

également une capacité inverse C_{re} de seulement 1,8 pF (NPN) ou 2,3 pF (PNP) et un gain linéaire à des courants de collecteur allant jusqu'à 50 mA (courant de collecteur maximal de 100 mA).

Ces transistors sont disponibles dans les classes h_{FE} , C, D, E et F. Malheureusement, *ON Semiconductor* ne propose que le KSC3503 de type NPN en classe D (h_{FE} 60 - 120) et le KSA1381 de type PNP en classe E (h_{FE} 100 - 200). Idéalement, les transistors NPN et PNP devraient être de la même classe, mais les résistances d'émetteur R39/R40 et R41/R42 compensent largement les différents gains en courant. Le courant à travers chacun des quatre transistors est fixé à environ 13 mA. Cela correspond à leur tâche affectée, et la fréquence de transition est maximale à ce courant.

En l'absence d'un signal d'entrée, la puissance dissipée de chaque transistor est d'environ 510 mW. Pour évacuer la chaleur, chaque paire de transistors parallèles est montée sur un dissipateur thermique. Les dissipateurs HS1 et HS2 sont de type SK104 de *Fischer Elektronik*, avec des trous pour les boîtiers TO-220, SOT-32, ou TO-3P. Le boîtier TO-126 est également compatible. La résistance thermique du SK104 de 50,8 mm de long est de 9 K/W, donc sa température sera d'environ 10 K au-dessus de la température ambiante lorsque les deux transistors y seront montés. À cause de la résistance thermique du boîtier (17,8 K/W), le silicium des transistors sera encore plus chauffé de 9 K. Bien que les dissipateurs thermiques soient au potentiel de la masse, vous n'avez besoin d'aucune isolation supplémentaire pour les transistors. Un peu de pâte thermique est suffisant, puisqu'ils ont chacun un boîtier en plastique.

Étage de sortie

L'étage de sortie est construit autour des transistors T17 - T22A. Il s'agit d'un transistor Darlington pour un fonctionnement en classe AB. Dans la plupart des amplificateurs de puissance analogiques, y compris l'amplificateur *The Discret* mentionné précédemment, le courant de repos des transistors de puissance est réglé par un transistor monté sur le même dissipateur thermique, dans un circuit dont le fonctionnement est similaire à une diode Zener (multiplication de la tension

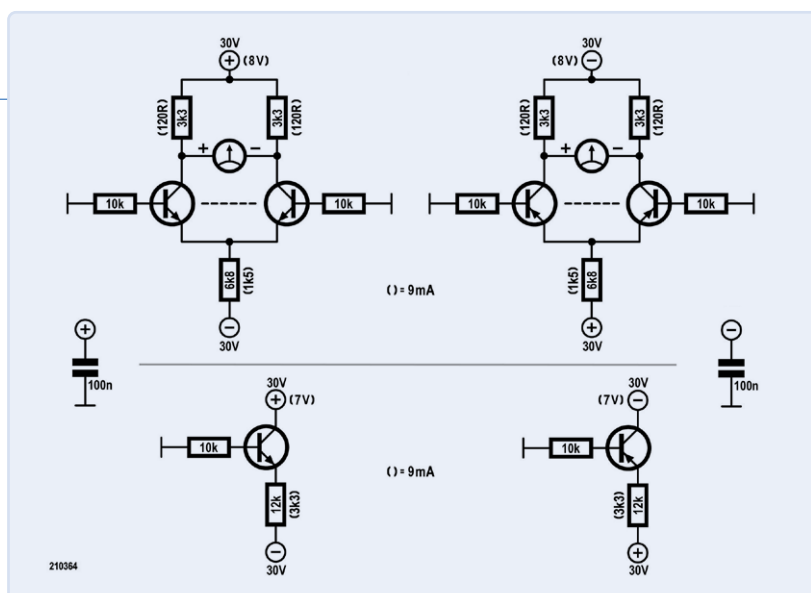
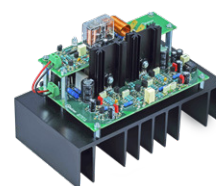


Figure 4. Vous pouvez construire le circuit de test permettant de mesurer les transistors à petits signaux afin de déterminer les meilleures paires possibles sur une plaque d'essai.



U_{BE}), qui assure la stabilisation de la température. Fortissimo est différent : ici, chacun des quatre transistors de puissance (T19 – T22) a une diode isolée galvaniquement intégrée dans son boîtier, représentée sur le circuit par T19B – T22B. Ces diodes détectent directement la température des jonctions des transistors de puissance, ce qui les rend plus efficaces pour le réglage du courant de repos de ces transistors. Avec quatre transistors de puissance, quatre diodes sont disponibles. Il suffit alors de les connecter en série pour compenser les quatre tensions efficaces base-émetteur des transistors de puissance, T19A||T20A et T21A||T22A, et de leurs pilotes, T17 et T18.

Bien que cette méthode soit meilleure, elle n'est pas parfaite à cause de la détection indirecte du courant de T17 et T18. Elle ne peut donc pas empêcher entièrement la dérive du courant de repos en fonction de la température. Cependant, ce circuit permet d'éviter le claquage thermique. Le courant traversant les quatre diodes est réglé à environ 23 mA par les quatre résistances de puissance, R44 – R47. Ces résistances font également partie d'un circuit d'amorçage symétrique avec C15 et C16, rendant le courant à travers les diodes presque indépendant de l'amplitude de la tension. L'amorçage fournit également une plus grande amplitude de tension de sortie. À pleine puissance, la chute de tension sur les résistances R39 – R42 et les tensions de saturation de T13 – T16 sont largement compensées par les tensions de T19B – T22B.

Important : Le courant de repos des transistors de puissance dépend du courant traversant les résistances R44 – R47. Cela signifie que l'alimentation de ± 40 V doit être régulée dans une plage assez étroite. Nous déconseillons l'utilisation d'une alimentation constituée uniquement d'un transformateur avec un pont redresseur et de condensateurs de filtrage électrolytiques avec cet amplificateur. Avec ce circuit, le courant de repos aurait une faible composante d'ondulation et la tension d'alimentation varierait en fonction de la charge, de la puissance de sortie et de la tension secteur, ce qui dégraderait les caractéristiques de l'amplificateur. D'excellentes alimentations à découpage spécialement conçues pour les amplificateurs de puissance audio, notamment le SMPS800RE, sont désormais disponibles. De nombreuses autres alimentations sont conçues pour les amplificateurs de classe D et ont une tension de sortie qui varie avec la tension secteur. Elles ne sont absolument pas adaptées. Une alimentation à découpage convenable doit fournir une tension de sortie symétrique stable de ± 40 V qui ne s'effondre pas aux pics de courant se produisant dans le circuit, même avec une charge à faible impédance de 4 Ω (par exemple).

La tension aux bornes de R45 et R46 est toujours constante, de 23,4 V et est pratiquement indépendante du signal de sortie. La puissance dissipée de chaque résistance est d'environ 550 mW. La tension continue aux bornes de R44 et R47 est d'environ 15,9 V, mais la tension

alternative du signal de sortie s'y superpose à cause des condensateurs d'amorçage C15 et C16. Il est possible de calculer la valeur efficace d'une tension sinusoïdale avec un décalage CC avec cette formule :

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{(U_{\text{DC}}^2 + U_{\text{ACpeak}}^2 / 2)}$$

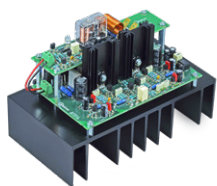
Si la tension CC U_{DC} est de 15,9 V et la valeur crête du signal sinusoïdal U_{ACpeak} est de 39 V, la puissance dissipée sur 680 Ω est de 1,5 W. En cas de suramplification avec un écrêtement maximal, la forme d'onde est carrée avec des tensions de crête proches des tensions d'alimentation. Dans ce cas, la puissance dissipée par R44 et R47 est de 2,6 W chacune. En fait, cela ne devrait jamais se produire, mais nous avons utilisé des résistances de 3 W pour éviter de les griller. Des résistances de 2 W sont suffisantes pour R45 et R46. Le calcul de la puissance dissipée par ces résistances dépend également de la température ambiante.

Correction CC

Idéalement, les deux paires de transistors d'entrée auraient le même h_{FE} , de sorte que les courants de base de T1 et T3 se compenseraient. Mais, même si les valeurs h_{FE} des deux paires de transistors sont identiques, les chutes de tension sur LED1 et LED2 diffèrent légèrement car les LED, comme les transistors et les résistances, ont des tolérances. Cela entraîne des décalages dans le réglage de la tension continue, et même ces petits décalages sont amplifiés. Les mesures ont montré que le gain d'un BC556B est supérieur à celui d'un BC546B, mais même cela dépend du fabricant.

La différence des courants des bases des transistors NPN et PNP produit des tensions de décalage différentes sur R3 et R4, puisque leurs valeurs sont très différentes (10 k Ω et 390 Ω). On peut ignorer la chute de tension sur R4. Le décalage est ensuite amplifié et doit donc être compensé. Ceci est réalisé avec l'ampli op IC3. L'ampli op choisi, l'OPA177, présente un décalage d'entrée intrinsèque très faible. Agissant comme un intégrateur, l'ampli op mesure la composante continue de la tension de sortie via R57. La tension de sortie de l'ampli op ajoute un très faible courant continu de contre-réaction à R3 via R58/R59/C29, ce qui corrige le décalage à presque 0 V. Le condensateur C29 filtre les composantes résiduelles de la tension alternative provenant de IC3. Le décalage établi par les différentes tensions base-émetteur des transistors d'entrée est également compensé. En raison de toutes les tolérances, la tension sur R3 ne sera probablement pas exactement 0 V, même si la tension de sortie est proche de 0 V. En pratique, il y aura un petit décalage sur R3. Dans notre prototype, la tension de décalage sur R3 était d'environ 0,7 mV.

Les tensions d'alimentation symétriques de ± 20 V pour l'ampli op sont dérivées de l'alimentation de ± 40 V via les résistances R60 et R61 et les diodes Zener D1 et D2.



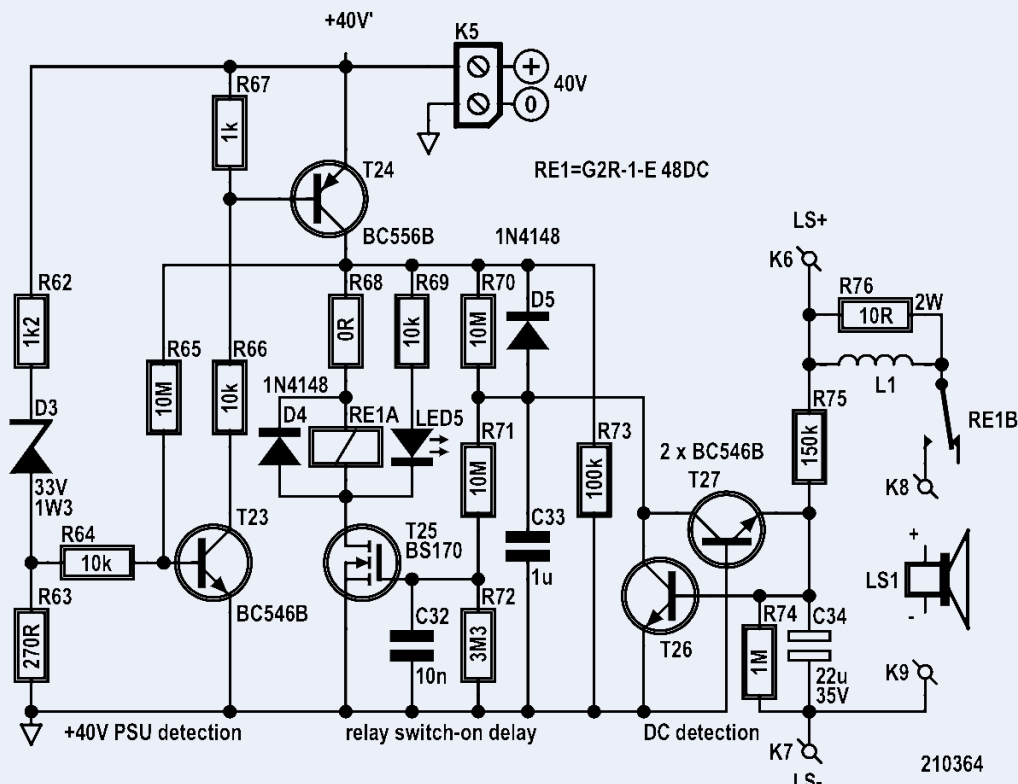


Figure 5. Le circuit de protection du Fortissimo permet d'éviter d'endommager le haut-parleur par des tensions continues et des bruits intenses lors de l'allumage.

Protection

Dans le cas où une tension continue est à la sortie ou que d'autres dysfonctionnements se produisent, il est judicieux de déconnecter le haut-parleur. La **figure 5** montre le circuit de protection. Les transistors T26 et T27 font partie du circuit de détection de la tension continue. Après un délai de mise en marche, T24 et T25 activent le haut-parleur par un relais. Une tension continue au niveau de R75 produit un courant de collecteur de T26 qui décharge C33. Ensuite, T25 éteint le relais. Une tension continue négative correspondante au niveau de R75 produit un courant d'émetteur de T27 qui décharge C33. Ensuite, T25 éteint le relais. R75 et C34 forment un filtre passe-bas permettant de distinguer les basses fréquences audio des tensions continues, même à un signal de sortie maximal.

Pour déconnecter le haut-parleur lorsqu'on allume ou éteint l'amplificateur, T23 coupe le relais via T24 lorsque la tension d'alimentation est trop faible. R65 fournit un faible hystérésis. La mise sous tension se produit à des tensions $\leq 36,7$ V, et la mise hors tension à des tensions $\leq 36,5$ V. Ces tensions sont définies par la diode Zener D3. Le courant à travers D3 est fixé à environ 5 mA à 40 V par R62 plus R63. La tension à R63 est évaluée par le déclencheur de Schmitt composé de T23, T24, et R64 - R67. L'hystérésis empêche le claquement du relais en cas de légères perturbations ou de faibles variations de la tension d'alimentation à forte puissance de sortie. Le MOSFET T25, en combinaison avec le réseau retardeur formé par R70, R71, R72 et C33, assure un retard de mise en marche qui empêche tout ploc du haut-parleur, puisqu'il n'est connecté que lorsque la tension d'alimentation est suffisamment élevée et que l'amplificateur s'est stabilisé. R73 et D5 déchargent C33 rapidement lorsque

T24 est bloqué. Cela garantit un délai de déclenchement défini pour le relais à la prochaine mise sous tension ou en l'absence d'une tension continue à la sortie. Les résistances à la grille de T25 ont une valeur de résistance suffisamment élevée pour qu'une capacité relativement faible de C33 soit suffisante pour obtenir un délai adéquat. Cela permet d'utiliser un condensateur film, ce qui est préférable, car les condensateurs électrolytiques ont généralement des courants de fuite élevés et vieillissent plus vite. Avec 1 μ F pour C33, le délai est d'environ 3,5 s. Le relais G2R-1-E DC48 a une tension de fonctionnement de 48 V, et ses contacts supportent un courant jusqu'à 16 A. Selon la fiche technique, il peut commuter environ 5 A à 40 V CC. Le relais s'enclenche à 70 % de la tension nominale de la bobine. Cela signifie que 34 V sont suffisants pour l'activer. Dans tous les cas, les 40 V disponibles sont plus que suffisants. Si vous utilisez un autre relais avec une tension de bobine inférieure (par exemple 24 V), vous devez remplacer la résistance R68 de 0 Ω (ou le pont) par une résistance de valeur adéquate. Par exemple, le relais G2R-1-E DC24 de 24 V a une résistance de bobine de 1,1 k Ω . La valeur de la résistance peut alors être calculée comme suit :

$$R68 = (40 \text{ V} - 24 \text{ V}) / 24 \text{ V} \times 1,1 \text{ k}\Omega = 733 \Omega$$

La valeur supérieure ou inférieure suivante de la série de résistances E12 conviendrait. À 680 Ω , la tension de la bobine serait de 24,7 V, et, à 820 Ω , elle serait d'environ 23 V. Nous pouvons ignorer ici la chute de tension sur T23 et T24. La dissipation de puissance par R68 est d'environ 350 mW avec une résistance de 680 Ω , donc il est possible de monter une résistance de 1 W sur la carte.

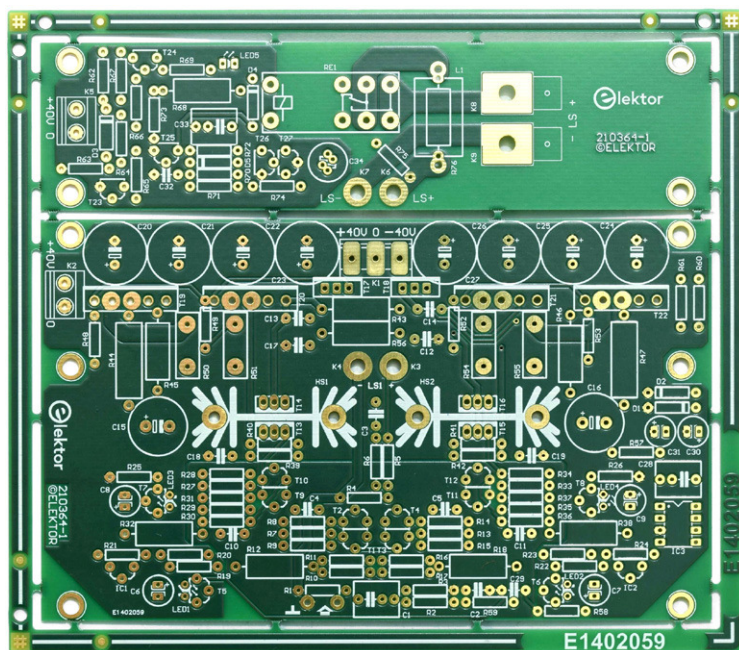


Figure 6. Circuit imprimé double face, à trous métallisés, du prototype. Les fichiers des deux circuits imprimés sont disponibles en téléchargement. [3].

Construction

Le montage des transistors de puissance T17 - T22 et la carte sont conçus pour faciliter la construction de l'amplificateur. La partie mécanique du travail consiste à percer douze trous de 3 mm pour fixer les transistors et les CI (figure 6) à l'arrière du dissipateur thermique. Il y a assez d'espace entre les ailettes du dissipateur SK53-100-SA de Fischer Elektronik pour les têtes des vis de 3 mm. Le CI de l'amplificateur est fixé au dissipateur thermique avec des entretoises métalliques de 10 mm avec filetage M3. Pour obtenir une faible résistance thermique, nous isolons les transistors avec des pastilles céramiques (alumine). Dans la dernière étape de la construction, vous devez appliquer une couche très fine de pâte thermique à l'arrière des transistors et sous les pastilles déposés sur le dissipateur thermique. Évitez le contact avec la peau, car beaucoup de ces pâtes sont toxiques.

Le circuit de protection illustré à la figure 5 est placé sur un deuxième CI plus petit (en haut de la figure 6), monté au-dessus de la carte de l'amplificateur sur six entretoises supplémentaires de 30 mm. Les contacts K3 et K4 de la carte d'amplificateur connectent la sortie de l'amplificateur aux contacts K6 et K7 de la carte de protection via deux de ces supports. Ensuite, K7 est connecté directement à K9 ou à la borne de sortie LS-. En revanche, K6 est relié par L1 aux contacts du relais et, de là, à K8 ou à la borne de sortie LS+. Ici, les pistes sont acheminées des deux côtés de la carte pour assurer une faible résistance. Les connecteurs à lames K8 et K9 offrent une faible résistance de transfert au câble du haut-parleur. Les entretoises ont un filetage interne à une extrémité et un goujon fileté à l'autre. Le filetage interne est orienté vers le dissipateur thermique, et les goujons filetés passent dans les trous de la carte de protection. Enfin, vous devez placer toutes les têtes de vis à l'arrière du dissipateur thermique. Les vis noires sont relativement discrètes à l'arrière du dissipateur thermique (voir figure 7). Nous avons utilisé six vis cruciformes M3x12 pour monter le CI dans le prototype. Pour les transistors de commande en boîtiers TO-220, des vis de 12 mm étaient également suffisantes, mais à l'époque, les vis noires n'étaient disponibles que sous forme de vis à tête hexagonale M3x16 chez Conrad. Il existe sûrement d'autres fournisseurs.

Figure 7: Face arrière du grand dissipateur thermique. Les douze têtes de vis noires sont à peine perceptibles.



Figure 8. Le CI de l'amplificateur fixé avec du ruban adhésif sert de gabarit pour marquer les trous à percer.

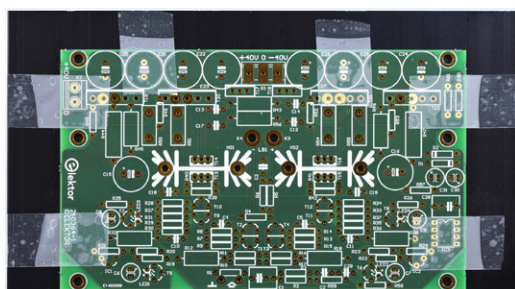
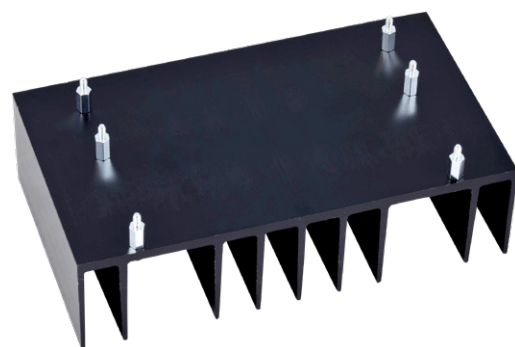


Figure 9. Le grand dissipateur thermique avec six entretoises de 10 mm pour le montage de la carte d'amplificateur.



Dissipateur thermique

Commencez par poser la carte sur le dissipateur thermique comme indiqué sur la figure 8 et fixez-la avec du ruban adhésif. La carte doit être centrée horizontalement et son bord inférieur (où se trouve C1) doit être à 1 mm du bord du dissipateur thermique. La photo montre la carte temporairement fixée avec du ruban adhésif afin de servir de gabarit pour marquer l'emplacement des trous pour les six entretoises métalliques.

Une mèche de 3,5 mm convient pour marquer les trois trous de chaque côté (gauche et droite). Tournez-la à la main, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre,

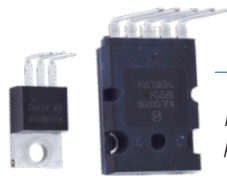


Figure 10. Les pattes des transistors de puissance doivent être pliés, comme illustré ici.

dans les six trous en pressant un peu. Ainsi, vous ne risquez pas d'endommager le circuit imprimé. Veuillez toutefois noter que K3 et K4 ne sont pas marqués. La carte est disposée de manière que les trous soient situés entre les ailettes du dissipateur thermique avec une distance d'isolement suffisante. Ensuite, percez les trous avec une mèche de 3,2 mm et vissez fermement les six entretoises de 10 mm. Votre prototype doit ressembler à la **figure 9**. Si la carte tient facilement sur les six goujons filetés, tout est parfait. Si ce n'est pas le cas, vous pouvez ajuster un ou plusieurs trous.

Avant de commencer le montage, pliez fermement toutes les pattes de T17 – T22 perpendiculairement aux faces avant des transistors (voir **figure 10**). Pour éviter d'appliquer une force sur les boîtiers des grands transistors de puissance T19 – T22 lors du pliage, serrez les pattes près du boîtier dans un étau avec un foret de 2 mm entre les mâchoires. Vous pouvez ensuite plier toutes les pattes vers la face avant du transistor à l'aide d'un morceau de tôle appropriée. Il est possible de plier les pattes des petits transistors T17 et T18 avec une pince. Veillez à les plier à 1 mm du point où elles deviennent plus larges vers le boîtier.

Pour marquer les trous des six transistors, placez-les sur leurs pastilles thermiques et insérez leurs pattes dans les trous du CI. La carte doit être posée sur les six goujons filetés. Après un peu d'ajustement, l'assemblage devrait ressembler à la **figure 11**. Ensuite, marquez les positions des six trous comme précédemment, avec une mèche de 3 mm. Comme avant, tournez-la à la main dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Dans le prototype, les quatre trous pour T19 – T22 étaient à environ 8,8 mm du bord du dissipateur thermique, et ceux pour T17 et T18 à environ 11,5 mm. Bien sûr, cela dépend de la précision avec laquelle les pattes des transistors sont pliées, donc cela peut être différent dans votre cas. La **figure 12** montre les emplacements marqués des six trous de montage des transistors, et la **figure 13** montre ces trous totalement percés.

Ensuite, fixez les transistors et les pastilles en céramique avec des vis. Ne serrez pas trop les écrous. Vérifiez ensuite que les pattes des transistors s'insèrent bien dans les trous du CI et que la carte s'adapte aux six goujons filetés. Ajustez un peu les courbures des pattes si nécessaire.

Assemblage de circuit imprimé

Après ces préparations, vous pouvez monter presque tous les composants sur la carte en ordre selon la hauteur. Commencez par les petites résistances et diodes D1 – D5 (voir **figure 14**). Ensuite, placez les résistances de puissance et le connecteur de CI3. Viennent ensuite les petits condensateurs, triés par taille : C3, C10, C11, C32, C4, C5, C12, C2, C13, C14, C18, C19, C29, C17, C33 et C28. Après avoir monté les plus gros condensateurs (C6 – C9, C30, C31, et C34), montez K5, et enfin C1. Ensuite, assemblez le circuit imprimé de protection en

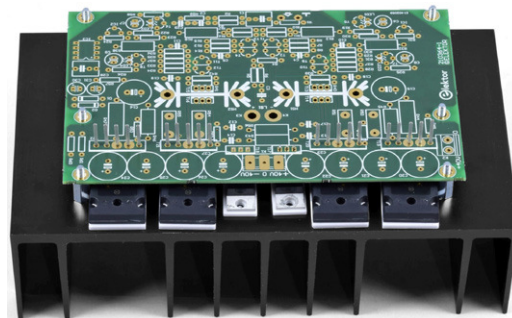


Figure 11. Marquage des trous pour les transistors de puissance. Pour augmenter la précision, les transistors sont placés sur leurs pastilles en céramique.



Figure 12. Emplacements marqués des trous percés pour le montage des transistors de puissance.

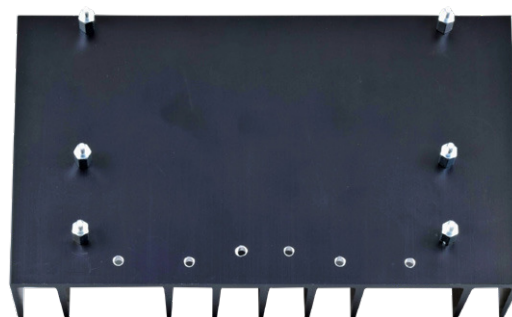
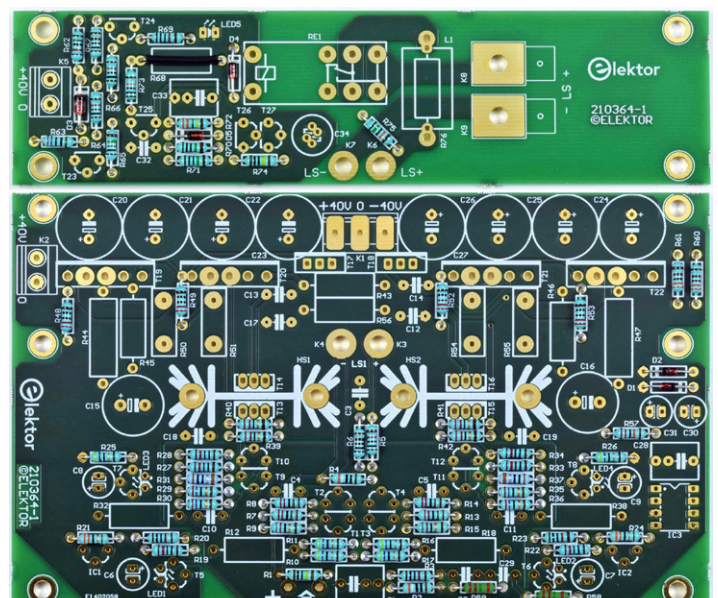


Figure 13. Tous finis pour le montage des transistors de puissance.

Figure 14: Les composants à faible hauteur, tels que les petites résistances et les diodes, sont montés en premier sur la carte.



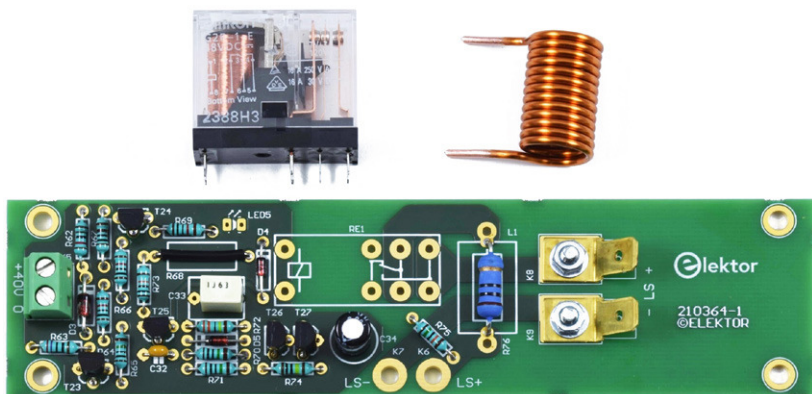


Figure 15. Circuit de protection entièrement assemblé. Il ne reste plus qu'à souder le relais et la bobine de cuivre faites maison.

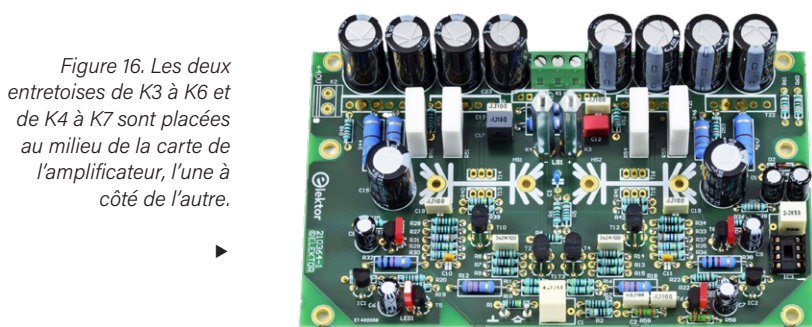
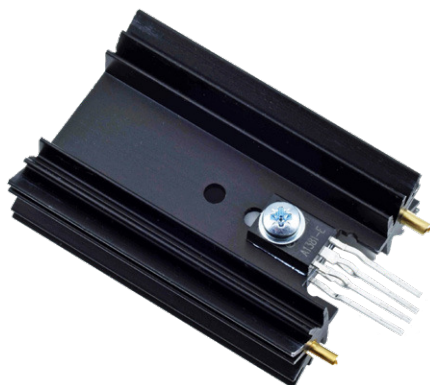


Figure 16. Les deux entretoises de K3 à K6 et de K4 à K7 sont placées au milieu de la carte de l'amplificateur, l'une à côté de l'autre.

Figure 17. Pour éviter les contraintes dues à l'expansion thermique, les pattes des transistors de commande sont légèrement pliées. Cela peut être fait très facilement avec les pinces spéciales montrées ici, mais aussi avec des pinces à becs ronds.



Figure 18. Le petit dissipateur thermique avec ces deux transistors placés en face l'un de l'autre. N'oubliez pas les rondelles.



installant les transistors T23 – T27, les deux bornes à lame, K8 et K9 (fixées avec des vis M3x8 et des écrous avec rondelles), la bobine L1 (13 tours de fil de cuivre de 1,5 mm avec un diamètre intérieur de 10 mm), et enfin le relais RE1. Un foret de 10 mm est parfait pour le bobinage de L1. Les fils de la bobine doivent être suffisamment longs pour vous permettre de positionner la bobine au-dessus de R76. Vous pouvez utiliser un cutter ou un outil similaire pour gratter l'émail sur les extrémités des fils. La **figure 15** montre la carte presque entièrement assemblée. Si vous le souhaitez, vous pouvez monter ultérieurement LED5 sur la face avant du boîtier de l'amplificateur et la connecter à l'aide d'un fil multibrin de petit diamètre.

Revenons à la carte de l'amplificateur : il est temps de monter T5 - T8 et LED1 - LED4. Les puces visibles dans les LED doivent être à la moitié de la hauteur du boîtier des transistors adjacents. Poussez les transistors et les LED les uns contre les autres après la soudure, ou, mieux encore, pendant la soudure, afin d'obtenir un bon couplage thermique.

Après avoir choisi (comme décrit précédemment) vos paires de transistors T1/T2, T3/T4, T9/T10, et T11/T12 pour les mêmes U_{BE} et h_{FE} , vous pouvez les monter sur la carte. Lorsque vous les soudez, assurez-vous que les côtés plats se touchent sur toute la surface pour un bon couplage thermique. Ensuite, installez K1, les résistances de puissance R50, R51, R54, et R55, puis les condensateurs C15 et C16, et enfin les condensateurs C20 - C27. Maintenant, passons à la partie mécanique. Fixez les deux entretoises reliant les sorties des deux cartes en K3 et K4 sur la face supérieure de la carte d'amplificateur avec des vis M3x8 insérées en bas. La **figure 16** montre le résultat.

Montage des transistors

L'étape suivante consiste à monter les transistors T13 – T16 sur les deux petits dissipateurs thermiques, HS1 et HS2. Pour réduire les contraintes mécaniques dues aux variations de température, pliez un peu les pattes des transistors. La **figure 17** montre une pince spéciale et un transistor avec des pattes courbées, et la **figure 18** montre une paire de transistors vissés sur un dissipateur thermique avec un peu de pâte thermique. Les plis doivent être suffisamment proches du boîtier pour permettre aux broches du transistor de pénétrer le CI. Placez une rondelle sous la tête de la vis pour protéger les transistors. Ne serrez pas encore complètement les écrous. La tête de vis doit être du côté de T13 ou T15, respectivement, car sinon elle ne sera pas accessible plus tard par un tournevis. Maintenant, montez les dissipateurs thermiques et les transistors sur la carte, en soudant d'abord les deux broches métalliques. Ensuite, utilisez de petites pinces plates pour tenir les écrous M3 de l'arrière (face aux condensateurs épais) et serrez les vis de l'avant avec un tournevis approprié. Enfin, soudez les pattes des quatre transistors. Maintenant, la carte devrait ressembler à la **figure 19**.

La **figure 20** montre les transistors T17 - T22 provisoirement fixés sur le dissipateur thermique avec des vis et des écrous afin de les souder dans les emplacements corrects. Pour cela, montez également le CI sur

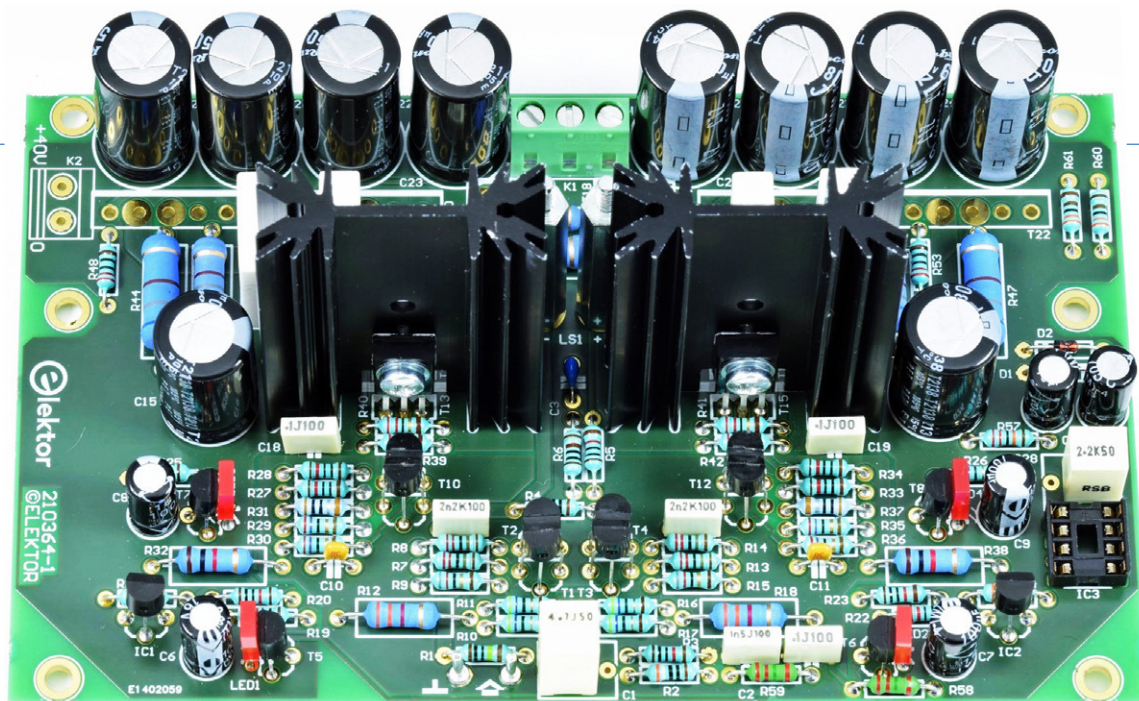


Figure 19. Les deux dissipateurs thermiques avec T13||T14 et T15||T16 sont soudés sur la carte de l'amplificateur.

le dissipateur thermique avec des entretoises de 10 mm avec le CI étant maintenue en place par des écrous (ou des entretoises de 30 mm, comme indiqué sur la photo). Bien entendu, vous devez également placer les pastilles en céramique sous les transistors pour que tout tienne par la suite. Pour T17 et T18, montez les petites douilles isolantes sur les vis pour assurer un positionnement précis.

Maintenant, soudez au moins les deux extrémités de chaque transistor sur la face supérieure de la carte. Faites attention à ne pas endommager les condensateurs voisins avec le fer à souder. Il est préférable de souder directement toutes les pattes sur la face supérieure. Une panne à souder longue et fine est utile.

Ensuite, retirez toutes les vis des transistors ainsi que les écrous qui maintiennent la carte. Lorsque vous retirez la carte, veillez à ne pas plier les pattes des transistors. Retournez maintenant la carte et soudez également les pattes à l'arrière. À ce stade, nous n'avons pas encore monté la borne à vis à deux contacts K2, afin de faciliter l'accès aux pattes de T19. Montez-le maintenant.

Ensuite, appliquez une très fine couche de pâte thermique sur la face arrière des six transistors et sur le côté de chaque pastille céramique qui se trouve sur le dissipateur thermique. Ensuite, tournez le dissipateur en position verticale de sorte que les trous pour les transistors soient en haut. Insérez les six vis M3 pour les transistors à moitié dans leurs trous par l'arrière. Ainsi, vous pouvez placer les six pastilles céramiques (avec la face enduite face au dissipateur thermique) une par une sur les vis (voir **figure 21**).

Placez maintenant doucement la carte sur les entretoises, en veillant à ce que les vis passent dans les trous des transistors. Ensuite, fixez la carte avec les quatre entretoises de 30 mm (en direction des transistors), vissez les écrous M3 sur les deux autres goujons filetés et serrez-les. Sur les faces supérieures des quatre transistors de puissance, T19 – T22, utilisez des rondelles M3 pour protéger les boîtiers. Utilisez également les douilles isolantes pour T17 et T18. Enfin, serrez toutes les vis. La **figure 22** montre l'étage de sortie entièrement assemblé.

Assemblage final

Montez la carte de protection assemblée sur les six entretoises de 30 mm et fixez la carte avec six écrous M3. La **figure 23** montre les vues gauche et droite du module amplificateur pratiquement complet avant le raccorde-

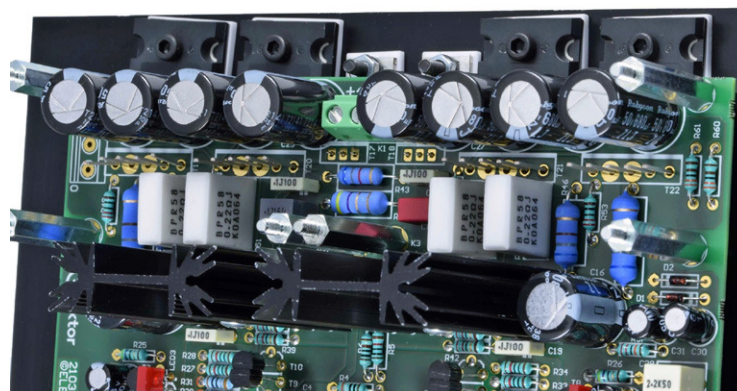
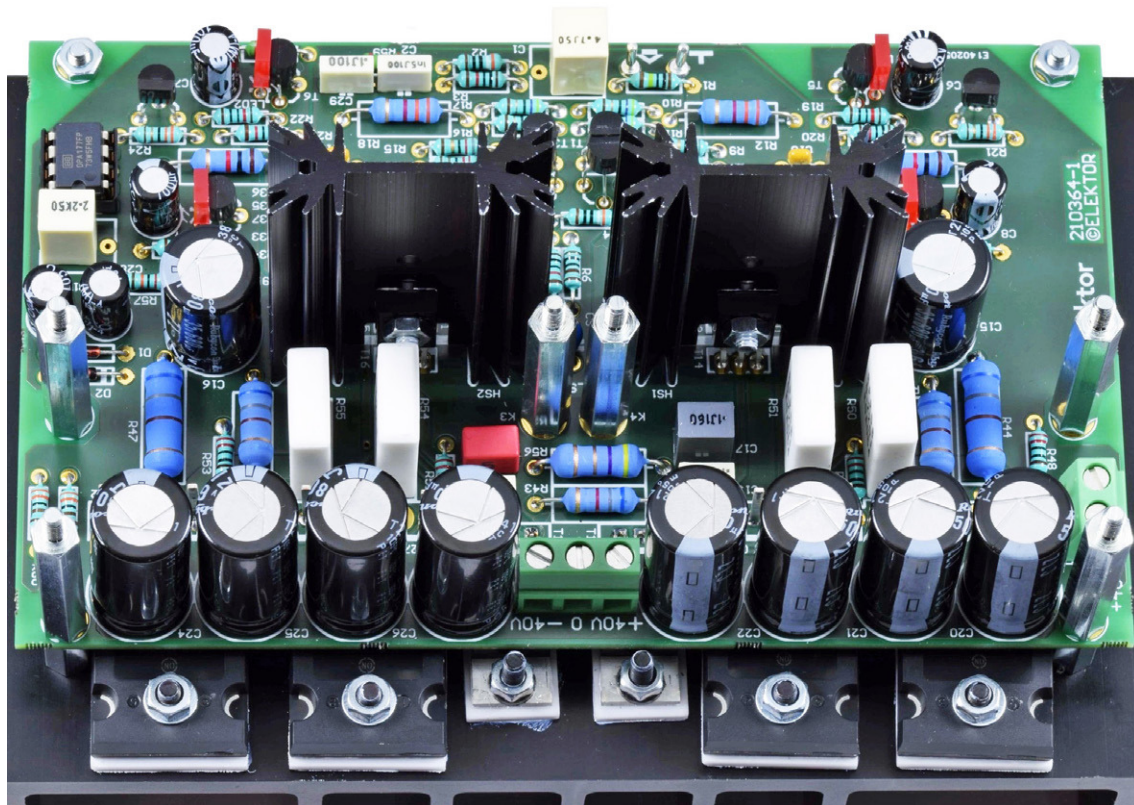


Figure 20. Les transistors T17 - T22 montés provisoirement sur le dissipateur thermique avec des pastilles en céramique. Après le montage provisoire du circuit imprimé, les pattes de T17 - T22 sont soudées sur la face supérieure du circuit.



Figure 21. Les pastilles en céramique sont recouvertes d'un côté d'une fine couche de pâte thermique et placées sur les vis partiellement insérées. Le dissipateur thermique doit être positionné verticalement.

Figure 22. Maintenant, la carte avec les transistors est placée sur le dissipateur thermique et les transistors sont fermement vissés en place comme montré ici.



ment à l'alimentation. À ce stade, LED5 n'est pas encore connectée à la carte de protection. N'oubliez pas de connecter K2 et K5. Vous pouvez maintenant commencer vos expérimentations.

Mesures

Nous présentons ci-dessous plusieurs graphiques pertinents basés sur les mesures du prototype.

Réponse en fréquence

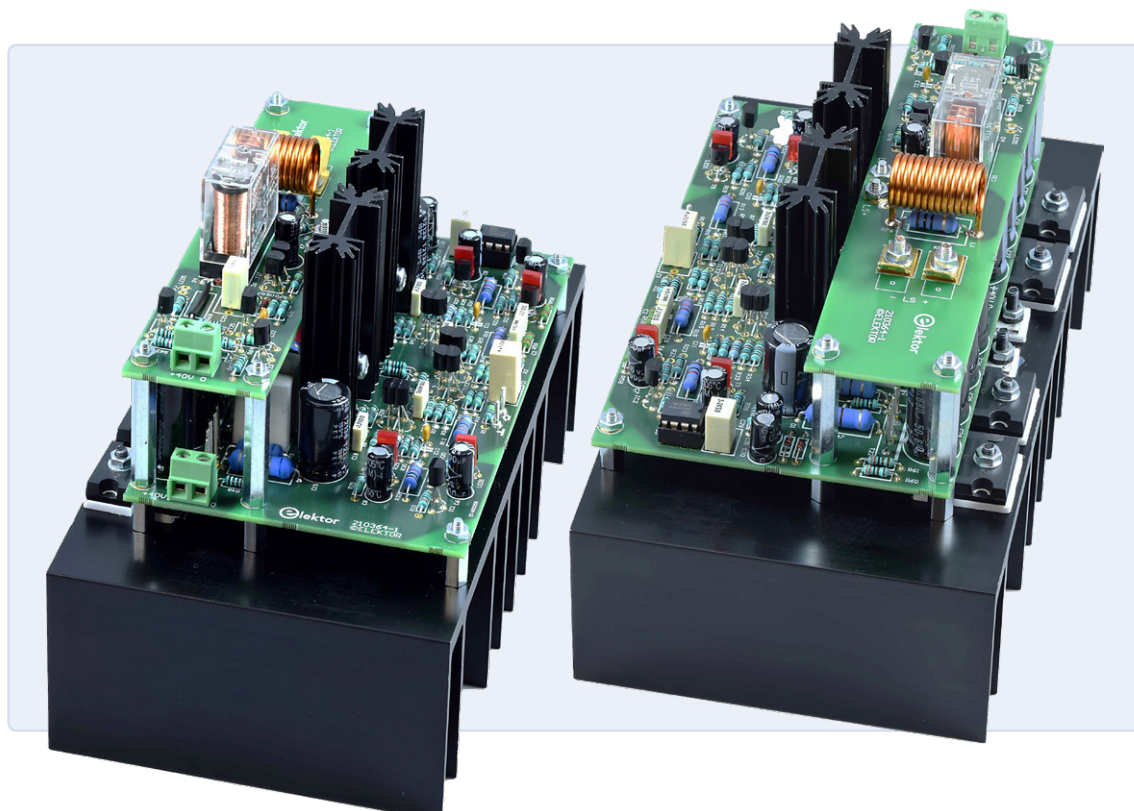
La **figure 24** montre la réponse en fréquence, qui correspond à l'amplitude en dB en fonction de la fréquence. La

bande passante -3 dB du Fortissimo s'étend de 3,3 Hz à 237 kHz - une plage plus large que celle que peut offrir le générateur de l'analyseur *Audio Precision*. La bande passante plus étroite de -0,5 dB s'étend de 10,8 Hz à 78 kHz.

THD+N en fonction de la fréquence

Le diagramme de la **figure 25** montre le taux de distorsion harmonique (THD) plus le bruit en fonction de la fréquence avec des charges de 4 Ω et 8 Ω , dans chaque cas avec une puissance de sortie de 1 W ou 50 W et une bande passante de 80 kHz. La courbe pour 1 W dans une charge de 8 Ω (cyan) est constituée principalement de bruit. Avec

Figure 23. Avec la carte de protection montée sur le dessus, le résultat est le module compact - montré ici des deux côtés.



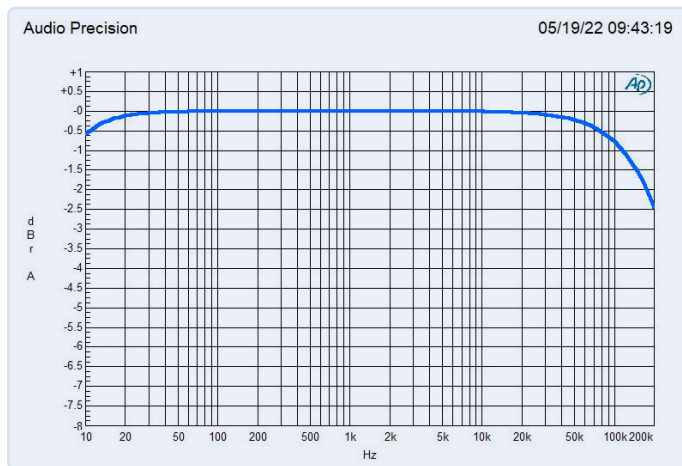


Figure 24. La réponse en fréquence mesurée : La bande passante de -0,5 dB s'étend de 10,8 Hz à 78 kHz.

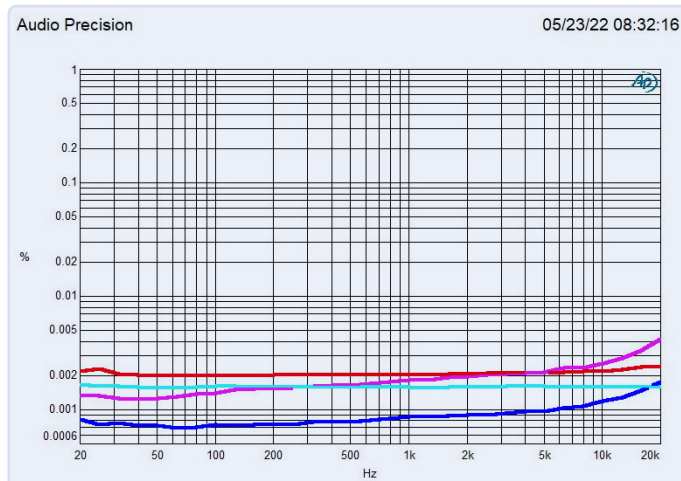


Figure 25. THD en fonction de la fréquence avec des charges de 4 Ω et 8 Ω et différents niveaux de puissance. Cyan : 1 W dans 8 Ω ; Rouge : 1 W dans 4 Ω ; Bleu : 50 W dans 8 Ω ; Magenta : 100 W dans 4 Ω.

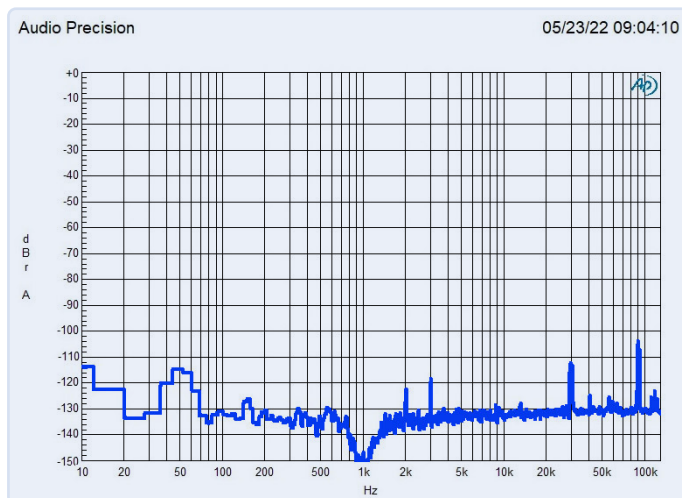


Figure 26. Le spectre harmonique avec un signal d'entrée sinusoïdale de 1 kHz et une puissance de sortie de 1 W dans une charge de 8 Ω. Les pics théoriquement audibles à 2 kHz et 3 kHz sont extrêmement faibles.

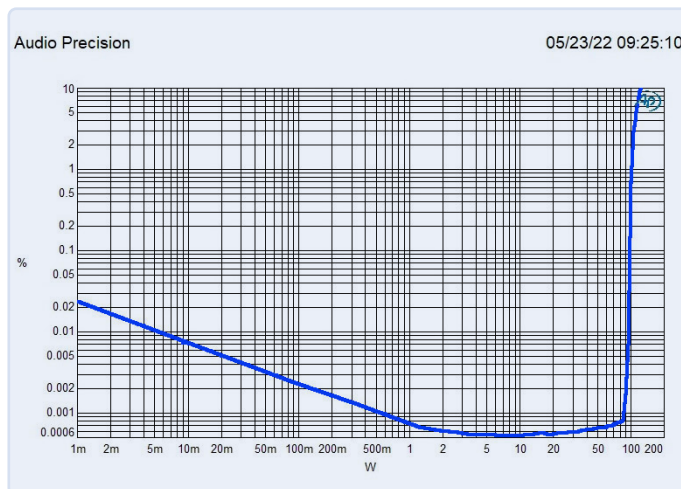


Figure 27. THD + bruit en fonction du niveau du signal de sortie avec un signal d'entrée sinusoïdale de 1 kHz, une puissance de sortie de 1 W dans une charge de 8 Ω et une bande passante de 22 kHz.

1 W dans une charge de 4 Ω (rouge), la tension de sortie est plus faible et le niveau de bruit relatif est plus élevé. L'influence des harmoniques est également visible à des fréquences plus élevées. La courbe pour 50 W dans une charge de 8 Ω (bleu) est extrêmement faible en dessous de 1 kHz, à $\leq 0,0008\%$. Même à 20 kHz, le niveau passe à seulement 0,0018 %. Avec 4 Ω et la même tension de sortie (100 W, magenta), THD est plus élevé, mais reste excellent : 0,0023 % à 1 kHz et 0,0042 % à 20 kHz.

Spectre

La figure 26 montre le spectre de fréquence avec un signal d'entrée sinusoïdal de 1 kHz et une puissance de 1 W dans une charge de 8 Ω. On distingue deux harmoniques visibles dans la gamme audible, à 2 kHz et 3 kHz. La première a un niveau de seulement -122,6 dB, et le second pic atteint -118,5 dB. Le THD résultant n'est donc que de 0,00015 % - une incroyable valeur de 1,5 ppm. Les pics à 30 kHz et 90 kHz sont causés par l'ondulation résiduelle de l'alimentation de laboratoire utilisée ici, ce qui explique pourquoi le THD avec une bande passante de 22 kHz est inférieur à celui avec une bande passante de 80 kHz. À des niveaux de sortie plus élevés, les artefacts de l'alimentation ne présentent plus aucune influence.

THD+N en fonction de la puissance

Les courbes de la figure 27 montrent le THD + le bruit en fonction du niveau de sortie lorsque l'amplificateur a à l'entrée un signal sinusoïdal de 1 kHz et à la sortie une charge de 8 Ω, mesurée avec une bande passante de 22 kHz. À 10 W, le THD est de 0,00052 % seulement. Le THD est de 0,0008 % à environ 85 W et augmente fortement à une puissance plus élevée.

Largeur de bande de puissance

La figure 28 montre la puissance de sortie maximale en fonction de la fréquence à un THD de 0,1 %. La courbe bleue correspond à une charge de 8 Ω, tandis que la rouge correspond à 4 Ω. Avec une charge de 8 Ω, la puissance de sortie à différentes fréquences est : 20 Hz : 89,5 W ; 1 kHz : 94 W ; 20 kHz : 92,4 W. Avec une charge de 4 Ω, les valeurs sont les suivantes : 20 Hz : 163 W ; 1 kHz : 181 W ; 20 kHz : 171 W. Les valeurs exactes dépendent de la tension d'alimentation. Toute chute de tension sur les câbles entre l'alimentation et l'amplificateur est détectée. Pour cette raison, nous avons placé deux condensateurs électrolytiques de 10 000 μF près de la borne K1 dans le montage de test. À 181 W dans une charge de 4 Ω, le courant crête du signal sinusoïdal

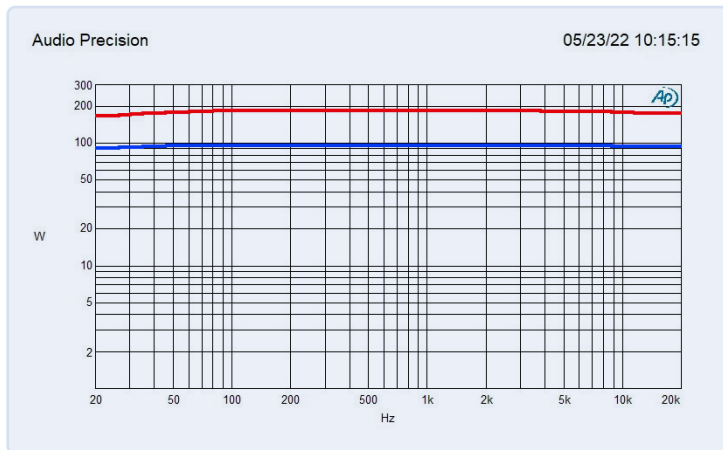


Figure 28. Puissance en fonction de la fréquence à un THD de 0,1 %. La courbe bleue est pour 8 Ω et la rouge pour 4 Ω .

est de 9,5 A, donc, pour une puissance maximale en 4 Ω , l'alimentation doit fournir au moins 10 A en CC.

Vous serez émerveillé !

L'amplificateur Fortissimo démontre de façon impressionnante que le domaine des amplificateurs audio analogiques n'est pas hors du temps. Avec un circuit optimisé et (en partie) de meilleurs semiconducteurs, il est possible d'améliorer la qualité par rapport à l'amplificateur *The Discret*, et ce à un coût raisonnable.

La construction de cet amplificateur n'est peut-être pas adaptée aux débutants, mais les différentes étapes ont été décrites avec tant de détails que pratiquement n'importe quel amateur d'électronique ayant une expérience suffisante devrait être capable de le reproduire avec succès. Un autre avantage est qu'absolument aucun réglage n'est nécessaire. Si vous n'êtes pas sûr, vous pouvez protéger l'amplificateur en connectant une lampe à incandescence de 100 W en série avec chaque fil d'alimentation pour le test initial, en supposant qu'il en existe encore des lampes à incandescence (les types halogènes conviennent également). De telles lampes ont une résistance à froid d'environ 10 Ω . Si elles deviennent sensiblement chaudes ou brillent légèrement dans l'obscurité, cela signifie que quelque chose ne va pas. Avant d'utiliser l'amplificateur sans ces résistances en série, vous pouvez vérifier les tensions continues sur divers composants, comme indiqué dans le tableau « Tensions continues » pour voir s'il y a des erreurs de montage. Les tensions doivent se rapprocher de ± 20 % des valeurs mesurées sur le prototype.

Si tout fonctionne bien, j'espère que vous apprécierez le premier test d'écoute. Vous serez étonné ! ◀

210364-04 – VF : Asma Adhimi

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

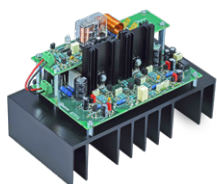


Tableau : Tensions CC

R7	7,90 V
R8	7,85 V
R13	7,90 V
R14	7,96 V
R19	1,06 V
R22	1,05 V
R27	1,20 V
R28	0,90 V
R33	1,20 V
R34	0,95 V
R25	1,006 V
R26	1,007 V
R39	0,28 V
R40	0,28 V
R41	0,28 V
R42	0,28 V
R55	18.7 mV (à froid) 28.3 mV (chauffée sans puissance de sortie)
LED	1.675 V (moyenne)



Votre kit Fortissimo-100

Elektor a lancé le Fortissimo-100 en tant que projet dans le cadre de la campagne Jumpstarter en juillet 2022. Reportez-vous à l'affiche Fortissimo-100 de cette édition pour plus de détails.

Visitez www.elektor.fr/20273 pour commander un kit.



PRODUITS

- **Kit d'amplificateur de puissance d'Elektor Fortissimo-100**
www.elektor.fr/20273
- **OWON AG1022F générateur de formes d'ondes arbitraires à 2 voies avec compteur (25 MHz) (SKU 18781)**
www.elektor.fr/18781
- **PeakTech 1404 oscilloscope à 2 voies (100 MHz) (SKU 20229)**
www.elektor.fr/20229
- **PeakTech 6227 alimentation à découpage CC (0-60 V, 0-6 A) avec LCD couleur et 2x USB (SKU 19323)**
www.elektor.fr/19323

Choix des transistors

Pour sélectionner les transistors des étages d'entrée différentielle, vous pouvez réaliser des circuits simples comme ceux de la figure 4 sur une plaque d'essai. Les deux transistors doivent être placés près l'un de l'autre et serrés fermement l'un contre l'autre. La différence entre les résistances de 3,3 k Ω doit être aussi faible que possible. Les résistances de 10 k Ω servent de résistances de détection pour mesurer les courants de base. Bien que les valeurs h_{FE} des paires NPN et PNP puissent différer légèrement, idéalement, elles doivent être égales. Les transistors

sont peu coûteux, vous devez donc en acheter suffisamment et les tester jusqu'à ce que vous trouviez les transistors offrant le plus faible décalage entre les résistances de collecteur. Cette façon de mesure est peu dépendante de la température. Dans les deux circuits de mesure supérieurs, le courant de collecteur est de 2,16 mA par transistor avec la résistance de 6,8 k Ω dans le circuit émetteur. Si vous voulez mesurer précisément avec 2,42 mA comme dans le circuit de la figure 3, il suffit de régler la tension du rail négatif à -33,4 V.

Il est nécessaire de faire quelques réglages pour le deuxième étage différentiel. Vous devez augmenter le courant à environ 9 mA par transistor. Pour cela, utilisez les valeurs des résistances et les tensions entre parenthèses.

Une méthode plus simple consiste à mesurer la tension U_{BE} et le h_{FE} séparément pour chaque transistor et à utiliser la liste des valeurs obtenues pour déterminer les meilleures correspondances. Cependant, le manque de couplage thermique rend cette méthode beaucoup plus dépendante de la température.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Les mesures ont été effectuées avec une alimentation de laboratoire de ± 40 V. Les tensions d'alimentation ont été atténuées par deux condensateurs électrolytiques de 10 000 μ F (tension nominale ≥ 50 V) à proximité de la borne K1.

Sensibilité d'entrée :

1.076 V pour 94 W dans 8 Ω à un THD de 0,1 %

Impédance d'entrée :

10 k Ω

Puissance continue (1 kHz) :

94 W dans 8 Ω à un THD de 0,1 %
98 W dans 8 Ω à un THD de 1 %
181 W dans 4 Ω à un THD de 0,1 %
188 W dans 4 Ω à un THD de 1 %

Impédance de charge :

≥ 3 Ω

Bande passante :

3.3 Hz – 237 kHz ; -3 dB à 1 W dans 8 Ω
0.8 Hz – 78 kHz ; -0,5 dB à 50 W dans 8 Ω ;
impédance du générateur 20 Ω

Bande passante sans rétroaction négative :

≈ 20 kHz

Gain en boucle ouverte :

$\approx 140,000$ dans 8 Ω

Vitesse de balayage :

45 V/ μ s

Temps de montée :

1.5 μ s

SNR (RAPPORT SIGNAL/BRUIT) :

103 dB avec B = 22 Hz – 22 kHz

106 dB (A) à 1 W dans 8 Ω

THD + N :

0,0008 % à 1 kHz ; 1 W dans 8 Ω ; B = 22 kHz
0,0016 % à 1 kHz ; 1 W dans 8 Ω ; B = 80 kHz
0,0016 % à 20 kHz ; 1 W dans 8 Ω ; B = 80 kHz
0,0008 % à 1 kHz ; 50 W dans 8 Ω ; B = 22 kHz
0,0008 % à 1 kHz ; 50 W dans 8 Ω ; B = 80 kHz
0,0020 % à 20 kHz ; 50 W dans 8 Ω ; B = 80 kHz
0,0012 % à 1 kHz ; 1 W dans 4 Ω ; B = 22 kHz
0,0020 % à 1 kHz ; 1 W dans 4 Ω ; B = 80 kHz
0,0025 % à 20 kHz ; 1 W dans 4 Ω ; B = 80 kHz
0,0023 % à 1 kHz ; 100 W dans 4 Ω ; B = 22 kHz
0,0023 % à 1 kHz ; 100 W dans 4 Ω ; B = 80 kHz
0,0042 % à 20 kHz ; 100 W dans 4 Ω ; B = 80 kHz

Intermodulation distortion (50 Hz : 7 kHz, 4:1) :

0,0012 % à 1 W dans 8 Ω

0,0015 % à 50 W dans 8 Ω

0,0024 % à 1 W dans 4 Ω

0,0041 % à 100 W dans 4 Ω

IMD dynamique (onde carrée de 3,15 kHz avec onde sinusoïdale de 15 kHz) :

0,0016 % à 1 W dans 8 Ω

0,0010 % à 50 W dans 8 Ω

0,0019 % à 1 W dans 4 Ω

0,0021 % à 100 W dans 4 Ω

Facteur d'atténuation (à K8/K9) :

570 à 1 kHz dans 8 Ω

315 à 20 kHz dans 8 Ω

Détection de la tension d'alimentation (uniquement le rail positif) :

$\leq 36,5$ V = Off (dépendant légèrement de la température)

$\geq 36,7$ V = On (dépendant légèrement de la température)

Protection CC :

+0,54 V et -0,89 V

Retard de déclenchement (relais) :

3,5 s

LIENS

[1] « The Discret », T. Gillard, Elektor 10/1990 :

<https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-199010/34783>

[2] Fiche technique du NJL3281D/NJL1302D : www.onsemi.com/pdf/datasheet/njl3281d-d.pdf

[3] Téléchargements pour ce projet : www.elektormagazine.fr/lab/fortissimo-100



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

(par défaut : film métallique, 1 %, 0,6 W)

R1, R74 = 1 MΩ

R2, R4 = 390 Ω

R3, R5, R20, R23, R64, R66, R69 = 10 kΩ

R6, R67 = 1 kΩ

R7, R8, R13, R14, R60, R61 = 3,3 kΩ

R9, R15, R27, R28, R33, R34 = 120 Ω

R10, R11, R16, R17 = 68 Ω

R12, R18 = 5,6 kΩ 5 %, 1 W, film métallique ou oxyde métallique, max. 5 × 12 mm

R19, R22, R48, R49, R52, R53 = 220 Ω

R21, R24 = 33 Ω

R25, R26 = 56 Ω

R29, R30, R35, R36 = 27 Ω

R31, R37 = 1 Ω

R32, R38 = 1,5 kΩ 5 %, 1 W, film métallique ou oxyde métallique, max. 5 × 12 mm

R39, R40, R41, R42 = 22 Ω

R43 = 6,8 kΩ 5 %, 1 W, film métallique ou oxyde métallique, max. 5 × 12 mm

R44, R47 = 680 Ω 5 %, 3 W, film métallique ou oxyde métallique, max. 5,5 × 16 mm

R45, R46 = 1 kΩ 5 %, 2 W, film métallique ou oxyde métallique, max. 5 × 12 mm

R50, R51, R54, R55 = 0,22 Ω 5 %, 5 W, film métallique, radiale, pas 9 mm, max. 5 × 14 mm, Koa BPR58CR22J

R56 = 4,7 Ω 5 %, 2 W, film métallique ou oxyde métallique, max. 5 × 12 mm

R57 = 220 kΩ

R58, R59 = 2,2 MΩ

R62 = 1,2 kΩ

R63 = 270 Ω

R65, R70, R71 = 10 MΩ

R68 = 0 Ω (pont de fil)

R72 = 3,3 MΩ

R73 = 100 kΩ

R75 = 150 kΩ

R76 = 10 Ω 5 %, 2 W, film métallique ou oxyde métallique, max. 5 × 12 mm

Condensateurs

C1 = 4,7 μF 50 V 5 %, pas 5 / 7,5 mm, PET, max. 7,6 × 9,7 mm

C2 = 1,5 nF 100 V 5 %, pas 5 mm, max. 2,5 × 7,2 mm

C3 = 10 pF ±0,5 pF 100 V, pas de 5 mm, C0G/NP0 (TDK FG28C0G2A100DNT00)

C4, C5 = 1 nF 63 V 5 %, pas 5 mm, PET, max. 2,5 × 7,2 mm

C6...C9 = 100 μF 16 V 20 %, dia. 6,3 mm, de préférence 105 °C

C10, C11 = 220 pF 100 V 5 %, pas 5 mm, C0G/NP0, max. 2,5 × 7,2 mm

C12 = 100 pF 100 V 5 %, pas 5 mm, PP, max. 4,5 × 7,2 mm

C13, C14, C18, C19, C29 = 100 nF 100 V 5 %, pas 5 mm, PET, max. 2,5 × 7,2 mm

C15...C16 = 680 μF 35 V 20 %, dia. 12,5 mm, pas 5 mm, 5000 h à 105°C (Rubycon 35ZL680MEFC12.5X20)

C17 = 100 nF 160 VDC 5 %, pas 5 mm, PP, max. 5 × 7,2 mm (Kemet R79GC3100Z340J)

C20 - C27 = 680 μF 50 V 20 %, dia. 13,5 mm, pas 5 mm, 10,000 h à 105 °C (Rubycon 50ZLJ680M12.5X25)

C28 = 2,2 μF 50 V 10 %, pas 5 / 7,5 mm, PET, max. 7,6 × 9,7 mm

C30, C31 = 10 μF 63 V 20 %, dia. 6,3 mm, pas 2,5 mm, de préférence 105 °C

C32 = 10 nF 50 V 10 %, pas 5 mm, X7R, max. 2,5 × 7,2 mm

C33 = 1 μF 63 V 5 %, pas 5 / 7,5 mm, PET, max. 7,6 × 9,7 mm

C34 = 22 μF 35 V 20 %, bipolar, dia. 8 mm, pas 2,5 / 3,5 mm

Inducteur

L1 = 1,5 mm fil de cuivre émaillé, approx. 60 cm, 13 tours, diamètre interne 10 mm

Semi-conducteurs

D1, D2 = Diode Zener 20 V 5 %, 0,4 W, DO-35 (Nexperia BZX79-C20,113)

D3 = Diode Zener 33 V 5 %, 1,3 W, DO-41 (Nexperia BZV85-C33,113)

D4, D5 = 1N4148, DO-35

LED1 - LED4 = LED, rouge, 2 × 5 mm rectangulaire (Multicomp Pro MCL453MD)

LED5 = LED, verte, 5 mm

T1, T2, T6, T7, T9, T10, T23, T26, T27 = BC546B, TO-92

T3...T5, T8, T11, T12, T24 = BC556B, TO-92

T13, T14 = KSA1381, TO-126

T15, T16 = KSC3503, TO-126

T17 = MJE15032, TO-220

T18 = MJE15033, TO-220

T19, T20 = NJL3281D, TO-264, 5 broches

T21, T22 = NJL1302D, TO-264, 5 broches

T25 = BS170, TO-92

IC1, IC2 = LM334Z, TO-92

IC3 = OPA177FP, DIP-8

Divers

K1 = Borne à vis 3 voies, pas 0,2 pouce (Phoenix Contact 1729131 ou MKDSN 1,5/3-5,08)

K2, K5 = Borne à vis à 2 voies, pas 0,2 pouce (Phoenix Contact 1729128 ou MKDSN 1,5/2-5,08)

2 × broche à souder 1,3 mm pour l'entrée (Ettinger 13.14.419)

6 × entretoise métallique, 10 mm, M3 M/F

6 × entretoise métallique, 30 mm, M3 M/F

K8, K9 = borne à lame, montage sur circuit imprimé, trou 3,3 mm, lame 6,35 × 0,81 mm (Amp/TE Connectivity 42822-2 ou similaire)

RE1 = relais 16 A / 250 VAC / 30 VDC (Omron G2R1-E 48DC)

4 vis M3 × 8 (pour les entretoises sur K3/K4 et les bornes à lame sur K8/K9)

8x vis M3 × 12, noires (pour les entretoises de la carte et T17/T18 sur le dissipateur thermique, TR Fastenings M312 PRSTMCB100-)

4 × vis M3×16, noire (pour T19/T20/T21/T22 sur le dissipateur thermique, Toolcraft 839672)

18 × écrou M3

8 × M3 rondelle plate, acier

HS1, HS2 = dissipateur thermique, 9 K/W, longueur 50,8 mm (Fischer Elektronik SK 104 50.8 ST)

Dissipateur thermique, 0,6 K/W, 100 × 180 × 48 mm (Fischer Elektronik SK53-100-SA)

4 × pastille thermique en céramique pour T19...T22, 23 × 20 × 2 mm (Silfox SL-012-AL20)

2 × pastille thermique en céramique d'interface thermique pour T17/T18, 18 × 12 × 1,5 mm (Silfox SL-019-AL15)

2 × douille isolante pour T17/T18, TO-220 (Fischer Elektronik IB 6)

1 × connecteur IC, DIP-8, pour IC3

Circuit imprimé 210364-1 v1.1

vérification de la fréquence des quartz et des circuits accordés

astuces, bonnes pratiques et autres informations utiles

Lyle Russell Williams (États-Unis)

Un circuit accordé repose sur la connexion en parallèle d'une inductance et d'un condensateur qui résonnent à une fréquence fondamentale donnée. Un cristal de quartz simule le circuit accordé et possède un facteur de qualité (Q) très élevé. Les circuits accordés et les cristaux font partie intégrante des récepteurs et d'autres équipements fonctionnant en fréquence radio. Cet article aborde la construction d'un oscillateur dans lequel on place le circuit accordé ou le quartz inconnu afin d'en déterminer la fréquence d'oscillation.

Pour la suite de cet article, un oscilloscope sert à lire la fréquence de l'oscillation. Si l'oscilloscope ne dispose pas d'un compteur intégré, il est possible de connecter, en parallèle avec l'oscillateur, un compteur de fréquence autonome, peu coûteux. J'utilise un oscilloscope numérique à double trace à 250 € possédant une largeur de bande de 50 MHz. Les compteurs de fréquence autonomes sont beaucoup moins chers, certains kits sont disponibles pour moins de 10 €.

Nous avons besoin d'un oscillateur approprié

L'oscillateur nécessaire à nos fins doit fonctionner sur une large gamme de fréquences et être exempt de réponses parasites. Pour ce projet, entre autres, j'ai évalué une porte NON ET (**figure 1**) et un inverseur (**figure 2**). Cependant, la mise en œuvre de ces oscillateurs a entraîné les problèmes suivants : différents pics de signal avant la forme d'onde principale, instabilité de la fréquence, bruit, gamme de fréquences étroite, oscillation exclusivement avec des cristaux, et oscillation à une fréquence erronée. Ces problèmes rendent les oscillateurs logiques numériques inadaptés à notre objectif.

Oscillateur à double grille

Il y a quelques années, j'ai réalisé le circuit illustré à la **figure 3**. Il s'avère que ce circuit fonctionne très bien pour nos besoins et qu'il produit très peu de bruit. La plage de fréquences s'étend de 839 kHz à 38 MHz. En fait, elle peut dépasser 38 MHz, mais je n'ai pas essayé de pousser le circuit dans la gamme de fréquences VHF.

Il s'agit d'un circuit simple et facile à construire (**figure 4**). Un potentiomètre permet de régler la polarisation pour une oscillation optimale. La carte est fournie avec des fils courts, terminés par de petites pinces crocodiles à connecter avec le circuit accordé ou le cristal à tester. Il existe plusieurs références pour le MOSFET T1 à double grille : 40673, NTE222, 3N200, 3N202, 3N211, entre autres. Consultez la fiche technique du dispositif choisi pour connaître ses connexions. Il est en outre possible de télécharger en [1] un projet de circuit imprimé ainsi qu'une liste de composants. Dans la suite de l'article, ce montage sera appelé « circuit à double grille ».

Le circuit JFET

Le problème est-il résolu ? Eh bien, pas tout à fait. Les transistors à double grille énumérés ci-dessus sont difficiles à trouver et quand

ils sont disponibles, ils sont chers. J'ai donc décidé de concevoir un circuit qui n'utilise pas le MOSFET à double grille. Ce circuit utilise deux transistors JFET en série au lieu du MOSFET, et le schéma est donné par la **figure 5**. Les enroulements de l'inducteur peuvent être réalisés à la main sur un tore de ferrite, voir [1]. Comme pour le circuit à double grille, un réglage de la polarisation est prévu et la connexion au circuit accordé inconnu est réalisée à l'aide de fils courts et de petites pinces crocodiles. Le circuit fonctionne à la même basse fréquence de 839 kHz mais la sortie à cette fréquence va bien au-delà. La haute fréquence est supérieure à 38 MHz comme pour le circuit à double grille. La **figure 6** représente la carte réalisée. Ce montage sera appelé « circuit JFET ».

Le fonctionnement de ces deux circuits est simple. Connectez les petites pinces crocodiles au circuit ou au quartz inconnu. Connectez la sonde d'un oscilloscope aux bornes de la carte. Allumez l'interrupteur. Tournez la commande de polarisation jusqu'à ce que l'oscillation soit maximale. Relevez la fréquence sur l'oscilloscope.

Qu'en est-il des circuits à faible facteur Q ?

Le circuit à double grille et le circuit JFET fonctionnent bien avec des circuits inconnus au facteur Q raisonnable. Mais que faire si ce facteur Q est faible ? La **figure 7** montre comment mesurer des circuits accordés inconnus à faible facteur Q (hormis les quartz), par exemple une antenne cadre. Cette méthode peut également servir à mesurer des circuits accordés à des fréquences inférieures à 839 kHz.

L'élément inconnu est placé dans un amplificateur qui sera décrit succinctement. Un générateur en fréquences radio sert à alimenter l'amplificateur. Une sonde d'oscilloscope est connectée à l'élément inconnu. Le générateur est réglé jusqu'à ce que l'amplitude du



The diagram shows a circuit under test (CUT) for a 2N5486 JFET. The circuit is powered by a +9V supply connected to a switch S1. The supply line contains capacitors C7 (10μF, 16V) and C8 (100nF). The circuit includes two JFETs, T1 and T2, both labeled 2N5486. T1 is configured as a common-source amplifier with its gate connected to a network of capacitors (C1, C2, C3, C4) and resistors (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7). The drain of T1 is connected to a +9V supply through a resistor R5. The source of T1 is connected to ground through a resistor R4. The gate of T2 is connected to the drain of T1 through a resistor R6. The drain of T2 is connected to a +9V supply through a resistor R7. The source of T2 is connected to ground through a resistor R3. The circuit also includes a variable resistor R1 (50k) and a capacitor C1 (100nF) connected to the gate of T1. A capacitor C2 (100nF) is connected between the gate and drain of T1. A capacitor C3 (33pF) is connected between the gate and source of T1. A capacitor C4 (33pF) is connected between the gate and drain of T2. A capacitor C5 (100nF) is connected between the source of T2 and ground. A capacitor C6 (100nF) is connected between the drain of T2 and ground. A resistor R2 (100k) is connected between the gate of T1 and the +9V supply. A resistor R3 (1M) is connected between the source of T1 and ground. A resistor R4 (470Ω) is connected between the source of T1 and ground. A resistor R5 (5k1) is connected between the drain of T1 and the +9V supply. A resistor R6 (3k3) is connected between the gate of T2 and the drain of T1. A resistor R7 (5k1) is connected between the drain of T2 and the +9V supply. The circuit is labeled 'circuit under test' and '220023-012'.

22 novembre/décembre 2022 www.elektormagazine.fr

zone D

Astuces, bonnes pratiques et autres informations pertinentes

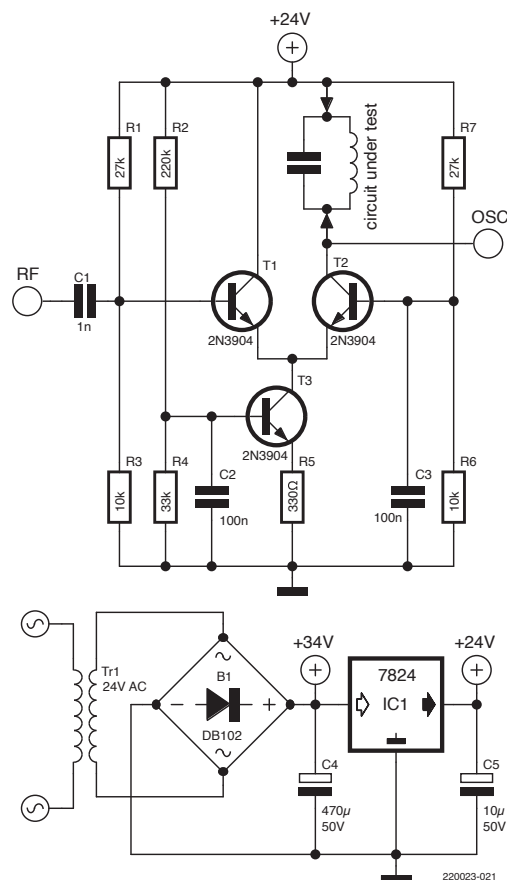


Figure 8. Le circuit de l'amplificateur à faible facteur Q ressemble à un modulateur.

signal aux bornes de l'élément inconnu soit maximale. La fréquence est lue sur l'oscilloscope. Avec un oscilloscope à double trace, il est possible d'afficher simultanément l'entrée et la sortie de l'amplificateur. Lorsque les deux signaux sont en phase, l'amplitude de la sortie est maximale. Comme pour les circuits ci-dessus, si l'oscilloscope ne dispose pas d'une fonction de compteur, il est possible de connecter un compteur autonome en parallèle avec la sonde de l'oscilloscope. Ce montage sera appelé « circuit à faible facteur Q ».

Amplificateur à faible facteur Q

Le schéma de l'amplificateur pour le montage à faible facteur Q est présenté sur la **figure 8**. À noter la ressemblance de ce circuit avec un modulateur. Il a été développé à l'origine dans ce but mais il s'avère qu'il fonctionne bien pour cette application aussi. Tous les composants sont faciles à obtenir. Il est alimenté par le réseau électrique et ne nécessite donc ni piles ni batteries. Le transistor de sortie est alimenté en courant

continu par le composant, qui doit donc avoir une résistance assez faible en continu. Il s'agit de la résistance de l'inductance du circuit accordé. Et cela exclut les quartz, qui n'admettent pas un courant continu. Si vous en connectez un à cet amplificateur, il est probable qu'il soit endommagé. À l'instar des circuits à double grille et JFET, des fils isolés terminés par de petites pinces crocodiles servent à raccorder l'élément inconnu. J'ai constaté que la longueur des fils est d'environ un mètre (**figure 9**).

La **figure 10** montre un montage destiné à mesurer la fréquence de l'antenne cadre ajoutée à une vieille radio. La boucle est créée en agrafant deux tours de fil à l'arrière de la console en bois. En ajoutant un condensateur en parallèle, il est possible d'accorder la boucle

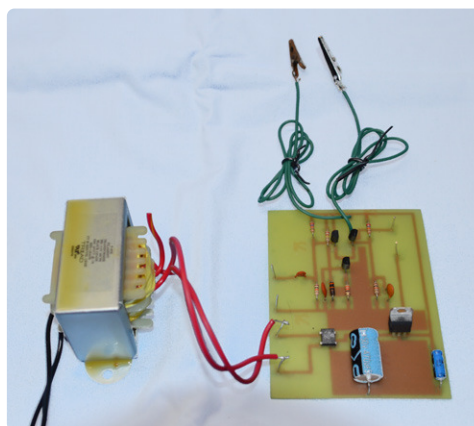
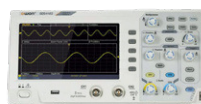


Figure 9. Les fils de test de l'amplificateur à faible facteur Q font environ un mètre de long.



Figure 10. L'amplificateur à faible facteur Q utilisé pour mesurer la fréquence d'une antenne cadre sur une vieille radio.



PRODUITS

- > Oscillo à 2 voies OWON SDS1102 (100 MHz) (SKU 18782)
www.elektor.fr/18782
- > Testeur multifonctions Joy-IT LCR-T7 (SKU 19709)
www.elektor.fr/19709

en résonance avec une fréquence appartenant à la bande de diffusion en modulation d'amplitude. J'ai accordé la boucle sur la fréquence d'un émetteur de faible puissance utilisé pour appliquer de la musique *vintage* à la vieille radio. Il est possible de télécharger les circuits imprimés et les listes de composants des oscillateurs à double grille et JFET et l'amplificateur à faible facteur Q à l'adresse [1].

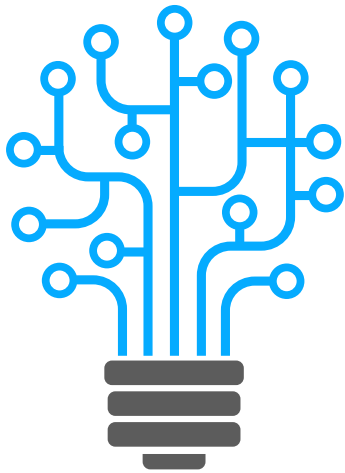
(220023-04) — VF : Pascal Godart

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courrier électronique à l'auteur (lyle0009@gmail.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

LIEN

[1] Téléchargements pour cet article : www.elektormagazine.fr/220023-04



trucs et astuces pour circuits imprimés

Burkhard Kainka (Allemagne)

Tout projet électronique n'est vraiment terminé tant qu'il n'a pas son propre circuit imprimé. Ce n'est qu'à ce stade que vous pouvez complètement tester le prototype et penser à une production de masse. Cependant, le processus de conception de votre propre circuit imprimé est souvent long et compliqué et n'est pas exempt de difficultés.

Selon vos perspectives, votre méthode de travail et votre expérience, vous décidez peut-être de commander un circuit imprimé personnalisé dès le début de votre projet. Vous avez une idée, vous dessinez un schéma, vous concevez la carte, vous la commandez (ou vous la gravez vous-même), puis vous l'assemblez. Même si votre circuit imprimé est parfait, il arrive souvent que vous ayez négligé un problème à un niveau complètement différent. Vous devez maintenant en commander un autre, puis un troisième, voire un quatrième. Chaque version puise dans le budget du projet et entraîne un dépassement des délais. Pour éviter cela, j'ai l'habitude de retarder le plus possible les engagements relatifs au premier circuit imprimé.

Construisez un prototype !

Le circuit doit être vérifié et testé d'une manière ou d'une autre. Même si votre premier montage de test est chaotique, il vous permettra de savoir si tout fonctionne comme prévu. Les composants placés sur une plaque de prototypage font souvent l'affaire. Il est possible d'utiliser une carte de prototypage, mais je préfère parfois réaliser mon montage sur un couvercle en fer blanc (**figure 1**). Vous disposez ainsi d'un plan de masse convenable. Grâce aux connexions soudées, vous évitez

les pannes intermittentes causées par les connecteurs défectueux. Vous pouvez facilement modifier les valeurs des composants jusqu'à ce que tout fonctionne de manière optimale. Si le circuit s'avère instable, vous pouvez déterminer le meilleur endroit pour ajouter des condensateurs de découplage d'alimentation et des condensateurs de faible valeur à la masse le long du trajet du signal. Lorsqu'il s'agit d'un projet à base de microcontrôleur, vous commencez normalement par une carte de développement disponible dans le commerce. Dans cette situation, vous pouvez connecter des composants externes pour tester provisoirement le fonctionnement du système et concevoir le micrologiciel. Vous déterminerez facilement si vous devez prendre des précautions en matière d'immunité aux interférences. Les problèmes de CEM se révèlent en générant des signaux d'interférence perceptibles sur une radio. Vous avez peut-être déjà remarqué que votre circuit réagit mal aux sources d'interférence proches. Cela indique qu'il faudra accorder une attention particulière à l'immunité aux interférences dans l'implantation de la carte.

Dans de nombreux cas, je câble les composants sur une plaque d'expérimentation pour avoir une meilleure idée de la taille de la carte finie et de l'emplacement possi-

ble des composants et de leurs commandes, ainsi que des connecteurs pour l'alimentation et les signaux. Le tout constitue un prototype utile (**figure 2**). Un client peut même l'utiliser pour effectuer des tests initiaux et suggérer des modifications faciles à tester. Une fois le circuit finalisé, portez votre attention sur le circuit imprimé (CI). À ce stade, vous avez probablement utilisé des composants traditionnels, mais le CI final fera certainement appel à des composants montés en surface. La compatibilité électromagnétique du circuit sur la plaque d'expérimentation n'a peut-être pas été améliorée, car il n'y a pas de plan de masse, mais nous savons maintenant ce qui reste à corriger.

Composants et schéma

Vos schémas sont probablement encore sous forme d'esquisses. Mais tous les logiciels de conception de circuits imprimés nécessitent d'abord un schéma. Chaque composant doit être annoté précisément. « Résistance 10 kΩ » ne suffira pas, vous devez détailler les dimensions du boîtier. Écrivez par exemple « résistance CMS en boîtier 0805 ». Le choix de bons composants prend souvent beaucoup de temps, car il en existe beaucoup d'autres similaires. Cela est vrai surtout pour les connecteurs, les interrupteurs, les poten-

tiomètres, etc. Il faut également s'assurer que le composant choisi est disponible et que son empreinte sur la carte est correcte. Il sera frustrant de constater que votre beau circuit imprimé vierge n'a pas le bon espacement entre les trous ou que la prise USB ne rentre pas sur la carte. Soyez prudent lors de la sélection des composants.

Une chose que j'ai apprise en travaillant avec des résistances et des condensateurs CMS est qu'ils semblent si grands et si maniables sur l'écran qu'il est facile de se méprendre sur leur taille réelle. Cela peut être un problème si vous comptez placer les composants manuellement. Les plus petits composants posent problème, du moins si vous les soudez à la main. Vous devez avoir quelques exemples de composants sur votre établi pour effectuer une vérification rapide de leur taille réelle. Personnellement, je trouve ceux en boîtiers 0805 plus simples à souder. Je me souviens d'un projet où j'ai utilisé des composants de dimensions 0402 pour réduire l'encombrement. Il s'est avéré extrêmement difficile de les souder pour construire le prototype. Vous pouvez éviter cette situation si votre CI est livré assemblé.

Une fois tous les composants sélectionnés, le schéma dessiné, vous pouvez passer au dessin du CI. Par ailleurs, si une erreur survient ultérieurement lors du dessin du CI, il faut toujours revenir au schéma et y apporter les modifications en premier lieu. Le logiciel de conception veille toujours à ce que les pistes sur le CI correspondent au schéma.

Le circuit imprimé

Passons maintenant à la carte. Tout d'abord, vous devez vérifier l'espace physique dans lequel elle doit s'insérer pour déterminer ses dimensions et savoir si vous aurez besoin d'une carte double-face. Vous pouvez ensuite définir certaines caractéristiques, telles que les coins arrondis et les formes de contours spéciales. Vous pourrez les modifier ultérieurement, mais il est plus facile de déterminer les bonnes tailles dès le début.

Les cartes doubles-faces sont généralement standard. Une carte simple face ne présente aucun avantage en termes de coût, mais si vous souhaitez la graver vous-même, le travail sera plus simple. Au premier stade, je me contenterai dans la plupart des cas de commander cinq ou dix exemplaires à un fournisseur de CI pour m'épargner des tracas. Certains fournisseurs de CI proposent également d'assembler des prototypes. Dans ce cas, assurez-vous à l'avance des composants à monter et tenez-en compte

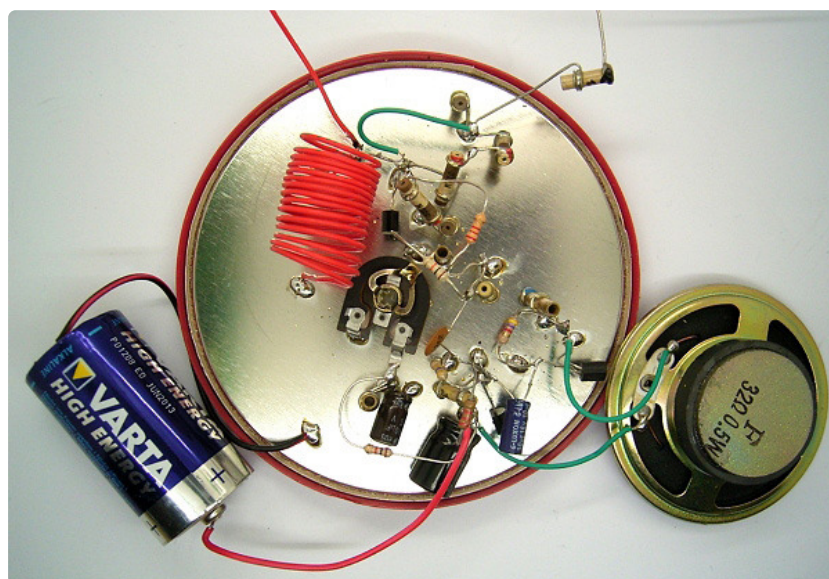


Figure 1. Montage de test sur un couvercle de boîte de conserve.

lors de la création du schéma.

Une fois le contour défini, vous pouvez importer tous les composants du schéma et les placer initialement à l'écran à côté du contour du CI. Vous pouvez ensuite les faire glisser un par un sur la carte et rechercher le bon emplacement pour obtenir la piste la plus courte et la plus directe. Réaliser le montage sur une plaque d'essai au préalable vous facilitera la vie. Vous aurez alors une idée du placement des composants avec un nombre minimal de pistes croisées, ce qui vous permettra d'éviter les vias.

Après avoir placé tous les composants, lancez le routeur automatique. Le logiciel essaie alors de connecter tous les composants comme dans le schéma. Cependant, il peut arriver que le routage des pistes soit sous-optimal selon d'autres critères. Les pistes de masse peuvent être longues et entremêlées, ou le chemin le plus court entre VCC et GND via un condensateur de découplage devient trop long et crée une antenne cadre efficace. Les problèmes de CEM sont alors inévitables. Vous devriez au moins tracer vous-même les pistes de masse et d'alimentation à l'avance et ensuite lancer le routeur automatique. Je préfère aller un peu plus loin et tracer toutes les pistes manuellement. Avant tout, les circuits simples ont généralement une structure claire (figure 3) et peuvent être facilement réalisés.

Plans de masse

Les plans de masse continus sont très utiles. Pour cela, vous pouvez créer une surface de cuivre continue sur la face inférieure de

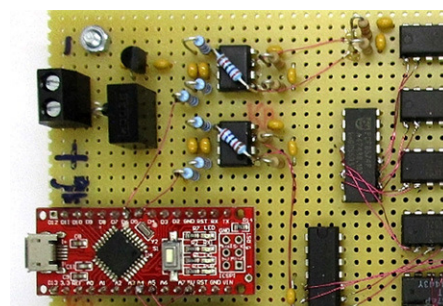


Figure 2. Montage sur une plaque d'essai.

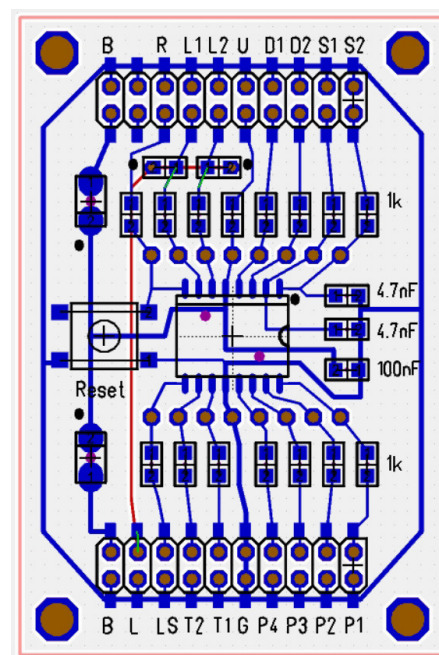
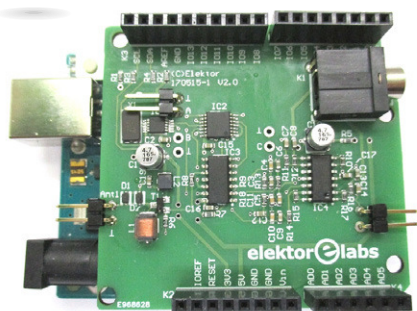


Figure 3. Une piste de masse fait le tour de la carte.

[illegible]

la carte, connectée à la masse. Essayez de placer toutes les pistes transportant des signaux en haut. Lorsque le croisement de deux pistes est inévitable, l'une d'entre elles doit se terminer avec une pastille traversante (via) qui achemine le signal vers une courte piste sur la face inférieure, puis à nouveau vers le haut. Il est logique d'établir un ordre lors de l'implantation des pistes, par exemple en traçant celles d'alimentation horizontalement et celle de signaux verticalement. Toute discontinuité dans le plan de masse doit être aussi courte que possible pour minimiser les chutes de tension. En fin de compte, un plan de cuivre continu permet d'obtenir le chemin le plus court possible vers la masse sur toute la surface de la carte ; une via est tout ce dont vous avez besoin lorsqu'un composant doit être connecté à la masse.

Les plans de masse peuvent faire des merveilles, comme en témoigne le projet shield radio logicielle d'Elektor (**figure 4**). Ce circuit est un récepteur d'ondes courtes sensible, il est donc important d'éviter toute interférence qui pourrait compromettre ses performances. Le shield se connecte directement sur un Arduino Uno. Au début, je craignais que son emplacement si près d'un microcontrôleur puisse poser des problèmes, mais tout s'est bien passé et la réception a été réussie. Un plan de masse sur la face inférieure agit comme un bouclier pour les signaux venant d'en bas et les champs d'interférence venant d'en haut

ont moins d'effet car la plupart des lignes de champ se terminent directement à la masse et très peu sur les fines pistes de signaux.

La plupart des cartes ont besoin d'une connexion avec le monde extérieur. Nous utilisons souvent des connecteurs ou des prises sur le bord de la carte comme avec l'Arduino, ou d'autres systèmes de connexion standardisés. Lorsqu'il s'agit de projets expérimentaux ou de circuits imprimés pour l'éducation, il est plus pratique d'utiliser des points de connexion plus grands. Les trous ronds et traversants de 4 mm accepteront directement les fiches bananes ainsi que les pinces crocodiles (**figure 5**).

J'aime définir des pastilles rectangulaires double face traversants et espacés de 5,08 mm. Ces points de connexion ne coûtent rien de plus et leur utilisation est très flexible : vous pouvez souder des fils, utiliser des câbles crocodiles ou installer un bornier à vis. Pour des expérimentations simples, il est même possible de brancher les composants directement dans les trous (**figure 6**).

Il existe également des circuits imprimés qui ne comportent que des points de connexion. Dans ce cas, vous n'avez pas besoin d'un circuit imprimé et vous pouvez commencer tout de suite avec l'assemblage du prototype. Pour une plaque d'essai compatible HF, j'ai créé un plan de masse continu des deux

côtés. La plupart des points de contact sont isolés. Mais les points au bord du champ et plusieurs rangées continues sont connectés à la masse (**figure 7**). Ainsi, la masse est accessible partout et vous disposez d'une surface de blindage relativement bonne.

Les logiciels de conception de CI effectuent des tests automatiques pour détecter les circuits ouverts, les courts-circuits et les pistes parallèles trop serrées. Il existe cependant d'autres erreurs que vous ne découvrirez que vous-même. L'objectif est que la première carte que vous commandez soit exempte d'erreurs, mais, la loi de Murphy s'applique ici aussi. En y réfléchissant, je dirais qu'un circuit imprimé sur deux que j'ai reçu comportait au moins une erreur. Les changements de dernière minute en sont souvent la cause, car ils peuvent générer un nouveau bogue imprévu. Il y avait aussi des erreurs faites dès le début du projet qui sont passées inaperçues.

Pour commander un circuit imprimé, vous devez convertir ces données en fichiers Gerber. Le logiciel crée des fichiers individuels pour les différentes couches de la carte et pour les trous de perçage. Vous trouverez sur le web diverses visionneuses Gerber, qui vous permettent de visualiser le résultat. Vous pouvez passer d'une couche à l'autre et obtenir une vue complètement différente. Il

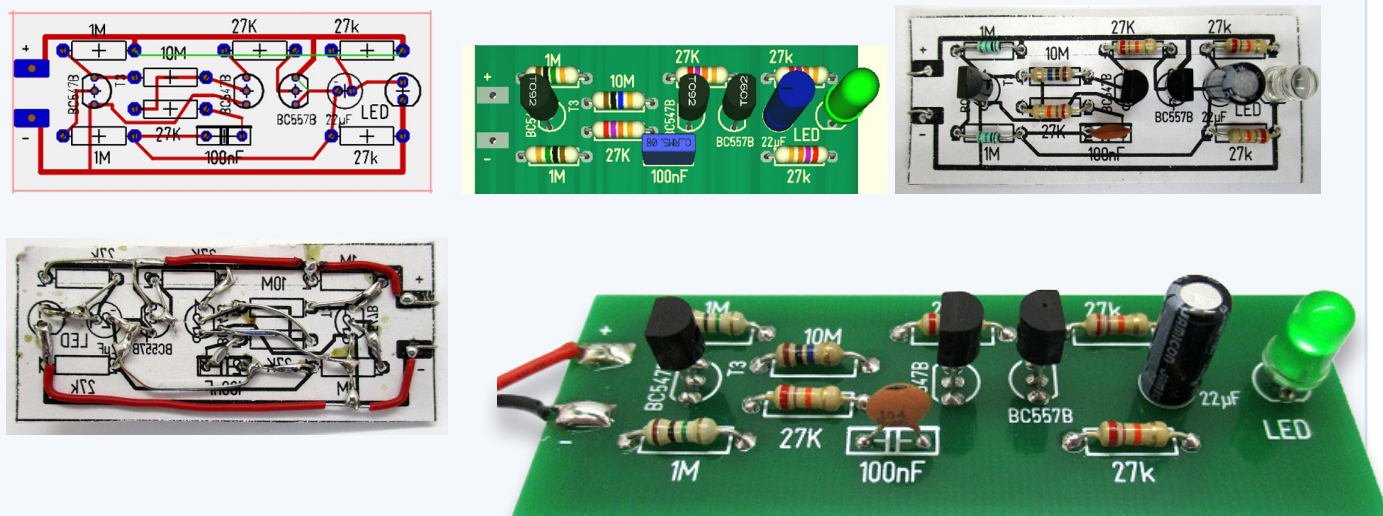


Figure 10. Ébauche, montage de test et carte finie.

s'agit d'une autre étape importante du processus de vérification, qui a permis de découvrir de nombreux bogues manqués. Même à ce stade, il est incertain que tout fonctionnera correctement.

Une autre astuce qui peut aider à repérer les erreurs consiste à imprimer le schéma et à placer les composants sur leur empreinte. Pour un de mes projets, j'ai cru pouvoir sauter cette étape parce que le circuit imprimé était si simple et clairement structuré. En contemplant le circuit imprimé déballé sur mon établi et en tenant le fer à souder chauffé à la main, j'ai soudain compris : mauvaise empreinte pour le boîtier SO du microcontrôleur ! Ce composant particulier est disponible dans un boîtier étroit ou large. Ici, j'ai tout de même assemblé le circuit imprimé en prolongeant toutes les broches sur un côté avec de courts fils (figure 8). C'est tellement frustrant ; je peux cependant me consoler en trouvant d'autres ajustements qui amélioreraient mon circuit (dans ce cas, une meilleure annotation) de sorte qu'une nouvelle version du circuit imprimé ne soit pas une perte totale (figure 9). Lorsqu'il s'agit de cartes simples avec des composants à connecter, par exemple pour des projets d'initiation, vous pouvez aller un peu plus loin et construire une première version de la carte : collez une version du circuit imprimé sur une petite feuille de carton et percez des trous pour les fils. Vous pouvez ensuite insérer les composants à travers le

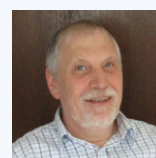
carton et les souder en dessous. Utilisez ensuite de courts fils pour remplacer les pistes. Il y a des chances que vous puissiez repérer les erreurs éventuelles. En outre, vous disposez d'un prototype à tester avant de réaliser le CI final (figure 10).

Certaines de ces méthodes de conception de cartes simples sont très efficaces dans le cadre de petits projets expérimentaux faciles à réaliser, mais elles ne le sont évidemment pas dans le cadre de projets plus grands. Le chef d'une grande entreprise peut très bien manquer de compréhension et ridiculiser les schémas sur carton en pensant qu'il s'agit d'amateurisme, d'une perte de temps et que tout électronicien professionnel compétent devrait être capable de réussir du premier coup. En principe, c'est vrai, mais croyez-moi, les fautes et les erreurs sont inévitables et vous aurez besoin de plusieurs versions, ce qui augmente les coûts et affecte les délais du projet. Je peux juste affirmer que la technique décrite dans cet article a bien fonctionné pour moi ; plus d'attention doit être accordée aux essais et tests préliminaires afin de réduire le nombre de versions de la carte à commander. ◀

(220226-04) — VF : Asma Adhimi

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (b.kainka@t-online.de) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



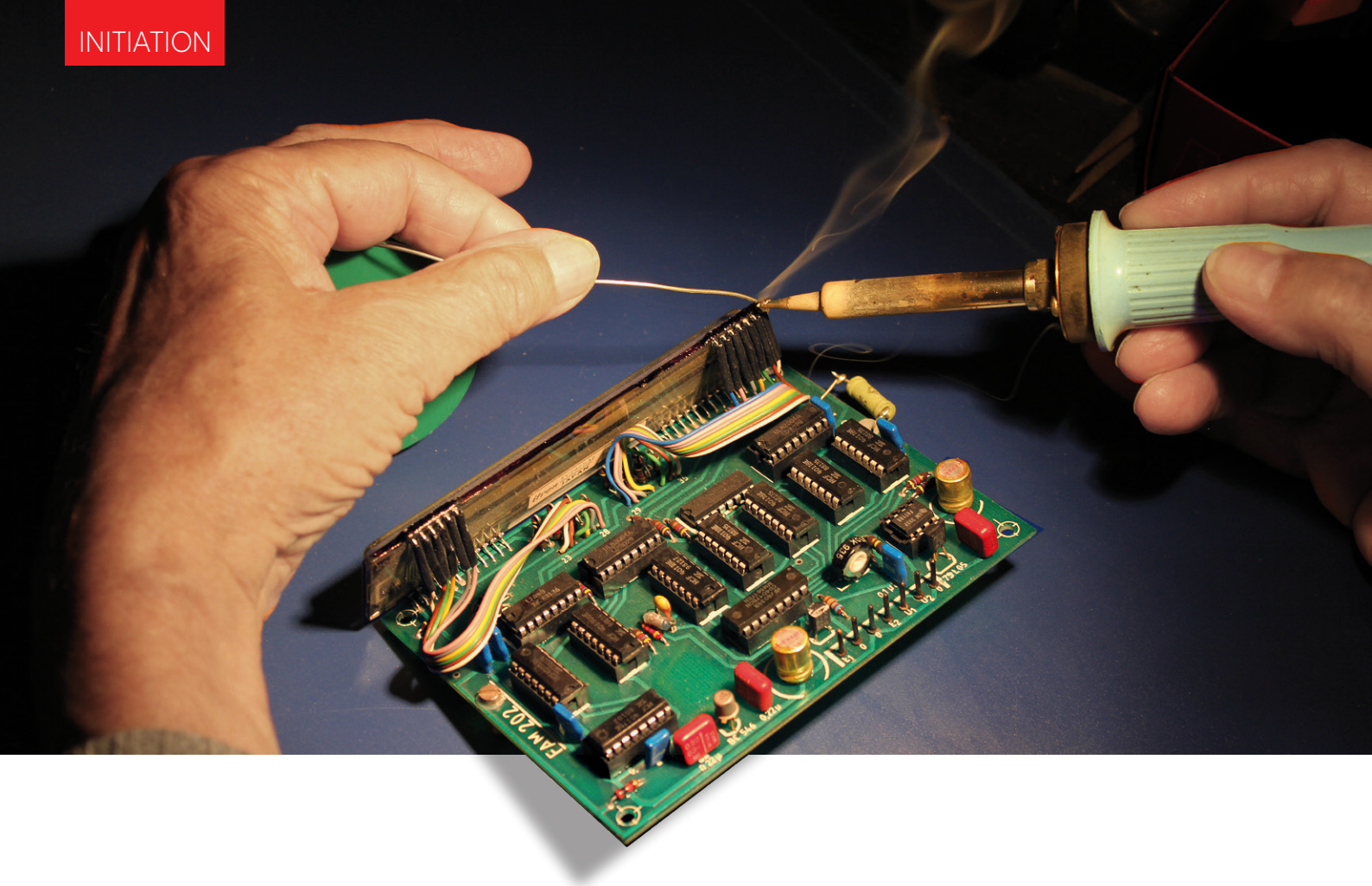
À propos de l'auteur

Burkhard Kainka a été professeur de physique pendant de nombreuses années avant de se mettre à son compte en 1996 en tant que concepteur et auteur dans le domaine de l'électronique et des microcontrôleurs. Il dirige les sites Web www.elektronik-labor.de et www.b-kainka.de, où vous trouverez de nombreux simples et grands projets intéressants ainsi que des informations sur les bases de l'électronique. Burkhard est un radioamateur passionné dont l'indicatif est DK7JD.



Produits

➤ **Shield radiologique d'Elektor 2.0, circuit imprimé (SKU 18560)**
www.elektor.fr/18560



souder - *et alors ?*

un regard approfondi sur la technologie de soudage moderne

Peter Beil (Allemagne)

La plupart des gens ne se rendent pas compte que le soudage de composants électroniques est une activité très complexe, avec des processus thermiques et chimiques compliqués qui se déroulent sur une surface limitée. Cependant, si vous suivez quelques règles de base, vous ne rencontrerez pas de problèmes.

Les soudures ne doivent pas seulement assurer un bon contact : elles doivent aussi être mécaniquement solides et résister à l'oxydation. En outre, elles doivent être exemptes de résidus chimiques, notamment de flux, car ce dernier peut attaquer les surfaces métalliques voisines ainsi que les plastiques.

Les soudures sont généralement divisées en trois catégories : grand public, industrielles et haut de gamme. Cette dernière est utilisée dans des domaines tels que l'automobile ou dans des environnements où la vie ou la santé sont en jeu. En tant qu'électroniciens,

nous nous intéressons principalement à la soudure manuelle pour les projets et les développements « maison ».

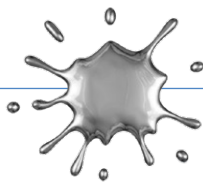
La bonne vieille soudure au plomb

La soudure au plomb a été courante pendant de nombreuses années. Le plomb a de bonnes caractéristiques de mouillage et de fluidité et a une température de fusion relativement basse d'environ 183 °C. Selon la règle

la température au niveau de la panne est égale à la température de fusion de l'alliage plus 120 °C,
cela correspond à une température de soudage d'environ 300 °C.

Le flux dans le fils à souder est destiné à dissoudre les oxydes au niveau du joint. L'étain de la soudure se fusionne avec le cuivre (ou toute autre couche métallique) pour créer une zone de diffusion intermétallique constituée d'un alliage des deux métaux. Il en résulte normalement un point de soudure bien formé, durable et offrant une bonne résistance mécanique.

Mais ce n'est pas toujours le cas - parfois, vous obtenez une bille de soudure froide (**figure 1**). Les billes de soudure froides sont causées par les couches métalliques fortement oxydées, des impuretés, une température inadaptée ou une solidification précoce au cours du processus de fusion. Les soudures froides présentent



une résistance excessive et peuvent même conduire au détachement des composants. Les images au microscope électronique de la **figure 2** montrent les imperfections d'une soudure froide par rapport à une bonne soudure.

À l'époque de la soudure au plomb, les soudures froides étaient clairement identifiables par leur surface mate et terne, au lieu de la surface brillante d'une bonne soudure. Cependant, ce n'est plus le cas avec les soudures sans plomb. Avec les nouveaux alliages, les soudures ont généralement une surface mate liée à leur composition spécifique, qu'elles soient froides ou bonnes (voir **figure 3**).

Le sans plomb dans le nouveau millénaire

L'introduction des soudures sans plomb en 2006 a rendu le soudage manuel un peu plus difficile. Les nouvelles soudures sont conformes à la directive RoHS, ce qui signifie qu'elles sont conformes à la directive européenne relative à la restriction de l'utilisation de certaines substances dangereuses (*Restriction of Certain Hazardous Substances*) [1].

Les soudures sans plomb ne sont pas autorisées à contenir plus de 0,1 % de plomb. Cette réglementation vise principalement à empêcher l'inhalation de vapeurs toxiques, mais le risque est en fait assez faible, car des systèmes d'extraction appropriés sont disponibles (en supposant qu'ils soient utilisés).

Pour longtemps, les gens n'étaient pas conscients des dangers du travail avec le plomb. Par exemple, à l'époque, un typographe professionnel risquait de perdre toutes ses dents en quelques années à cause du plomb.

Les pannes à souder sont désormais plus chaudes

Quiconque travaille pour la première fois avec de la soudure sans plomb constate immédiatement que la nouvelle matière nécessite une température beaucoup plus élevée et présente des caractéristiques d'écoulement différentes. De nombreux composants ne supportent pas des températures aussi élevées, c'est pourquoi des efforts ont été consacrés à les neutraliser avec des flux innovants et des temps de soudage plus courts. Tout cela rend les fils à souder sans plomb plus chers (voir ci-dessous).

Cela signifie également que vous devez vous méfier des fils à souder sans plomb à bas prix, qui ne sont souvent pas ce qu'ils sont censés être. Si vous travaillez à une température trop élevée, vous pouvez facilement endommager un composant sensible ou pire encore, détacher rapidement une pastille du circuit imprimé.

Les développeurs et les électroniciens amateurs sont toujours autorisés à utiliser des soudures au plomb, à condition qu'ils ne distribuent pas leurs produits à titre commercial. Cela signifie que vous n'êtes pas autorisé à commercialiser un nombre relativement important de produits fabriqués dans votre laboratoire personnel. La **figure 4** montre que malgré la présence de soudures conformes à la directive RoHS, les électroniciens continuent d'utiliser des soudures au plomb.



Figure 1. Rien de bon : une bille de soudure froide.

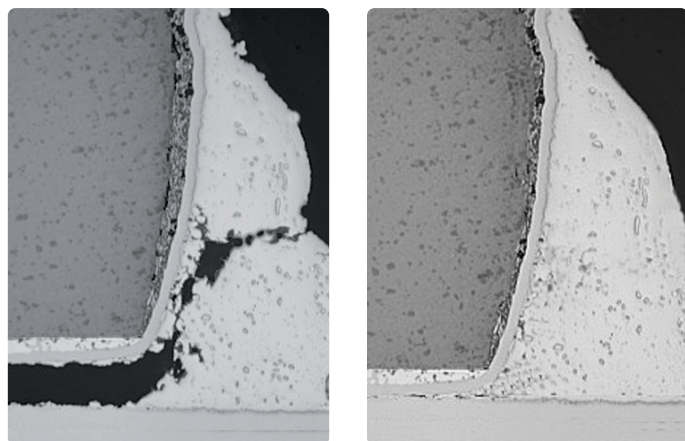


Figure 2. Images au microscope électronique d'une bille de soudure froide (à gauche) et d'une bonne soudure (à droite) avec un bon contact (source : Infineon).



Figure 3. Aspects différents : un point de soudure sans plomb (à gauche) et un point de soudure au plomb conventionnel (à droite).



Figure 4. Fil de soudure au plomb et fil sans plomb.

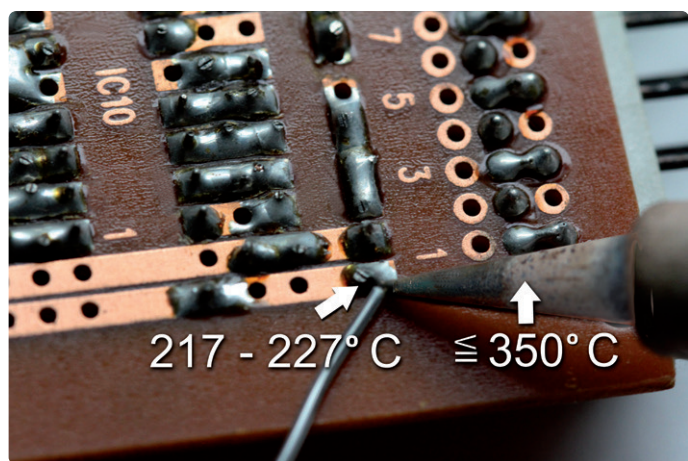


Figure 5. Certains les préfèrent très chauds : les températures des fers à souder pour le soudage sans plomb.

Qu'est-ce qu'il y a dans la soudure ?

La plupart des alliages sans plomb couramment utilisés ont maintenant une teneur en étain considérablement plus élevée. Auparavant, elle était d'environ 63 %, mais elle est désormais d'environ 95 %, selon le fabricant. Cela place le point de fusion de l'alliage dans une fourchette de 217 °C à 227 °C. Auparavant, l'étain contenu dans la soudure était le composant qui formait la zone intermétallique et pouvait se fusionner avec les surfaces métalliques soudables.

Le plomb a toujours été le composant inactif de l'alliage, présentant l'avantage de rendre le fil à souder moins cher et de réduire le point de fusion de l'étain de 232 °C à 183 °C. Avec plus d'étain dans la soudure, et une température de soudure plus élevée, vous devez désormais accorder plus d'attention à vos outils et à la métallisation de vos composants. La soudure, non seulement se fusionne plus rapidement avec les surfaces en cuivre, mais elle peut aussi enlever plus rapidement le cuivre de la surface.

Pourquoi le sans plomb est-il plus cher ?

Avec les alliages sans plomb courants, la température de fusion de 217 °C mentionnée précédemment, qui est l'une des plus basses possibles, ne peut être atteinte dans la composition habituelle qu'avec un alliage composé de 95,5 % d'étain, 0,7 % de cuivre et environ 3,8 % d'argent. Cet alliage offre l'avantage d'un point de fusion relativement bas, mais l'inconvénient est que la teneur en argent, légèrement inférieure à 4 %, peut facilement rendre le fil à souder deux fois plus cher.

Cet alliage contenant de l'argent peut être plus économique en réduisant la teneur en argent à 3 %. L'alliage aura alors une température de fusion comprise entre 217 et 223 °C, ce qui n'est pas particulièrement utile pour le soudage ou pour la durée de vie des soudures.

Les alliages plus économiques se composent, par exemple, de 99,3 % d'étain et de 0,7 % de cuivre, ce qui donne un point de fusion bien défini de 227 °C. Pour cela, il n'est pas nécessaire d'augmenter la



Figure 6 : Différentes pannes à souder.

température de la panne de 10 °C par rapport à la température utilisée avec un alliage contenant de l'argent (figure 5).

Il faut respecter les limites de température

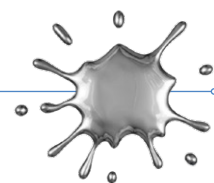
En théorie, la température du fer à souder devrait être réglée à 350 °C pour le dernier type de soudure sans plomb mentionné. Si vous avez besoin de 10 à 20 °C de plus pour apporter une telle quantité de chaleur en peu de temps, c'est certainement possible, mais les températures supérieures à 380 °C endommagent généralement la carte et les composants plutôt que de faciliter le soudage. Le flux dans le cœur du fil brûle également beaucoup plus rapidement et ne peut accomplir son rôle que pendant une durée limitée à une certaine température. Chaque augmentation de 10 °C réduit de moitié la durée de vie active du flux ; le temps disponible pour éliminer les oxydes se réduit, et à un certain moment, il ne sera plus suffisant.

Bien entendu, les alliages susmentionnés diffèrent d'un fabricant à l'autre et ils peuvent certainement contenir des composants supplémentaires. Pour des raisons liées aux brevets, les fabricants ne divulguent généralement pas ces informations.

Une soudure tendre implique toujours l'apport de la puissance nécessaire et l'atteinte d'une certaine température minimale. La soudure doit être liquide et avoir une certaine température supérieure au point de fusion. Cela permet la fusion des couches métalliques pour former un point de soudure solide. Tous les alliages sans plomb mentionnés précédemment sont suffisamment résistants. En gros, les soudures contenant de l'argent sont mieux adaptées aux applications présentant des cycles de température plus élevés, qui sont souvent accompagnés de contraintes mécaniques ou de vibrations persistantes. Cela s'applique notamment au déploiement de haute technologie mentionné auparavant dans l'électronique automobile ou les équipements médicaux.

La soudure doit bien couler

Le fil à souder est constitué, non seulement d'un alliage, mais également du flux mentionné précédemment. Autrefois, il n'existait



pas de fil fourré, et les gens se contentaient de pâtes à souder ou même de flux faits maison. L'une des recettes les plus courantes consistait en un mélange de trichloréthylène et de colophane, que l'on appelait « miel de soudure ».

Un flux a pour rôle d'éliminer les oxydes des éléments concernés : le composant, le circuit imprimé et, bien sûr, la soudure liquide. Cette opération doit durer le plus longtemps possible, afin d'offrir une fenêtre de temps la plus longue possible pour la soudure.

On distingue les flux halogénés et non halogénés. Les deux types éliminent les oxydes par une réaction acide oxyde métallique. Avec les soudures sans plomb, cette réaction doit se produire à des températures plus élevées, et elle doit être active plus longtemps à des températures de soudure plus élevées. Le flux doit pouvoir s'écouler en amont de la soudure en quantité suffisante, éliminer les oxydes, entraîner les sels résultants hors de la soudure et donner au liquide une agréable surface, propre et purement métallique. D'autre part, il ne doit pas y avoir trop de flux, afin de ne pas avoir à éliminer ensuite des résidus excessifs. Le flux solidifié n'est pas seulement inesthétique, mais (contrairement à l'opinion générale) il reste souvent chimiquement actif. Il faut donc, dans tous les cas, faire attention.

La soudure sans plomb nécessite un peu plus de puissance

Une soudure sans plomb nécessite plus de puissance qu'une soudure au plomb conventionnelle. Comme la quantité d'énergie requise est plus élevée, vous devez tenir compte de l'aspect important du transfert thermique vers le joint de soudure. Chaque opération de soudage nécessite une panne dotée d'une surface à transfert thermique appropriée, de sorte que l'énergie plus élevée nécessaire pour faire fondre la soudure sans plomb ne doive pas être obtenue uniquement en augmentant la température de fonctionnement.

Le choix de la bonne panne à souder (**figure 6**) est donc un élément important à prendre en compte, tout comme son nettoyage régulier, car elle s'oxyde et se couvre de tartre sous l'effet de températures élevées. La surface de contact d'une panne de soudure a également tendance à se creuser après une longue utilisation. Cela réduit considérablement le transfert thermique effectif.

Des études ont montré que lors de l'utilisation d'alliages sans plomb, l'augmentation de la température (par exemple de 360 °C à 410 °C) a un effet quasi exponentiel sur l'usure de la panne et réduit considérablement sa durée de vie. Pour cette raison, il est généralement conseillé d'utiliser un temps de soudage ou un temps de contact légèrement plus long au lieu d'augmenter la température de travail. Une station de soudage évaluée à 80 W ou plus serait le meilleur choix.

En résumé

La soudure sans plomb n'est pas plus compliquée, elle est simplement différente. Tout d'abord, vous devez vous familiariser avec

les différentes caractéristiques d'étalement et de mouillage de la soudure sans plomb. Il faut également prévoir un temps de soudure un peu plus long, pour éviter d'augmenter inutilement la température de soudure. En fait, peu de choses ont changé. Il est conseillé de faire plusieurs essais avec différents types de soudures pour trouver celle qui vous convient le mieux. D'une manière générale, les soudures à teneur relativement élevée en argent sont préférables, même si elles coûtent plus cher.

De nos jours, nous ne sommes plus exposés aux vapeurs de plomb, mais réellement aux émissions provenant du flux, et personne ne sait exactement ce que contient le flux. Donc, un extracteur de vapeur de soudure (même petit) constitue toujours un bon investissement. 

210653-04 VF : Asma Adhimi

Pour en savoir plus

Les fabricants renommés de produits de soudure offrent une quantité incroyable d'informations générales sur les fils à souder au plomb et sans plomb, les flux, les conseils de soudure, les instructions et les conseils pratiques, et bien plus encore, le tout à télécharger gratuitement.

www.felder.de/downloads/allgemeine-informationen.html [en allemand]

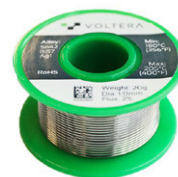
www.stannol.de/en/downloads.html

www.almit.de/index.php#Goodtoknow

www.almit.de/soldering-tips-and-working-life

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



PRODUITS

- **Fil à souder Voltera (Sn42 Bi57 Ag1) (SKU 19882)**
www.elektor.fr/19882
- **Fil à souder Velleman (Sn60 Pb40) (SKU 19860)**
www.elektor.fr/19860
- **Stations de soudage dans l'e-choppe Elektor**
[www.elektor.fr/catalogsearch/result/?q=soldering station](http://www.elektor.fr/catalogsearch/result/?q=soldering+station)

LIEN

[1] Directive RoHS : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A32002L0095>

commande de porte de garage par Bluetooth à réponse rapide

ouvrez votre porte avec votre smartphone

Stephan Lück (Allemagne)

Il m'arrive souvent d'avoir besoin d'ouvrir la porte de mon garage alors que je n'ai pas l'émetteur de télécommande 433 MHz en poche. J'ai donc construit un petit récepteur Bluetooth Low Energy (BLE) qui peut être commandé depuis une application Android sur mon smartphone.

L'une des particularités de ce projet est qu'il utilise des unités de données de protocole (PDU, *Protocol Data Units*) de publication BLE, ce qui évite les délais d'établissement de la connexion. Le système est donc aussi rapide qu'une paire émetteur/récepteur classique. La communication entre le smartphone et le récepteur est unidirectionnelle et sécurisée par un code d'authentification de message obtenu par hachage (HMAC, *hash-based message authentication code*) [1]. L'idée était de faire simple, autant pour le matériel que pour le logiciel. Je publie ce projet dans l'intention qu'il soit utilisable tel quel ou comme base de projets

similaires. Le code source est disponible sur GitHub [2].

Le protocole

Pour transmettre une commande, on utilise les PDU de publication BLE, qui sont décrites dans le volume 6, partie B, section 2.3 de la spécification Bluetooth [3]. Pour des raisons de compatibilité, on utilise les PDU courtes, à l'ancien format, qui contiennent un champ *AdvData* de 31 octets au maximum. Le champ *AdvData* contient une séquence d'éléments de données de publication (AD, *Advertising Data*) [4] (cf. volume 3, partie C, section 11 de la spécification

Bluetooth). Un élément AD possible est l'élément de données de service (cf. supplément de spécification du noyau Bluetooth, partie A, section 1). Cet AD contient un UUID (*Universal Unique Identifier*) de service suivi d'un nombre arbitraire d'octets.

Cette structure AD est utilisée pour transmettre une commande à distance. L'UUID de 128 bits correspond à un identifieur (ID) d'émetteur unique. En d'autres termes, chaque émetteur définit un service BLE spécifique. Les données jointes à l'UUID sont structurées comme suit, et sont représentées simplifiées sur la **figure 1** :

```
typedef struct {
    uint8_t cmd; /* commande (actuellement toujours 0) */
    uint8_t seq_no[3]; /* numéro de séquence (big endian) */
    uint8_t digest[4]; /* quatre premiers octets de HMAC-SHA256 */
} gd_message_t;
```

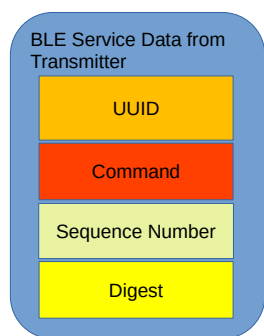


Figure 1. Structure de données simplifiée.

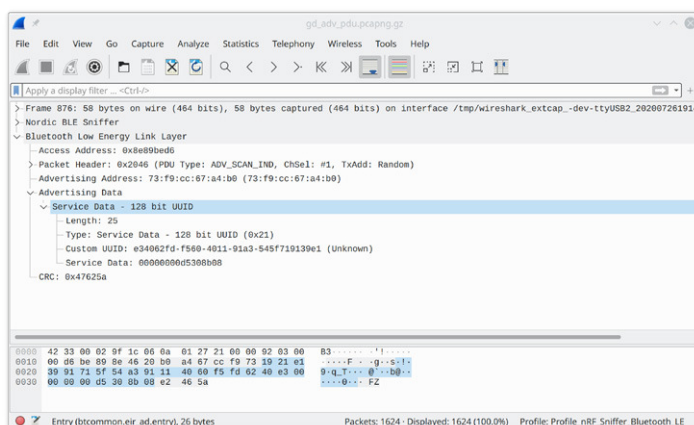


Figure 2. PDU capturé par Wireshark.

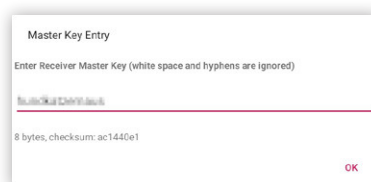


Figure 3. Démarrage de l'application et génération de la clé.



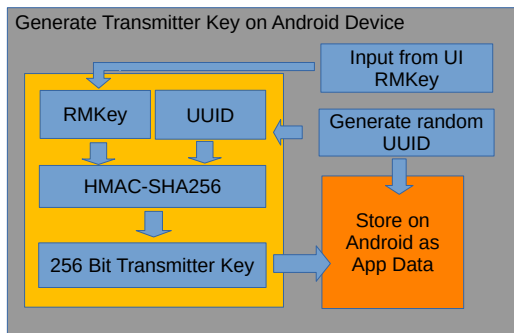


Figure 4. Flux pour le calcul de la clé de l'émetteur.

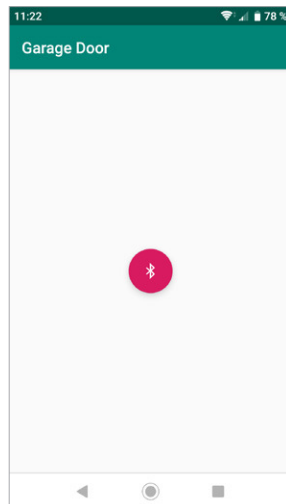


Figure 5. L'application est prête à être utilisée.

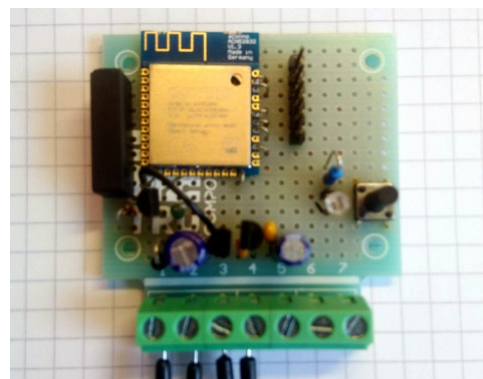


Figure 6. Prototype prêt.

Le champ *digest* permet d'authentifier le message. Le numéro de séquence permet de détecter les PDU dupliquées et d'éviter les attaques par répétition. Les PDU de publication BLE n'étant pas cryptées, il est possible que d'autres utilisateurs reçoivent à la fois l'UUID et les données supplémentaires. Le *digest* est calculé à partir d'une clé d'émetteur, laquelle dérive d'une clé principale de récepteur (RMkey) stockée dans le récepteur, basée sur l'UUID de l'émetteur.

`transmitter_key = HMAC-SHA256(RMkey, transmitter_UUID)`

Un exemple de PDU de publication est illustré dans la capture d'écran Wireshark de la figure 2.

L'émetteur

L'émetteur est une simple application Android nécessitant le niveau 21 de l'API (correspondant à Android 5 « Lollipop »). Au premier démarrage, l'application calcule un UUID aléatoire et affiche une boîte de dialogue de configuration pour saisir la RMkey sous la forme d'une valeur codée en base32 (figure 3). Le dialogue de configuration montre la longueur de la clé et une somme de contrôle CRC32 pour aider l'utilisateur à éviter les fautes de frappe lors de la saisie de la clé. L'application calcule la clé de l'émetteur à partir de l'UUID et de la RMkey qui est jetée. Le tuple (UUID, clé de l'émetteur), correspondant à l'identité de l'émetteur, est stocké de manière permanente. Cette identité est perdue lorsque l'application est désinstallée ou que les données de l'application sont supprimées manuellement. Le principe du calcul est illustré à la figure 4.

Une fois configurée, l'application affiche un bouton rouge (figure 5). En cliquant sur le bouton, une procédure de publication BLE est configurée pour répéter la transmission de l'AD de données de service décrite ci-dessus pendant une durée de quelques secondes.

Le récepteur

Le récepteur a été construit sur une carte de prototypage autour du module BLE aconno

ACN52832 [5] (figure 6). Il comporte un microcontrôleur Nordic Semiconductor NRF52832, un bouton poussoir, une LED et un relais à connecter à une motorisation de porte de garage. Le récepteur a besoin d'une alimentation de 9 V à 24 V DC. Si possible, la tension d'alimentation peut être prise sur la motorisation de la porte de garage. Sinon, une simple alimentation murale fera aussi bien l'affaire. Vous trouverez le schéma à la figure 7.

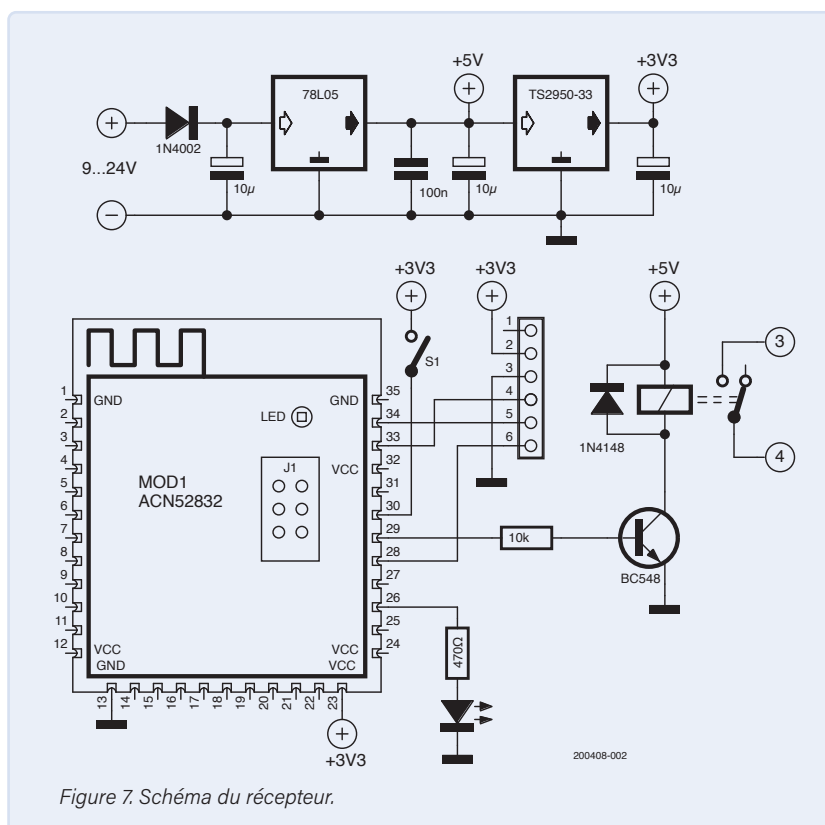


Figure 7. Schéma du récepteur.

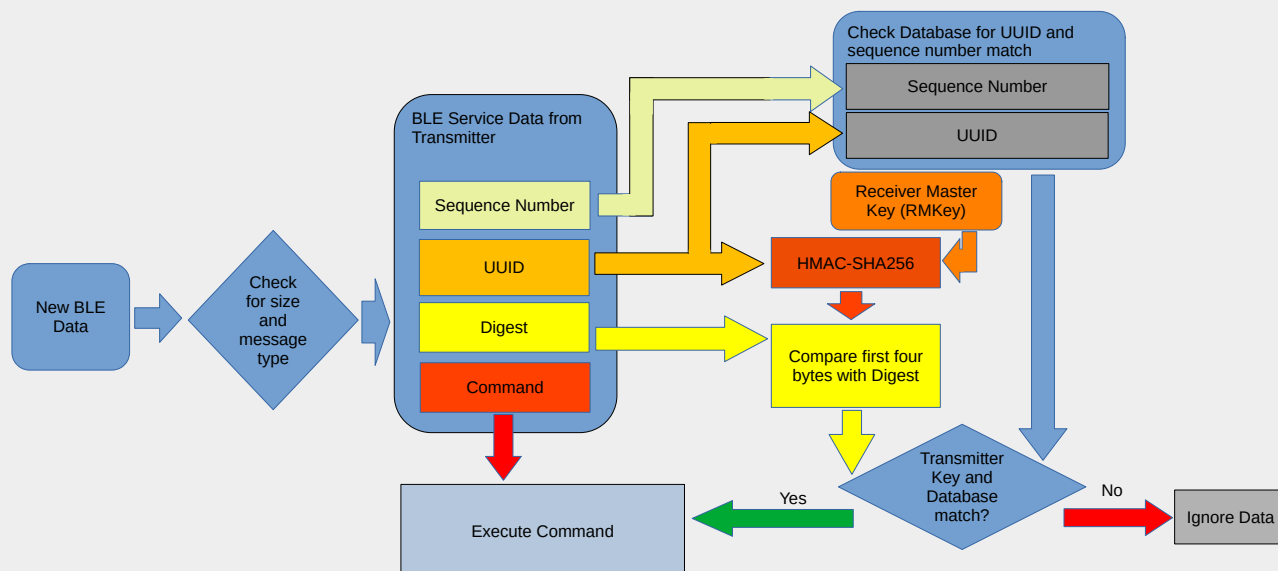


Figure 8. Flux de réception des données BLE.

Lors de la génération du logiciel pour le micro-contrôleur, un script Python crée le fichier *rxm_key.bin* qui contient la clé RMkey de 20 octets. De plus, une représentation textuelle de la clé est créée et stockée dans le fichier *_build/rxm_key.txt*, qui contient les informations à saisir dans l'application de l'émetteur lors du premier démarrage.

Le récepteur gère une base de données des UUID et des numéros de séquence des émetteurs. Pour ajouter un nouvel émetteur, il faut appuyer sur le bouton et ensuite activer l'émetteur à ajouter. Si l'on appuie sur le bouton pendant plus de cinq secondes, la base de données est effacée et le récepteur ne répond plus à aucun émetteur.

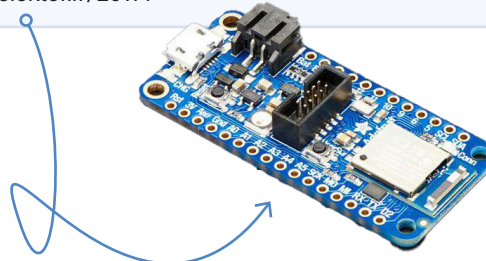
Lorsque le récepteur reçoit une PDU de publication contenant la structure AD de données de service décrite ci-dessus, il vérifie la présence de l'UUID de l'émetteur dans sa base de données et que le numéro de séquence est correct (**figure 8**). En cas de succès, le relais est activé pendant une seconde. ◀

200408-04 – VF : Helmut Müller



PRODUITS

- **Adafruit CLUE - nRF52840 Express avec Bluetooth LE (SKU 19512)**
www.elektor.fr/19512
- **Livre en anglais « Android App Development for Electronics Designers », Dogan Ibrahim, (SKU 18687)**
www.elektor.fr/18687
- **Dongle USB nRF52840 MDK de makerdiary avec boîtier (SKU 19252)**
www.elektor.fr/19252
- **Adafruit Feather nRF52840 Express (SKU 20114)**
www.elektor.fr/20114



Des questions, des commentaires ?

Contactez l'auteur via GitHub [2] ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



LIENS

- [1] HMAC (Wikipedia) : <https://fr.wikipedia.org/wiki/HMAC>
- [2] Dépôt GitHub : <https://github.com/kiffie/ble-garage-door>
- [3] Bluetooth SIG : www.bluetooth.com/
- [4] Principes de base des données de publication Bluetooth, Silicon Labs : <https://bit.ly/silabs-bluetooth-ad>
- [5] ACN52832 par aconno : <https://aconno.de/products/acn52832/>

contrôleur de diode idéale

circuits à diodes à faible dissipation de puissance

Rainer Schuster (Allemagne)

La réduction de la puissance dissipée par les diodes est essentielle lorsque des courants élevés circulent à des tensions relativement faibles (par exemple, lorsque des panneaux solaires ou des batteries lithium ion sont connectés en parallèle). Des contrôleurs de diodes idéales ont été développés pour minimiser la dissipation de puissance dans de telles situations.

Un exemple typique d'utilisation de diodes est illustré à la **figure 1**. Là, les diodes sont nécessaires pour empêcher le courant de circuler d'une batterie ou d'un panneau solaire vers une autre batterie ou un autre panneau. Mais si nous considérons la dissipation de puissance des diodes au silicium, par exemple pour un modèle 1N5404, la fiche technique indique que la tension directe est de 1 V à 3 A (**figure 2**). Cela signifie que la puissance dissipée à 3 A est de 3 W.

C'est un peu mieux si vous utilisez une diode Schottky telle que la 1N5822, qui peut également supporter 3 A. À ce niveau de courant, la chute de tension sur la diode n'est que de 0,45 V, ce qui correspond à une dissipation de puissance de 1,35 W, comme l'illustre la **figure 3**.

Mais si vous voulez utiliser des diodes à des courants plus élevés, par exemple à 100 A ou plus (ce qui est tout à fait envisageable avec les batteries lithium-ion), la puissance dissipée atteint un niveau intolérable de 50 W ou plus, même si vous utilisez des diodes Schottky.

Diode idéale

Pour réduire cette dissipation de puissance, Linear Technology a développé des circuits de contrôle de diode idéale, notamment

le LTC4357. Ce contrôleur possède une broche d'entrée (anode), une broche de sortie (cathode), et une broche de masse. En combinant le contrôleur avec un MOSFET à canal n, comme le montre le circuit de la **figure 4**, nous obtenons une diode « idéale », et le LTC4357 a une tension maximale nominale de 80 V. Bien entendu, la tension nominale maximale drain-source du MOSFET doit être au moins égale à la tension présente entre l'entrée et la sortie. Le courant maximal de la diode ne dépend que du courant de drain maximal nominal du MOSFET, et la puissance dissipée ne dépend que de la résistance drain-source du MOSFET à l'état passant.

Dans l'exemple de circuit illustré à la **figure 4**, le LTC4357 fonctionne comme un comparateur. Lorsque la tension d'entrée est supérieure à la tension de sortie, Q1 est activé, sinon Q1 est bloqué pour empêcher le passage du courant de la cathode (drain) vers l'anode (source).

En regardant la **figure 4**, vous vous demanderez comment le circuit peut fonctionner avec la broche de tension d'alimentation du LTC4357 (VDD) connectée à la sortie (cathode). En effet, lorsque le LTC4357 est mis sous tension, il tire sa tension d'alimentation à travers la diode de corps du

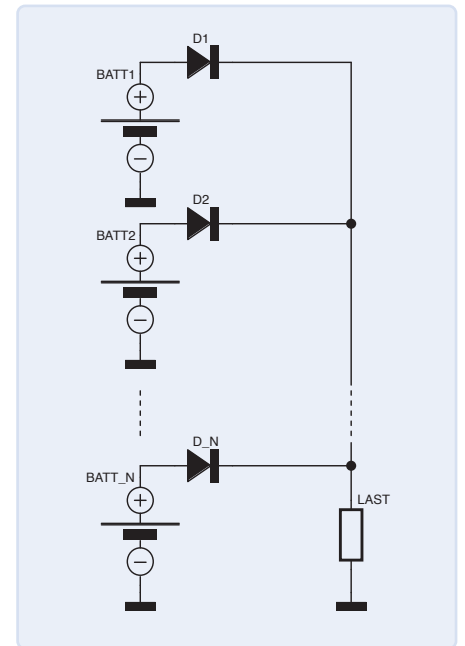


Figure 1. Une faible dissipation de puissance est importante lorsque des panneaux solaires ou des batteries sont connectés en parallèle.

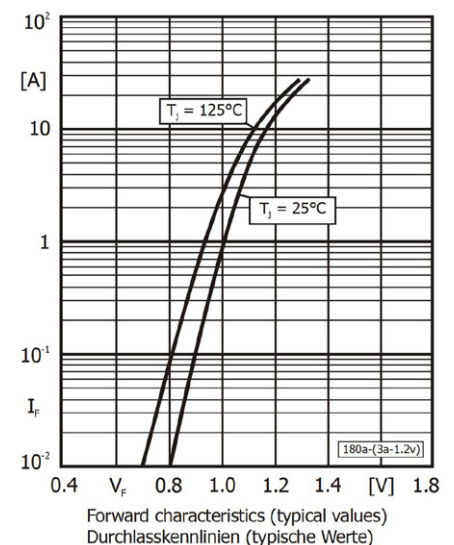


Figure 2. Caractéristique de la tension directe du 1N5404 en fonction du courant (source : fiche technique de Diotec Semiconductor).

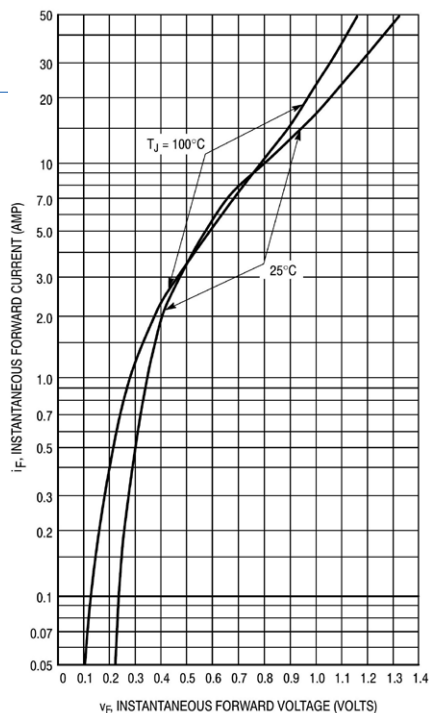


Figure 3. Caractéristique de la tension directe en fonction du courant du 1N5822 (source : fiche technique de Onsemi).

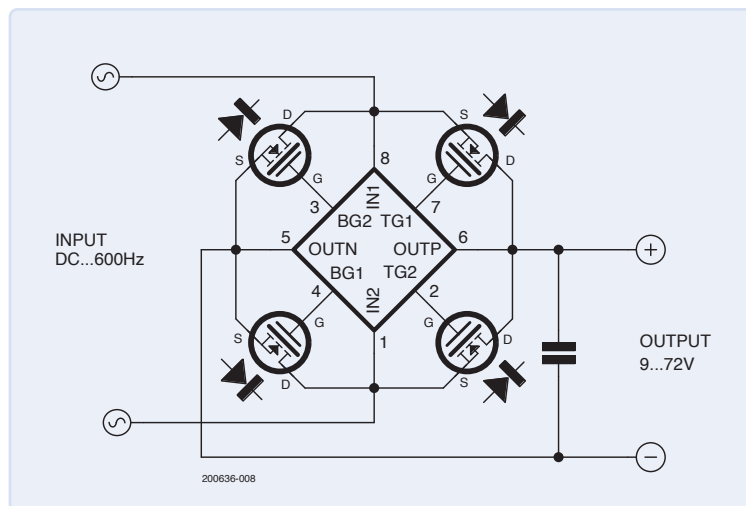


Figure 5. Un redresseur utilisant le LT4320.

MOSFET si aucune tension provenant d'une autre source n'est fournie à la cathode. En outre, le MOSFET se bloque s'il y a un court-circuit entre la borne de la cathode et la masse.

Dans le circuit d'application illustré, nous utilisons un MOSFET de type IRF2805. Selon sa fiche technique, la résistance drain-source est de seulement 4,7 mΩ. Avec un courant de 3 A, la chute de tension n'est donc que de 14,1 mV, de sorte que la puissance dissipée est limitée à 42 mW. Le tableau suivant montre des chiffres comparatifs entre le MOSFET et une diode (dans ce cas une IXYS DSEI 120) à un courant de 75 A.

Composant	Chute de tension	Puissance dissipée
IRF2805	350 mV	26 W
DSEI 120	1,5 V	112,5 W

Les fichiers Eagle pour le schéma et la disposition du circuit illustré précédemment sont disponibles sur [1].

Et en alternative ?

L'LT4357 a une limitation : il ne convient pas pour le redressement des tensions alternatives. Pour pallier ce problème, Linear Technology propose également le LT4320, qui peut être utilisé pour construire un pont redresseur. Le circuit d'application typique

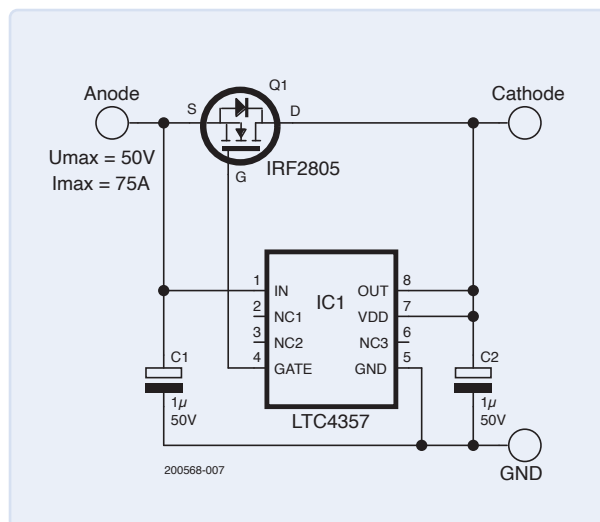


Figure 4. Le circuit d'application standard se compose d'un contrôleur de diode idéale et d'un MOSFET.

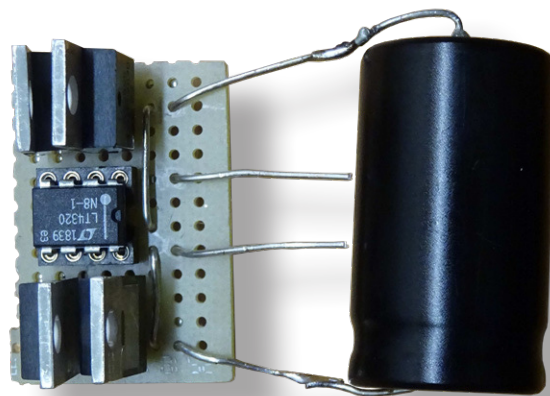


Figure 6. Circuit redresseur sur une plaque de prototypage.

illustré à la **figure 5** est extrait de la fiche technique de Linear Technology.

Il est ainsi possible de réaliser des ponts redresseurs pour des tensions de 9 à 70 V. La gamme de fréquences s'étend du CC à 60 Hz avec le LT4320, ou du CC à 600 Hz avec le LT4320-1. Et là encore, le courant maximal et la puissance dissipée du redresseur dépendent des MOSFET utilisés. Les fichiers Eagle pour le schéma et la disposition (pour les versions CMS et THT) de ce circuit redresseur sont également disponibles à [1]. La disposition est réalisée de manière à ce que le circuit assemblé puisse remplacer les redresseurs à pont de type BxxCyyy conventionnels. La **figure 6** montre un circuit redresseur construit sur un morceau de perfboard.

Bref

Les contrôleurs de diode idéale de Linear Technology permettent de réduire considé-

ramblement la dissipation de puissance des diodes et des redresseurs. La complexité accrue du circuit (et le coût supplémentaire) est tout à fait acceptable pour les circuits fonctionnant à des niveaux de courant élevés.

Bien entendu, les contrôleurs de diode idéale de Linear Technology ne sont pas parfaits, comme le montre la forme d'onde de tension du redresseur de la « diode idéale » (**figure 7**), car les paramètres parasites des composants réels ne peuvent pas être éliminés par simple souhait. Néanmoins, la combinaison d'un contrôleur et d'un MOSFET est le meilleur moyen de réduire la puissance dissipée d'une diode.

Des schémas pour la simulation avec LTSpice sont disponibles pour le LT4357 et

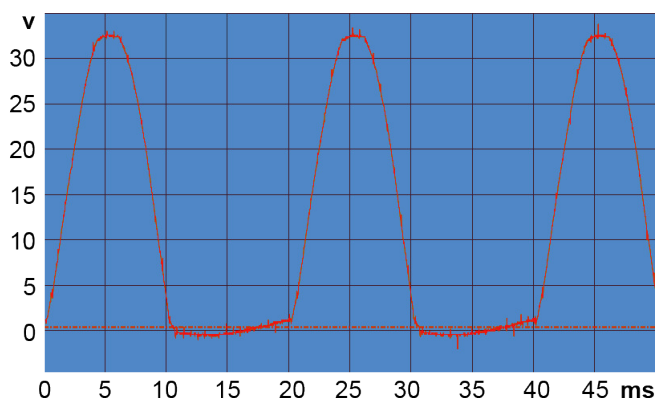


Figure 7. Forme d'onde de la tension de sortie du redresseur.

le LT4320 à [1]. Vous pouvez visionner une vidéo sur ce sujet à l'adresse [2].

200568-04

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.com).



PRODUITS

> Livre

« *Electronic Circuits For All* »,
M. A. Shustov et A.M. Shustov.
(SKU 18333)
www.elektor.fr/18333

LIENS

[1] Ce projet sur Elektor Labs : <https://www.elektormagazine.fr/labs/ideal-diode-controller>

[2] R. Schuster, « Ideal Diode Controller, » YouTube, novembre 2020 : <https://www.youtube.com/watch?v=nd1zTrDmi0w>

Publicité



L'afficheur E-Paper d'Ynvisible Le papier électronique le plus abordable.

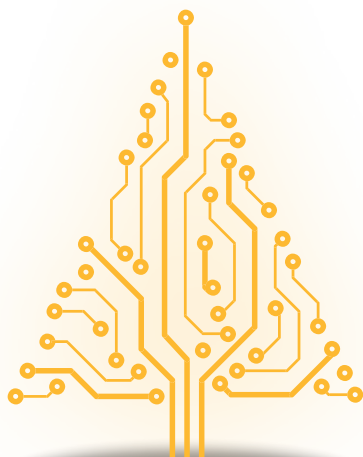
Ynvisible présentera son papier électronique E-Paper, un afficheur abordable et à très faible consommation d'énergie, au salon **electronica 2022**.

Visitez le hall B5, stand 118

ynvisible

SCANNEZ POUR EN SAVOIR PLUS





guirlandes de LED

avec ESP32 et FreeRTOS

clignotantes et scintillantes

Serge Sussel (France)

Pour les jours de fête et les soirées, des rubans de LED en 24 V CC qui clignotent et scintillent peuvent être un régal pour les yeux. Il suffit d'un ESP32 pour piloter un système complet avec 13 paramètres différents. Avec FreeRTOS, l'exécution simultanée de plusieurs tâches est possible.

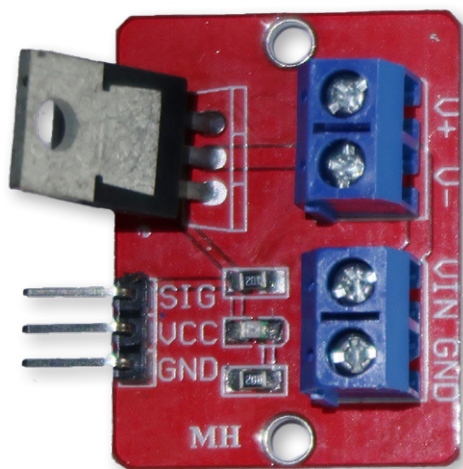


Figure 1. Module à FET.

Pour les fêtes de fin d'année, je voulais décorer et illuminer le sapin de Noël. J'avais de très vieilles guirlandes lumineuses avec des ampoules à incandescence en série, chacune encapsulée dans un petit bulbe en plastique coloré. Pour donner vie à ce chapelet de lampes, un rudimentaire interrupteur thermique était connecté entre le secteur et les lampes. De plus, la faible longueur de la guirlande limitait les possibilités d'animation de l'arbre.

J'ai donc cherché sur le web un site commercial proposant des guirlandes utilisant la technologie LED, qui consomme moins d'énergie et ne chauffe pas autant. J'en ai trouvé un (Lumitronix) et j'ai opté pour l'achat de deux rubans de LED multicolores beaucoup plus longs avec les transformateurs adéquats. C'est un système sous 24 V avec un redresseur qui peut alimenter plusieurs rubans de LED. Seulement, l'allumage des rubans multicolores reste fixe, sans animation - un peu triste pour des illuminations de sapin de Noël.

J'ai également rénové mon ancienne guirlande en remplaçant les ampoules à filament par des LED de couleur identique aux bulbes en plastique, rallongé les fils entre chaque lampe, et fait l'adaptation pour 24 V grâce à une résistance de limitation de courant montée en série avec les LED dans le connecteur. Cela m'a permis de produire trois rubans lumineux.

Enfin, pour animer le tout, j'ai pensé à programmer et utiliser un microcontrôleur, et piloter les rubans avec une interface à MOSFET pour faire clignoter ou scintiller les LED. Je me suis également instruit en lisant des livres sur le C/C++ et sur l'Arduino pour me former et apprendre de nouvelles choses.

Au début de ce projet, je me suis demandé comment utiliser plusieurs sorties MLI simultanément, mais de manière asynchrone, afin d'avoir une animation différente pour chaque ruban. Je pensais développer un automate à états finis pour cela, mais je trouvais cela un peu compliqué.

J'ai donc commencé le projet avec un Arduino Nano et une programma-

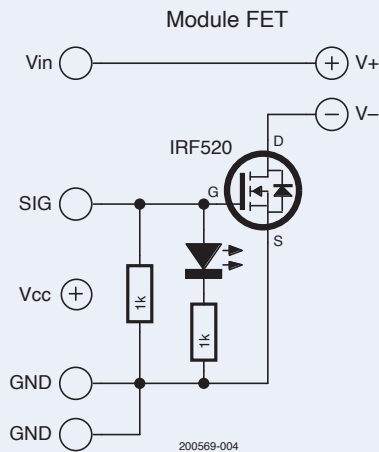


Figure 2. Schéma du module à FET.

tion simple qui pilotait une seule sortie MLI avec l'interface à MOSFET. J'ai ensuite dupliqué tout cela afin de pouvoir piloter deux guirlandes.

Comme j'avais trois rubans, le troisième avait la même animation que l'un des deux autres. Tout en testant le projet, j'ai aussi amélioré les paramètres d'animation du programme à plusieurs reprises afin d'améliorer le rendu visuel.

Le projet ESP32

En découvrant et en lisant les articles de Warren Gay dans Elektor sur FreeRTOS (www.elektormagazine.com/warrengay), ainsi qu'après l'acquisition de son livre sur ce sujet (www.elektor.fr/19341), j'ai essayé d'adapter FreeRTOS à l'Arduino Nano, mais j'ai rapidement trouvé ses limites. Après plusieurs essais, je n'ai pas pu exécuter plus d'une tâche RTOS à la fois sur le Nano. Il y avait sûrement des optimisations à faire.

Je me suis donc tourné vers l'ESP32 afin de porter mon projet sur cette plateforme et d'implémenter FreeRTOS et des tâches asynchrones indépendantes. J'ai commencé par y écrire une tâche, et découvert les différences entre ce microcontrôleur (ESP32) et l'Arduino Nano en matière de programmation C/C++.

Après plusieurs itérations de programmation et de test, je n'avais plus d'erreurs de compilation, et la tâche fonctionnait. Avec mon oscilloscope sur la broche de sortie MLI, j'obtenais les signaux voulus. Et, avec FreeRTOS, si on n'utilise pas de mécanisme d'attente et de synchronisation, chaque tâche est indépendante des autres. C'est exactement ce que je voulais faire.

Ainsi, l'animation de chaque ruban est tirée au sort aléatoirement. Néanmoins, même dans les rares cas avec deux animations identiques au même moment, elles ne commenceront pas en même temps en raison des décalages des animations précédentes.

J'ai pu apprécier la puissance de l'ESP32 et, après plusieurs essais et tests, j'ai réussi à créer deux, puis trois, puis quatre tâches qui s'exé-

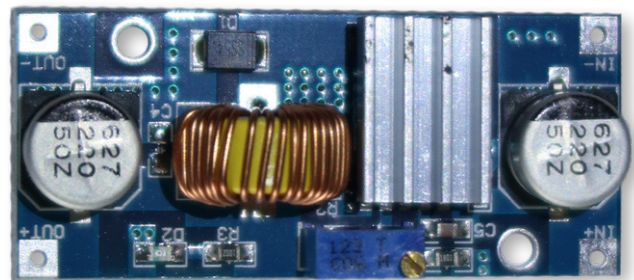


Figure 3. Convertisseur CC/CC pour obtenir une sortie de 5 V.

cutent simultanément. J'ai donc utilisé FreeRTOS sur l'ESP32 pour piloter quatre sorties via quatre tâches. L'ESP32 est cependant capable de piloter plus de sorties grâce à ses autres broches MLI disponibles.

J'utilise les sorties MLI pour faire varier progressivement la luminosité des rubans de LED, mais aussi pour les allumer et les éteindre, entre autres paramètres d'animation. J'ai monté mon projet sur une carte à trous et j'ai tout mis dans un boîtier en plastique. J'ai également posté ce projet sur elektormagazine.fr/labs.

Composants nécessaires

Pour trouver des composants pour mon projet, j'ai consulté l'Internet d'Extrême-Orient et j'ai trouvé de petits modules tous équipés de MOSFET, de résistances et de LED. En revanche, les délais de livraison étaient plutôt en semaines qu'en jours. J'ai donc procédé à la rétro-ingénierie du module (voir la **figure 1** et le schéma de la **figure 2**).

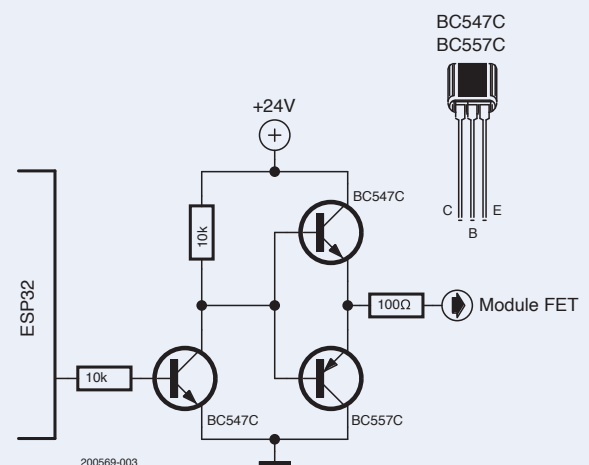


Figure 4. Pilote pour MOSFET.



Listage1. 13 jeux de paramètres pour les animations.

```
#define MAXPROGR 13 // Nombre maximum de
//programmes LED (0 à MAXPROGR -1)

// structure pour les programmes LED
struct pled_t /* structure def */
{
    int ledvar; /* 0 : clignotement ; 1 :
                luminosité variable */
    int ledon; /* durée d'allumage */
    int ledoff; /* durée d'extinction*/
    int ledvaloff; /* valeur pour l'état
                  d'extinction */
    int ledxtime; /* répéter ce programme x fois
                  */
};
pled_t pled [MAXPROGR]; /* mémoire réservée pour
                        les paramètres des programmes LED */

...

// initialisation des paramètres des programmes LED

pled[0].ledvar = 0;
pled[0].ledon = 750;
pled[0].ledoff = 900;
pled[0].ledvaloff = 18;
pled[0].ledxtime = 7;

pled[1].ledvar = 0;
pled[1].ledon = 1100;
pled[1].ledoff = 800;
pled[1].ledvaloff = 18;
pled[1].ledxtime = 8;

...

pled[5].ledvar = 1;
pled[5].ledon = 1024;
pled[5].ledoff = 1024;
pled[5].ledvaloff = 0;
pled[5].ledxtime = 6;

pled[6].ledvar = 1;
pled[6].ledon = 1280;
pled[6].ledoff = 1280;
pled[6].ledvaloff = 0;
pled[6].ledxtime = 5;

...

pled[12].ledvar = 1;
pled[12].ledon = 1024;
pled[12].ledoff = 512;
pled[12].ledvaloff = 0;
pled[12].ledxtime = 8;
```



Listage 2. Mode variable pour l'allumage et l'extinction en fondu.

```
// valeurs pour chaque étape dans le programme
// variable pour LED,
// 32 pas pour OFF vers ON et pareil pour ON vers
// OFF,
// Valeurs du demi-sinus
const int varval[] = { 0, 10, 25, 35, 45, 60,
75, 90, 100, 112, 122, 134, 145, 155, 165, 175,
184, 192, 200, 208, 215, 220, 226, 232, 236, 239,
241, 244, 247, 250, 253, 255 };
```



Listage 3. Définitions pour le matériel.

```
// Définition des types utilisateur
// 4 guirlandes pour ce projet
#define GUIRL_A 16 // GPIO pour la guirlande A
// MLI numérique - Task1Led
#define GUIRL_B 17 // GPIO pour la guirlande B
// MLI numérique - Task2Led
#define GUIRL_C 18 // GPIO pour la guirlande C
// MLI numérique - Task3Led
#define GUIRL_D 19 // GPIO pour la guirlande D
// MLI numérique - Task4Led

...

// Réglage des propriétés du MLI ESP32
const int freqpwm = 5000; // Fréquence en Hz
const int resolution = 8; // 8 bits
const int ledChannelA = 0; // Canal
// de chaque
// guirlande
const int ledChannelB = 1; //
const int ledChannelC = 2; //
const int ledChannelD = 3; //
```



Listages 4. Tâche se supprimant elle-même.

```
void loop()
{
    // Se supprime elle-même, inutilisée
    vTaskDelete(nullptr);
} // fin de la boucle
```


De même, j'ai trouvé un module d'alimentation entièrement assemblé et réglable acceptant une entrée de 24 V CC et, après avoir ajusté le potentiomètre multi-tours, il a fourni la tension de sortie appropriée (5 V) pour le microcontrôleur (**figure 3**).

Par ailleurs, dans un article d'Elektor, j'ai trouvé un montage intéressant pour piloter le module MOSFET, basé sur trois transistors - un couple de BC547 et un BC557 - et leurs résistances respectives (voir **figure 4**) pour améliorer les transitions sur la grille du MOSFET. Cependant, cela inverse le signal, il faut donc en tenir compte lors de la programmation. Encore une autre commande à passer et à attendre patiemment son arrivée.

Avec tous les composants enfin en main, j'ai pu assembler et effectuer les tests finaux. Heureusement, les modules à MOSFET ont été livrés par lot de 5 car je me suis retrouvé avec juste le corps d'un transistor MOSFET entre les doigts. Il a dû être plié plusieurs fois, ce qui a affaibli ses broches. Il m'a fallu un peu de rafistolage pour mettre fin au début de rupture des broches.

Ainsi, en sortie de l'ESP32 pour chaque guirlande, j'ai un module d'interface avec ses transistors BC547 et BC557 pour piloter chaque module à MOSFET, qui peut piloter un ou plusieurs rubans lumineux à LED (voir **figure 5**). J'ai tout enfermé dans un boîtier en plastique et j'ai monté des connecteurs pour l'entrée de tension CC et les sorties pour les rubans lumineux.

Le code d'animation de l'ESP32

J'ai utilisé l'Arduino IDE pour développer, compiler et télécharger le programme [1] vers le microcontrôleur. Venons-en maintenant au cœur du projet, à savoir l'animation des LED. J'ai choisi de décrire les animations par un ensemble de paramètres définis dans une table contenue dans une structure (**struct**). Il y a 13 entrées dans cette table (voir **listage 1** pour la structure (**struct**) utilisée et les valeurs pour l'initialiser). On peut toutefois étendre cette table avec plus d'entrées.

J'ai défini deux types d'animations. Le premier type est une animation ON/OFF avec une option supplémentaire de clarté résiduelle en mode OFF. Chaque sortie a une durée d'allumage, une durée d'extinction et le nombre d'itérations à effectuer pour chaque cycle d'allumage/extinction. Le second type est le mode variable. Pour cela, j'ai créé un tableau de 32 éléments. Il s'agit de valeurs sinusoïdales permettant d'allumer et d'éteindre progressivement les LED (voir **listage 2**). La durée du cycle est commandée par les durées d'allumage et d'extinction dans la table de paramètres.

À la fin de ces itérations, le programme charge un autre jeu de paramètres de la table, tiré au sort avec un nombre aléatoire utilisé

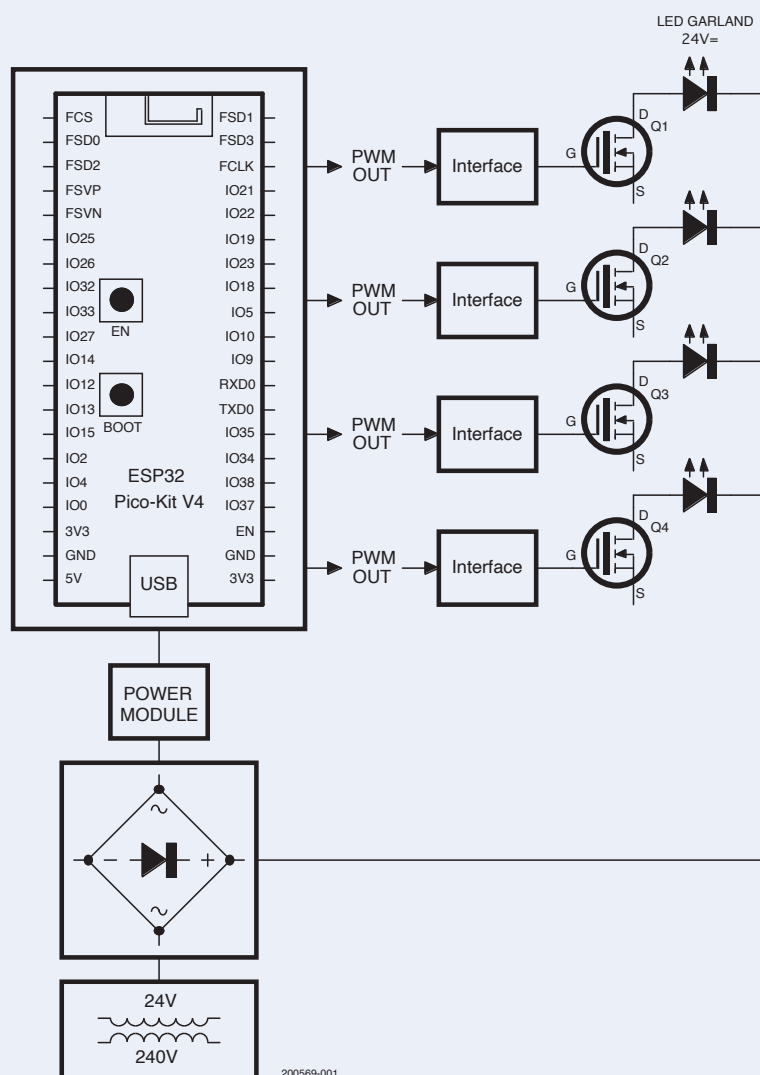


Figure 5. Schéma avec ESP32 et MOSFET.

pour le tableau de paramètres. Si le nombre tiré est le même que le précédent, le programme refait le tirage, afin de ne pas avoir deux fois de suite la même animation pour la même guirlande. Cela améliore l'esthétique de l'arbre.

Résumé des sections du code

Au début du programme, je définis les sorties MLI utilisées et les constantes pour l'ESP32 (**listage 3**). Vient ensuite la fonction utilisée pour avoir un nombre pseudo-aléatoire (lignes 61-67 du code [1]), puis le code de la tâche RTOS (lignes 72-145), qui sera exécutée indéfiniment. Cette tâche est réutilisable, car elle est définie avec un paramètre (le numéro de la broche MLI) qui lui est passé.

Vient ensuite la fonction **setup()**, qui commence par assigner toutes les valeurs à la table des paramètres d'animation mentionnée plus haut. La section suivante gère les paramètres de sortie MLI (lignes 231-245), et la création des tâches FreeRTOS, avec leurs paramètres, pour les

activer (lignes 251-315). Dans l'ESP32, l'ordonnanceur se lance tout seul, et démarre les tâches dès qu'elles sont déclarées.

Enfin, dans la fonction `loop()`, qui est elle-même une tâche, nous la laissons se supprimer, car elle n'exécute aucun code - une tâche peut se supprimer et libérer ses ressources. Ces lignes sont présentées dans le **listage 4**. Et la féérie prend vie ! (**figure 6**)

Pour aller plus loin

Grâce à ses multiples sorties MLI, l'ESP32 peut piloter d'autres guirlandes. On peut imaginer utiliser toutes les sorties MLI pour commander des guirlandes afin d'animer un jardin ou une façade de maison. Une autre possibilité serait d'utiliser le wifi disponible sur la plateforme pour commander l'ESP32 depuis un téléphone portable via une petite interface que l'on peut développer. Place aux suggestions.

On peut trouver tout le matériel pour ce projet sur la page *Elektor Labs* [1].

200569-04 — VF : Denis Lafourcade

À propos de l'auteur

Serge Sussel a découvert l'électronique au milieu des années 60 en achetant des magazines d'électronique tels que Elektor, Radio Plans, Haut-Parleur et Audiophile. Puis ses études supérieures lui ont permis de développer, entre autres, son expertise en informatique. Il a travaillé au sein de la Banque de France sur de grands systèmes au niveau du système d'exploitation (OS) et du sous-système de base de données, en développant également un préprocesseur pour compiler les éléments de sécurité des transactions. Sur le plan personnel, il s'est intéressé à l'électronique analogique dès le début, lorsqu'il est tombé dans la marmite. Il a construit des appareils de mesure, entre autres, avec des kits Heathkit, des préamplificateurs et des amplificateurs HiFi, ainsi qu'un orgue à trois claviers fourni en kit au début des années 80. Aujourd'hui à la retraite, il pratique toujours l'analogique mais aussi les plates-formes à microcontrôleurs, et il restaure des appareils très endommagés et ceux jetés par les gens qui ignorent qu'en changeant quelques composants, c'est reparti pour encore plusieurs années.

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

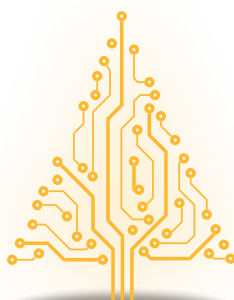
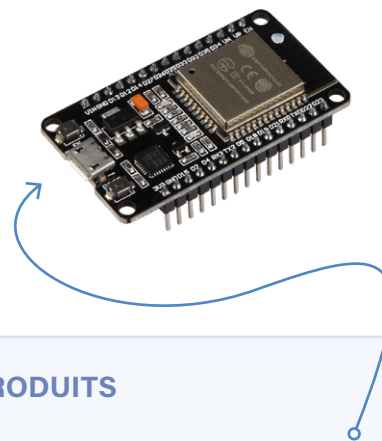


Figure 6. La féérie de lumières en action dans l'arbre.



PRODUITS

- > Carte de développement Joy-IT NodeMCU ESP32 (SKU 19973)
www.elektor.fr/19973
- > Livre en anglais « FreeRTOS for ESP32-Arduino », Warren Gay, (Elektor 2020, SKU 19341)
www.elektor.fr/19341

LIENS

[1] Articles d'Elektor par Warren Gay : www.elektormagazine.com/warrengay

[2] Sources et matériel pour ce projet sur Elektor Labs :

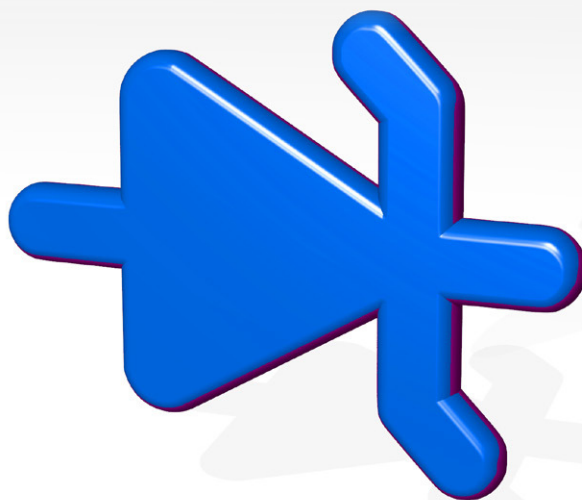
www.elektormagazine.fr/labs/esp32-with-freertos-driving-some-christmas-led-garlands

démarrer en électronique

...avec plaisir, on continue avec les Zener

Eric Bogers (Elektor)

Nous avons terminé l'épisode précédent par un aperçu de la diode Zener, un composant très courant que nous allons aborder plus en détail dans cet article.



Pour vous rafraîchir la mémoire : une diode Zener conduit dans le sens inverse de la polarisation et - contrairement à une diode ordinaire - elle ne se détériore pas lorsqu'elle commence à conduire dans le sens inverse. Cette propriété fait de la diode Zener un composant idéal pour réguler les tensions. À l'exception d'applications très spéciales, une diode Zener doit être utilisée avec une résistance en série pour limiter le courant traversant le composant à une valeur de sécurité. La **figure 1** illustre ce circuit. Le symbole d'une diode Zener diffère de celui d'une diode conventionnelle par le « trait » supplémentaire sur la cathode.

La **figure 2** montre la courbe caractéristique courant/tension d'une diode Zener ZPD12. Comme vous l'avez peut-être déjà deviné grâce au numéro 12 de la référence, il s'agit d'une diode dont la tension de claquage (tension Zener) est de 12 V. Le graphique montre que ce composant commence à conduire à une tension légèrement inférieure à 12 V (11,87 V, pour être précis). Cette tension augmente ensuite légèrement au fur et à mesure que l'on augmente le courant.

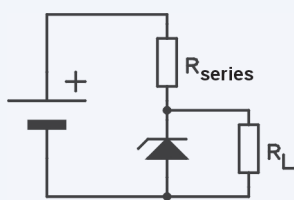


Figure 1. Circuit de base avec une diode Zener.

Une propriété importante est que la tension aux bornes de cette diode reste à une valeur raisonnablement constante de 12 V, ce qui rend ce composant parfaitement adapté à la régulation des tensions.

La dissipation de puissance maximale autorisée pour les diodes Zener de la série ZPD est de 500 mW. Puisque la tension augmente un peu avec le courant qui traverse la diode, vous devriez en réalité utiliser une équation du second ordre pour calculer le courant maximal autorisé. Toutefois, comme règle générale, vous pouvez commencer avec environ 90 % de la puissance nominale :

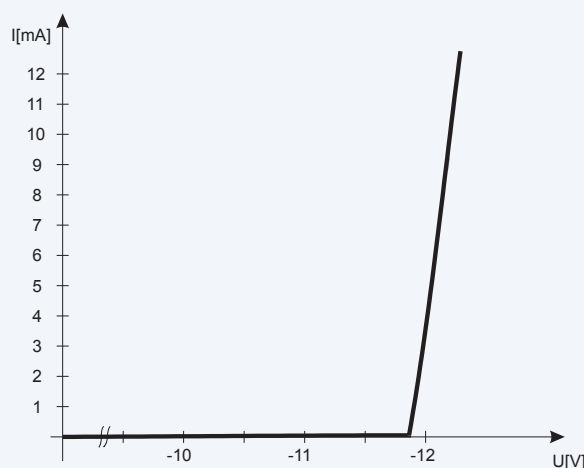


Figure 2. Courbe caractéristique de la diode Zener.

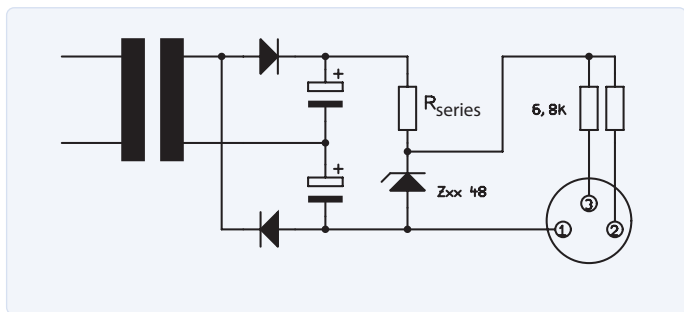


Figure 3. Alimentation fantôme régulée pour microphone.

$$I_{max} = \frac{0.9 \cdot P_{loss}}{U} = \frac{0.9 \cdot 0.5 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 37.5 \text{ mA}$$

Le circuit représenté sur la **figure 1** ne peut être utilisé que pour des courants relativement faibles. Des courants plus importants nécessiteraient une résistance série d'une valeur proportionnellement plus faible, ce qui augmenterait considérablement le courant traversant la diode. Cela entraînerait une dissipation de puissance excessive dans la diode. C'est pourquoi les diodes Zener sont presque toujours utilisées en combinaison avec des transistors ou des amplificateurs opérationnels.

Pour vous aider à comprendre ce composant, effectuons tous les calculs d'un circuit semblable à celui de la **figure 1**. Nous choisissons donc un circuit destiné à réguler la tension de l'alimentation fantôme d'un microphone [1].

Ainsi, nous recourons à une alimentation fantôme parce que la tension de polarisation du microphone arrive via... le câble du microphone ! Un microphone à condensateur, en particulier, ne peut pas fonctionner sans alimentation fantôme pour son amplificateur intégré. Cependant, le principe de « l'alimentation fantôme » a également d'autres applications.

Comme le montre la **figure 3**, l'alimentation fantôme fournit 48 V aux deux conducteurs de signal du câble du microphone (connecteur XLR : broches 2 et 3) via deux résistances de 6,8 kΩ chacune. Le retour à la masse est bien sûr connecté au blindage (tresse) du câble du microphone (connecteur XLR : broche 1).

Nous souhaitons dimensionner ce circuit d'alimentation pour qu'il soit stable dans toutes sortes de scénarios possibles. La résistance de charge la plus faible possible est de 0 Ω car le circuit n'est alors chargé que par le circuit parallèle des deux résistances de 6,8 kΩ - cette charge constitue donc un total de 3,4 kΩ.

Le courant de charge maximal est de :

$$I_L = \frac{U}{R_L} = \frac{48 \text{ V}}{3.4 \text{ k}\Omega} = 14.1 \text{ mA}$$

En supposant que l'on utilise un transformateur de 24 V, la tension

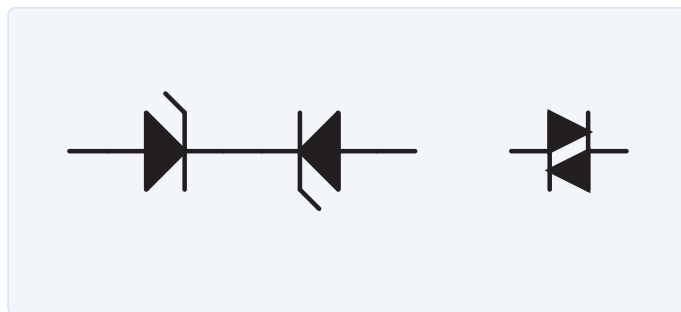


Figure 4. Quand on connecte deux diodes Zener en anti-série on obtient un diac.

maximale aux bornes du condensateur électrolytique s'élève alors à :

$$U_{top} = 48 \text{ V} \cdot \sqrt{2} - 1.4 \text{ V} = 66.5 \text{ V}$$

Pendant une demi-période, on laisse la tension baisser jusqu'à environ la moitié de la différence entre la tension pendant la phase de décharge et la tension nominale de l'alimentation fantôme :

$$\Delta U = \frac{66.5 \text{ V} - 48 \text{ V}}{2} = 9.3 \text{ V}$$

Par conséquent, la valeur minimale du condensateur du filtre est :

$$C = \frac{I}{f \cdot \Delta U} = \frac{14.1 \text{ mA}}{50 \text{ Hz} \cdot 9.3 \text{ V}} = 30.3 \text{ }\mu\text{F}$$

Comme la valeur de 33 μF est difficile à obtenir de nos jours, pensez à choisir un condensateur de 47 μF à la place. Utilisons cette valeur pour calculer la différence de tension actuelle :

$$\Delta U = \frac{I}{f \cdot C} = \frac{14.1 \text{ mA}}{50 \text{ Hz} \cdot 47 \text{ }\mu\text{F}} = 6 \text{ V}$$

La tension la plus faible aux bornes du condensateur est donc de 60,5 V. La chute de tension aux bornes de la résistance série (R_{series}) est alors de 12,5 V. Le courant traversant la résistance série est au moins égal au courant traversant la charge (la diode Zener ne conduit alors aucun courant). La résistance série devient alors :

$$R_{series} = \frac{12.5 \text{ V}}{14.1 \text{ mA}} = 886.5 \text{ }\Omega$$

Bien entendu, nous avons choisi la valeur standard de 820 Ω. Le courant maximal à travers la diode circule lorsque le circuit n'est pas chargé. La tension aux bornes du condensateur de filtrage est comprise entre 60,5 V et 66,5 V et s'élève donc à 63,5 V en moyenne. Pendant la phase de décharge, le courant moyen qui traverse la résistance ainsi que la diode Zener s'élève à :

$$I = \frac{63.5 \text{ V} - 48 \text{ V}}{820 \Omega} = 18.9 \text{ mA}$$

Et de là résulte la dissipation de puissance :

$$P = U \cdot I = 48 \text{ V} \cdot 18.9 \text{ mA} = 907.2 \text{ mW}$$

Découvrez la Diac

La tension de Zener plus ou moins constante est présente aux bornes d'une diode de Zener uniquement lorsqu'elle est polarisée en sens inverse. Lorsqu'une diode Zener est utilisée en polarisation directe, sa chute de tension est la même que celle d'une diode ordinaire. Par conséquent, une diode Zener est moins adaptée aux applications en courant alternatif.

Dans ce cas de figure, vous pouvez « vous débrouiller » en connectant deux diodes Zener en anti-série, c'est-à-dire deux composants en série, mais orientés dans des directions opposées, comme l'illustre la **figure 4**.

Dans votre e-shop d'électronique préférée (malheureusement, le « magasin d'électronique du coin » n'existe plus), vous pouvez acheter un composant portant le nom simple mais exotique de « diac », qui contient deux diodes Zener connectées de cette manière. La tension nominale des diacs est typiquement autour

de 33 V et leur utilisation est limitée aux gradateurs conventionnels principalement (à couvrir la prochaine fois). 

220384-04 – VF : Asma Adhimi

La série d'articles « démarrer en électronique » est basée sur le livre « Basic Electronics Course » de Michael Ebner, publié par Elektor.

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

LIEN

[1] Alimentation fantôme : https://fr.wikipedia.org/wiki/Alimentation_fant%C3%B4me



PRODUITS

- Livre en anglais, « *Basic Electronics for Beginners* », B. Kainka, Elektor 2020. (SKU 19212) Elektor 2020. www.elektor.com/13950
- Livre en anglais, « *Basic Electronics for Beginners* » (version numérique), B. Kainka, Elektor 2020. (SKU 19213) www.elektor.com/18232

Publicité



**WÜRTH
ELEKTRONIK**
MORE THAN
YOU EXPECT

WE meet @ electronica

Hall A5, Booth 406

Noise free e-mobility

e-Mobility is no longer a question of tomorrow and the number of e-vehicles is increasing day by day. Handling EMI noise is becoming more and more crucial, when it comes to design new electronic devices and systems. Würth Elektronik offers a wide range of EMC components, which support the best possible EMI suppression for all kinds of e-mobility applications. With an outstanding design-in support, catalogue products ex stock and samples free of charge, the time to market can significantly be accelerated. Besides ferrites for assembly into cables or harnesses, Würth Elektronik offers many PCB mounted ferrites and common mode chokes as well as EMI shielding products.

www.we-online.com/emobility

- Large portfolio of EMC components
- Design-in-support
- Samples free of charge
- Orders below MOQ
- Design kits with lifelong free refill

récepteur FM/DAB+

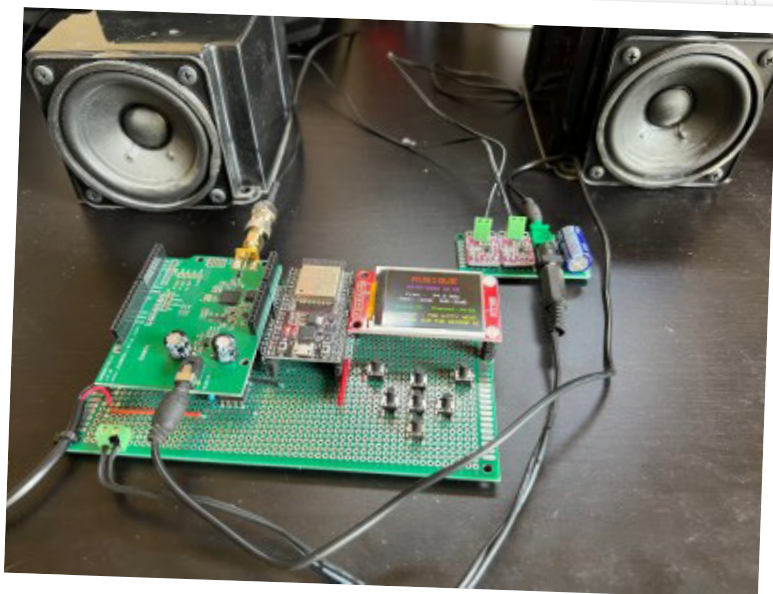
le meilleur des deux mondes

Yves Bourdon (France)

Si vous étiez passionné d'électronique dans les années 1960 et 70, il y a fort à parier que vous vouliez absolument construire deux appareils : un récepteur radio et une horloge numérique. 50 ans plus tard, c'est toujours vrai, mais aujourd'hui, la radio doit aussi être numérique. Cet article vous explique comment la construire avec un ESP32 et une extension Arduino basée sur la puce de réception numérique Si4684 de Skyworks.

J'ai construit ma première radio à moins de 10 ans : Elektor n'existait pas encore et dans la salle d'attente de notre médecin, je suis tombé sur *Le Haut-Parleur*, un magazine principalement axé sur la hi-fi à tubes. Un article qui parlait de diodes, de transistors et de récepteurs GO attira mon attention. J'ai chipé le magazine sans permission aucune. (Cher docteur, veuillez accepter mes sincères excuses).

J'ai mis presque un an pour construire ma première radio, et un matin j'entendis enfin pour la première fois « *Nights in White Satin* » des Moody Blues. Ma radio comportait une diode de détection, une énorme antenne (à coup sûr pas du tout accordée), un ampli BF (1 transistor OC71) et un petit haut-parleur (HP) emprunté. un condensateur variable faisait l'accord. Ce fut la première d'une longue série de radios de plus en plus complexes, l'ultime étant un récepteur FM entièrement à transistors avec décodeur stéréo. En 2010, Elektor publia la réalisation d'un récepteur radio FM tout numérique basé sur un processeur Skyworks Si4735 de Silicon Labs [1]. Je l'ai bien sûr construite, j'en ai même réalisé plus de cinq versions. Une fois ma région (Aix-en-Provence, France) enfin



équipée d'émetteurs DAB+, je commençai à chercher un successeur au Si4735 et tombai sur le Si4684 (Silicon Labs était devenu Skyworks). Ouf ! Je pouvais construire mon récepteur FM/DAB+.

À propos de la norme DAB+

La norme DAB+ (*Digital Audio Broadcasting*) définit la radio numérique terrestre (RNT). C'est l'équivalent radio de la TNT : le signal analogique de la bonne vieille bande FM devient numérique. La DAB+ occupe la bande VHF III (174 MHz à 240 MHz), qui fut utilisée par la télévision analogique. Les principaux avantages de la DAB+ sont :

- Service public gratuit (aucun abonnement requis)
- Aucun bruit de fond (souffle) en cas de mauvaise réception ou d'interférences. La norme DAB+ utilise le codec AAC+ (MPEG-4 partie 3).
- La qualité audio est excellente (bande passante supérieure à celle de la FM, débit de 88 kbps sur la plupart des stations).
- Présélection automatique des stations, comme la TNT. Chaque ville dispose de six à sept multiplex d'environ quinze stations. À Aix-en-Provence, je reçois 83 stations DAB+ !
- Affichage d'informations liées à l'émission en cours (titre, texte défilant, pochette d'album, carte météo, etc. selon les capacités du récepteur).

Le moins : la réception est faible en intérieur et une bonne antenne est nécessaire. J'utilise une antenne $\frac{1}{4}$ d'onde à polarisation verticale (34,5 cm) installée près d'une fenêtre.

Le Si4684

J'avais prévu de concevoir un circuit imprimé (PCB) pour la puce Si4684. Cependant, en étudiant de près la fiche technique, j'ai réalisé que le micrologiciel du composant (généralement stocké dans une EEPROM série externe) était protégé par des droits de propriété intellectuelle (PI). L'utilisation de ce micrologiciel requiert

la signature d'un accord avec Skyworks - le fabricant de la puce - moyennant une redevance.

Par conséquent, pour un individu comme moi, obtenir le micrologiciel légalement est impossible. Même si des copies pirates existent en ligne, mon passé d'ingénieur d'études ayant toujours défendu la notion de PI m'interdisait d'en utiliser. Je cherchais donc un produit du commerce disponible auprès d'un fabricant approuvé par Skyworks.

C'est ainsi que je retins le DAB Shield vendu par AVIT Research (société anglaise). Adrian, PDG de la société, m'autorisa à utiliser son excellente bibliothèque DABShield pour mon projet. Je tiens ici à le remercier pour son soutien dans ce projet !

Le circuit du récepteur FM/DAB

Pour mon prototype, j'ai utilisé un Espressif ESP32-DevKitC (figure 1). Le schéma (figure 2), vous montre que presque toutes les broches d'E/S disponibles sont prises. J'ai choisi le module ESP32

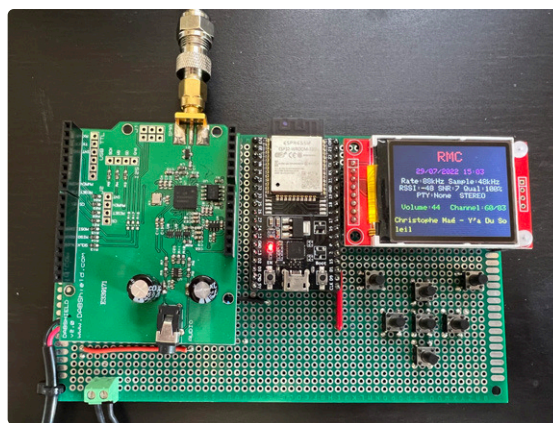


Figure 1. Mon prototype. Basé sur un module ESP32-DevKitC, cet ensemble tient dans un boîtier transparent (Hammond 1591C).

aussi pour sa puissance de calcul et surtout pour sa mémoire disponible (512 ko de RAM et 4 Mo de mémoire flash).

Problème d'EEPROM

Malgré toute cette mémoire, j'ai dû ajouter une EEPROM externe. C'est parce qu'au début du projet, j'ai utilisé la bibliothèque EEPROM de l'ESP32 pour stocker les stations FM et DAB+. Comme l'ESP32 ne

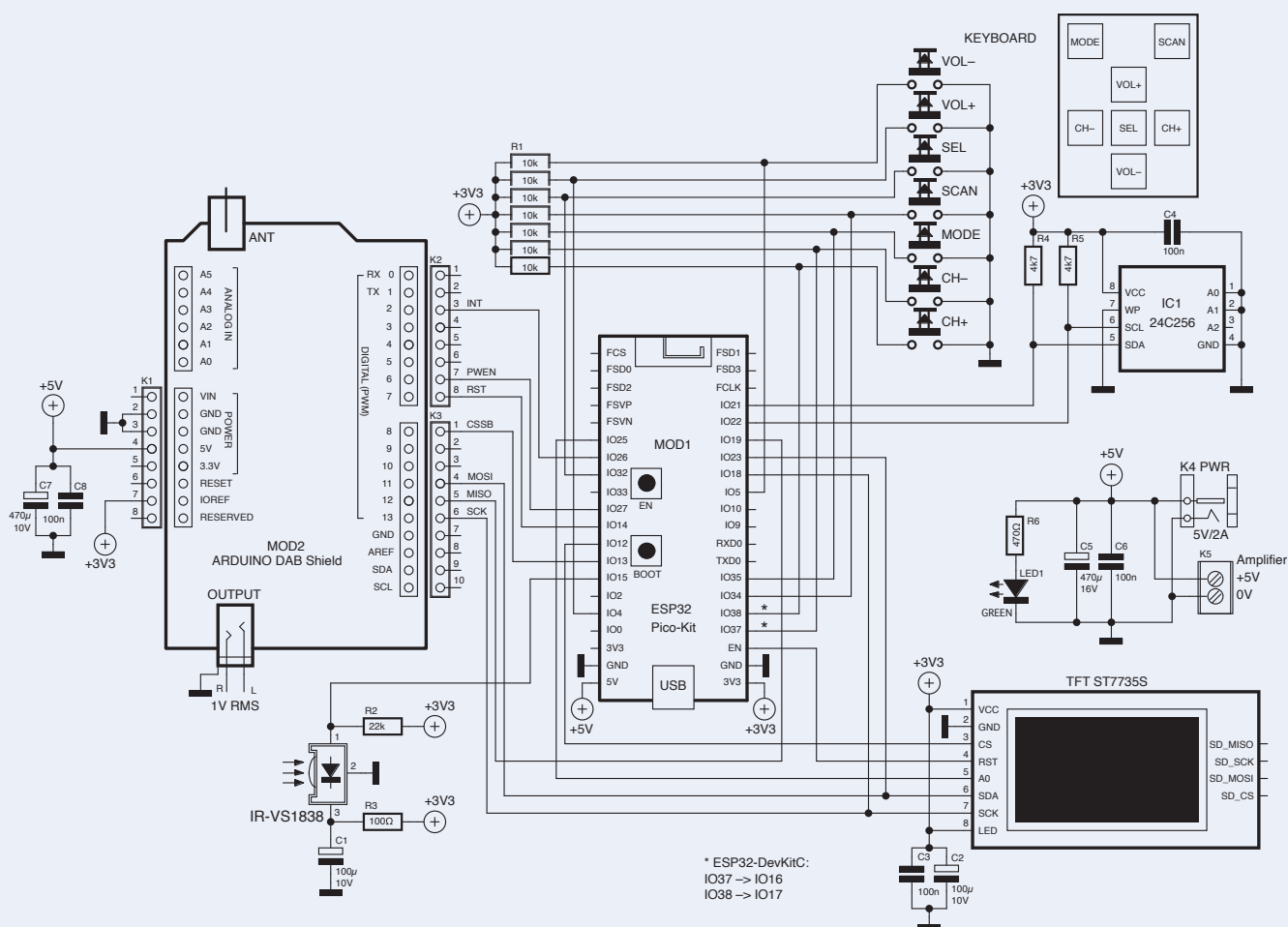


Figure 2. Schéma du récepteur FM/DAB+.

possède pas de vraie EEPROM, cette bibliothèque utilise en partie la mémoire flash pour émuler une EEPROM. Malheureusement, cette bibliothèque devient progressivement obsolète et ne fonctionne bien que si la mémoire ne dépasse pas 512 octets. (J'ai bien essayé une taille max. de 4 ko comme suggéré sur certains forums, mais le programme plante inévitablement car les données de l'EEPROM sont modifiées assez aléatoirement). Mieux vaut utiliser la bibliothèque *Preference* à la place.

Cependant, j'ai découvert les problèmes de la bibliothèque *EEPROM* alors que la majeure partie de mon programme était déjà prête et je ne voulais pas tout réécrire avec la bibliothèque *Preference*. J'ai donc opté pour une EEPROM externe de 32 ko (24C256) gérée par la bibliothèque *SparkFun_External_EEPROM*. Cette puce (environ 50 cts) utilise le bus I²C de l'ESP32 (SDA sur IO21 et SCL sur IO22). Relier ses broches AO et A1 au 0 V, fixe l'adresse I²C du dispositif à 0xCo. La broche A2 peut rester non connectée.

J'avais prévu de stocker au plus 250 stations FM et 250 stations DAB+. Pour chaque station, on stocke le nom (huit caractères maximum pour la FM ; 16 pour la DAB+), la fréquence FM, le multiplex DAB+ et le numéro. En outre, 10 octets sont nécessaires pour mémoriser la dernière station écoutée : volume, mode (FM ou DAB+), fréquence FM, multiplex DAB+ et canal. Une taille mémoire min. de 10 + 13 × 250 (FM) + 20 × 250 (DAB+) est donc nécessaire, soit 8260 octets, ou 66 080 bits. Une EEPROM de 16 ko de type 24C128 aurait été suffisante.

Écran et clavier

Comme écran du récepteur, j'ai utilisé un écran couleur TFT 160 × 128 à base de ST7735S avec bus SPI. Il se gère facilement avec les excellentes bibliothèques *Adafruit_ST7735* et *Adafruit_GFX*. Cet écran mobilise quatre broches IO de l'ESP32 : 10 (CS), 18 & 23 (MOSI & SCK du port SPI), 25 (AO). Le driver *Adafruit* peut piloter le signal RST, mais pour économiser un port, j'ai mis **TFT_RST** à -1 (dans la déclaration *Screen Connections* du logiciel) et l'ai relié directement à la broche de reset de l'ESP32 (EN).

Notez que le marquage SDA et SCL sur l'écran (reproduit sur la **figure 2**) est assez confus car c'est bien le bus SPI (sans MISO) qui pilote l'écran.

C2 et C3 découplent l'alimentation de l'écran ; le rétro-éclairage est toujours allumé (broche LED connectée à +3,3 V).

Sept boutons contrôlent ma radio : Volume haut/bas (VOL+/VOL-), Canal haut/bas (CH+/CH-), Sélection (SEL), Mode et Balayage. Ils sont polarisés au rail d'alimentation +3,3 V par des résistances de 10 kΩ.

DevKitC ou Pico-Kit ?

Le schéma montre le très petit module ESP32-Pico-Kit, mais un ESP32-DevKitC peut aussi être utilisé, comme je l'ai fait sur mon prototype. Cependant, l'ESP32-DevKitC n'expose pas IO37 et IO38. À la place, il faut utiliser IO16 et IO17, eux indisponibles sur l'ESP32-Pico-Kit. Il faut donc sélectionner le bon module dans le logiciel avant compilation (lignes 76 et 77 à l'heure actuelle). Pour le DevKitC, utiliser :

```
//#define ESP32_PICO
#define ESP32_DEVKIT
```

Pour le Pico-Kit, utiliser :

```
#define ESP32_PICO
//#define ESP32_DEVKIT
```

Télécommande

Le circuit prend en charge une télécommande infrarouge via un récepteur IR VS1838. Le réseau R3/C1 filtre l'alimentation du dispositif pour éviter d'endommager des trames sur sa sortie reliée à IO15 et polarisée par une résistance de 22 kΩ. La prise en charge logicielle de la télécommande n'était pas prête au moment de la rédaction de cet article, mais le sera peut-être lorsque vous lirez ces lignes.

L'extension DAB

L'Arduino MO était le compagnon idéal de l'extension DAB, mais il a été abandonné. C'est pourquoi, ce projet utilise un module ESP32 à la place. L'ESP32 peut facilement contrôler l'extension DAB sept signaux suffisent.

Même si l'extension DAB nécessite une alimentation 5 V, ses lignes d'E/S sont compatibles 3,3 V. Comme l'ESP32 utilise 3,3 V, les deux peuvent être connectés sans décalage de niveau. Il faut connecter la broche IOREF de l'extension au 3,3 V pour assurer cette compatibilité.

L'extension DAB communique avec l'ESP32 via le bus SPI (MOSI, MISO et SCK). La bibliothèque *DABShield* ne permet que de changer l'affectation du signal CSSB (j'ai pris IO13). Connecter respectivement les signaux INT, PWEN et RST aux ports IO26, IO27 et IO14.

Alimentation électrique

L'alimentation +5 V du récepteur FM/DAB+ entre par le connecteur K4. Il n'y a pas de protection contre l'inversion de polarité, donc prudence (vous pouvez en ajouter une). C5 et C6 filtrent en partie le bruit et la LED1 (verte) sert de témoin d'alimentation.

Un bornier à vis à deux voies (K5) est prévu pour alimenter une carte d'amplification (option, voir ci-dessous). Sans amplificateur externe, une alimentation de 5 V/500 mA suffit car nous n'utilisons pas le wifi de l'ESP32, gourmand en énergie. En revanche, avec l'amplificateur optionnel, il faut une alim 5 V d'au moins 2 A.

Carte d'amplificateur (option)

Positivement surpris par la qualité sonore de la console de jeu Nintendo Wii, j'enquêtai un peu et appris qu'elle utilisait un PAM8302 3 WRMS, un ampli en classe D. Celui-ci se trouve facilement en ligne monté sur une petite carte, et j'ai donc connecté deux de ces modules au récepteur FM/DAB+ (voir **figure 3** et **4**). La qualité du son est étonnante (avec de bons HP, bien sûr).

La sortie audio de l'extension DAB se connecte à l'ampli par un

câble court muni d'un jack stéréo de 3,5 mm à chaque extrémité. Les boutons VOL+ et VOL- contrôlent le volume.

L'environnement de développement logiciel

Pour développer le logiciel du récepteur FM/DAB+, j'ai utilisé l'EDI Arduino. Après l'avoir configuré pour le module ESP32, assurez-vous de sélectionner les paramètres suivants :

- Module de développement ESP32
- Fréquence CPU de 240 MHz
- Schéma de partition : par défaut 4 MB avec SPIFFS

Il faut installer quelques bibliothèques externes ; j'ai indiqué dans le code source où les obtenir :

- DABShield
- Adafruit_GFX
- Adafruit_ST7735
- SparkFun_External_EEPROM

Enfin, après sélection du bon port série, la compilation et le téléchargement vers le module ESP32 doivent fonctionner.

Le logiciel

Avant d'aller plus loin, sachez que l'écriture de logiciels n'est pas mon cœur de métier. (Je suis ce que l'on appelle un ingénieur matériel.) Je remercie donc par avance tous ceux qui, s'intéressant à mon projet, veulent et peuvent étendre mon travail ou refaire ce que j'aurais pu mieux faire. Cela dit, mon programme (v1.63 au moment d'écrire ces lignes [2]) est très fiable sans aucun dysfonctionnement à ma connaissance.

Le logiciel est assez largement documenté, et après avoir lu ce qui suit, il devrait être assez facile à comprendre. Il est payant de surveiller la sortie du port série de l'ESP32 car il reçoit beaucoup d'informations de débogage. À la mise sous tension, l'écran affiche l'état de connexion des composants du Si4684 et de l'EEPROM série (**figure 5**). S'il y a un problème, un message d'erreur s'affiche et le programme se bloque.

Formatage de l'EEPROM

Il faut formater l'EEPROM avant le tout premier lancement du programme. À cet effet, appuyez sur le bouton SEL tout en allumant le récepteur. Dès que l'écran affiche « Init EEPROM ... », vous pouvez libérer le bouton SEL. L'initialisation dure environ quinze secondes.

L'interface utilisateur

Je voulais une interface utilisateur réactive et conviviale. Les boutons sont scrutés toutes les 200 ms. Cela permet d'effectuer des frappes répétitives en maintenant le bouton enfoncé et d'éviter les rebonds de contact (variable `debounceDelay`).

Le bouton Mode indique au logiciel de basculer entre FM et DAB+ (`dabMode` dans le logiciel). S'il n'y a pas de station enregistrée dans le mode sélectionné, le logiciel demande d'appuyer sur le bouton Scan (**figure 6**).

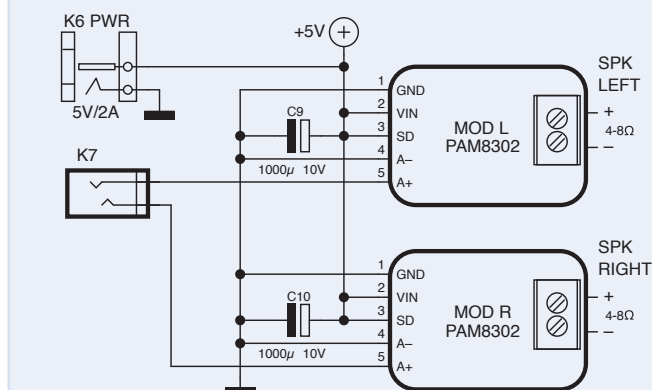


Figure 3. Schéma de la carte d'amplification optionnelle.

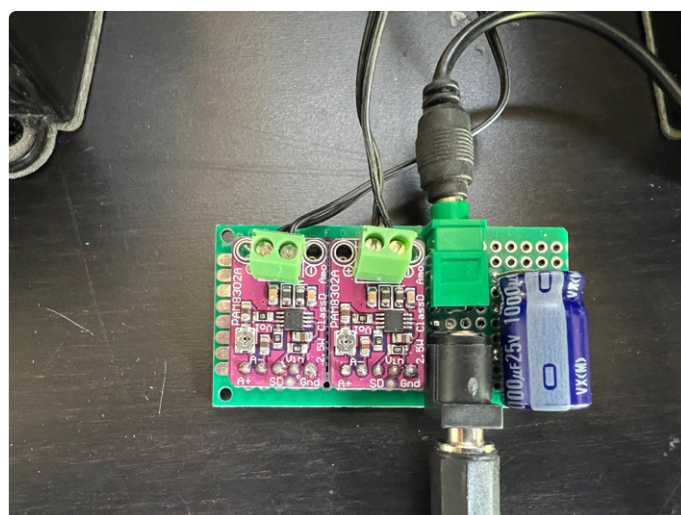


Figure 4. La carte d'amplification optionnelle réalisée carte de prototypage.

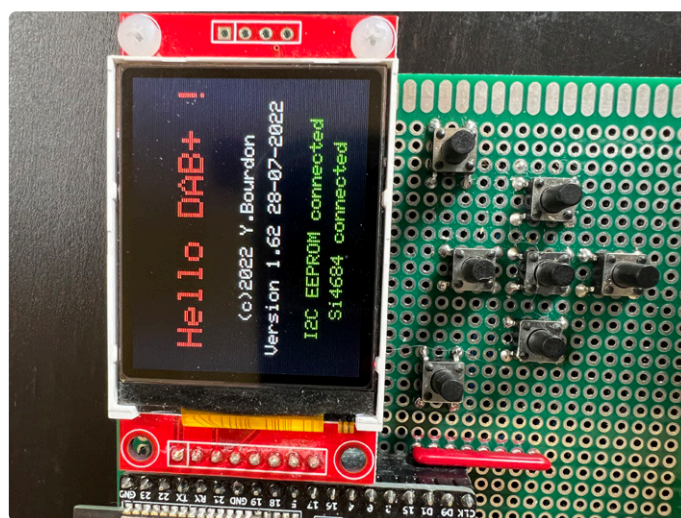


Figure 5. La version du logiciel et l'état de la connexion du matériel sont indiqués.



Figure 6. Ici nous voyons que le multiplex MARSEILLE 8A est trouvé et qu'il contient 13 stations. HELLO PROVENCE est la première.

Tri des stations

En mode DAB+ (`DAB_scan` dans le programme), tous les multiplex sont balayés, et si des stations sont trouvées ($\text{RSSI} \geq 30 \text{ dB}$), elles sont mémorisées.

Même si chacun des multiplex envoie les stations par ordre alphabétique, il faut retrier l'ensemble des stations trouvées (`sortStations` dans le programme). Parfois, deux stations identiques sont trouvées sur deux multiplex différents, mais comme les caractéristiques de réception ne sont pas les mêmes, j'ai décidé de ne rien filtrer (avec 83 stations, je n'ai vu cela qu'une fois). Si le nom d'une station n'est pas trouvé (par ex. parce que le champ est resté vide), le programme le remplace par « Unknown? ».

Pour des raisons de performance, les stations sont d'abord stockées et triées en RAM avant d'être copiées dans l'EEPROM (`saveDABchannelToEEPROM`).

Balayage FM

En mode FM, les choses sont un peu plus complexes. En effet, le balayage est très rapide (`FMscan`) et toutes les fréquences entre 87,5 MHz et 108 MHz présentant un $\text{RSSI} \geq 30 \text{ dB}$ sont mémorisées. Cependant, aucun nom de station n'est trouvé à ce stade. Par conséquent, à la fin du balayage, les fréquences mémorisées sont sélectionnées une à une, et les données RDS renvoyées par la station (heure et nom de la station, entre autres) sont examinées. Si un nom est trouvé, il est stocké en RAM avec la fréquence. Au bout de 30 s, si aucun nom n'est trouvé, le système affiche « Unknown ».

À Aix-en-Provence je reçois 27 stations FM. Avec jusqu'à 30 s par station ce processus peut être long : le bouton Scan permet de l'interrompre à tout moment.

Lorsque la recherche de nom se termine (normalement ou sur interruption), un tri alphabétique est lancé dans la RAM et le numéro de la station, la fréquence et le nom sont stockés dans l'EEPROM (`addStation`).

Lorsqu'une station est sélectionnée, son statut RDS est relu (`Dab.task`), et si le nom trouvé ne correspond pas au nom en mémoire,



Figure 7. De nombreuses informations sont affichées sur le petit écran couleur.

alors ce dernier est enregistré dans l'EEPROM. Cela se produit lorsque, par exemple, « Unknown? » s'affiche parce que le nom n'a pas été trouvé pendant le scan ou parce que le nom RDS a changé. (Parfois certaines stations utilisent malencontreusement le champ du nom pour afficher le titre du morceau alors que le RDS fournit le champ de données idoïne !)

En outre, en FM comme en DAB+, vous pouvez faire défiler les noms des stations (en maintenant l'appui sur CH+ ou CH-) et sélectionner celle que vous avez choisie avec le bouton SEL (`FMsetChannel` ou `DAB_SetChannel`). L'écran affiche les détails de la station reçue, dont l'heure et des informations supplémentaires (rafraîchies toutes les 30 s, **figure 7**).

À chaque mise sous tension, l'EEPROM est lue (`lastEEPROM`) pour retrouver la dernière station écoutée (DAB+ ou FM) et son volume d'écoute.

J'ai délibérément choisi de ne pas implémenter de menu « Ajouter une station ». Mieux vaut attendre que j'écrive la partie télécommande où je prévois d'ajouter, entre autres, cette fonctionnalité.

Radio complète

J'ai finalement réussi à construire la radio que je voulais. Elle est très pratique à utiliser et trône fièrement sur mon bureau. Sans avoir reçu d'instructions de ma part, ma famille l'utilise aussi, ce qui est bon signe. Et cela nous a rapidement fait réaliser que chacun écoutait presque toujours sa station (heureusement que j'ai alloué une mémoire pour 500 stations).

Je tiens à remercier Adrian d'AVIT Research, mon ami Stephan Calderoni qui m'a aidé pour la fonction de tri des noms de stations et Elektor pour la publication de cet article et pour avoir redessiné mes schémas faits à la main. Merci également à Adafruit pour la publication de toutes leurs sources et schémas.

J'espère que cet article m'a permis de partager avec certains lecteurs la passion qui m'anime depuis mon plus jeune âge et qui perdure aujourd'hui, même à 64 ans. ◀

(220249-04) — VF : Yves George

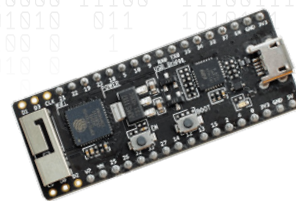
DAB+ en France

En France (à la traîne des pays voisins), la diffusion DAB+ est autorisée depuis le 15 juillet 2021, et 40 % de la population française devrait pouvoir recevoir la DAB+ en 2023. La couverture DAB+ actuelle de la France est plutôt faible, surtout quand on sait que la compatibilité DAB+ est obligatoire depuis décembre 2019 pour les autoradios vendus seuls et depuis juillet 2020 sur ceux des voitures neuves. Cela va certainement accélérer le déploiement. La FM disparaîtra probablement progressivement en France comme c'est déjà le cas en Suisse, en Angleterre et en Norvège.

Pour voir la disponibilité du DAB+ dans votre région, vous pouvez utiliser le site : www.csa.fr/Ma-radio-DAB-Plus.

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (yb.electronique@orange.fr) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



PRODUITS

- > **ESP32-Pico-Kit (SKU 18423)**
www.elektor.fr/18423
- > **Kit Raspberry Pi RTL-SDR d'Elektor (SKU 19518)**
www.elektor.fr/19518

LIENS

- [1] « La radio DSP d'Elektor », B. Kainka, Elektor 7/2010 :
<https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201007/11614>
- [2] Téléchargements et mises à jour :
<https://www.elektormagazine.fr/labs/radio-dab>

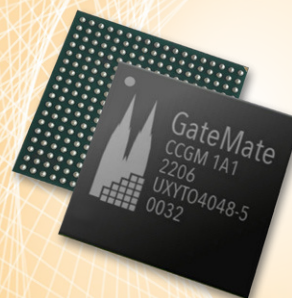
Publicité

GateMate FPGA

Le premier FPGA „Made in Germany“

- Architecture innovante avec un nouvel élément programmable
- Capacité logique d'au moins 20.480 éléments logiques
- Processus 28 nm SLP Globalfoundries™

Smart. Innovant. Rentable.



www.colognechip.com

zone D

Astuces, bonnes pratiques et autres informations pertinentes



Photo: breakermaximus/Shutterstock

sur le vif

Electronica Obscura

Ilse Joostens (Belgique)

Je tiens cette rubrique pour la treizième fois. Le temps file. Si vite que déjà arrive l'hiver. Sans doute est-ce le côté sombre de cette saison qui m'a donné envie de parler d'un côté quelque peu obscur de l'électronique. Alors pardon si le titre vous a induit en erreur car, non, nous ne parlerons pas de musique électronique.

Mes parents (surtout mon père) étaient d'incorrigibles hypocondriaques. Que ce soit par la lecture d'encyclopédies médicales ou spontanément, ils se découvraient régulièrement les symptômes d'effroyables maladies. Un de leurs sujets de conversation favori était la façon dont des connaissances malchanceuses étaient passées de vie à trépas. La voisine se mêlait souvent à ces conversations avec entrain, sans tabou aucun pour les détails les plus sinistres. Vous ne serez donc pas surpris d'apprendre que ma jeunesse fut nimbée d'anxiété, et que j'ai toujours manifesté une fascination morbide pour les fantômes et le paranormal.

Transcommunication instrumentale

Il y a bien des années de cela, ma quête de l'au-delà m'a amenée à faire brièvement partie d'une société d'adeptes du paranormal. Il m'est même arrivé de partir à la « chasse aux fantômes », armée d'un appareil photo numérique compact et d'un dictaphone à micro-cassettes. La technologie numérique n'avait guère progressé à l'époque, mais il existait déjà des schémas assortis d'instructions pour construire une simple « diode Raudive » ou un « détecteur d'esprit » complet, ce dernier combinant un générateur de bruit blanc et un récepteur radio détec-

tueux. Ces appareils étaient censés capter les voix de défunts et autres ectoplasmes, l'utilisateur expert pouvant même espérer une véritable conversation avec eux [1]. La société dont je faisais partie alertait régulièrement ses membres sur les dangers qu'ils encourageaient à tenter de converser avec des esprits, surtout sans l'expérience nécessaire à une telle pratique. Aussi n'ai-je jamais eu le courage de construire un de ces appareils. Qui sait quel esprit maléfique j'aurais pu attirer dans notre maison, et ce malgré toutes les mises en garde des films d'horreur quant aux conséquences d'un tel acte.

Ma quête s'avéra bien décevante : j'obtins bien quelques clichés étranges, mais rien qui ne pût être expliqué sans quelque banale loi physique. Cet intérêt pour le paranormal s'évanouit donc rapidement, et il n'était plus qu'un lointain souvenir dans mon esprit le jour où le labo d'Elektor me demanda de concevoir quelque chose avec un géophone [2]. Cet instrument doté de microphones spéciaux capte les vibrations et les ondes sonores de la Terre. Il est utilisé en sismologie ainsi que pour la recherche de ressources telles que le pétrole et le gaz. Les géophones sont aussi



chers que difficiles à se procurer. C'est en cherchant un fournisseur que j'ai découvert que ces instruments étaient également utilisés par les chercheurs en paranormal pour détecter les vibrations des fantômes. Le paranormal semble être à la mode de nos jours, et l'Internet regorge de boutiques proposant le barda nécessaire à tout bon chasseur de fantômes : enregistreurs EVP, détecteurs de champs EM, antennes détectrices d'esprits, scanners de fantômes, lampes UV ou IR, générateurs d'infrasons, détecteurs de vibrations, et autres caméras « plein spectre » ou thermiques. Rien n'est trop cinglé. On trouve même des formations délivrant un diplôme de *Chercheur en paranormal de niveau 1*.

En 2013, à l'époque où ils étaient encore au château de Limbricht, les labos d'Elektor eux-mêmes ont été suspectés d'abriter un fantôme. Cette suspicion attira la *Ligue des enquêteurs du paranormal*. Leurs appareils auraient détecté des bruits étranges, et une enquêtrice aurait même été griffée dans le dos [3][4]. J'ai fréquenté le château de Limbricht à de nombreuses reprises, mais que ce soit en journée ou en soirée, jamais je n'ai remarqué quoi que ce soit d'étrange ou de menaçant. Le château d'Elektor me rappelle *La machine à chaos* [5][6][7] publiée fin 2011. Si vous souhaitez entendre un esprit frappeur sans avoir à trouver de maison hantée,

construisez-la, en plus elle n'essaiera pas de vous griffer le dos !

Pseudoscience et charlatanisme

L'histoire me passionne, et j'éprouve toujours le même plaisir à regarder les appareils mécano-thérapeutiques conçus par le Dr Gustav Zander à la fin du 19^e siècle [8], des « instruments de torture » à la fois horribles et amusants. Cette fin de siècle marqua aussi l'apparition de la photographie post-mortem victorienne, et celle de nombreux appareils électriques étranges destinés à l'électrothérapie ou à l'apaisement des femmes hystériques. Inventée au début du 20^e siècle, la « baguette violette » est un autre exemple de ces appareils bizarres censés guérir le malade

grâce à la fée électricité. Le lieu ne se prête pas vraiment à leur description, je vous laisse mener vos propres recherches.

Lorsque j'étais jeune, une des grandes craintes était la soi-disant nocivité des rayons telluriques. De coûteux appareils spécialisés – ils contenaient une bobine et un condensateur – étaient vendus pour les neutraliser [9]. Même les magazines féminins y consacraient des articles entiers. Nous devrions être mieux informés de nos jours, mais ce n'est hélas pas le cas... C'est ainsi qu'il y a quelques années, après avoir passé commande de composants aux États-Unis, j'ai trouvé dans mon colis des brochures publicitaires étonnantes. L'une d'elles contenait un lien vers un site web proposant des circuits assemblés sur des plaques d'essai et dont les boîtiers étaient des boîtes à cigares. Ces « appareils » étaient censés vous guérir de mille maux, mais avec un prix typique dépassant les mille dollars, sans doute est-ce à la santé financière de leur vendeur qu'ils profitaient le plus. Plus près de chez moi, j'ai été choquée de découvrir qu'un de mes anciens fournisseurs vendait désormais, et pour l'essentiel, des générateurs de résonance de Schumann. Leurs ondes sont censées vous apaiser et améliorer la qualité musicale. Un argumentaire qui devrait séduire les audiophiles... ◀

220383-04 — Hervé Moreau

LIENS

- [1] Phénomène de voix électronique : http://fr.wikipedia.org/wiki/Ph%C3%A9nom%C3%A8ne_de_voix_%C3%A9lectronique
- [2] Géophone : <http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ophone>
- [3] Un rapport confirme les soupçons : Le château de Limbricht est hanté (en néerlandais) : <https://www.dichtbij.nl/2987065/fotos-geluidsopnamen-rapport-bevestigt-vermoedens-het-spookt-op-kasteel-limbricht>
- [4] La Ligue des enquêteurs du paranormal au château de Limbricht (en néerlandais) : <https://www.youtube.com/watch?v=SO41c5FYXao>
- [5] « La machine à chaos (1) : redécouvrez les ordinateurs analogiques », M. Ambaum,, Elektor 10/2011: <http://elektormagazine.fr/magazine/elektor-201111/12009>
- [6] « La machine à chaos (2) : redécouvrez les ordinateurs analogiques », M. Ambaum, Elektor 11/2011: <https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201111/12009>
- [7] Ange de Lorenz : <https://www.youtube.com/watch?v=fXQRKR-KZrw>
- [8] Appareils mécano-thérapeutiques du Dr Gustav Zander, 1892: <https://rarehistoricalphotos.com/first-gym-machines-zander>
- [9] Un futur prometteur, le retour des rayons telluriques (en néerlandais) : <https://skepsis.nl/stralen/>



procédé sans fil de débogage de micrologiciels

Tampon circulaire et serveur web sur l'ESP32

Laurent Labbe (Hong Kong)

Il n'est pas toujours facile d'enregistrer des données de débogage d'un microcontrôleur sur un PC. Un PC peut ne pas être disponible ou la carte de développement peut se trouver dans un endroit d'accès difficile. Ce projet d'Elektor Labs résout ce problème avec une mémoire tampon de forte taille pour les messages de débogage et une liaison wifi. Il est logé dans un boîtier imprimable en 3D et est hautement extensible.

Développer du logiciel pour les microcontrôleurs est souvent un défi. À quelques exceptions près, les microcontrôleurs offrent une procédure de débogage permettant de démarrer et d'arrêter le processeur puis d'examiner le contenu des variables et des registres, ce qui permet de diagnostiquer la cause d'un problème. Cependant, de nombreuses cartes maker, telles que l'Arduino Uno ou le BBC micro:bit, ne disposent pas d'un tel support natif, ce qui oblige le développeur à modifier et à télécharger le code de façon répétitive jusqu'à la découverte de la source du problème.

Mais cette procédure de débogage n'est pas toujours la panacée qu'on s' imagine. En cours de développement d'une application en temps réel utilisant l'Ethernet, le Wi-Fi ou l'USB, ou de commande de moteurs, arrêter le microcontrôleur au milieu du processus est

souvent impossible. Cela entraîne une interruption de la communication et peut même endommager les circuits de puissance si un MOSFET est figé dans son état passant.

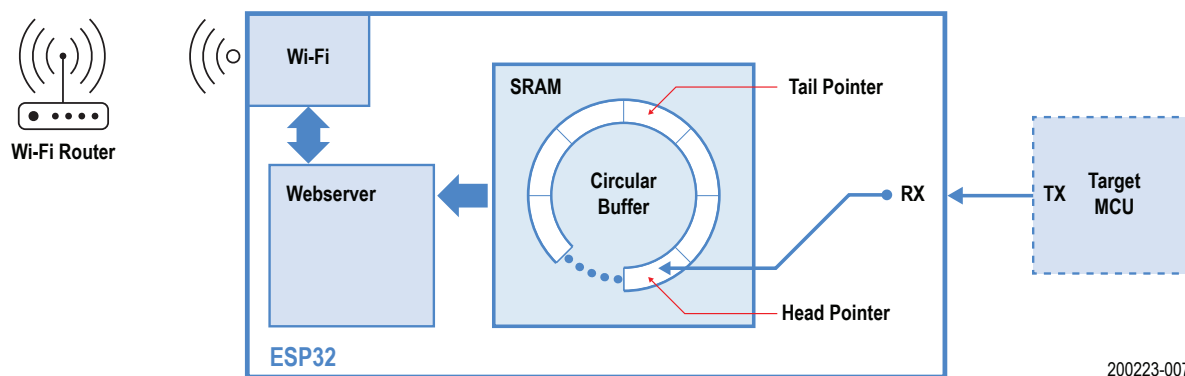
La plupart des développeurs mettent à profit la présence d'un port de sortie série sur les cartes maker pour envoyer des messages de débogage vers une fenêtre terminal sur un PC via l'USB. En analysant la sortie après un test, le développeur peut suivre l'exécution du code à la trace, d'où le nom de « trace logicielle » donné à cette méthode de débogage. C'est aussi un moyen de déboguer des applications qui ne peuvent pas être arrêtées en cours de fonctionnement.

Le Projet

Laurent Labbe, collaborateur régulier d'Elektor Labs, utilise souvent le port série pour suivre l'exécution du code embarqué, mais comme il ne dispose pas toujours d'un PC pour enregistrer les messages, il s'est mis à la recherche d'une autre solution. Armé d'un ESP32, d'un écran OLED et d'une imprimante 3D, il a mis au point le projet « Débogage par traçage sans fil » [1].

Cette solution utilise un ESP32 comme mémoire tampon pour les messages de débogage, connecté au contrôleur cible par une interface série ; la mémoire tampon est rendue accessible par wifi et un serveur Web local (**figure 1**).

La grande mémoire SRAM de l'ESP32 se prête à la réalisation d'un tampon circulaire géant. Les projets de Laurent utilisent généralement une faible vitesse de transmission de 9600 bauds (modifiable). Chaque fois qu'un caractère est reçu, il est inséré en tête du tampon. Avec sa taille de 65 530 octets, le tampon offre un large espace de stockage des messages de traçage. Serial1 est initia-



200223-007

Figure 1. Ce schéma fonctionnel simplifié montre le mécanisme de stockage des données série entrantes dans le tampon circulaire. Les données sont disponibles sur demande par Wi-Fi sous forme d'une page Web.

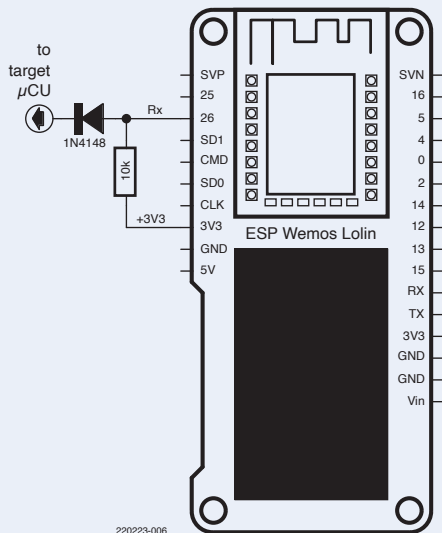


Figure 2. L'ESP32 fonctionnant sous 3,3 V, ce circuit permet de connecter un microcontrôleur 5 V.

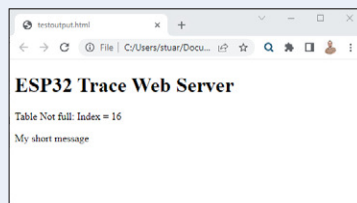


Figure 3. Un exemple de page web.

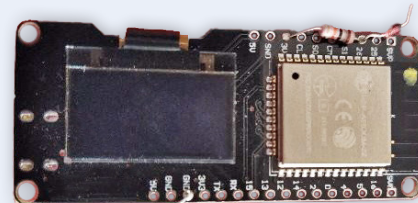


Figure 4. L'ESP32 complet avec le circuit adaptateur 5 V.



Figure 5. Une unité de débogage série sans fil complète logée dans son boîtier imprimé en 3D.

lisé pour la collecte de données en utilisant les broches 25 et 26 (TX et RX, respectivement), bien que seule la broche RX soit nécessaire. Comme l'ESP32 fonctionne sous 3,3 V, Laurent a inclus un circuit résistance/diode d'adaptation aux microcontrôleurs 5,0 V (**figure 2**).

C'est l'utilisation de la fonction Wi-Fi de l'ESP32 qui donne à ce projet son caractère hors du commun. Après s'être enregistré sur le réseau comme défini dans le code, l'ESP32 sert une page Web simple de présentation du contenu courant du tampon circulaire (**figure 3**), accessible par tout PC ou portable.

Deuxième réseau : l'interface série et l'affichage

Quelques autres fonctions intéressantes sont également intégrées au code. Par exemple, la gestion d'un routeur wifi alternatif, (avec son SSID et son mot de passe). Si la première liaison échoue pour une raison quelconque, l'ESP32 tente automatiquement de s'y connecter. Cela améliore les chances de récupérer les messages de trace qui ont pu s'accumuler dans le tampon pendant des heures, voire des jours. Le serveur Web utilise le port 80 par défaut, mais un autre port peut être défini lors de l'initialisation.

Le tampon est circulaire : quand il est plein, les nouveaux messages entrants écrasent les plus anciens. La page Web alerte sur cette possibilité avant d'afficher le contenu du tampon circulaire du plus ancien au plus récent.

L'ESP32 émet également des messages via l'interface série (à travers l'USB), ce qui permet de déboguer le code de ce projet. Les messages de débogage reçus via *Serial1* sont émis vers *Serial* pour une visibilité immédiate. Toute donnée reçue sur l'interface *Serial* est également insérée dans le tampon circulaire.

Les informations sur l'adresse IP et d'autres détails pertinents sont transmises à un écran OLED géré par I²C et connecté aux broches 4 et 5. L'écran utilisé est le SSD1306 d'Adafruit avec leur pilote et leurs bibliothèques graphiques GFX.

Laurent a utilisé une carte WeMos Lolin32 OLED (**figure 4**, la carte est basée sur le module ESP32-WROOM-32 avec des circuits ajoutés)

pour réaliser l'interface USB-vers-UART et la fonction de connexion et de recharge d'une batterie LiIon/LiPo. Logé dans son boîtier imprimé en 3D, pour lequel un fichier CAO est disponible, cet outil de débogage par traçage sans fil peut être utilisé presque partout pour collecter les données de votre cible de manière autonome (**figure 5**).

Options

La beauté de ce projet réside dans la combinaison de sa simplicité et de son extensibilité. La fonctionnalité du code est claire, ce qui permet aux développeurs expérimentés d'étendre et de modifier facilement ce projet. Par exemple, en étendant la SRAM disponible avec des composants externes ou en la remplaçant par une carte SD. La vitesse de l'interface série d'acquisition des données peut être modifiée ; elle pourrait aussi céder la place à une interface I²C ou SPI. Enfin, pour agrémenter vos messages d'un peu de formatage ou de couleur, il est facile d'insérer le HTML ou le CSS adéquat lors de la génération de la page Web. ◀

200223-04 VF : Helmut Müller

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à Elektor (redaction@elektor.fr).



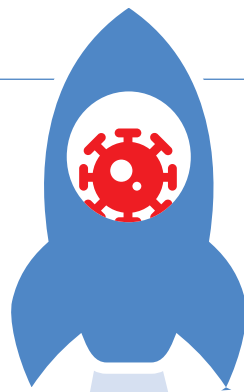
PRODUITS

► **Module d'affichage OLED WeMos Lolin ESP32 pour Arduino (SKU 18575)**
www.elektor.fr/18575

LIENS

[1] Page du projet Elektor Labs: <https://www.elektormagazine.fr/labs/wireless-trace-for-debug>

Le COVID-19 a-t-il donné un coup de fouet à l'innovation en ingénierie ?



Composants et solutions innovants de 2022

La pandémie de COVID-19 a suscité d'innombrables défis pour les ingénieurs et les dirigeants de l'industrie électronique. Mais malgré toutes les difficultés liées au personnel, à la logistique et aux approvisionnements, l'innovation a continué face à une adversité sans précédent. Découvrons certains des nouveaux composants et solutions qui se sont distingués.

Stuart Cording
(Elektor)

Les deux dernières années ont peut-être été difficiles pour ceux qui cherchaient à acheter des composants, mais les salons professionnels de cette année ont montré que, partout dans le monde, les équipes de conception étaient tout sauf léthargiques. Si l'enthousiasme suscité par les nouveaux produits proposés tient probablement à l'euphorie de se retrouver en personne lors des expositions, une analyse plus approfondie montre que de véritables avancées ont eu lieu. Et celles-ci concernent tous les domaines, qu'il s'agisse de petits dispositifs de puissance analogiques ou de processeurs mastodontes appelés à transformer l'industrie automobile.

Performances et sécurité pour l'automobile

Il est clair depuis un certain temps que l'avenir de l'industrie automobile réside dans la vente de logiciels conditionnés dans une coque mécanique. La voiture définie par logiciel permettra d'y parvenir, en mettant à notre disposition des véhicules dont le logiciel peut être mis à jour et les nouvelles fonctionnalités déployées tout au long de leur vie. BMW a déjà annoncé des « fonctionnalités en tant que service », avec le chauffage des sièges disponible moyennant un abonnement mensuel [1] au Royaume-Uni. Ce qui constitue un changement majeur dans la façon dont l'électronique des véhicules, en particulier les logiciels, est développée.

Plutôt que de créer une Unité de Commande Electronique (ECU) pour chaque fonction, un lève-vitre par exemple, il s'agit d'intégrer de multiples fonctions dans un petit nombre de puissants contrôleurs de domaine. Reliés entre eux par une version d'Ethernet adaptée à l'automobile, configuration à paire unique du célèbre protocole de réseau, ces contrôleurs seront installés autour d'un ordinateur haute performance (HPC). Toutefois, cette approche ne peut être mise en œuvre au détriment du respect des exigences de sécurité ASIL [2].

Ce qui nous amène au lancement des impressionnants processeurs en temps réel S32Z et S32E de NXP (**figure 1**). Tout d'abord, ils sont dotés d'une panoplie de processeurs destinés à assurer le comportement déterministe critique de la voiture à des fréquences d'horloge pouvant atteindre 1 GHz, une performance jamais atteinte pour un dispositif compatible ASIL D. Huit processeurs ARM Cortex-R52 font le gros du travail et peuvent fonctionner indépendamment ou en lockstep (un autre processeur identique surveille et vérifie le fonctionnement du premier). Un processeur ARM Cortex-M33 en lockstep est dédié à la gestion du système, tandis que deux autres assurent l'accélération de la communication automobile CAN FD. Un dernier processeur ARM Cortex-M7 pilote la fonction du moteur de sécurité matérielle (HSE), bloc essentiel pour garantir un système sécurisé.

Virtualisation de bout en bout

Pour prendre en charge plusieurs fonctions sur un seul SoC (système sur puce), ces dispositifs utilisent un hyperviseur. Ce dernier permet à plusieurs systèmes d'exploitation de s'exécuter sur le SoC, en ignorant la présence des autres (généralement POSIX et AUTOSAR [3]). Les processeurs des serveurs exécutant des hyperviseurs utilisent une unité de gestion de la mémoire (MMU) pour séparer les systèmes d'exploitation, mais aussi des logiciels astucieux pour attribuer,

par exemple, un périphérique USB spécifique à un système d'exploitation donné, ou pour partager le port Ethernet entre eux. Cependant, pour les processeurs S32Z et S32E, les choses sont différentes.

La virtualisation est prise en charge « du cœur aux broches », ce qui signifie que l'attribution des périphériques à un système d'exploitation spécifique se fait au niveau matériel. Cette approche simplifie l'affectation, réduit la surcharge logicielle et garantit qu'une panne n'aura aucun impact sur l'application de sécurité d'un système d'exploitation vis-à-vis d'un autre. Cette capacité prend également en charge les E/S à usage général (GPIO), les groupes de bits dans les registres apparaissant comme un registre virtuel dédié contenant uniquement les broches nécessaires au système d'exploitation virtualisé.

La gamme actuelle de dispositifs est construite en technologie 16 nm, mais Brian Carlson, directeur du marketing mondial des produits et des solutions, a annoncé une feuille de route prévoyant de passer en 5 nm. L'industrie a également reconnu l'importance de ces composants, Axel Aue, directeur de l'ingénierie chez Bosch, déclarant que « [ces dispositifs] offrent une augmentation des performances d'un facteur 2 par rapport aux microcontrôleurs NVM embarqués ». En outre, ces composants ont reçu le prix Embedded World 2022 dans la catégorie « matériel », ce qui en fait

une technologie à surveiller à mesure que les véhicules deviennent de plus en plus électriques et électroniques.

Protocole Ethernet à paire unique pour les réseaux industriels

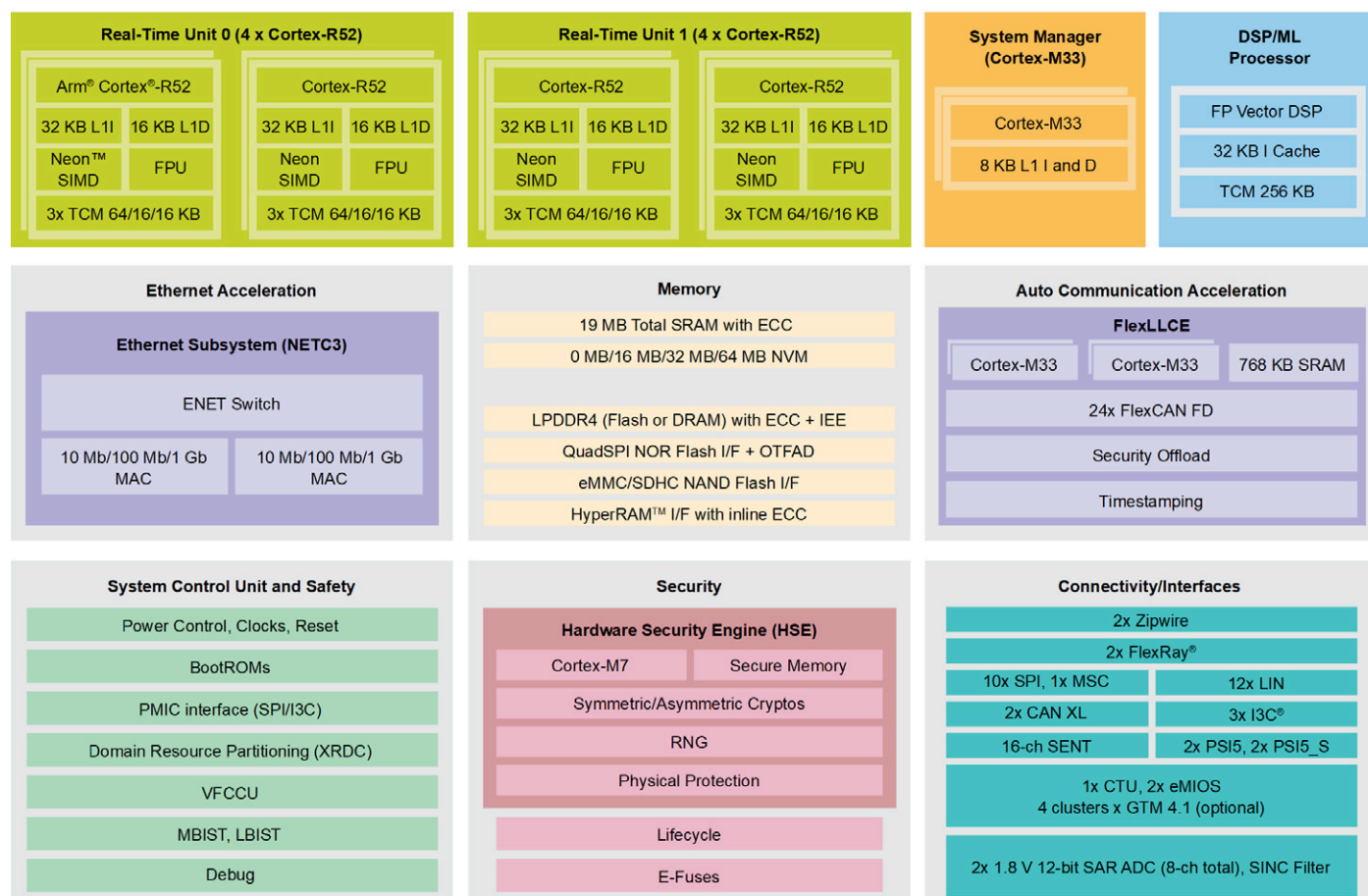
À en juger par les accumulations de câbles et de connecteurs dans les installations industrielles, il existe manifestement une marge d'optimisation importante. Actuellement, les innombrables bus de terrain sont choisis en fonction du prix, des exigences de sécurité et de leur adéquation avec l'application spécifique. La plupart d'entre eux ne prennent pas en charge le multipoint (connexion de plusieurs appareils à un seul canal de communication), ce qui entraîne l'acheminement de nombreux câbles vers un seul automate programmable. Toutefois, il est possible de réinstaurer un certain ordre grâce à l'Ethernet multipoint à paire unique (SPE), défini dans une série d'extensions des normes Ethernet existantes.

Jusqu'ici, le matériel nécessaire n'était disponible que dans les microcontrôleurs sous forme de périphérique intégré. Cependant, avec le lancement du NCN26010 d'OnSemi, nous avons à notre disposition un contrôleur Ethernet SPE 10BASE-T1S autonome avec MAC et PHY intégrés. Le dispositif peut se connecter via SPI à un microcontrôleur standard ou à une carte, par exemple un Raspberry Pi, pour laquelle des pilotes logiciels sont disponibles (Linux, FreeRTOS). Le contrôleur prend en

Figure 1. La série S32 de processeurs temps réel de NXP cible la nouvelle architecture de véhicules définie par logiciel et prend en charge la virtualisation intégrale, « du cœur à la broche ».

(Source : NXP)

▼



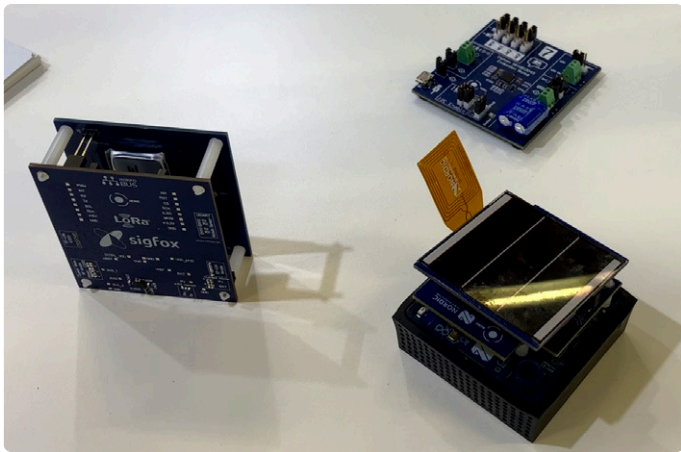


Figure 2. Le PMIC Diatom (NH16D3045) de la start-up fabless Nowi permet de recueillir de l'énergie de manière très efficace à partir de différentes sources.

charge le minimum de huit nœuds multipoints sur une distance supérieure à 25 m prévu par la norme, mais peut prendre en charge jusqu'à 40 nœuds et de plus grandes distances, si nécessaire.

Pour maintenir la fiabilité dans les conditions de parasitage électrique d'une usine, le dispositif utilise une gamme de caractéristiques innovantes d'immunité au bruit. Il bénéficie d'une fiabilité de communication supplémentaire, assurée par une fonction IEEE optionnelle intégrée au MAC, baptisée PLCA (Physical Layer Collision Avoidance). Cette fonction met en œuvre une méthode d'arbitrage dit round-robin (tourniquet en français) qui évite les collisions et augmente l'utilisation du réseau à près de 100 %.

Alimentation des dispositifs IdO

Avec l'expansion des appareils reliés à l'Internet des Objets (IdO), il est normal que nous nous demandions si les piles constituent la meilleure méthode pour alimenter des dispositifs qui n'ont aucune autre source d'alimentation. Nowi, une petite start-up de semi-conducteurs sans unité de fabrication (*fabless*), basée à Delft, aux Pays-Bas, s'est penchée sur cette question. Son dernier circuit intégré de gestion de l'énergie, Diatom (NH16D3045), est une solution de collecte d'énergie à haut rendement pour les applications basse consommation (figure 2). Destiné aux vêtements intelligents (instrumentés) et aux capteurs sans fil, ce circuit peut fournir une puissance de l'ordre du micro- ou du milliwatt à partir de sources aussi

Figure 4. Laurens Slats explique comment l'événement de réseautage IoT Stars rassemble les gens pour explorer les questions communes au secteur de l'IdO.

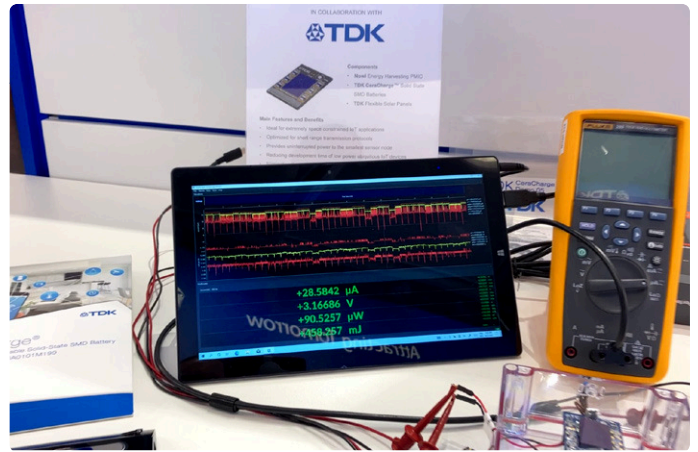


Figure 3. La batterie rechargeable solide à montage en surface CeraCharge de TDK utilise une structure multicouche d'oxyde à base de lithium.

diverses que les panneaux solaires, les générateurs thermoélectriques ou les vibrations des dispositifs piézoélectriques. Plusieurs démonstrations ont déjà été réalisées, notamment des étiquettes de rayon électroniques et des télécommandes de télévision.

Bien entendu, l'énergie recueillie doit être stockée jusqu'à ce que l'application ait besoin de l'utiliser. TDK a lancé, à cet effet, une nouvelle technologie de stockage, CeraCharge (figure 3). Cette solution électronique allie le meilleur des batteries lithium-ion et des condensateurs multicouches pour créer une batterie multicouche à base d'oxyde de lithium. Grâce à sa composition chimique, elle est utilisable en toute sécurité, même dans le vide, car elle ne peut ni fuir ni exploser. De la même taille que les condensateurs MLCC 1812, le dispositif est 10 fois plus petit que les supercondensateurs comparables, et il peut être manipulé à l'aide d'un système de positionnement automatique (*pick-and-place*), puis soudé grâce à un profil de refusion typique. Après 1 000 cycles de recharge, la batterie assure encore 80 % de sa capacité d'origine. Le modèle CeraCharge 1812 offre une tension nominale de 1,5 V, une capacité nominale de 100 μ Ah, et fonctionne de -20 °C à 80 °C. Grâce à des taux de décharge allant jusqu'à 10C, elle peut également prendre en charge les balises Bluetooth Low Energy (LE).

Les stars de l'IdO

Autre défi de l'IdO, les îlots qui se forment autour de technologies différentes, comme les différents réseaux sans fil ou les plateformes IdO. Le phénomène freine le développement de ce qui représente, à la base, une dizaine d'applications similaires s'attaquant à des défis communs. IoT Stars, une organisation de mise en réseau qui organise des rencontres parallèlement aux salons professionnels du secteur, répond à ce problème (figure 4). Laurens Slats, responsable des relations avec les développeurs, a expliqué comment leurs événements permettent aux développeurs et aux fournisseurs impliqués dans tous les aspects de l'IdO de partager leurs expériences, que ce soit en matière de conception basse consommation, d'intégration de plateformes ou de technologie sans fil. Le prochain événement est prévu pour le Mobile World Congress (MWC) de Barcelone.



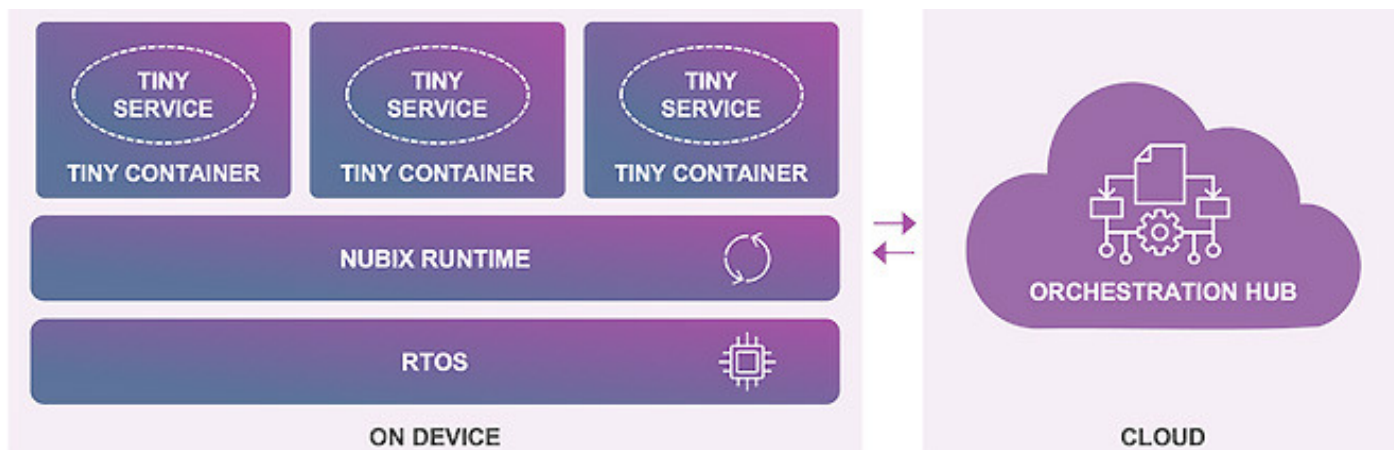


Figure 5. Nubix vise à simplifier le déploiement de fonctionnalités *IdO* sur des microcontrôleurs standard grâce à son hub d'orchestration et à son approche à base de conteneurs. (Source : Nubix)

Rachel Taylor, autre membre de la communauté IoT Stars, a lancé sa nouvelle entreprise, Nubix, pendant le salon Embedded World. Rachel se préoccupe du fait que les dispositifs IoT reposent trop sur des processus de développement traditionnels et n'ont pas pleinement exploité les capacités des services en nuage existants. Ainsi, les mises à jour over-the-air (OTA) ou même le déploiement de nouvelles applications restent un défi. Nubix est donc en train de construire une plateforme d'applications natives adaptée aux microcontrôleurs ARM Cortex-M actuellement utilisés dans cet espace. À partir d'un système d'exploitation en temps réel et d'une couche d'exécution, les applications sont déployées sous forme de services dans de « petits conteneurs ». Lorsque la connectivité est disponible, les données peuvent être collectées et les services mis à jour par le biais de leur hub d'orchestration (figure 5).

Nouveau format de lecteur flash

Les mini-PC et PC clients sont peu encombrants et offrent des performances suffisantes pour surfer sur Internet et écrire de temps en temps un courrier. Mais ce sont leurs lecteurs flash intégrés, soudés à la carte mère, qui définissent pour l'essentiel leur durée de vie car, une fois que le système d'exploitation et les données deviennent suffisamment volumineux, il n'y a aucun moyen de les mettre à niveau. Dans le futur, ce phénomène pourrait également concerner les voitures et d'autres applications. Pour autant, XFMEXPRESS (figure 6), nouveau format de clé USB de Kioxia, pourrait reléguer cet écueil dans le passé. Similaire à une carte SD, ce dispositif prend en charge les standards PCIe et NVMe, ce qui le rend compatible pour son interface avec les SSD M.2 actuels. Cependant, il est conçu plutôt comme un dispositif de données exploitable que portable. Avec une épaisseur de seulement 1,4 mm, il s'installe dans un support à clapet qui assure un montage ferme et sécurisé. Proposée dans des densités allant jusqu'à 1 024 Go, cette technologie est définie comme une norme JEDEC pour susciter une adoption plus large.

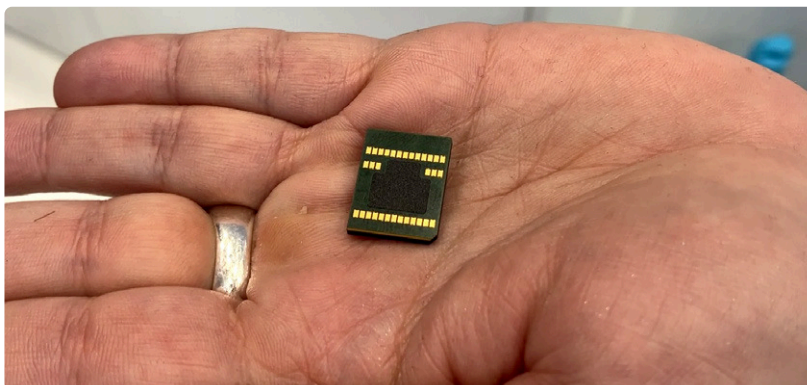
Conception encore simplifiée des processeurs

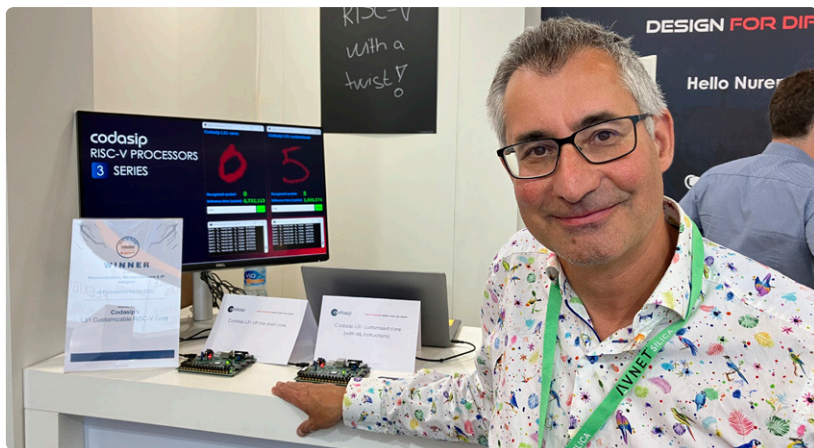
L'un des avantages des cœurs RISC-V pour les

développeurs est la possibilité d'ajouter des instructions personnalisées pour accélérer certains algorithmes. Aujourd'hui, une gamme de cœurs standard est disponible auprès des fournisseurs qui peuvent assurer le processus de personnalisation. Cependant, l'utilisation de nouvelles instructions nécessite que le programmeur les implémente à l'aide d'un assembleur en ligne [4] qui, bien sûr, nécessite des modifications du code source. L'entreprise Codaip, fondée en 2014, et dont le siège social est en Allemagne, a démontré que ces opérations sont superflues grâce à son cœur RISC-V embarqué L31. En utilisant Tensor Flow Lite pour effectuer la reconnaissance de la base de données de chiffres manuscrits MNIST, Rupert Baines, directeur du marketing, a expliqué que les points cruciaux du traitement pouvaient être déterminés. À partir de là, deux nouvelles instructions personnalisées sont définies pour accélérer la reconnaissance des chiffres, et intégrées dans le cœur. Le même code, sans aucune modification, utilise ensuite le cœur L31 personnalisé pour obtenir une amélioration de 80 % du temps d'inférence (figure 7).

Un autre aspect important de l'apprentissage automatique est la nécessité d'avoir accès à de puissants processeurs graphiques (GPU) et accélérateurs de réseaux neuronaux (NNA). Les start-ups qui développent de nouveaux circuits au silicium ont souvent du mal à financer les frais de licence pour les éléments de propriété intellectuelle de base. Elles sont souvent obligées de réaffecter des fonds pour embaucher les employés susceptibles d'apporter des innovations. Imagination, fournisseur d'éléments de

Figure 6. Avec XFMEXPRESS, Kioxia propose une alternative pratique aux lecteurs flash soudés pour les clients légers et les mini PC.





▲
Figure 7. « L'ajout et l'utilisation de nouvelles instructions avec les cœurs RISC-V peuvent être très simples », explique Rupert Baines de Codaip.

propriété intellectuelle RISC-V et GPU, facilite cette situation avec son nouveau programme Open Access. En supprimant les coûts de licence pour les entreprises à grande échelle, les équipes peuvent accéder à quatre GPU PowerVR Series8XE et trois NNA Series3NX. Le programme comprend l'accès à l'assistance et aux outils pour les entreprises qui débutent dans l'innovation en matière de silicium, en ne percevant les redevances qu'une fois les produits expédiés.

Lutte contre le fléau des contrefaçons de composants

Le plus gros coup de pied dans la fourmilière du COVID a sans doute été la pénurie de composants associée à la recrudescence des contrefaçons. À ce titre, si certaines contrefaçons sont plus facilement repérables, beaucoup passent inaperçues. Pour les services de fabrication électronique qui desservent des milliers de clients, il est difficile de maîtriser l'approvisionnement des millions de composants choisis et placés chaque semaine. La start-up Cybord a relevé ce défi avec sa plateforme d'analyse et de traçabilité des composants électroniques. Intégré à la chaîne de fabrication, le système capture les images de chaque composant, les stocke avec leur numéro de facturation et d'autres données relatives aux bons de livraison dans une base de données. L'intelligence artificielle (IA) sert ensuite à repérer les anomalies des composants, depuis les puces de silicium jusqu'aux composants passifs.

Oshri Cohen, directeur de la stratégie, explique que le système peut également évaluer d'autres problèmes, comme une mauvaise qualité des pastilles de soudure et des différences de codes de dates pour les produits d'une même bobine. Ces problèmes sont mis en évidence par le système, ce qui permet aux opérateurs de décider s'ils doivent ou non continuer à utiliser les éléments. Outre l'analyse des composants, le système gère également une base de données des composants soudés dans chaque produit fabriqué. Si un produit est défectueux

et est retourné en raison d'un condensateur mal soudé, le fabricant peut revenir en arrière et examiner l'état des condensateurs utilisés pour les autres cartes de ce lot. Si des plots de soudure de mauvaise qualité sont identifiés sur d'autres condensateurs, il est possible de rappeler quelques cartes concernées plutôt que des centaines, voire des milliers d'exemplaires. Le système offre ainsi une capacité de traçabilité chirurgicale qui pourrait contribuer à réduire les déchets électroniques.

Au cours de la pandémie de COVID-19, nous sommes restés actifs

Peut-être, après avoir été séparés pendant si longtemps en raison des restrictions dues au COVID-19, les progrès constatés cette année relèvent-ils plus du mirage que de la réalité. Mais les faits sont là. Il y a beaucoup de nouveaux acteurs, de nouveaux produits et de nouvelles plateformes qui apportent des solutions novatrices à des problèmes complexes. Peut-être le télétravail a-t-il entraîné les gains d'efficacité que les ingénieurs en développement attendaient secrètement depuis toutes ces années ! ◀

220395-04 — VF : Pascal Godart

Des questions, des commentaires ?

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

Elektor Engineering Insights



Elektor Industry Insights: regarder en direct

Elektor Industry Insights est une ressource incontournable pour les ingénieurs et les professionnels de la fabrication qui souhaitent rester informés sur le monde de l'électronique. Au cours de chaque épisode en direct de l'émission, Stuart Cording (rédacteur en chef, Elektor) discute avec des experts de l'industrie électronique des défis et des solutions d'ingénierie réels. Visitez www.elektormagazine.com/eei pour obtenir des détails sur les émissions passées et futures.



LIENS

- [1] P. Valdes-Dapena, « Why BMW is offering heated seats on a monthly subscription », CNN Business, juillet 2022 : <https://cnn.it/3dqmIAT>
- [2] « Automotive Safety Integrity Level (Automotive) (ASIL) », IT Wissen.info, juillet 2019 : <https://bit.ly/3C4dNiH>
- [3] AUTOSAR Website : <https://www.autosar.org>
- [4] S. Cording, « What Is RISC-V? », Elektormagazine.com, avril 2021 : <https://www.elektormagazine.com/articles/what-is-risc-v>

Ersa i-CON TRACE

la station de soudage connectée pour professionnels

Contribution de Kurtz Ersa

Comment obtenir une soudure à la main réussie ? Grâce aux compétences de l'utilisateur bien sûr mais aussi grâce au choix du matériel ! Quand Ernst Sachs a breveté le premier fer à souder électrique en 1921, il s'est concentré sur le développement d'un outil fonctionnel. Avec l'i-CON TRACE, Ersa, leader pour la production électronique Ersa de Wertheim, présente une station de soudage innovante et entièrement connectée !



Avec l'i-CON TRACE, Ersa se concentre sur l'essentiel, le processus de soudage lui-même. La station propose à cet effet un fer extrêmement ergonomique et puissant, l'i-TOOL TRACE. Ce fer à souder léger et ergonomique est équipé d'un élément chauffant de 150 W, ce qui en fait l'outil idéal pour toutes les tâches de soudure. La nouvelle série de pannes 142 a été repensée thermodynamiquement. Grâce à un contrôle extrêmement précis de la température, Ersa assure une régulation optimale qui s'avère primordiale pour effectuer une soudure de qualité. De nombreuses pannes de soudure sont disponibles, comme



« Dès le départ, j'ai été séduit par les performances du fer à souder i-TOOL TRACE, tout particulièrement par son transfert de chaleur et le nouveau changement de panne. »

(Commentaires d'un client beta testeur sur l'i-CON TRACE)

par exemple la pointe de 0,1 mm pour les plus petits composants CMS, la tournevis de 12 mm pour des cartes à gros plans de masse, ou encore la panne à tresse de 20 mm pour le nettoyage des résidus de soudure. Toutes les pannes possèdent dorénavant un code QR unique pour les identifier facilement. Cette caractéristique est primordiale lorsque l'on parle de traçabilité. Le changement de panne est en effet une innovation : aussi rapide qu'une panne cartouche, mais en restant plus écologique et économique grâce à la dissociation de la panne et de l'élément chauffant ! La nouvelle fermeture à baïonnette brevetée

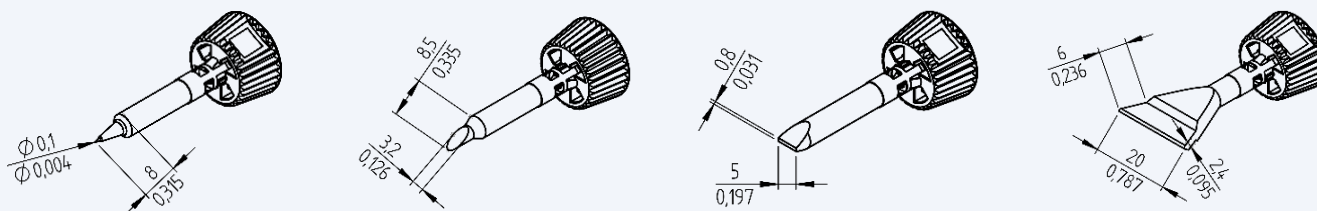


Figure 1. Sélection de pannes de la nouvelle série 142 avec fermeture à baïonnette et transfert thermique optimisé.



Figure 2. Le concept breveté Tip n' Turn de l'Ersa i-CON TRACE permet un changement de panne en un temps record.



Figure 3. La connectivité de l'i-CON TRACE permet de documenter toutes les étapes du processus de soudage : identification du circuit imprimé, panne utilisée, température et temps de contact. À cet effet, le TRACE COCKPIT pour les ordinateurs ou la TRACE APP pour les appareils mobiles sont disponibles.

permet de changer la panne en quelques secondes, même à chaud (**figure 1**). Pour cela, il est possible d'utiliser soit le repose fer à l'aide de la technologie « tip n' turn », soit vos doigts directement (**figure 2**).

Concept de fonctionnement intuitif basé sur 3 LED

Le concept de fonctionnement de l'i-CON TRACE est également complètement nouveau : au lieu d'un écran d'affichage et des boutons de contrôle sur la station, l'interface utilisateur a été presque entièrement transférée vers

l'application TRACE pour smartphones et tablettes (iOS ou Android), ou vers le TRACE COCKPIT sur PC grâce à un navigateur web (**figure 3**). Une fois tous les paramètres définis, l'utilisateur reçoit les informations essentielles

Figure 4. « GREEN MEANS GO! » Si toutes les conditions sont remplies, l'interface LED de l'i-CON TRACE donne le feu vert pour démarrer le processus de soudage.



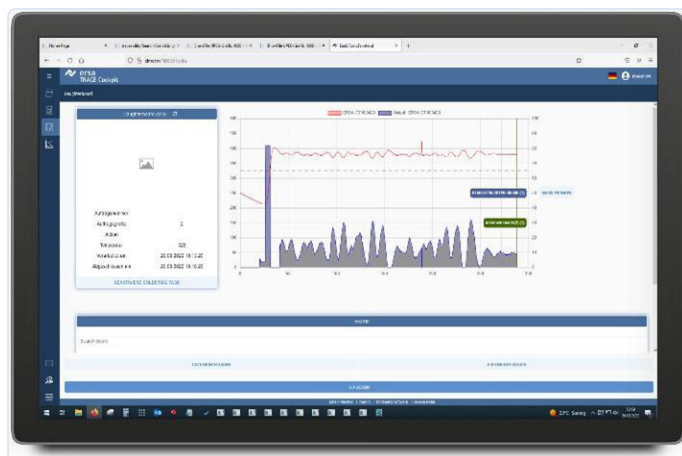


Figure 5. Rapport d'une tâche de soudage (job) sur le TRACE COCKPIT.

grâce à trois LED sur la station. Tous les indicateurs au vert signifient donc que la station est prête pour souder, ou comme les ingénieurs d'Ersa aiment le dire : « *Green means Go!* ». Ainsi, l'utilisateur reste concentré uniquement sur la tâche de soudure (figure 4).

Cette utilisation simple et intuitive est rendue possible par la connectivité unique de l'i-CON TRACE. Il s'agit de la première station de soudage à être équipée de série d'un module Bluetooth et WLAN. Elle peut ainsi être intégrée dans n'importe quel réseau en quelques étapes simples. Un module LAN enfichable pour la communication filaire est disponible en option. Le fonctionnement d'une ou plusieurs stations grâce à l'application gratuite TRACE APP (iOS et Android) est totalement intuitif. Réglage de la température de consigne et du *stand-by*, choix du type de régulation, tous les paramètres peuvent être réglés instantanément et sont mis à jour en temps réel.

Pour les clients professionnels, l'i-CON TRACE offre encore plus sur ordinateur grâce à l'application sur navigateur web TRACE COCKPIT : l'i-CON TRACE est le « chaînon manquant » et comble enfin le manque de traçabilité dans le processus de soudage manuel (figure 5). Ainsi, le TRACE COCKPIT peut fournir l'enregistrement d'une tâche de soudage au format de fichier souhaité (PDF, CVS ou XML). Des tâches de soudage spécifiques (*jobs*) peuvent être assignées de manière centralisée à chaque station de soudage via TRACE COCKPIT.

La station de soudage connectée peut même être intégrée à un logiciel de pilotage de production (MES), rendant ainsi le processus de soudage manuel traçable et documentable. Ainsi, les

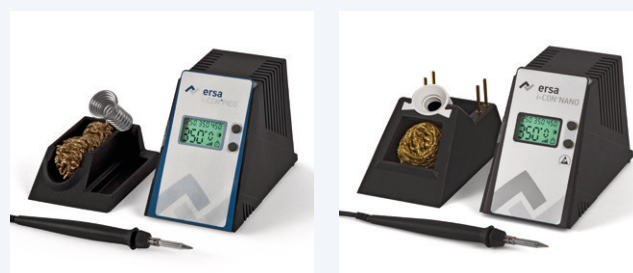
données critiques telles que l'identification du circuit imprimé ainsi que les code QR de la panne, du fil et du flux sont enregistrées. De cette façon, le système sait que toutes les conditions pour la tâche de soudage assignée sont remplies. L'opérateur se concentre entièrement sur le soudage, ce qui réduit au minimum la possibilité d'erreurs. Toutes les données du processus de soudage sont stockées de manière centralisée et peuvent être évaluées à tout moment, par exemple en cas de réclamations. En tant que première station de soudage connectée, l'i-CON TRACE ouvre une nouvelle dimension dans le domaine de la soudure manuelle. ▶

220553-04

i-CON PICO & NANO compactes et performantes

Si vous avez besoin de puissance mais que vous avez peu d'espace sur votre plan de travail et que votre budget est limité, Erska propose deux autres stations de soudage compactes.

L'i-CON PICO (encombrement 145 × 80 mm) offre soit trois températures fixes pré-réglables, soit un réglage de température variable de 150 à 450 °C. Elle dispose également de modes veille et hibernation et peut être paramétrée grâce à une carte micro SD. Si un environnement sûr contre les décharges électrostatiques est requis, l'i-CON NANO offre les mêmes fonctionnalités tout en étant ESD. Les deux stations utilisent une large gamme de pannes performantes (série 102) et des éléments chauffants de 150 W remplaçables séparément.



i-CON PICO (à gauche) et i-CON NANO – puissantes et compactes pour les applications standards ou ESD.

LIENS

[1] En savoir plus : www.i-con-trace.com

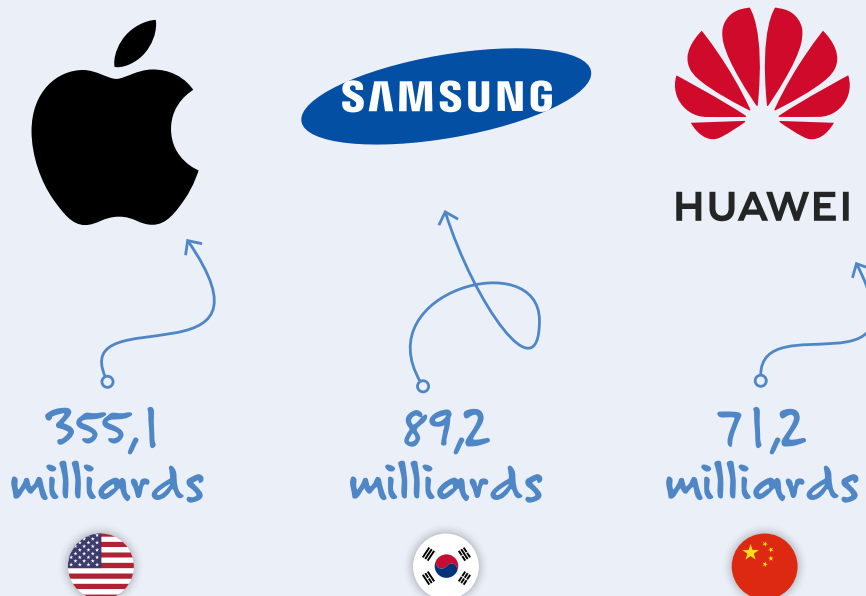
[2] Vidéo sur les produits Erska i-CON PICO et i-CON NANO : https://youtu.be/eUE0a_2C6XI

Apple est le grand vainqueur de 2022

À quel point une marque de produits électroniques peut-elle être puissante ? Aussi forte que la méthodologie spéciale de Brand Finance le lui permet. Chaque année, Brand Finance publie un classement des 50 marques d'électronique les plus importantes et les plus puissantes du monde. Sa méthodologie tient compte de différents éléments : le lien émotionnel avec la marque, les revenus actuels et futurs, les accords de licence potentiels, les revenus après impôts, etc. Apple arrive en tête avec une valeur de marque impressionnante de 355 milliards de dollars, soit une augmentation de 35 % en glissement annuel et une multiplication par 2,5 depuis le début de la pandémie. Brand Finance attribue le succès sans précédent d'Apple à une combinaison très réussie d'appareils innovants et de services de haute qualité.

(Source : Brand Finance)

Valeurs de marque du top 3 des marques d'électronique en 2022 en \$



Tout est incertain, sauf... la demande

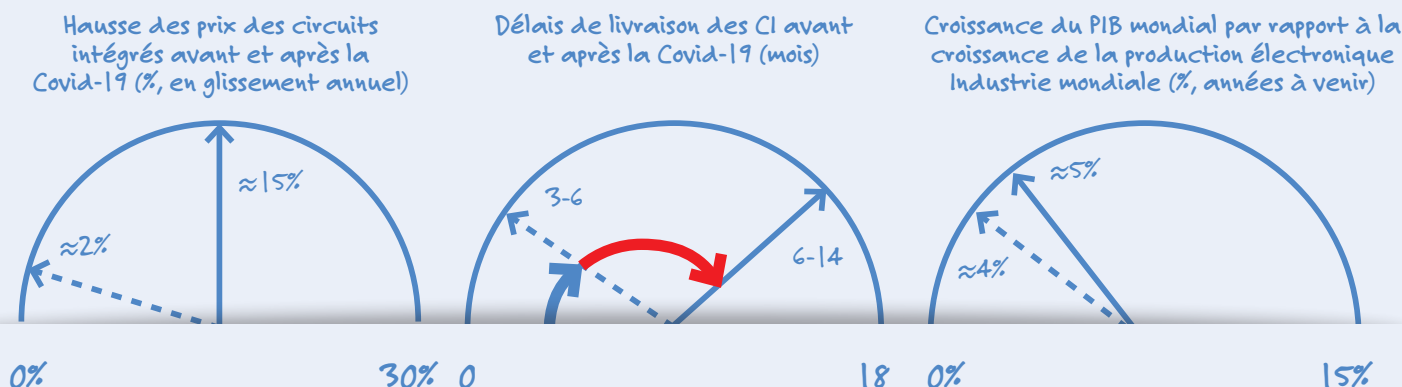
À la fin de l'année dernière, l'ambiance dans l'industrie des semi-conducteurs était à l'optimisme. Un équilibre entre l'offre et la demande était à l'horizon, également à portée de main en 2022. Certains analystes pensaient que les délais de livraison allaient bientôt retrouver leurs niveaux d'avant la pandémie. Cependant,

la guerre en Ukraine et les nouvelles flambées de Covid-19 en Chine ont anéanti cet espoir. Depuis le début de la pandémie, le prix d'un circuit intégré a augmenté d'environ 15 %. Les délais de livraison pourraient même désormais dépasser ceux de la mi-2021, lorsque la pénurie était à son comble. Cela affecte-t-il la demande

dans le secteur de l'électronique ? Non. La conduite autonome et électrique, la 5G, les jeux, l'informatique de périphérie : tous ces secteurs génèrent une croissance supérieure à celle du PIB mondial.

(Sources : Nikkei Asia, Qualitel, The Business Research Company)

Avant la crise de la Covid-19 et après le début de la guerre

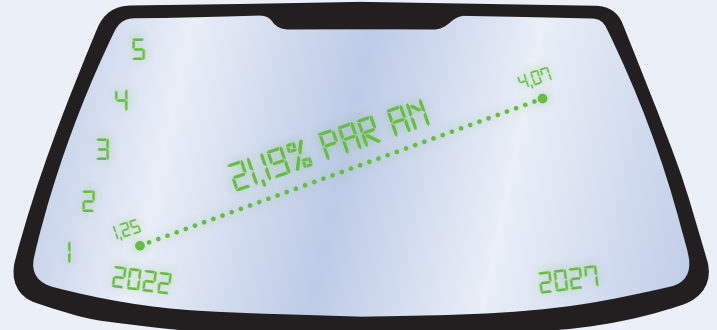


L'électronique transparente : une perspective différente

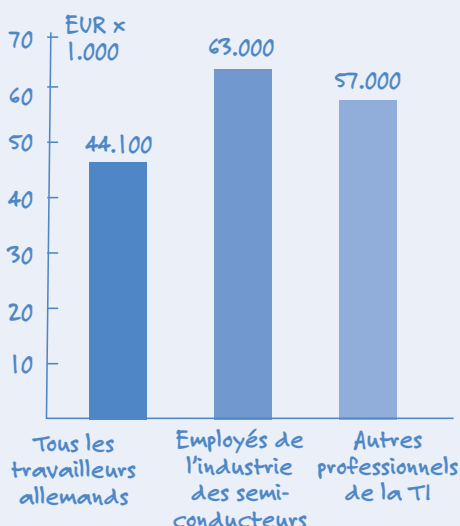
L'électronique transparente : un marché pas encore énorme, mais qui a certainement un beau potentiel. Par exemple, elle permet d'intégrer des cellules solaires dans des fenêtres ordinaires, transformant ainsi n'importe quelle fenêtre en un générateur d'énergie beaucoup plus efficace que les cellules solaires utilisées. Et puis il y a une autre perspective intéressante pour l'électronique transparente. Un conducteur ou un pilote peut suivre sa vitesse tout en gardant les yeux sur la route ou sur les nuages. L'électronique transparente est aussi prometteuse que la recharge sans fil ou la 5G. Comme pour ces deux techniques, cette nouvelle venue connaît une croissance à deux chiffres : 21,19 %, passant de 1,25 milliard de dollars en 2022 à 4,07 milliards en 2027.

(Source : Research and Markets)

Marché mondial de l'électronique transparente, en milliards de dollars américains 2022-2027



Revenu médian des travailleurs allemands en TI, 2022 en €



Les salaires grimpent en flèche ? Pas vraiment...

Compte tenu des problèmes de production dans l'industrie des semi-conducteurs, il va de soi que les salaires dans ce secteur doivent augmenter. Cela est certes vrai. Mais les revenus médians des employés de l'industrie des semi-conducteurs n'ont pas doublé, alors que de nombreux délais de livraison ont augmenté. Cette mesure est liée à la crise que nous traversons, compte tenu des perturbations de la chaîne d'approvisionnement de ces deux dernières

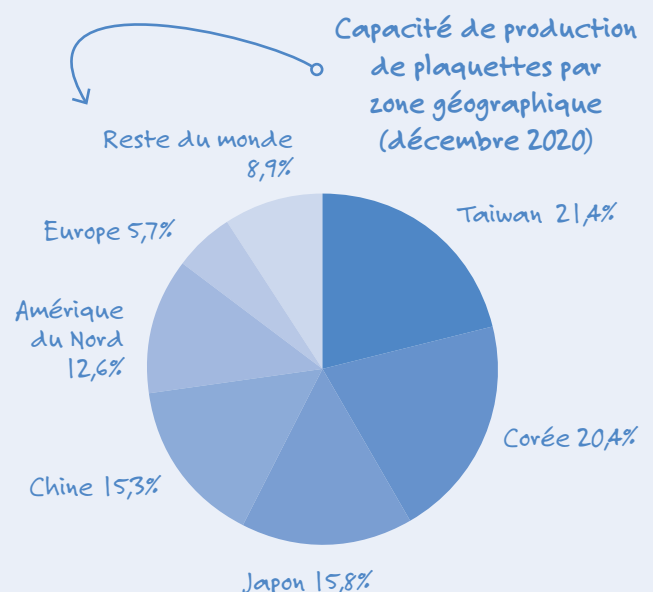
années. Le capitaine sombre avec son navire. Telle semble être l'attitude des travailleurs allemands en TI (technologie de l'information), d'après les études de StepStone et d'Interconsult. Selon StepStone, les salaires pourraient augmenter de 3 à 4 % cette année, soit un peu plus que la moyenne décennale de 2 à 3 %.

(Sources : Interconsult, StepStone)

La Russie : les semi-conducteurs ne sont pas une marchandise ici

La Russie peut menacer l'Occident de couper ses approvisionnements en gaz et en pétrole, mais cette même stratégie ne fonctionnera pas pour les semi-conducteurs. La raison en est simple : la capacité de production de circuits intégrés dans la Fédération de Russie est négligeable. Jetez un coup d'œil à la partie « Reste du monde » du diagramme circulaire. Dans cette section, vous trouverez la capacité totale de production de plaquettes pour des pays comme Singapour, Israël, la Malaisie, l'Australie, le Belarus et... la Russie. Pourquoi, alors, la Russie est-elle encore une force avec laquelle il faut compter ? Elle est un important fournisseur de néon, d'argon et d'hélium, des gaz inertes nécessaires à la production de circuits intégrés. Bien que les entreprises occidentales aient déjà assuré leur approvisionnement ailleurs, l'augmentation de prix de cinq fois pour de nouveaux contrats n'est pas inédite.

(Sources : Aroged, Financial Times, IC Insights)



qu'allons-nous faire de toute cette informatique ?

Zach Shelby (cofondateur et PDG d'Edge Impulse)

Zach Shelby, cofondateur de Edge Impulse, s'est entretenu avec Simon Segars, ancien PDG d'Arm, pour expliquer comment les ordinateurs Acorn ont contribué à l'avènement d'un monde avec du machine learning à la pointe.

Nous constatons que les données et l'informatique périphérique sont à l'origine de nouvelles innovations pour des industries, grâce à des progrès dans ce domaine. J'ai récemment rencontré Simon Segars pour discuter de toutes les choses étonnantes qui se passent dans ce secteur (**figure 1**). Simon est un visionnaire de la technologie ; il a été directeur à long terme d'Arm, membre du conseil d'administration de sociétés mondiales telles que Vodafone, et a récemment rejoint le conseil d'administration de ma société, Edge Impulse. Il a contribué à la création d'une grande partie de la technologie exposée au musée de l'Histoire de l'ordinateur, ce qui en fait un lieu approprié pour notre conversation.

Ceci est un extrait d'une discussion plus longue que vous pouvez écouter intégralement sur youtube.com/edgeimpulse.

Zach : juste derrière nous, nous avons le BBC Micro, parmi de nombreuses autres pièces étonnantes de matériel informatique. Parlez-nous un peu du chemin parcouru depuis les ordinateurs BBC Micro et Acorn jusqu'à Arm.

Simon : ces ordinateurs étaient très amusants et ont certainement joué un rôle dans ma vie en m'intéressant à l'informatique, à la technologie et à tout le reste. La BBC a joué un rôle énorme à cet égard. Il a été introduit sur le marché britannique en tant qu'outil éducatif, car elle voulait aider à enseigner l'informatique au public et a donc commandé sa création. L'équipe d'Acorn s'est réunie et l'a fabriquée. C'est une histoire fascinante que de réunir un groupe de personnes très intelligentes et de leur faire construire quelque chose. Tout s'est fait à la dernière minute, mais c'est devenu un ordinateur incroyable. L'équipe d'Acorn voulait alors un microprocesseur plus avancé pour alimenter leur prochaine génération d'ordinateurs. Ils n'arrivaient pas à en trouver un, alors ils ont pensé, « Ça ne peut pas être si difficile que ça, construisons un microprocesseur. ». Et cela a conduit à l'Arm1 (**figure 2**). Un design révolutionnaire, très petit, très économe en énergie, et très efficace dans son utilisation de la mémoire également. C'était ensuite le CPU qui a été utilisé dans la série d'ordinateurs Acorn Archimedes. J'ai eu l'occasion de jouer avec eux quand j'étais à l'université et c'était comme, « Wow, cette machine est incroyablement rapide. »

Je ne savais pas que, en parallèle, beaucoup de choses se passaient chez Acorn. C'est arrivé à un point où la société ne pouvait pas vraiment se permettre d'avoir cette équipe de R&D qui fabriquait des microprocesseurs, alors ils ont cherché un partenaire. Apple est arrivé, à la recherche d'un microprocesseur pour l'Apple Newton. Ils

se sont réunis et ont décidé de former une entreprise commune : Arm. La société est sortie d'Acorn.

J'ai rejoint l'entreprise quelques mois après ce moment, en tant que 16^e employé. Nous avons fait en sorte que ces appareils soient de plus en plus économes en énergie et performants. Il y en a maintenant des milliards et des milliards dans le monde.

Zach : comment le parcours des microcontrôleurs s'est-il concrétisé pour permettre une nouvelle vague d'apprentissage automatique sur l'informatique périphérique ?

Simon : lorsque les gens ont commencé à utiliser le terme « Internet des Objets », ils parlaient de prendre un capteur, le connecter au réseau, enregistrer ses données et les traiter ailleurs. Et assez rapidement, on s'est dit : « OK..., eh bien, la sécurité est importante ». Vous savez, des milliards d'appareils, vous devez vous soucier de vous assurer qu'ils sont sécurisés. Nous avons besoin de plus de performance pour cela. Devrait-il y avoir un accélérateur de cryptographie dans la puce ? Eh bien, quelle quantité de silicium pouvez-vous vous permettre ? Heureusement, la production de silicium s'améliore sans cesse. Et puis vous arrivez à ce point de basculement où vous avez suffisamment de performances dans ce minuscule appareil. Si vous commencez à effectuer une partie du travail de traitement sur place, à l'extrémité la plus éloignée du réseau, vous pouvez commencer à réfléchir à la quantité de données que vous devez réellement transmettre. En réduisant cela au minimum, l'efficacité énergétique augmente.

Nous avons vu ce type de progrès dans les capacités technologiques sous-jacentes, en tirant parti des progrès réalisés ailleurs dans le cloud. Les gens peuvent expérimenter toute la journée. C'est vraiment pas chère de le faire. Tout d'un coup, tout se met en place et vous vous dites « je peux maintenant faire beaucoup plus à la périphérie, allons-y ».

Zach : je me souviens de mon cofondateur d'Edge Impulse, Jan Jongbloom, et moi, assis autour d'une bière, nous disant : « Qu'allons-nous faire de toute cette informatique ? ». C'est comme faire une fête. Qu'est-ce qu'on va faire avec toute cette bière ? Il y a tellement d'informatique. Les fonctions traditionnelles de cryptographie pour l'IdO, de traitement des données et de traitement numérique des signaux ne représentent même pas la partie émergée de l'iceberg de ce qui est possible. C'est ce qui nous a amenés à réfléchir à la question suivante : « Pourquoi ne pas apporter ces boîtes à outils l'apprentissage machine depuis le cloud et les appliquer aux microcontrôleurs



Figure 1. Zach Shelby (à gauche) et Simon Segars. (Source : Mike Senese [1])

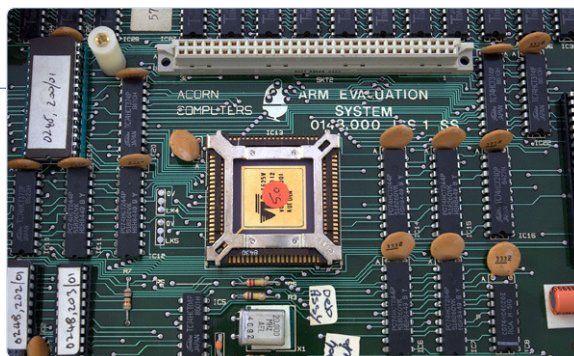


Figure 2. Arm1. (Source : Peter Howkins, CC BY-SA 3.0 [2] [3])

et aux microprocesseurs ? ». Et cela a donné le coup d'envoi d'un grand nombre de travaux vraiment intéressants autour de l'apprentissage automatique.

Simon : je pense qu'un des moments de ce cheminement a été une sorte de prise de conscience qu'avec ces technologies, avec le machine learning et la détection et tout le reste, vous pouvez faire plus de choses. Tout d'un coup, vous avez des capteurs et des processeurs haute performance partout et vous pouvez commencer à vous demander : « Quelle est la température de la pièce ? Doit-on la refroidir ? Y a-t-il quelqu'un à l'intérieur ? Pourquoi ne pas éteindre le chauffage ? ». Et les gens commencent à penser à ces nouveaux cas d'utilisation, ce qui les amène à se demander : « Comment puis-je programmer cela sur ce minuscule microcontrôleur qui ne coûte presque rien ? J'ai besoin d'un meilleur environnement de programmation pour cela ».

Et c'est le problème que Edge Impulse résout vraiment. Comment améliorer la productivité si quelqu'un veut créer une application à la périphérie, en tirant parti de toutes ces performances de calcul, de tout cet apprentissage qui s'est déroulé sur le cloud, comment puis-je faire rendre un appareil le plus petit possible ? Parce que les mathématiques sous-jacentes sont assez horribles. Mais si tout ce que je veux faire, c'est donner vie à une application, je n'ai pas à me soucier de tout cela. Je veux que ma productivité soit améliorée pour que je puisse tirer parti de toute cette formidable technologie.

Zach : où voyez-vous certaines des opportunités intéressantes pour l'apprentissage automatique dans l'entreprise ?

Simon : fondamentalement, ce que vous recherchez, c'est la perspicacité. Échantillonner des données et les analyser. Mais vous voulez en tirer des informations exploitables, que ce soit dans le cas d'un appareil médical ou d'un outil vraiment cool, vous savez, comment ai-je dormi la nuit dernière ? Quel est mon état de santé général ? Il y a beaucoup d'innovations dans ce domaine. Que puis-je dire en échantillonnant la surface de ma peau ? Suis-je sur le point d'avoir une crise d'épilepsie ? J'ai vu les applications dans ce domaine. Et je pense que c'est un milieu dans lequel des recherches très intéressantes vont être menées.

Il s'agit de transformer ces données et d'utiliser cette technologie pour en faire quelque chose d'exploitable, qui apporte vraiment de la valeur, et ce dans presque tous les secteurs. Ma machine va-t-elle tomber en panne ? Puis-je détecter où elle se trouve et commander une pièce de rechange afin que, lors de la révision, la personne

arrive avec le bon matériel, les bons outils, et que les choses soient mises hors service pour une courte période de temps ? Il y a tellement d'argent qui pourrait être économisé et tellement d'efficacité qui pourrait être créée dans le monde. Je vois des possibilités infinies de générer des informations réelles, de générer une valeur réelle, de créer une plus grande efficacité et d'apprendre davantage, d'obtenir plus d'informations sur ce qui se passe dans le monde, ce qui créera de nouvelles opportunités commerciales et rendra l'endroit beaucoup plus efficace.

Zach : quel genre de conseils devrions-nous donner aux cadres de l'industrie pour qu'ils utilisent la technologie à bon escient dans leur business ?

Simon : chez Arm, ce que nous avons vu, c'est l'impact énorme de nos actions. Lorsque j'ai rejoint l'entreprise, je pense que le PDG était la seule personne à posséder un téléphone portable, et maintenant des milliards de personnes en ont un. Il a permis la connectivité. Il a permis aux gens d'avoir accès à des informations qu'ils ne pouvaient pas avoir avant. Et il a contribué à améliorer la qualité d'une quantité de vie dans le monde entier. Et c'est un impact incroyable. Taper du code pour avoir un tel impact est vraiment phénoménal. Et puis ce genre de sentiment, que ce que nous faisons a des répercussions. Nous voulions donc encourager cela, encourager nos employés à s'impliquer dans certains de ces grands projets que vous voyez, où les gens prennent ces capteurs et déterminent où se trouvent les espèces en danger. J'ai vu des exemples où les rhinocéros sont marqués, et les zones sont géocodées, et ils l'utilisent pour suivre les habitudes de ces animaux. La technologie est utilisée pour écouter les bruits de l'exploitation illégale des forêts tropicales afin de les préserver. Ces gens ont toutes ces grandes idées. Et encore une fois, si nous pouvons leur permettre d'inventer et de créer, c'est un impact considérable. On surveille de plus en plus les entreprises pour qu'elles jouent un rôle positif dans le monde. Les entreprises ne se contentent pas de gagner de l'argent pour le compte de leurs actionnaires. Vous avez intérêt à faire quelque chose de bien pour le monde. La technologie a un rôle à jouer dans la résolution de tous les grands problèmes mondiaux

220544-04

Pour en savoir plus sur Edge Impulse, visitez edgeimpulse.com.

LIENS

[1] Source de la photo : <https://photos.app.goo.gl/3D34o4itFwnUT4vQ8>

[2] License : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

[3] Wikipedia : https://en.wikipedia.org/wiki/ARM_architecture_family#/media/File:Acorn-ARM-Evaluation-System.jpg

Comment piloter l'afficheur E-Paper d'Ynvisible

Proposé par Ynvisible

Cet article fournit des instructions sur la commande des afficheurs et l'intégration électrique de la technique E-paper (papier électronique) d'Ynvisible. Nous présenterons le matériel et le micrologiciel nécessaires au bon fonctionnement des afficheurs.

Les afficheurs E-paper (papier électronique) imprimés d'Ynvisible sont à très faible consommation d'énergie (**figure 1**) [1]. La tension de commande recommandée est de $\pm 1,5$ V. Un centimètre carré de surface d'affichage active nécessite environ 1 mJ pour être activé. Cela correspond à environ 1 à 2 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pour un affichage toujours activé.

Les afficheurs sont fabriqués par des processus de lamination et de sérigraphie rouleau à rouleau. Ils sont non toxiques, exempts d'ITO (oxyde d'indium étain) et principalement constitués de plastique PET. Le substrat plastique et la production rouleau à rouleau permettent d'obtenir des afficheurs fins, flexibles, extensibles et très rentables. Commencez à utiliser le kit d'affichage E-paper d'Ynvisible [2].

Contexte

La technique d'Ynvisible est simple à utiliser. C'est l'un des principaux facteurs de différenciation des autres techniques de papier électronique. Les E/S de la plupart des microcontrôleurs permettent de commander les afficheurs avec un minimum de composants. Appliquez une tension positive au segment d'affichage pour l'allumer ou appliquez une tension négative pour l'éteindre. La tension ne doit être appliquée que lorsque l'afficheur

s'allume ou se rafraîchit. Il existe différentes options, en fonction du cas d'utilisation et des conditions préalables du système, que nous allons aborder ici.

Quelques faits

- La commande de l'afficheur devra être adaptée à la configuration finale de l'afficheur et au cas d'utilisation, mais

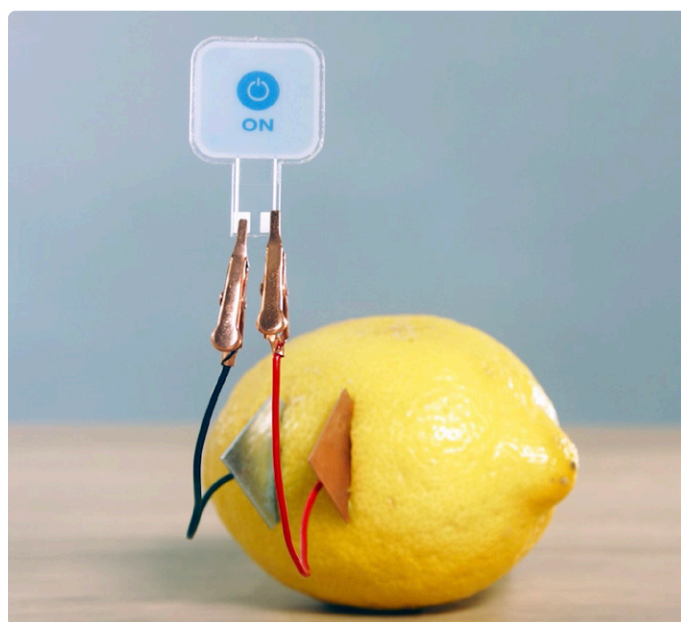


Figure 1. Les afficheurs imprimés E-paper d'Ynvisible sont à très faible consommation d'énergie.

les principes fondamentaux sont les mêmes pour tous les afficheurs d'Ynvisible.

- Les afficheurs sont commandés directement, une électrode par segment plus une électrode commune.
- Une tension positive appliquée à l'électrode commune active le segment.
- Une tension négative (ou un court-circuit entre l'électrode et l'électrode commune) éteint le segment.
- Une tension plus élevée offre une vitesse de commutation plus rapide, tandis qu'une tension plus faible assure une durée de vie plus longue.
- 1,5 V environ à travers le segment est un bon compromis entre la vitesse de commutation et la durée de vie.
- Il est recommandé de maintenir la tension au minimum si la vitesse de commutation n'est pas un souci. Une tension de 1,2 V est suffisante pour un contraste maximal.

Pilote d'affichage et ressources d'Ynvisible

Ynvisible a conçu un pilote d'affichage [3] ainsi que des instructions et une bibliothèque [4] pour le prototypage rapide et pour les démonstrateurs. Veuillez consulter la fiche technique [5] pour plus d'informations, notamment les caractéristiques électriques et temporelles. Ynvisible offre également un adaptateur à 16 broches [6] pour une intégration aisée.

Exemples de circuits

Il existe de nombreux exemples de circuits avec l'afficheur E-Paper d'Ynvisible. Ils ne nécessitent généralement aucun ou peu de composants supplémentaires. Toutes les suggestions sont basées sur un microcontrôleur avec des entrées/sorties qui peuvent fonctionner en mode haute impédance (High-Z) (presque tous les microcontrôleurs savent le faire).

Circuit 1 (régulateur de tension)

Le circuit utilise un filtre passe-bas et un amplificateur opérationnel pour créer une référence variable sur l'électrode commune (voir **figure 2** et **tableau 1**). En ajustant la fréquence du signal MLI, il est possible de réguler la tension pour obtenir la tension de commande souhaitée. Ainsi, il est possible d'appliquer la tension correcte aux segments, indépendamment de la tension de fonctionnement du microcontrôleur. Les sorties qui pilotent les segments doivent être à un état de haute impédance pour maintenir l'image pendant les mises à jour.

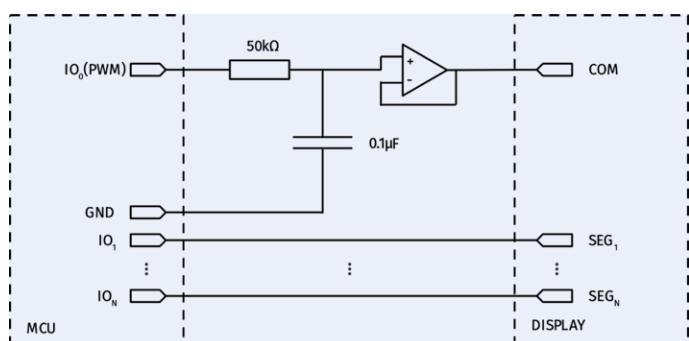


Figure 2. Un filtre passe-bas et un amplificateur opérationnel sont utilisés pour créer une référence variable sur l'électrode commune.

Tableau 1. Caractéristiques des composants du circuit 1.

Composant	Exemple	Valeur	Commentaire
Résistance		50 kΩ	Il est possible d'utiliser différentes valeurs de résistance en fonction de la fréquence PWM et du temps de réponse requis.
Condensateur		0,1 μF	Il est possible d'utiliser différents condensateurs en fonction de la fréquence PWM et du temps de réponse requis.
Amplificateur opérationnel	Texas Instruments TLV9001SIDBVR		Utilisé pour maintenir un potentiel COM stable pour différentes charges.

Circuit 2 (sortie du CN/A sur électrode commune)

Si le microcontrôleur est doté d'un CN/A intégré, ce dernier peut servir de référence pour l'électrode commune (**figure 3**). Le CN/A remplace les composants externes du circuit 1. Les sorties qui pilotent les segments doivent être à un état de haute impédance pour maintenir l'image pendant les mises à jour.

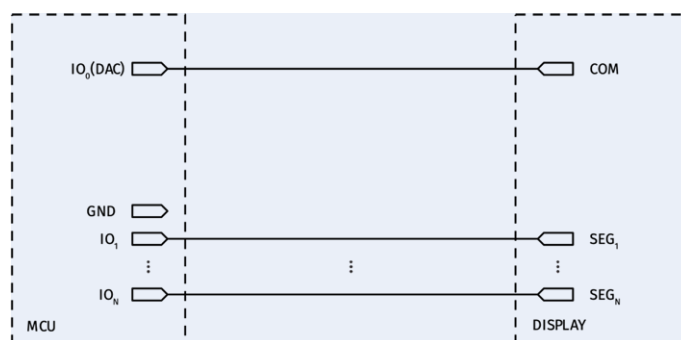


Figure 3. Le CN/A remplace les composants externes du circuit 1.

Circuit 3 (2 niveaux variables à électrode commune)

Un diviseur de tension est formé avec R1 et R2 (voir **figure 4** et **tableau 2**). En mettant IO0 à l'état haut et IO1 à l'état bas, nous obtenons un premier niveau de tension sur l'électrode commune. Pour obtenir une deuxième tension, il faut mettre IO0 à l'état haut (HIGH) et IO1 à l'état bas (LOW). Les sorties qui pilotent les segments doivent être à un état de haute impédance (High-Z) pour maintenir l'image pendant les mises à jour.

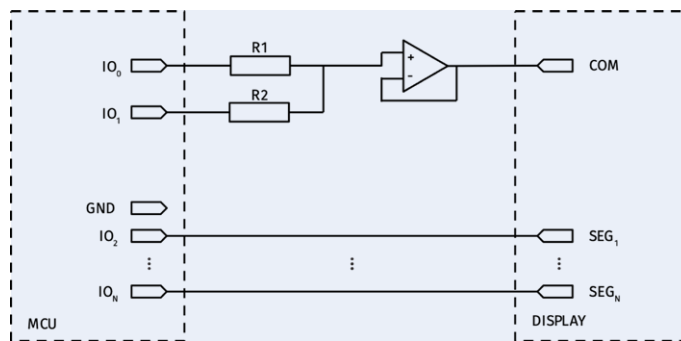


Figure 4. Diviseur de tension créé avec R1 et R2.

Tableau 2. Suggestions de résistances pour différentes tensions d'alimentation permettant d'obtenir une commande de $\pm 1,5$ V.

Alimentation	R1	R2	Commentaire
1,8 V	30 k Ω	6 k Ω	Les résistances doivent être sélectionnées pour créer un signal de commande de $\pm 1,5$ V. D'autres paires de valeurs sont possibles, mais plus elles sont faibles, plus la consommation du circuit augmentera
3 V	30 k Ω	30 k Ω	
3,3 V	30 k Ω	36 k Ω	
5 V	30 k Ω	70 k Ω	

Circuit 4 (sorties numériques)

Cette approche ne nécessite aucun composant externe (figure 5). La tension sera limitée à la tension d'alimentation du microcontrôleur utilisé. La tension de commande idéale pour l'afficheur est de $\pm 1,5$ V. Vous pouvez utiliser des tensions de 1,8 V et plus si les exigences de durée de vie sont limitées. Il est possible d'augmenter la durée de vie en ajoutant une résistance entre IO0 et COM

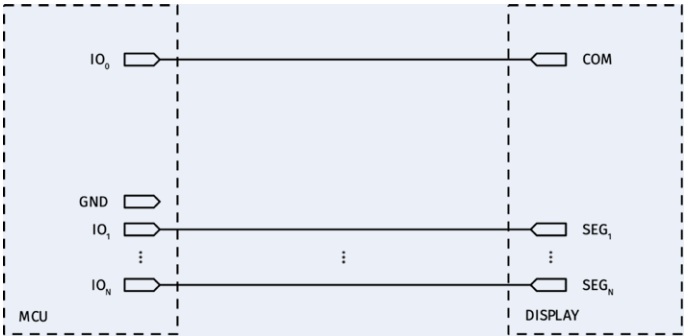


Figure 5. Cette approche ne nécessite aucun composant externe. La tension sera limitée à la tension d'alimentation du microcontrôleur utilisé.

Méthodes de commande de l'afficheur E-Paper d'Ynvisible

Vous trouverez ci-dessous quelques suggestions de méthodes de commande différents (voir figure 6 et tableau 3). Nous indiquons également les suggestions de circuits décrites précédemment compatibles avec les méthodes de commande.

Tableau 3. Définitions utilisées dans les systèmes de commande suivants.

Convention	N° de segment	Définition
COM	-	Électrode commune
SEG (OFF - OFF)	1	Segments qui doivent être maintenus à l'état bas (OFF)
SEG (OFF - ON)	2	Segments qui doivent être activés (ON)
SEG (ON - OFF)	3	Segments qui doivent être désactivés (OFF)
SEG (ON - ON)	4	Segments qui doivent être maintenus à l'état activé (ON)

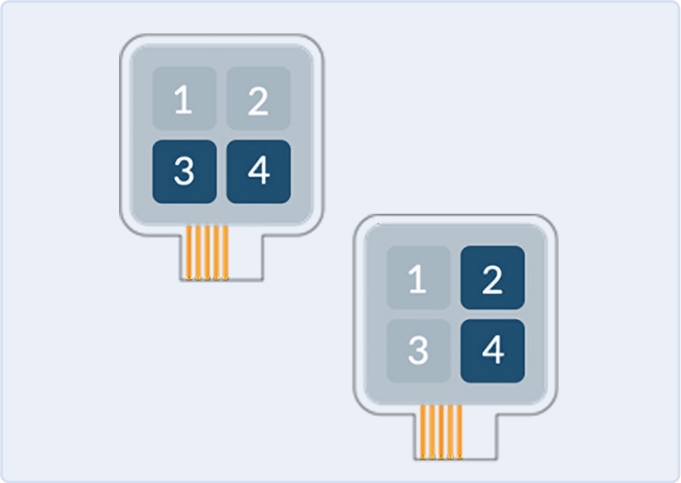


Figure 6. À gauche : avant la mise à jour; à droite : après la mise à jour.

Méthode de commande A (compatible avec les circuits 1, 2 et 3)

Cette technique actualise l'afficheur en deux étapes (figure 7). Premièrement, certains segments sont désactivés en réglant la tension de l'électrode commune à 1,5 V et les électrodes des segments concernés à l'état bas (OFF, 0 V, ce qui fournit -1,5 V aux segments). Deuxièmement, certains segments sont activés en réglant la tension commune à $V_{SUPPLY} - 1,5$ et les électrodes du segment concerné à l'état haut (HIGH, V_{SUPPLY} , ce qui fournit +1,5 V aux segments). Une impulsion de rafraîchissement plus courte est nécessaire au niveau des segments qui doivent être maintenus à l'état haut (ON). La séquence se termine par configurer toutes les sorties en haute impédance (HIGH-Z) pour maintenir l'état.

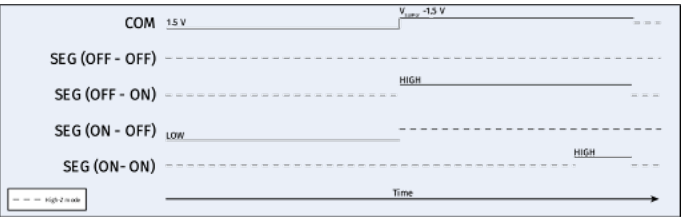


Figure 7. Chronogramme pour actualiser l'afficheur en deux étapes.

Méthode de commande B (compatible avec les circuits 1, 2, 3 et 4)

Cette technique de commande actualise l'afficheur en deux étapes, comme avec la méthode de commande A, mais sans tension d'électrode commune variable (figure 8). Premièrement, certains segments sont désactivés en mettant l'électrode commune à l'état haut (HIGH) et les électrodes des segments concernés à l'état bas (LOW)/0 V (ce qui fournit $-V_{SUPPLY}$ aux segments). Deuxièmement, certains segments sont activés en mettant la tension commune au niveau bas et les électrodes des segments concernés à l'état haut (résultant en $+V_{SUPPLY}$ à travers les segments). Une impulsion de rafraîchissement plus courte doit être appliquée aux segments qui doivent être maintenus à l'état actif (ON). La séquence se termine par mettre toutes les sorties en haute impédance (High-Z) pour maintenir l'état. Si le système est à une basse tension ou si les exigences de durée de vie sont limitées, cette technique peut être une bonne option.

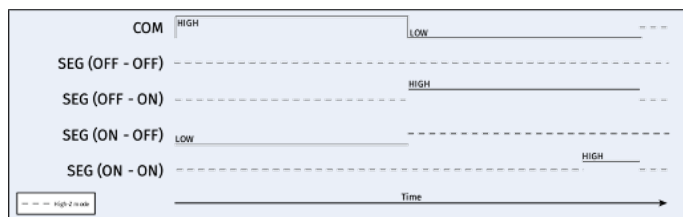


Figure 8. Cette technique de commande actualise l'afficheur en deux étapes, comme dans la méthode de commande A, mais sans tension d'électrode commune variable.

Méthode de commande C (compatible avec les circuits 1, 2 et 3, si $|V_{ON}| + |V_{OFF}| = V_{SUPPLY}$)

Cette technique de commande actualise l'afficheur en une seule étape (figure 9). Les segments sont activés et désactivés en même temps. Cela est possible en réglant la tension de l'électrode commune à une valeur comprise entre le niveau bas (LOW) et le niveau haut (HIGH), typiquement $\pm 1,5$ V pour un système fonctionnant à 3 V, mais qui peut aussi être, par exemple, ± 1 V pour un système fonctionnant à 2 V. Ainsi, il est possible d'appliquer simultanément une tension positive et une tension négative aux segments respectifs. Une impulsion de rafraîchissement plus courte est nécessaire sur les segments qui doivent être maintenus à l'état haut (ON). La séquence se termine par le réglage de toutes les sorties en haute impédance (High-Z) pour maintenir l'état.

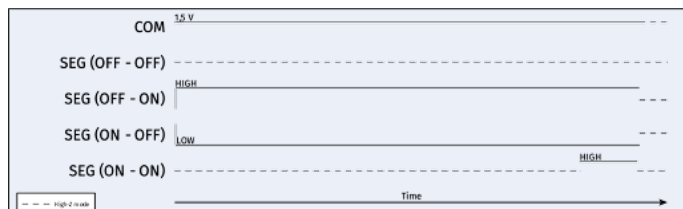


Figure 9. Ce processus de commande permet de mettre à jour l'afficheur en une seule étape.

Méthode de commande D (compatible avec le circuit 4)

Cette technique de commande actualise l'afficheur en une seule étape (figure 10), tel que dans la méthode de commande C. L'afficheur est activé en appliquant un signal PWM à l'électrode commune pour simuler une masse virtuelle entre LOW et HIGH. Pour de nombreux micro-contrôleurs, cette technique de commande provoque des pertes d'énergie importantes, ce qui entraîne une consommation d'énergie nettement supérieure à celle de la méthode de commande C. La séquence se

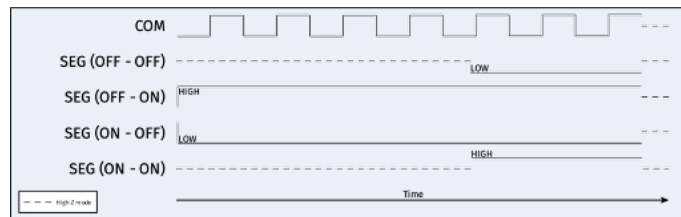


Figure 10. Ici l'afficheur est actualisé en une seule étape. L'afficheur est activé en appliquant un signal PWM à l'électrode commune.

termine par le réglage de toutes les sorties en haute impédance (High-Z) pour préserver l'état

Méthode de commande E (compatible avec Circuit 4)

Cette technique de commande actualise l'afficheur en une seule étape comme dans la méthode de commande C, mais à la différence que la tension de désactivation est de 0 V (figure 11). La désactivation des segments avec 0 V est nettement plus lente que lorsqu'on applique une tension négative (par exemple -1,5 V). Pour cette raison, il faut un délai plus long pour que le segment à éteindre commute, par rapport aux segments à allumer. Une impulsion de rafraîchissement plus courte est nécessaire sur les segments qui doivent être maintenus à l'état haut (ON). La séquence se termine par la configuration de toutes les sorties en haute impédance (High-Z) pour maintenir l'état. Cette méthode permet de connecter l'électrode commune directement à la masse.

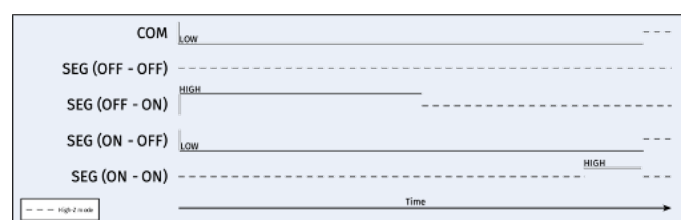


Figure 11. Cette technique de commande actualise l'afficheur en une seule étape, mais à la différence que la tension d'extinction est de 0 V.

Conclusions

L'intégration et la commande des afficheur E-paper d'Ynvisible sont relativement simples par rapport aux autres techniques d'affichage. Pour vous lancer dès maintenant, visitez la boutique d'Ynvisible [7] pour découvrir notre matériel disponible. N'hésitez pas à nous contacter (sales@ynvisible.com) si vous avez des questions..

220411-04

LIENS

- [1] Exemples de consommation d'énergie : www.ynvisible.com/segment-displays#Energy
- [2] Kit d'affichage E-paper : www.ynvisible.com/product/e-paper-display-kit
- [3] Pilote d'affichage : www.ynvisible.com/product/e-paper-display-driver
- [4] Instructions et bibliothèque : www.ynvisible.com/getting-started#driver
- [5] Fiche technique : www.ynvisible.com/datasheet
- [6] L'adaptateur à 16 broches proposé : www.ynvisible.com/product/adapter
- [7] Boutique d'Ynvisible : www.ynvisible.com/shop

innovation de tous les instants chez InnoFaith

entretien avec Walter Arkesteijn

Alina Neacsu (Elektor)

InnoFaith n'est pas seulement un excellent exemple d'entreprise prospère, mais prouve également que l'innovation n'est pas l'apanage des startups. L'entreprise fait un effort délibéré pour préserver les particularités des startups et souligne même l'importance de l'innovation en l'incluant dans son nom. Comme indiqué dans les articles précédents, le travail d'équipe et la créativité sont des éléments clés de leur entreprise, et ces capacités sont largement et régulièrement utilisées à tous les niveaux. Comment en est-on arrivé là, étant donné qu'InnoFaith est une jeune entreprise ?

Comme exemple de travail d'équipe et de créativité au sein de l'entreprise, l'aspect et le fonctionnement de l'application qui accompagne le produit principal d'InnoFaith, l'analyseur de peau *Observ 520x* [1], ont bénéficié des contributions actives de pratiquement tous les employés de l'entreprise. Au final, comme le souligne Walter Arkesteijn, n'importe qui devrait pouvoir utiliser ce produit sans trop de difficultés !

Alina Neacsu : Dans l'entretien précédent [2], il a été mentionné que vous « aviez lancé InnoFaith Beauty Sciences [3] par ambition entrepreneuriale ». À quel moment de votre parcours l'ingénierie a-t-elle croisé pour la première fois l'esprit d'entreprise ? Avez-vous rencontré des difficultés ?

Walter Arkesteijn : J'ai eu l'habitude de travailler en vacances pendant de nombreuses années, ce qui ne m'a pas donné satisfaction, car je rêvais de créer des choses. L'ingénierie et l'entrepreneuriat se sont croisés pour la première fois lorsque mon frère est venu me demander si je pouvais résoudre un problème qu'il avait rencontré dans le cadre de son second travail. Dans la pizzeria où il travaillait, on avait l'idée de mettre un four dans le camion de livraison pour garder les pizzas au chaud, mais on ne savait pas comment concrétiser cette idée. Au cours de ce projet, j'ai rencontré plusieurs défis. Ici, je pense qu'il est important de toujours se rappeler qu'être naïf est le meilleur atout pour se lancer dans quelque chose que vous avez envie de faire. Cependant, vous



Walter Arkesteijn (InnoFaith Beauty Sciences)

pouvez le sous-estimer. Vous pensez que vous pouvez le faire sans savoir exactement dans quoi vous vous embarquez. Le désir de créer quelque chose de beau ne correspond pas toujours à la planification et à la budgétisation qui en découlent. Vous apprenez à revoir les choses, car les revers font partie du processus. Ce premier projet a suscité mon intérêt pour l'entrepreneuriat. J'ai eu un défi à relever : je ne savais pas exactement dans quoi je m'embarquais, mais quand vous parvenez enfin à concrétiser l'idée et que vous avez pu créer quelque chose dont vous ne pouviez que rêver auparavant, vous ressentez beaucoup de satisfaction.



Observ 520x d'InnoFaith.

Alina : Supposons que vous ayez à choisir de recommencer InnoFaith. D'après vous, qu'est-ce qui changerait aujourd'hui ? La recette du succès est-elle la même qu'il y a 25 ans ?

Walter : Je crois que la recette du succès est restée la même depuis 25 ans et je ne voudrais pas changer grand-chose. Si j'étais confronté au choix de redémarrer InnoFaith Beauty Sciences, avec les connaissances actuelles, je choiserais de reprendre plus tôt la partie gestion opérationnelle. Pour moi, un projet me semble terminé lorsque je l'ai réalisé et je préfère me concentrer sur de nouvelles innovations. De ce fait, vous passez à côté d'opportunités commerciales. Ma plus grande motivation n'est pas commerciale, mais la croissance organique s'est produite lorsque nous nous attaquons à des défis de plus en plus importants au sein d'InnoFaith Beauty Sciences. Un espace a maintenant été créé au sein de l'entreprise pour exploiter davantage les projets déjà en développement pendant que je peux me concentrer sur l'innovation.

Alina : Votre travail associe l'électronique, la beauté de la peau et les compétences entrepreneuriales. Je prévois que votre processus de transformation du rêve en réalité avec l'aide de la technologie peut inspirer certains innovateurs de la communauté d'Elektor à commencer à explorer comment utiliser diverses disciplines, y compris l'électronique. Est-ce que vous pensez qu'**electronica fast forward, la plateforme de start-up, le concours initié par Elektor** [4] est une occasion unique de présenter leurs idées et leurs techniques ?

Walter : Je pense vraiment que c'est une opportunité unique pour les startups d'être présentées au marché via le concours « *electronica Fast Forward* ». Il est très important pour les jeunes entreprises de comprendre les développements techniques. Cette compétition offre une opportunité de se faire connaître. Une entreprise technologique sait exactement comment fonctionne son produit, mais il est très important de clarifier la signification de cette innovation pour l'utilisateur. Ce pont est essentiel pour rendre claire la valeur du développement technique. Peu importe la beauté de la technologie, si elle n'est pas comprise, elle ne sera pas appréciée.

Alina : Que pensez-vous de l'état d'esprit de la nouvelle génération ? Avez-vous des conseils pour les nouveaux arrivants ?

Walter : Un changement majeur par rapport à il y a 25 ans est que l'accès au monde extérieur est devenu très facile. Cela présente l'avantage de pouvoir lancer des initiatives à petite échelle. En revanche, l'inconvénient est que la quantité d'informations est énorme et qu'il est plus difficile de se différencier. La question est donc de savoir comment se démarquer et se faire entendre dans un marché encombré et accessible ? Mon conseil est de chercher



Un aperçu du côté client/patient de l'Observ 520x. L'optique et l'électronique se mélangent bien ici.

des partenaires qui ont accès à ce marché. Si vous partez de la technologie, il y a encore beaucoup de connaissances que vous devez acquérir vous-même, ce qui donne une trajectoire lente. Par conséquent, il faut donc trouver des partenaires solides pour être au courant d'autres aspects tels que la distribution, le marketing et les ventes. Je voudrais également ajouter que les revers sont précisément le moyen de trouver un chemin pour revenir au sommet, et ils fournissent une bonne motivation pour aller de l'avant.

Alina : Merci pour l'entretien. Nous ne manquerons pas de vous suivre, vous et votre entreprise prochainement.

En mai 2022, Elektor a rencontré pour la première fois Walter Arkesteijn et a effectué une visite vidéo à InnoFaith, à Eindhoven, aux Pays-Bas, pour découvrir comment est créé leur équipement d'analyse de la peau haut de gamme. Pour plus d'informations, vous pouvez lire les articles précédents, « l'inspiration, c'est ça qui compte : entretien avec Walter Arkesteijn, de l'entreprise InnoFaith » et « minimiser le matériel avec un logiciel intelligent : zoom sur la technologie chez InnoFaith » [5]. De plus, vous pouvez regarder la visite vidéo sur la chaîne Youtube d'Elektor [6].

220257-C-04

Travailler chez InnoFaith

La technologie au cœur de la médecine esthétique et de l'industrie de la beauté professionnelle, délivrée par une petite mais solide équipe de 31 personnes qui travaillent chez InnoFaith depuis des années. Cela montre qu'InnoFaith est là pour rester. InnoFaith Beauty Sciences partage l'état d'esprit de conception innovante et de fabrication d'appareils de diagnostic, de numérisation et d'imagerie de pointe. Jetez un œil à leurs offres d'emploi sur www.innofaith.com.

LIENS

[1] Observ 520x : <https://sylton.com/products/observ-520x/>

[2] Entretien avec Walter Arkesteijn : www.elektormagazine.fr/news/l-inspiration-c-est-ca-qui-compte

[3] InnoFaith Beauty Sciences : <https://innofaith.com/>

[4] electronica fast forward : www.elektormagazine.com/effwd-2022

[5] Visite du laboratoire InnoFaith :

www.elektormagazine.fr/news/minimiser-le-materiel-avec-un-logiciel-intelligent-zoom-sur-la-technologie-chez-innofaith

[6] Visite vidéo sur Youtube : https://youtu.be/cAL17ZI_UvQ

automatisation industrielle

rétrofit IdO facile et évolutif

Source : pressmaster

Contribution de Würth Elektronik

Les installations de fabrication industrielle dotées de machines qui ont évolué au fil des ans sont souvent finement réglées et hautement optimisées. Grâce au rétrofit IdO, la production peut être mise à niveau et digitalisée, comme le démontre une collaboration entre WE, FEGA & Schmitt et IAV.

On pense toujours que la technologie la plus récente et la plus avancée est supérieure. Parfois, cependant, il est préférable d'utiliser des technologies éprouvées, vieilles de plusieurs décennies, actuelles ou même héritées. Il y a, bien sûr, plusieurs autres défis associés aux équipements plus anciens, notamment l'efficacité, la qualité irrégulière, la maintenance coûteuse et le travail manuel. Le remplacement d'un équipement de fabrication ancienne implique un ensemble différent de considérations pour les propriétaires d'entreprises. Il n'est pas rare que les équipements anciens représentent des investissements en capital de plusieurs millions de dollars et des années de planification. Par conséquent, l'approche du rétrofit est plus rentable.

Les environnements de production peuvent être grandement améliorés par l'introduction d'une automatisation intelligente. Les systèmes existants peuvent créer une valeur supplémentaire grâce à une automatisation accrue. Les anciennes machines étant souvent déjà amorties, l'impact économique d'une productivité accrue, sans qu'il soit nécessaire de procéder à de nouveaux investissements importants, est particulièrement avantageux pour survivre sur un marché international. Pour que la modernisation réussisse, les machines automatisées doivent enregistrer et analyser avec

précision les données d'exploitation. En outre, il est essentiel que les conclusions tirées de ces évaluations puissent être étendues à d'autres sites de fabrication.

La difficulté avec les machines héritées est que nous manquons de connaissances pour poser les bonnes questions. Comment résoudre ce problème ? Le rétrofit des machines est la meilleure stratégie. Le rétrofit est le processus de mise à jour ou d'ajout de nouvelles fonctionnalités à un équipement existant à l'aide d'une solution IdO de manière non invasive. Grâce à la transformation d'une machine en son jumeau numérique, la production peut être examinée et optimisée de manière plus détaillée et plus efficace.

Démonstration de faisabilité en partenariat

Würth Elektronik est un fervent partisan du concept de logiciel libre et, en collaboration avec FEGA & Schmitt et IAV, a réalisé cette démonstration de faisabilité pour la surveillance des fraises industrielles (**figure 1**). FEGA & Schmitt a conceptualisé ce projet, Würth Elektronik a fourni les composants de connectivité et de détection et, avec IAV, les solutions d'infrastructure dans le cloud (**figure 2**). IAV a également proposé des services d'analyse des données et d'intégration complète du système.

L'objectif était de développer un produit facile à installer pour les clients de FEGA, afin de surveiller les fraiseuses industrielles et de détecter leur utilisation sur la base des mesures actuelles, ainsi que de détecter les problèmes éventuels des fraises avant qu'ils ne se produisent.

Parfois, une combinaison particulière de mouvements de l'outil peut provoquer leur destruction. En identifiant cet ensemble de mouvements, une prédiction de panne peut être faite. Par conséquent, les arrêts de production seront considérablement réduits. Une mesure du courant, quant à elle, permet de déterminer l'utilisation de la machine et simplifie le processus de planification. Lors de la démonstration de faisabilité, l'installation devait impérativement ne pas interférer avec l'infrastructure du client et ne pas provoquer de temps d'arrêt du processus.

Les clients reçoivent des informations complètes sur la disponibilité du système à partir du produit fini. La maintenance prédictive est une caractéristique clé et un facteur de différenciation des produits FEGA & Schmitt grâce à l'utilisation de capteurs et à l'évaluation des données assistée par l'IA.

Prototypage avec les cartes FeatherWing

Les FeatherWing sont un ensemble de cartes de prototypage empilables offrant différentes fonctionnalités. Würth Elektronik a créé une gamme de cartes de développement FeatherWing qui sont open-source et entièrement compatibles avec le format Feather. Elles comprennent des capteurs FeatherWing, la connectivité sans fil WE Pro-Ware, le wifi et diverses alimentations. Il existe un dépôt GitHub [1] pour toutes les cartes open-source, y compris leurs schémas, leurs nomenclatures, les descriptions des logiciels et de la connectivité au cloud pour Azure et AWS.

Détection par accélération

Les capteurs FeatherWing (**figure 3**) sont utilisés pour créer les points de données initiaux. L'accélération étant étroitement liée au mouvement de la broche de la fraise, l'utilisation d'un capteur d'accélération est un bon point de départ pour le suivi des mouvements.

La WE Sensor FeatherWing est une carte de développement avec quatre capteurs. Outre le format Adafruit Feather, elle est également compatible avec le QWIIC-connect de Sparkfun, qui fournit une interface I²C standard également compatible avec STEMMA QT et Grove/Gravity, offrant ainsi une infinité de possibilités pour le prototypage.

Tout ce qui précède permet de brancher et d'utiliser facilement divers capteurs et dispositifs de différents fabricants sans avoir à faire beaucoup de câblage, ce qui est extrêmement utile pour le prototypage.

Connectivité par LTE-M/NB-IoT

La connectivité des nœuds et des passerelles est résolue de différentes manières. La connectivité passerelle/cloud peut être établie selon deux méthodes distinctes. À l'aide d'un Raspberry Pi industriel doté d'une connectivité LTE, de grandes quantités de données sont envoyées vers le cloud pour une analyse spectrale tout au long de la phase de génération du modèle. Une fois le modèle créé, la connectivité passe au module Adrastea-I LTE-M/NB-IoT de Würth



Figure 1. Fraiseuse industrielle de FEGA & Schmitt avec surveillance.
(Source : Würth Elektronik eiSos)

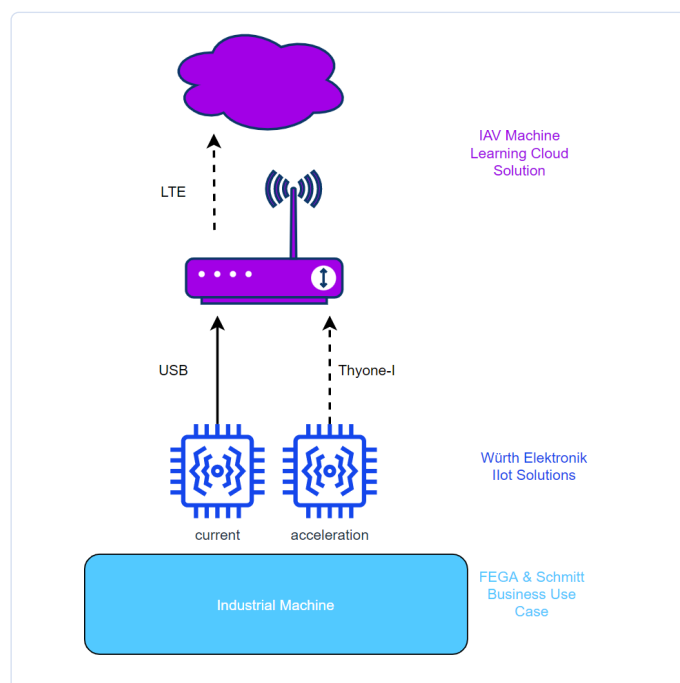


Figure 2. Le concept de retrofit IdO et les rôles des entreprises partenaires.
(Source : IAV)



Figure 3. WE-Sensor FeatherWing. (Source : Würth Elektronik eiSos)



Figure 4. Mesure des vibrations avec un accéléromètre. (Source : Würth Elektronik eiSos)

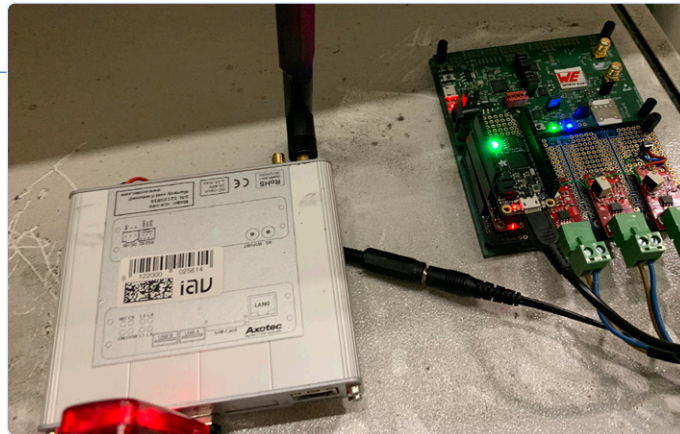


Figure 5. Mesure du courant avec un capteur à effet Hall. (Source : Würth Elektronik eiSos)

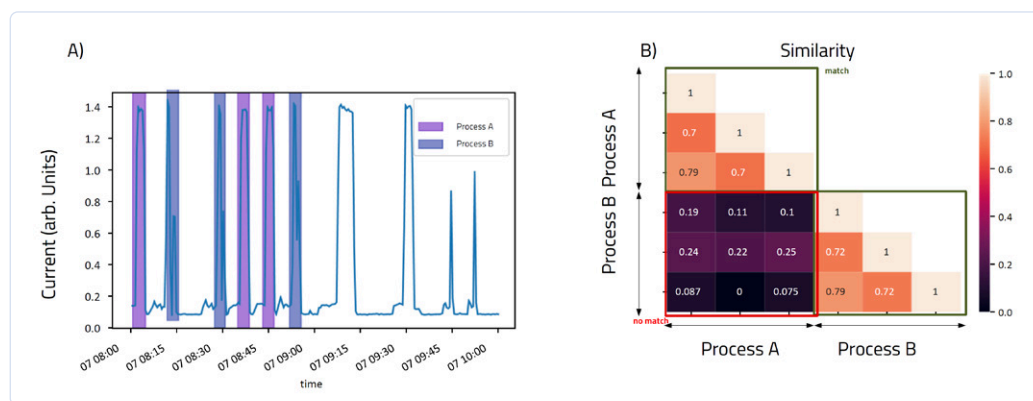


Figure 6. Analyse des données pour identifier des modèles avec l'apprentissage automatique. Les modèles de processus similaires sont reconnus et étiquetés automatiquement. (Source : IAV)

Elektronik [2]. Cela réduit considérablement le trafic réseau et, par conséquent, les coûts. Les deux méthodes ont été testées dans des environnements de production connectés au cloud.

Le nœud est connecté au cloud via une passerelle utilisant le module radio propriétaire Thyone-I Wireless 2,4 GHz [3]. La sécurité ne doit pas être sous-estimée, c'est pourquoi la passerelle vers la connectivité au cloud utilise le protocole TLS, et le nœud utilise une approche similaire avec l'élément sécurisé (ATECC608A-TNGTLS de Microchip Technologies) d'un côté et la chambre forte du cloud de l'autre. L'ensemble de la connexion est protégé et chiffré entre tous les participants à la communication, les nœuds, les passerelles et le cloud.

La mise en œuvre en détail

Mesure des vibrations

Pour choisir l'accéléromètre approprié, il est essentiel de bien comprendre l'application et ses tâches de mesure. Dans ce cas, un capteur MEMS d'accélération à 3 axes a été utilisé pour détecter les mouvements du bras de la fraise. Les développeurs espèrent

depuis longtemps profiter de l'offre des capteurs MEMS en termes de taille, de coût et de fiabilité, ce qui a été pleinement exploité en utilisant un capteur d'accélération à 3 axes WSEN-ITDS (figure 4).

Mesure du courant

Les mesures de courant peuvent être non invasives, car elles ne doivent pas interférer avec les dispositifs surveillés. La solution doit être facilement applicable à toute machine similaire. Pour cela, le transformateur de courant à noyau

fendu 855-4101/400-001 de WAGO et la carte de capteur à effet Hall ACS723 de SparkFun ont été utilisés (figure 5). L'avantage de l'utilisation d'un capteur à effet Hall est que le circuit détecté et le circuit qui lit le capteur sont électriquement isolés ; par conséquent, le circuit détecté peut fonctionner à des tensions continues ou alternatives plus élevées que la carte principale.

Solutions de connectivité

Pour la démonstration de faisabilité, deux versions des solutions de connectivité ont été utilisées. La première version de la connectivité, utilisée dans la phase initiale de collecte des données, était une passerelle industrielle IdO compatible avec Raspberry Pi. Un système basé sur Linux a été utilisé pour générer le code C et optimiser la collecte et le transfert des données, car une grande quantité de données est nécessaire pour valider le comportement de la machine. Pour le cloud, un tableau de bord a été créé pour le suivi en temps réel des données à l'aide de Node-Red et Grafana. En outre, les données du flux temporel ont été analysées pour identifier les tendances et les modèles avec l'apprentissage automatique. Les

LIENS

- [1] Référentiel GitHub : <https://github.com/WurthElektronik/FeatherWings>
- [2] Module Adrastea-I LTE-M/NB-IoT de Würth Elektronik : www.we-online.com/catalog/en/ADRASTEAI
- [3] Module radio propriétaire Thyone-I Wireless 2,4 GHz : www.we-online.com/catalog/en/THYONE-I_FEATHERWING_2
- [4] Awesome Feather d'Adafruit sur GitHub : <https://github.com/adafruit/awesome-feather>

modèles de processus similaires sont automatiquement reconnus et étiquetés (**figure 6**). Les autres modèles sont marqués comme inconnus. Ces données servent de base aux statistiques sur les processus qui peuvent être utilisées pour divers cas d'utilisation commerciale, tels que la surveillance des processus, l'assurance qualité et la maintenance prédictive.

Tests dans un environnement réel

De nombreux défis ont été rencontrés lors des tests en conditions réelles : perte de données en raison de la distance et des diverses sources radio dans le hall de fabrication, mouvement constant des cartes empilables et de l'alimentation électrique, ou de son absence. Les capteurs d'accélération étaient montés sur le bras de la fraise sans aucune source d'alimentation à proximité. Cet obstacle a été surmonté à l'aide d'une batterie LiPo. Malgré la faible consommation de courant en mode veille, la transmission constante de données pendant la phase initiale a épuisé la batterie. De grandes quantités d'informations étaient transmises quotidiennement, ce qui faisait que la batterie s'épuisait tous les deux ou trois jours. La solution a consisté à utiliser un panneau solaire pour charger la batterie. Pour ce faire, une solution open-source d'Adafruit a été utilisée.

Le deuxième problème était l'emplacement des capteurs et des modules radio. Le capteur devait être situé sur la broche de l'outil, qui est une pièce mobile. Sur la machine, toutes les pièces mobiles sont protégées par des boîtiers métalliques, qui agissent comme une cage de Faraday. Malgré sa taille et son efficacité, l'antenne intégrée n'était d'aucune utilité. Ce problème a été résolu en fixant une antenne externe à l'extérieur du boîtier.

La détection de courant est réalisée à l'aide de deux capteurs placés sur chaque phase : un transformateur de courant à noyau fendu et un capteur à effet Hall. Cette combinaison a nécessité un étalonnage dont s'est chargé Würth Elektronik.

Accélérer le prototypage

La réalisation d'une démonstration de faisabilité à l'aide de composants open-source peut réduire considérablement le temps de prototypage. En combinant des cartes préexistantes avec un brochage standard et des capteurs avec des connecteurs standard, il est facile de tester et d'expérimenter la configuration.

L'utilisation de deux étapes dans le prototypage de la démonstration de faisabilité a permis la création d'un modèle efficace dans la première étape, qui pourrait ensuite être mis en œuvre dans la seconde. La deuxième étape consiste à déployer des modèles locaux sur le microcontrôleur et à n'envoyer que le strict minimum de données. Les données nécessaires seront envoyées au cloud à l'aide du module cellulaire Adestaer-I.

Würth Elektronik propose gratuitement des SDK de style Arduino pour différents processeurs et vend les cartes. Ces cartes peuvent être facilement adaptées en utilisant les données (carte et nomenclature) de Würth Elektronik ou du GitHub Awesome Feather d'Adafruit [4].

Ce cas d'utilisation a démontré que l'utilisation de standards open-source pour le prototypage offre une grande souplesse, ce qui permet d'accélérer considérablement la mise en œuvre. ◀

220531-04

Les auteurs



Miroslav Adamov a étudié la physique et l'informatique à l'université de Belgrade, en Serbie. Il a ensuite poursuivi ses travaux scientifiques à la TU Berlin, à la WIAS de Berlin, à la FAU d'Erlangen/Nürnberg et au Centre de recherche sur les capitaux privés de Munich. Après quelques années dans la finance quantitative, en 2015, il a rejoint Würth Elektronik en tant que Senior Business Analyst. En 2017, il a occupé

le poste d'architecte de solution IdO senior avec pour principal objectif la conceptualisation et la mise en œuvre de solutions IdO industrielles.



Adithya Madanahalli est diplômé de l'Université technique de Munich avec un MSc. en ingénierie de la communication. Il a ensuite travaillé pendant plusieurs années en tant qu'ingénieur logiciel dans le domaine de la connectivité sans fil et des capteurs. Depuis 2022, Adithya est ingénieur IdO chez Würth Elektronik eiSos, dans l'unité commerciale Connectivité sans fil et capteurs. Il y est spécialisé dans la

conception et le développement de solutions IdO axées sur le matériel, les logiciels embarqués et la sécurité de bout en bout.



Dr. Jan Gieseler est titulaire d'un diplôme de physique de l'université de Karlsruhe, en Allemagne, et d'un diplôme de physique en optoélectronique et lasers de l'université Heriot Watt, en Écosse, suivi d'un doctorat en photonique de l'ICFO à Barcelone, en Espagne. Après cela, il a continué à travailler en tant que chercheur postdoctoral en recherche fondamentale à l'ETH Zurich, à l'Université de Harvard et à l'ICFO. En

2020, Jan a rejoint le DigitalLab de l'IAV à Berlin, en Allemagne. Là, il travaille en tant que Data Scientist avec un accent principal sur l'ingénierie des données, l'analyse des séries temporelles et les solutions IIoT & capteurs intelligents.



Bernd Grimm est diplômé en économie d'entreprise et en technologie de l'information. Depuis qu'il a commencé à travailler dans le secteur de la vente en gros d'électricité en 2008, lui et ses équipes ont travaillé sur de nombreux projets en mettant l'accent sur le service client. Depuis 2019, il est le leader de la branche et des installations pour la gestion de projets chez Fega & Schmitt. À ce titre, il collabore avec son

équipe sur le projet « Be.Linked », qui vise à établir le thème de la « distribution de services jumelée à la numérisation et à l'IA » pour Fega & Schmitt.



Eduard Richter a terminé sa formation en tant que technicien électrique certifié et obtenu une licence en administration des affaires. Depuis 2017, il travaille dans le commerce de gros électrique en tant que responsable technique des grands comptes. Sa tâche consiste à positionner les services de FEGA & Schmitt auprès des clients existants et des nouveaux clients. Grâce à son expertise de vente, il participe

au développement et à l'amélioration des services.

Qt pour le Raspberry Pi

guide pas à pas pour la configuration
du *framework* d'interface graphique utilisateur



Logo du *framework* Qt (www.qt.io).

Mathias Claussen (Elektor)

Notre collègue du labo d'Elektor, Mathias Claussen, spécialiste du logiciel, devait réaliser une commande par écran tactile pour la radio FM sur Raspberry Pi [1]. Pour de telles fonctions, le *framework* d'interface graphique utilisateur Qt est pratiquement devenu un standard de l'industrie, son choix s'est vite imposé. Pour les développeurs confrontés à de tels défis, Mathias a écrit un manuel grâce auquel la compilation de Qt sur le RPi devient rapide et facile. Bien entendu, il inclut une démo simple.

Une commande de développement de logiciel est soumise à un cahier des charges, c'est-à-dire à une liste d'exigences que le produit final doit respecter. Dans le cas présent, la commande émanait de la rédaction d'Elektor. La spécification des collègues était lapidaire : « Débrouille-toi pour que ça marche ! »

Si vous développez des logiciels, vous avez sûrement déjà été confronté à ce genre de critères « artistiques ». Mais après quelques froncements de sourcils, il fut néanmoins possible de définir une spécification plus précise.

Ce que voulaient les collègues était la réalisation d'une application Linux rendant possible la commande d'une radio FM. Il fallait également utiliser et afficher les informations RDS si elles étaient présentes

dans le signal. Et, est-il nécessaire de le préciser, alors que c'est pratiquement toujours le cas pour le logiciel, de préférence, le projet devait être fini avant-hier ;-) !

À ce stade, j'ai décidé de réaliser le projet en utilisant le *framework* Qt [2]. Comme le code source devait être ouvert, il n'y eut pas de problème de choix entre les versions GPL et commerciale de Qt. La version GPL permet même de réaliser des applications au source propriétaire, quoique, dans ce cas, il est recommandé d'examiner les conditions de la licence Qt de plus près.

Qt

Qt [2] est un *framework* multiplateforme qui permet de réaliser des

applications en C++/QML basées sur un code commun et idéalement exécutables sur diverses plateformes. Parmi celles-ci, on compte les suspects habituels, Windows, Linux, Android, iOS, QNX ainsi que certaines variantes embarquées de Linux. L'usage de ce *framework* permet d'économiser des efforts en bien des endroits et de ne pas avoir à se colleter avec les particularités des différents systèmes d'exploitation. Parmi les bibliothèques du *framework*, celles de l'interface graphique sont particulièrement utiles pour un développement rapide. Ce qui est généralement vrai l'est aussi pour le Raspberry Pi. L'utilité de Qt m'était déjà apparue dans des projets antérieurs (de l'application console à un petit outil d'interface graphique). La chose élégante à propos de Qt est que l'expérience acquise dans divers projets n'est pas seulement utile pour le RPi, mais peut également s'appliquer à d'autres plates-formes supportées par le *framework*.

Un framework à jour

On remplirait des livres avec tout ce qu'il y aurait à expliquer et commenter sur le *framework* Qt. Cela concerne de nombreux aspects tels que le fonctionnement des outils, le développement d'applications ou la conception d'interfaces utilisateur graphiques (GUI). Si vous voulez commencer maintenant sur un RPi, vous pouvez utiliser une version Qt prête à l'emploi. C'est confortable, mais présente l'inconvénient que cette version finie a maintenant plus de deux ans. Dans le monde du logiciel, cela équivaut à deux éternités. L'alternative habituelle est « compilez-le vous-même ». Comme on intègre ainsi des correctifs et des mises à jour de sécurité qui ne datent pas de l'antiquité, la version à jour n'en est que plus sympathique.

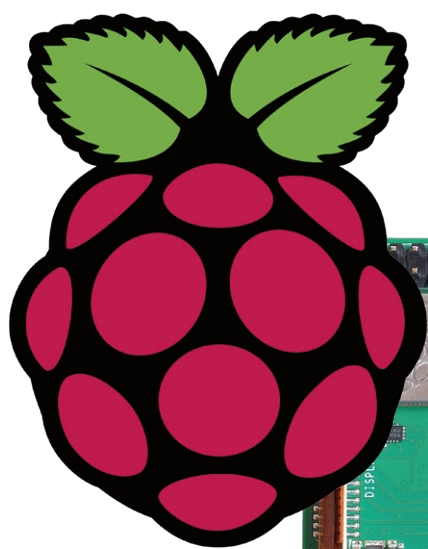
Le *framework* Qt proprement dit inclut également Qt Creator. Cet outil bien utile s'améliore à chaque nouvelle version. De nombreux bogues ont déjà été corrigés dans le passé. S'il est possible d'exécuter Qt Creator sur le RPi, on est toutefois limité par la mémoire RAM et le nombre de ports d'écran disponibles. Si l'on décide de compiler Qt, autant en profiter pour configurer une version pour PC. On a alors la possibilité de compiler et de tester sur le PC des applications

qui ne font pas appel à des particularités matérielles du RPi. Avec les réglages adéquats, il suffit alors d'un clic pour copier et exécuter sur le RPi l'application testée sur le PC. Cela inclut la possibilité de déboguer le code, de déclarer des points d'arrêt et d'afficher des valeurs de variables.

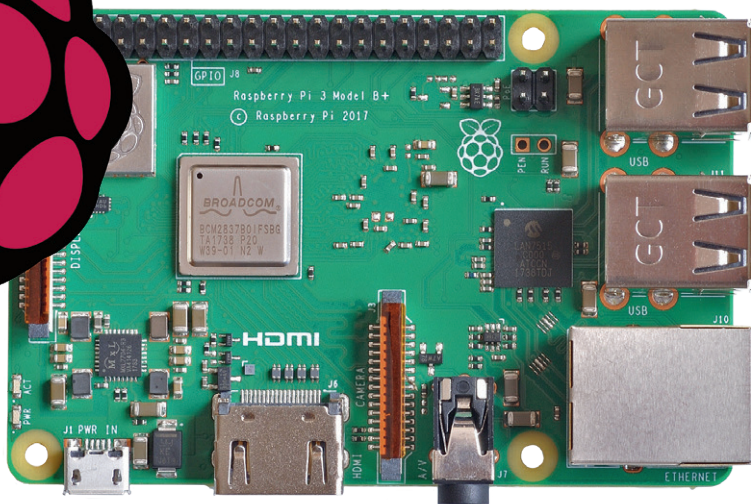
Manuel utilisateur (pour son bonheur)

Si l'on parvient à se procurer un mode d'emploi, on se heurtera tôt ou tard à un problème, soit qu'on oublie un quelconque réglage, soit que ce mode d'emploi concerne une version qui pose problème avec le système d'exploitation actuel du RPi. C'est pourquoi j'ai écrit un manuel [3] qui décrit les différentes étapes de l'installation sur le RPi, et de même pour l'environnement de développement sur le PC.

Cette dernière partie étant plus simple sous Linux, l'environnement PC a été optimisé pour Ubuntu. Mais, pas de souci, vous n'aurez pas à dédier un PC supplémentaire rien qu'au développement pour le RPi (ce qui poserait sans doute un problème de place plus que de coût). Il suffit d'une machine virtuelle (Virtual Box) et d'environ 60 Go d'espace disponible sur le SSD de votre PC, que vous consacrez de toute façon à des usages techniques.



Logo de la Fondation
Raspberry Pi
(www.raspberrypi.org).



Outre l'installation proprement dite, le manuel décrit avec précision un petit programme de démonstration. De plus, on peut télécharger le projet de radio FM dans Qt et observer l'interaction des différentes parties. Ce manuel doit être un point de départ et montrer comment utiliser les différents outils et ne pas se laisser dérouter par des détails importants dès la mise en place. ◀

(180477-04 – VF : Helmut Müller)

LIENS

- [1] « Radio FM avec RDS », Elektor 1-2/2019 : www.elektormagazine.fr/180119-04
- [2] Framework Qt : www.qt.io
- [3] Manuel d'utilisation de Qt (PDF, 41 pages, en anglais) : <https://github.com/ElektorLabs/160520-QT-compile-and-install-manual>

Les connecteurs linéaires ultra-plats facilitent la gestion de données multi-sigaux

contribué par Omnetics

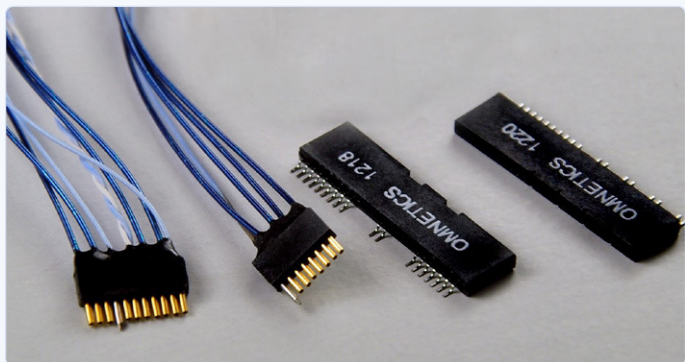
Les appareils électroniques modernes à haute densité nécessitent l'acheminement d'un plus grand nombre de signaux vers et depuis la source de données, aux écrans et aux équipements de traitement, entre autres. Les câbles, entre les appareils ou les écrans, qui acheminent souvent de multiples signaux, nécessitent de longs connecteurs linéaires à grand nombre de broches. De plus, ces équipements sont utilisés dans des appareils robustes et portatifs, dans des véhicules, des robots ou par des soldats sur le terrain. Les appareils électroniques à haute densité utilisés dans le domaine de la robotique, dans l'espace ou montés sur le corps humain nécessitent des solutions à la fois robustes et légères, souvent associées à la nécessité d'augmenter la bande passante tout en réduisant l'encombrement. Les nouveaux capteurs, détecteurs, injecteurs, et petits moteurs pour la mobilité robuste sont conçus pour fonctionner avec des courants et des tensions faibles afin de s'adapter à la nouvelle numérisation des modules électroniques compacts. Les données de position optiques et analogiques d'un soldat ou d'un appareil sont traitées par un convertisseur A/N, ce qui augmente considérablement la vitesse et le nombre de signaux. Les antennes et les systèmes de communication à formation de faisceaux sont utilisés pour couvrir des zones spécifiques de manière ciblée. Ces systèmes nécessitent un grand nombre de parties de signaux, semblables à celles des antennes à réseau phasé. Pour gérer les énormes quantités de données à des vitesses plus élevées, on utilise des ordinateurs monocartes ; les nouveaux signaux numériques à haute vitesse sont émis sur des puces à l'arséniure de gallium et autres, qui fonctionnent avec de très basses tensions et un courant minimal. Pour permettre la transmission des données, le nouveau système de câblage comprend des jeux de câbles de signaux numériques différentiels avec un fil positif et un fil négatif pour chaque signal ainsi qu'un conducteur de drainage (drain-wire). Enfin, chaque jeu de câbles différentiels nécessite un blindage afin

d'éviter les couplages de bruit entre les jeux de câbles. Un faisceau de câbles complet peut être composé de seulement 30... 40 fils, mais le nombre de fils peut considérablement augmenter selon les fonctions qu'ils remplissent. Les câbles et les connecteurs de taille micro et nano résolvent alors le problème de taille et du poids tout en fournissant d'excellentes performances en termes de transmission rapide des signaux numériques sur le terrain.

Ces systèmes avancés sont certes petits et robustes, mais ils sont soumis à des contraintes plus importantes à cause de leurs environnements d'utilisation hostiles. Les signaux ne nécessitent toutefois pas la taille et le poids massifs des anciens circuits électroniques. Les ingénieurs peuvent donc se concentrer entièrement sur la compatibilité des connecteurs et des câbles miniaturisés avec l'électronique numérique et sur la résistance sur le terrain. La collaboration directe avec les concepteurs de câbles et de connecteurs dès le début du processus de développement du système peut contribuer à améliorer considérablement la conception globale et les performances de votre solution de câbles et de connecteurs.

Lors du développement de systèmes électroniques à haute densité, le contenu du signal, la vitesse des données, l'impédance, la diaphonie potentielle, le bruit et la sensibilité aux interférences électromagnétiques (IEM) du système doivent être pris en compte dès le début. Un spécialiste des interconnexions peut aider à choisir les principaux types de câbles, leur section, leur blindage et le branchement des retours. La qualité des signaux numériques dépend de plus en plus du temps de montée du signal carré et de l'adaptation de l'impédance de ligne entre le circuit de contrôle et le câble. L'attention portée à de tels paramètres a fait ses preuves en haute fréquence et devient maintenant de plus en plus importante dans le domaine numérique à mesure que la vitesse augmente.

Certains signaux numériques multiples sont superposés sur un



Des connecteurs miniaturisés sur le rover martien.



Circuit imprimé équipé de connecteurs plats.

circuit avec des niveaux de tension NRZ (non-retour à zéro) (comme dans la modulation PAM-4), et peuvent donc être plus sensibles aux problèmes liés au rapport signal/bruit. Ce problème peut être évité en planifiant soigneusement les câbles, les distances et l'affectation des connecteurs. Les câbles standard peuvent facilement gérer les transmissions de signaux en gigabit s'ils sont câblés avec des paires différentielles et un fil de drainage dédié. Comme nous l'avons déjà mentionné, les conducteurs sont blindés séparément des autres groupes de conducteurs à l'intérieur du câble. Avec l'augmentation de la vitesse, les lignes de masse ou de retour doivent être aussi rapides que les signaux transmis. Cela modifie à la fois la disposition des lignes de masse et la capacité des circuits imprimés utilisés.

Un micro ou nano connecteur plat doit souvent être adapté au routage de la carte et à l'espacement des broches. (Remarque : une ou deux broches du connecteur de réserve pour des connexions de masse supplémentaires éliminent souvent la nécessité de reconcevoir le circuit lors de son développement). De nombreux fournisseurs de connecteurs proposent des circuits avec des pastilles IPC standard et des connecteurs traversants, mais les normes IPC sont assez anciennes et les cartes plus récentes peuvent nécessiter des connecteurs personnalisés et un espacement des broches équivalent. Les fabricants des connecteurs performants proposent des formats standard ainsi que des systèmes d'interconnexion sur mesure pour répondre aux nouveaux critères conceptuels.

Il est conseillé aux concepteurs de commencer par les niveaux de spécifications militaires établis pour les connecteurs Micro-D (MIL-DTL-83513) et/ou Nano-D (MIL-DTL 32139). Ces deux spécifications ont été élaborées par une équipe de spécialistes de la connectique au sein de sociétés de fournitures militaires. L'objectif était de définir une gamme d'applications répondant à des conditions environnementales extrêmes pour l'industrie de la défense. La fiabilité des spécifications est axée sur les accouplements et les désaccouplements, ainsi que sur les conditions physiques telles que les chocs, les vibrations, la corrosion et l'immersion. Ces spécifications sont des éléments qui contribuent à garantir la fiabilité des connecteurs plus modernes, plus compacts et plus légers, ainsi que de ceux destinés à voyager dans l'espace ou à subir des conditions extrêmes.

Les connecteurs miniatures évoluent rapidement vers ce nouveau niveau d'exigences, et semblent se diviser en deux catégories : les plus anciens regroupent des connecteurs destinés au marché



Nano-Connecteur encartable avec verrouillage.

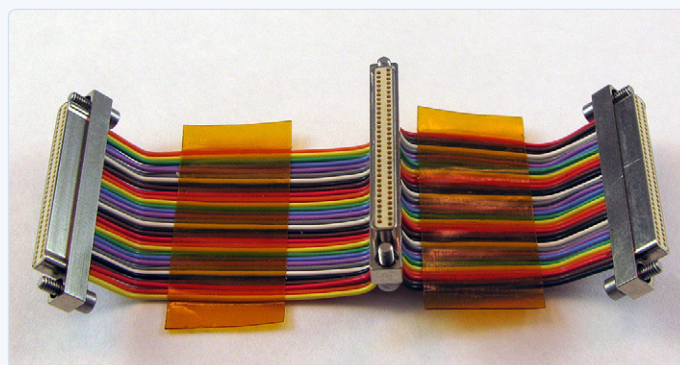
commercial, pour lesquels les tests et les certifications sont limités, mais qui s'avèrent très utiles dans de nombreuses applications. Les applications plus récentes nécessitent d'utiliser des matériaux et des schémas éprouvés au moyen d'éléments clés testés selon les normes militaires. Des entreprises telles qu'Omnetics utilisent des broches à ressort et des douilles en BeCu (cuivre au béryllium) plaquées au nickel et à l'or et conformes aux spécifications militaires pour garantir une fiabilité optimale dans ce secteur exigeant. Les tests d'accouplement et de désaccouplement de broches à douilles démontrent l'intégrité constante du signal jusqu'à plus de 2 000 connexions. Ces connecteurs offrent d'excellentes performances contre les chocs et les vibrations et dépassent les exigences relatives aux circuits électroniques utilisés sur les champs de bataille ou envoyés sur Mars. Les concepteurs de systèmes peuvent demander des échantillons afin de tester les connecteurs à l'intérieur du dispositif. Les connecteurs normalisés les plus courants sont les connecteurs Micro-Strip présentant un pas de 1,27 mm (0,050 pouce) et les connecteurs Nano-Strip présentant un pas de 0,635 mm (0,025 pouce).

Les ingénieurs système peuvent commencer à développer des connecteurs de qualité militaire grâce à la modélisation solide en ligne adaptée à leur application spécifique. Lorsqu'ils sont satisfaits de leur nouveau modèle, ils peuvent demander un prototype afin d'en vérifier la forme, l'adéquation et le fonctionnement avant d'aller plus loin. Les maquettes imprimées en 3D sont rapides à construire et à transmettre à l'équipe système. La dernière étape permettant de vérifier que le système d'interconnexion répond efficacement aux besoins des nouveaux circuits consiste à vérifier et à appliquer toutes les normes de qualité spécifiques à l'application. Il est recommandé de discuter les spécifications environnementales ou électriques susceptibles de causer des difficultés avec le concepteur du connecteur. ◀

220507-04



Échantillon de connecteurs.



Faisceaux de câbles

intelligents – innovants – rentables

les FPGA GateMate conçus et fabriqués en Allemagne

Contribué par Cologne Chip

Cologne Chip AG de Cologne est une marque de renom sur le marché en tant que fabricant de puces de télécommunications depuis plus de 25 ans. En tant que fabricant allemand de puces, l'entreprise a réussi, tout au long de son parcours, à devancer les géants du secteur tels que Siemens, Infineon et Intel dans le domaine des puces RNIS. Il y a deux ans, Cologne Chip a présenté à ses clients sa dernière famille de produits lors du salon *Embedded World* de Nuremberg : les FPGA GateMate.

Une nouvelle architecture et un site de production en Allemagne pour assurer l'approvisionnement et la planification

Le cœur des FPGA GateMate intègre une nouvelle architecture, conçue en Allemagne, qui a déjà permis à Cologne Chip d'obtenir des brevets relatifs à des points essentiels. Étant présente sur le marché comme fabricant de semi-conducteurs sans usine, l'entreprise a accordé une attention particulière aux courtes distances lors du choix de son site de production. Ainsi, les puces sont fabriquées en coopération avec Globalfoundries dans Fab 1 de Dresde.



L'entreprise assure ainsi des chaînes d'approvisionnement accessibles — notamment pour les clients en Europe — pour sécuriser au maximum l'approvisionnement et la planification. Surtout de nos jours, de nombreux utilisateurs de FPGA sont affectés par des retards de livraison et des augmentations, parfois excessives, des

prix. Ce n'est pas le cas pour les clients de Cologne Chip. Grâce à une excellente planification préalable et à la gestion des stocks, l'approvisionnement pour les clients peut être garanti à tout moment. En outre, le risque de restrictions commerciales ou de droits de douane élevés est réduit au minimum avec GateMate.

La nouvelle architecture est techniquement établie sur des éléments programmables (CPE : *Cologne Programmable Elements*) — des éléments logiques avec huit entrées combinatoires chacun dans un « LUT tree ». Chaque CPE peut être configuré avec 2×4 ou 1×8 entrées, ayant ainsi jusqu'à deux sorties.

Les possibilités de liaison supplémentaires permettent de mettre en œuvre des circuits de portes typiques sans mise en cascade, par exemple. Un moteur d'acheminement intelligent permet d'installer efficacement des multiplicateurs de toute taille, partout sur la puce. Il en résulte une densité combinatoire très élevée. Ainsi, les FPGA GateMate conviennent également à la réalisation de fonctions d'IA, entre autres.

Marchés cibles et applications

Cologne Chip cible les applications bas de gamme et à faible consommation comme marchés cibles généraux. Partout où l'on a tendance à utiliser des FPGA plus petits d'environ 20 000 éléments logiques, le FPGA GateMate A1 constitue une alternative intéressante et rentable aux FPGA utilisés précédemment.

En plus du processus de fabrication breveté, les FPGA GateMate ont également un potentiel de performance largement extensible. Par exemple, il est possible de faire varier la tension du cœur et la fréquence d'horloge pour multiplier la vitesse de traitement par un facteur de 2,5. Ceci est aussi dynamiquement possible pendant le fonctionnement du FPGA. Les trois modes de fonctionnement

Principales caractéristiques des FPGA GateMate

Nouvelle Architecture CPE

- › 20 480 éléments logiques programmables (CPE) pour la logique combinatoire et séquentielle
- › 40 960 bascules asynchrone/Flip-Flops dans les éléments programmables
- › Le CPE est constitué d'un LUT-tree à 8 entrées
- › Chaque CPE est configurable en tant qu'additionneur complet 2 bits ou multiplicateur 2x2

Faible consommation d'énergie

- › Processus SLP 28 nm de Globalfoundries™
- › 3 modes de fonctionnement : *low-power*, *economy*, *speed*
- › Deux tensions d'alimentation seulement sont nécessaires. Il est possible de les appliquer dans n'importe quel ordre.
- › Pas de courants de démarrage excessifs

Caractéristiques

- › 4 boucle de verrouillage de phase programmables
- › Configuration rapide avec interface SPI quadruple jusqu'à 100 MHz
- › Configuration multi-puces
- › Bloc de mémoire vive à double port 1280 Kbit
- › Les 162 GPIO sont configurables en paires asymétriques ou différentielles LVDS.
- › Prise en charge DDR dans toutes les cellules des IOs
- › Contrôleur SERDES à 2,5 Gb/s

Boîtier

- › Boîtier 324-ball BGA (15 x 15 mm)

— basse consommation, économie et vitesse — peuvent être définis simplement en modifiant la tension du cœur à 0,9 V, 1,0 V ou 1,1 V. Plus la tension est élevée, plus les performances sont élevées. Cela permet d'utiliser la puce dans une très large gamme d'applications.

Coût total de possession le plus bas et prise en charge des logiciels à code source ouvert

En matière de rentabilité, Cologne Chip accorde une grande importance aux coûts spécifiques les plus bas. En tant qu'utilisateur de FPGA, il est important de garder un œil sur les coûts totaux de l'utilisation d'un FPGA spécifique. Une puce abordable n'est pas vraiment utile si les coûts des différents périphériques sont exorbitants. Par exemple, les FPGA GateMate ne nécessitent que deux tensions d'alimentation, une tension pour le cœur et une tension pour les IOs, ce qui permet de se passer de régulateurs de tension supplémentaires.

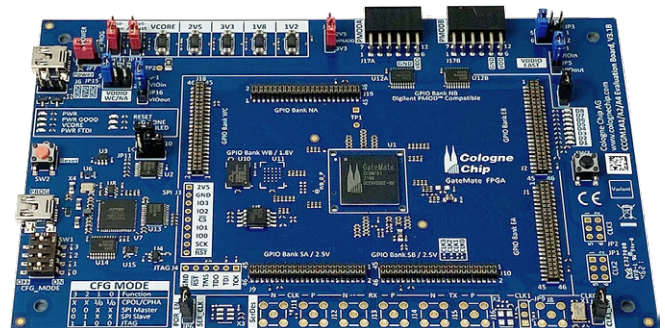
Le choix d'un circuit imprimé convenable est tout aussi facile pour le développeur : un CI avec seulement deux couches de signaux, c'est-à-dire quatre couches, est suffisant pour acheminer tous les signaux et ainsi économiser des coûts sur les couches de CI supplémentaires. La gestion des stocks est également simplifiée, en particulier lorsque vous utilisez GateMate pour différents produits. Pas de classes de vitesse ni de dérivés similaires.

Cologne Chip met également l'accent sur la rentabilité et la flexibilité de l'environnement logiciel. Mais, ce n'est pas la seule raison du choix d'une chaîne d'outils open source : l'outil de synthèse « Yosys ».

Si un code Verilog ou VHDL est déjà disponible, il est possible de le synthétiser facilement dans l'architecture avec Yosys. L'outil « GateMate Place & Route », actuellement encore propriétaire, est disponible en téléchargement gratuit sur le site Web de Cologne Chip après un enregistrement en tant qu'utilisateur. Grâce à la minimisation automatique des erreurs d'horloge, l'outil assure le portage d'un circuit sur le FPGA.

FPGA et kits d'évaluation disponibles sur stock

Malgré la pénurie globale de composants, Cologne Chip a ses FPGA et les kits de démarrage GateMate en stock. Donc, même en 2022, Cologne Chip est en mesure de fournir à ses clients des FPGA en quelques jours.

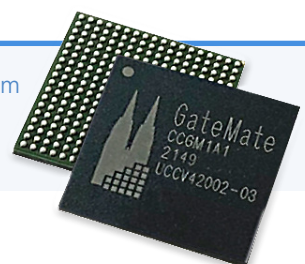


Le kit de démarrage contient une carte d'évaluation avec le FPGA GateMate A1, un jeu de câbles et un programmeur supplémentaire — permettant au client de commencer facilement l'évaluation des FPGA GateMate. 

220515-04

LIEN

[1] Site web : www.colognechip.com



des outils pour soutenir le développement de capteurs à faible coût



Par Stuart Cording,
pour Mouser Electronics

Les ingénieurs utilisent des capteurs, notamment dans des applications qui requièrent de surveiller un environnement. Ces capteurs mesurent des quantités physiques – par exemple, le taux d'humidité – et les convertissent en signaux qui peuvent ensuite être traités par ordinateur. L'équipe chargée de définir les caractéristiques des capteurs devra tenir compte non seulement de la précision et de la plage des mesures, mais aussi d'autres aspects comme la solidité des capteurs et leur étanchéité à la poussière ou aux liquides. Bien sûr, plus un capteur est solide ou résistant à l'environnement dans lequel il sera utilisé, plus il est coûteux. Cela peut s'avérer problématique dans la mise en œuvre des capteurs sélectionnés, car un coût d'achat élevé peut freiner leur déploiement.

Cette problématique se pose par exemple dans le domaine de la mesure de particules, lorsque des capteurs sont utilisés pour collecter des données permettant de quantifier la pollution de l'air. Les capteurs gravimétriques utilisés pour mesurer avec une grande précision les particules en suspension dans l'air sont coûteux. Ils n'en sont pas moins extrêmement fiables pour fournir les données indispensables à l'élaboration de mesures correctives efficaces (par exemple, modifier les règles de circulation dans une ville). Ce problème de coût prend toutefois de plus en plus d'importance dans l'équation. En effet, pour obtenir une vision plus granulaire du sujet étudié, il faut déployer un nombre conséquent de capteurs. Or, leur prix peut être un frein à un déploiement à plus large échelle. C'est dans cette optique que de nombreux efforts sont déployés pour développer des capteurs alternatifs, moins chers, mais avec des performances similaires [1].

De nombreux ingénieurs sont donc confrontés à ce dilemme pour répondre au besoin de réaliser des mesures : il leur faut trouver un juste équilibre entre, d'une part, la taille du système, son coût total, sa solidité, sa consommation d'énergie, etc., et, d'autre part, la précision, la linéarité et l'hystérésis du capteur utilisé. L'équipement de



Figure 1. Associés à un smartphone ou une tablette compatible Bluetooth et à l'application ExView, les compteurs environnementaux Extech 250 W prennent en charge la collecte de données à long terme.

Figure 2. Le MachineryMate 800 (MAC800) est un appareil de mesure portatif destiné à la surveillance des vibrations des pompes, des moteurs, des ventilateurs et des roulements.



test doit être sélectionné en connaissance de cause de sorte que le capteur en cours de développement puisse être évalué, comparé et éventuellement calibré par rapport à une solution plus précise.

Comparer votre capteur avec des mesures de l'environnement

Les compteurs portatifs constituent une solution idéale dans le cadre de conceptions de détection simples. Ils peuvent facilement être placés ou installés dans une configuration de test en parallèle de l'application en cours de développement. Les appareils alimentés par batterie permettent de se passer d'un câble d'alimentation et d'un boîtier d'alimentation avec prise murale. Quant à l'affichage, il doit être assez clair et assez large pour une lecture aisée des valeurs mesurées. Les compteurs environnementaux avec connexion Bluetooth Extech 250 W [2] constituent un excellent choix pour un large éventail de tâches de collecte de données. Une gamme de cinq appareils couvre la majorité des besoins de mesures : vitesse de l'air, niveau sonore, humidité, température de l'air, vitesse de rotation et intensité lumineuse (voir **figure 1**). Avec ses dimensions compactes de 150 × 53 × 28 mm (5,9 × 2,1 × 1,1 po) et son poids plume de 80,5 g (2,8 oz), le RH250W mesure l'humidité relative de 0 à 100 % avec une précision de ± 5 % et la température de l'air ambiant de -10 à 60 °C (14 à 140 °F) avec une précision de ± 1 °C. Comme pour tous les appareils de cette série, l'alimentation est assurée par trois piles AAA (1,5 V) incluses. Une fonction d'arrêt automatique permet d'en prolonger la durée de vie. L'appareil est doté sur le haut de la face avant d'un grand écran LCD avec rétroéclairage capable d'afficher les valeurs maximales et minimales relevées en plus de la dernière valeur mesurée. Un pas de vis permet également de monter l'appareil sur un trépied standard (1/4 po) qui lui conférera une plus grande stabilité lorsqu'il est utilisé de façon prolongée pour la collecte de données.

Extech propose également une solution pour les mesures d'intensité lumineuse avec le LT250W. Les données sont collectées à une fréquence de deux échantillons par seconde. La plage de mesure s'étend jusqu'à 100 000 Lux (10 000 Fc). En dessous de 9999 Lux, la résolution maximale est de 1 Lux avec une précision de lecture de ± 4 %. Au-delà, la résolution passe à 10 Lux pour des valeurs supérieures ou égales à 10 000 Lux et 100 Lux pour ≥ 100 000 Lux, avec dans les deux cas une précision de lecture de ± 5 %.

Toute cette gamme de compteurs environnementaux Extech est dotée d'une interface Bluetooth qui prend en charge la transmission de données sur une portée de 90 m en visibilité directe. Les mesures peuvent être collectées sur un smartphone ou une tablette à l'aide de l'application ExView disponible pour les appareils iOS [3] et Android [4]. Grâce à cette application, un maximum de huit compteurs peuvent être connectés à un seul appareil. Il est également possible de définir des alarmes sonores pour les valeurs minimales et maximales. L'utilisation d'un format de fichier courant (CSV avec valeurs séparées par des virgules) permet d'importer facilement les données dans les outils d'analyse. L'application vous permet enfin d'intégrer à vos rapports PDF les photos de votre configuration de test que vous aurez prises avec votre mobile.



Figure 3. Les compteurs d'énergie EMpro II de Phoenix Contact permettent d'assurer une surveillance à distance avec ou sans écran d'affichage.

La vibration et la maintenance prédictive

Nombre d'entre nous auront certainement déjà rencontré un de ces ingénieurs capables de « savoir » quand une pièce d'équipement est en fin de vie. Des années passées à écouter les sons et à ressentir les vibrations des moteurs et des convoyeurs leur ont conféré cet étonnant don de sentir arriver la panne imminente. Cependant, les systèmes industriels hautement automatisés d'aujourd'hui nécessitent un dispositif de détection, disons, plus numérique. Pour distinguer les bonnes des mauvaises vibrations lors du développement de solutions de maintenance prédictive, les développeurs peuvent se tourner vers MachineryMate, une gamme de kits pour compteurs de vibrations portatifs proposée par Amphenol Wilcoxon.

MachineryMate 200 [5] (MAC200) est un outil portatif de surveillance et d'analyse des vibrations adapté au diagnostic des défauts de moteurs, de pompes, de ventilateurs et de roulements. Alimenté par deux piles AA (1,5 V) assurant 50 heures de fonctionnement et certifié IP67, ce vibromètre affiche les valeurs mesurées selon un code couleur. Les couleurs utilisées pour afficher l'amplitude de la vitesse de vibration correspondent à celles du tableau de la norme ISO 10816-1. La vitesse de vibration est mesurée pour la bande de fréquence de 10 Hz à 1 kHz (600 – 60 000 t/min) ou 2 Hz à 1 kHz (120 – 60 000 t/min) et est exprimée au choix en mm/s ou en po/s. L'appareil mesure également le bruit associé aux roulements usés, exprimé en unités de dommages aux roulements (BDU). Les valeurs inférieures à 50 BDU (sur max. 100 BDU) s'affichent sur fond vert.

Enfin, le compteur propose une fonction d'analyse des vibrations grâce à laquelle l'utilisateur pourra différencier un problème d'équilibrage d'un mauvais alignement, de mauvais serrage des boulons ou d'un problème de fondations.

Le MachineryMate 800 (MAC800) s'accompagne d'une station d'accueil USB (voir **figure 2**) qui permet de collecter et d'enregistrer sur PC les relevés et les points d'essai de plusieurs appareils. Le logiciel inclus DataMate PC [6] permet de comparer différents relevés de l'appareil, y compris ceux issus de l'historique, afin de détecter des problèmes ou des tendances. D'autres accessoires sont



Figure 4. Complet avec son boîtier de transport pratique, le thermomètre infrarouge numérique IR1 de Klein Tools permet de mesurer la température tout en respectant une distance de sécurité.

disponibles en option, par exemple une lampe stroboscopique ou des écouteurs Bluetooth pour écouter les signaux de l'accéléromètre.

Le suivi de la consommation d'énergie

Économiser l'énergie est devenu un impératif, que celle-ci soit verte ou non. C'est pourquoi, lorsque l'on construit une machine complexe, il peut s'avérer utile de disposer d'un compteur d'énergie permettant de suivre et d'analyser la consommation d'énergie. Des appareils tels que l'EMpro II [7] de Phoenix Contact sont simples à utiliser tout en offrant de multiples connectiques pour un suivi en temps réel de la consommation d'énergie (voir figure 3).

Ce compteur est disponible en deux formats. L'un est prévu pour être monté sur panneau et comporte un écran d'affichage, l'autre est prêt à installer sur rail DIN, sans écran d'affichage. L'EMpro II est adapté aux installations monophasées, biphasées et triphasées. Il dispose également d'une interface Modbus TCP, mais peut aussi être commandé avec prise en charge des protocoles Modbus RTU, PROFINET et Ethernet I/P. Les mesures de courant sont effectuées à l'aide de transformateurs de

courant ou de bobines de Rogowski, tandis que la tension des phases est assurée par des connexions directes.

Le serveur web multilingue intégré propose une interface sobre et moderne qui guidera l'utilisateur à travers les différentes étapes de la configuration. Il offre également un accès en temps réel aux mesures et permet de définir des alarmes et la journalisation intégrée. La présence d'une API REST facilite en outre l'intégration dans des applications web industrielles développées en interne.

La mesure de température à distance

Il n'est pas rare que lorsqu'un système est en cours de développement, des composants se mettent à chauffer, en particulier dans les convertisseurs de puissance et les onduleurs de moteur. Les tensions utilisées étant généralement élevées, il est recommandé d'utiliser une technique de suivi de la température « sans contact ». Les thermomètres à infrarouges numériques portatifs comme l'IR1 [8] de Klein Tools offrent cette possibilité (voir figure 4).

L'appareil est alimenté par une pile 9 V incluse pour une autonomie de cinq heures d'utilisation avec le rétroéclairage activé. Une fonction d'arrêt automatique permet de prolonger la durée de vie de la pile. Les résultats de mesure peuvent être affichés en degrés Celsius ou Fahrenheit avec une plage de température s'étendant de -20 à 400 °C (-4 à 752 °F). Grâce à un laser intégré à l'appareil, le capteur peut être précisément orienté vers la cible. Avec un rapport distance-point de 10:1, une zone de 13 mm de diamètre peut être ciblée à une distance de 127 mm (ou une zone de 25 mm à 254 mm). L'appareil est livré avec son boîtier de transport pratique.

Des capteurs en constante évolution

Dans un souci d'améliorer les prises de décision, la détection précoce des pannes et la protection de l'environnement, les développeurs conçoivent aujourd'hui des solutions de détection capables de concurrencer les meilleurs appareils de mesure actuellement disponibles, et ce, en maîtrisant les coûts de façon à permettre un déploiement à plus large échelle. Dans ce contexte, les équipements de test et de mesure que nous venons de passer en revue peuvent leur offrir une aide précieuse, à savoir des jeux de données relatives aux quantités physiques pertinentes qu'ils pourront dès lors comparer aux résultats fournis par le capteur à faible coût de leur conception. Les équipes de développeurs pourront ainsi améliorer la précision, la linéarité et l'hystérésis de leurs propres conceptions. ◀

220524-04

LIENS

- [1] Un examen des capteurs de matières particulières à faible coût du point de vue des développeurs : www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7730878/
- [2] Compteurs environnementaux avec connexion Bluetooth Extech 250 W : <https://bit.ly/extech-250W>
- [3] ExView sur Apple Store : <https://apps.apple.com/us/app/exview/id1547400277>
- [4] ExView sur Google Play Store : <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.extech.exview2&hl=en&gl=US>
- [5] Kits pour compteurs de vibrations de MachineryMate™ proposée par Amphenol Wilcoxon : <https://bit.ly/MachineryMate>
- [6] DataMate user guide: https://buy.wilcoxon.com/amfile/file/download/file_id/611/product_id/387/
- [7] Compteurs d'énergie EMpro II de Phoenix Contact : <https://bit.ly/phoenix-contact-empro-ii>
- [8] Thermomètres à infrarouges numériques avec laser IR1 10:1 de Klein Tools : <https://bit.ly/klein-tools-ir1>

November 15–18, 2022

Driving sustainable progress.

Discover the future today.
At electronica 2022.

Get your ticket now!

electronica.de/tickets

fusible réarmable CTP

drôle de composant, la série

David Ashton (Australie)

Vous avez des fusibles partout, mais pas un pour remplacer celui qui vient de sauter ? Bienvenue au club ! Cependant, il existe une alternative — le fusible réarmable CTP. Découvrez comment sa construction chimique intelligente lui permet de se réinitialiser automatiquement..

Combien de fois avez-vous fait sauter un fusible ? Le fusible sacrificiel est un excellent composant, évitant d'endommager le précieux circuit que vous venez de construire. Mais ensuite, juste après, vous avez le souci de rechercher le bon remplaçant. Et, si vous n'avez pas réussi à résoudre le problème qui a fait sauter le fusible en premier lieu, eh bien, le nouveau fusible saute aussi, ce qui aggrave les tracas ! Ne serait-ce pas bien si nous pouvions avoir un fusible à réinitialisation automatique ? Eh bien, il y a les disjoncteurs. Cependant, ce sont des dispositifs électromécaniques que vous devez réinitialiser vous-même, et vous ne pouvez pas vraiment les obtenir dans des valeurs inférieures à 1 A. De plus, ils sont mieux adaptés aux applications à haute tension (enfin, hautes pour nous les électroniciens, en tout cas) comme les tableaux de distribution.

Mais, il existe un composant qui fait ce que l'on veut, capable de protéger les circuits basse tension avec une consommation de courant jusqu'à environ 100 mA environ. C'est ce qu'on appelle un fusible réarmable CTP (*Polyfuse*). Les fusibles réarmables CTP sont, à certains égards, similaires aux résistances à coefficient de température positif (CTP) en ce sens qu'ils ont initialement une faible résistance. Cependant, contrairement aux CTP, c'est l'effet d'autoéchauffement causé par le passage de courants importants qui les amène à atteindre une résistance élevée,

limitant ainsi le courant à une valeur sûre. Ils ont été découverts et brevetés par Gerald Pearson aux laboratoires Bell en 1939 et sont encore largement utilisés dans les équipements électroniques professionnels.

Ces composants contiennent une substance polymère organique dans laquelle des particules de carbone ont été imprégnées. Le polymère est généralement à l'état cristallin avec ses particules de carbone en contact étroit, ce qui assure une bonne conduction à faibles courants. Lorsqu'un courant plus important circule, le carbone s'échauffe, provoquant l'expansion du polymère dans un état amorphe. Il en résulte une séparation des particules de carbone, entraînant une augmentation de la résistance et une réduction subséquente du courant. Le courant résiduel qui circule dans des conditions de défaut maintiendra généralement l'appareil suffisamment chaud pour limiter le courant jusqu'à ce que la cause de la surcharge soit supprimée. À ce moment-là, il se refroidit à nouveau, permettant au courant lié au bon fonctionnement de circuler à nouveau.

Les fusibles réarmables CTP ont un délai de fonctionnement court, mais appréciable. Pour cette raison, ils ne protègent pas contre les surtensions et les pics importants. Leur principal avantage est leur nature à réinitialisation automatique, ce qui les rend très utiles pour la protection contre les surcharges et les

courts-circuits de courte durée, par exemple, dans les circuits à alimentation par Ethernet (*Power-over-Ethernet PoE*).

Disponible dans une grande variété de facteurs de forme, à la fois en tant que types à trou traversant et SMD, comme illustré à la **figure 1**, ils sont disponibles dans des valeurs allant de 100 mA à environ 5 A et sont principalement destinés aux circuits basse tension jusqu'à environ 30 V. Leurs spécifications incluent un courant de maintien, le courant auquel ils ne se déclencheront jamais, et un courant de déclenchement, le courant minimum auquel ils sont garantis de se déclencher. Le courant de déclenchement est généralement environ le double du courant de maintien. Parce qu'ils dépendent de l'augmentation de la température pour leur fonctionnement, leurs spécifications changent à des températures ambiantes plus élevées. Après un déclenchement, leur résistance diminue à une valeur inférieure assez rapidement, mais ils peuvent prendre beaucoup de temps, parfois des jours, pour revenir à leur faible résistance initiale. C'est quelque chose à garder à l'esprit lorsqu'on les utilise dans une conception.

En tant que composant bon marché et compact, les fusibles réarmables CTP sont parfaits pour la protection « définir et oublier » des circuits qui peuvent être soumis à des conditions de surcharge occasionnelles. ◀

220302-04

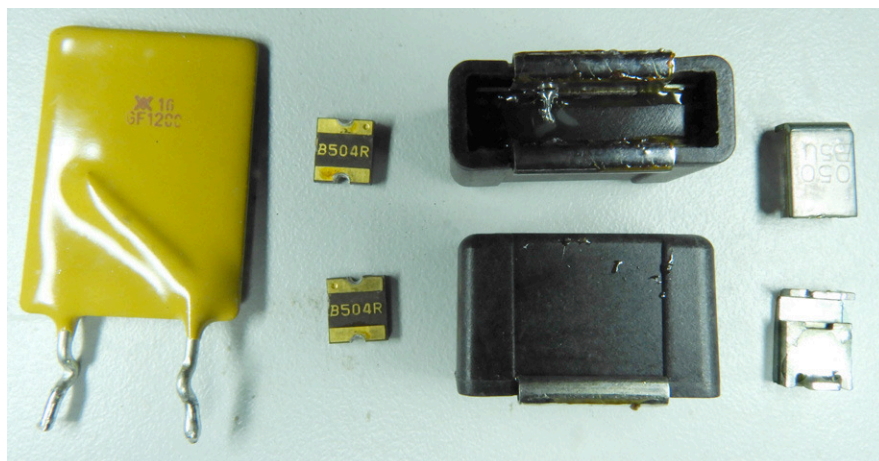


Figure 1. Une sélection de fusibles réarmables CTP comprenant un type à trou traversant jaune (à gauche) et divers composants montés en surface.

simples. Connectez le filtre à la sortie PWM. Dans ce cas, même la source de référence IC2 n'est pas nécessaire.

Je vous recommande d'utiliser un amplificateur opérationnel double compatible avec une alimentation mono-rail pour IC1, par exemple le LM358. Le circuit LM358 doit être alimenté avec une tension supérieure à 7 V (et inférieure à 32 V) pour avoir une tension de sortie de 5 V. Et notez bien : le régulateur a également une chute de tension de 2 V. Le collecteur ouvert de l'optocoupleur a un avantage : il permet d'obtenir facilement une plage de sortie différente. Par exemple, en utilisant une tension de référence de 10 V et une résistance $R2 = 10\text{ k}\Omega$, la plage de sortie devient 0... 10 V. Dans ce cas, vous devez remplacer le LM78L05 par un LM317 avec un montage approprié.

Il est indispensable de mesurer les condensateurs utilisés pour le filtre avec un capacimètre. Pour mon prototype, j'ai choisi pour C3 des condensateurs de 220 nF pour tenter d'obtenir une valeur approchant les 200 nF. Et pour C4, j'ai choisi une valeur égale à la moitié de C3.

Test

La **figure 2** montre les résultats de la régression linéaire sur les 14 points de mesure effectués sur mon prototype. Les conditions de test sont :

- Fréquence PWM = 490,196 Hz
- $V_{in} = 12\text{ V}$
- $V_{ref} = 5,00\text{ V}$

L'erreur type est d'environ 6,1 mV. Les résultats sont donc très bons avec la fréquence PWM par défaut.

J'ai également testé le système avec une fréquence de 3921,569 Hz, mais avec une erreur type de 39 mV. Les erreurs les plus importantes sont constatées pour des valeurs de rapport cyclique élevées. Dans cette plage, les impulsions sont étroites et le temps de montée est élevé ; ce phénomène crée une non-linéarité. La période est : $T = 1/3921,569 = 255\text{ }\mu\text{s}$. L'impulsion plus étroite a une durée d'environ 1 μs , soit approximativement la même valeur que le temps de montée des impulsions. Ce phénomène est à l'origine de la non-linéarité. En utilisant la fréquence par défaut de 490,196 Hz, l'impulsion minimale a une durée huit fois plus grande, ce qui améliore grandement la linéarité.

Programme Arduino

Pour tester le système, j'ai utilisé un Arduino Uno avec un LCD et l'entrée analogique A0 connectée à un potentiomètre

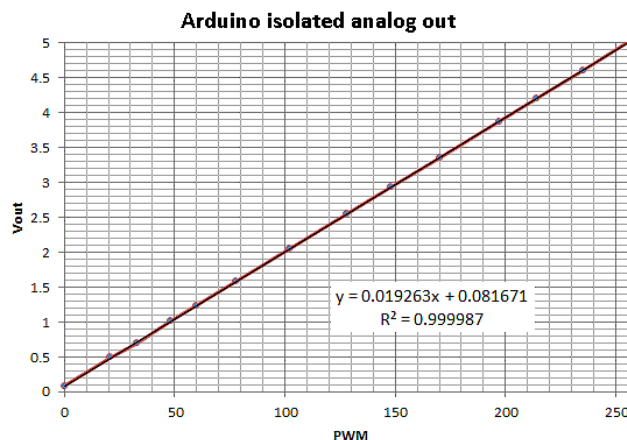


Figure 2. Courbe d'étalonnage.



Listage 1 : code source [1]

```
// program to test Arduino Uno PWM at 3.9 kHz
// G. Carrera 30 sept 2016

#include <LiquidCrystal.h>

int PWMpin = 9;      // PWM out on digital pin 9
int analogPin = 0;   // potentiometer connected to A0
int val = 0;         // variable to store the read value
char spacestring[17] = "                ";

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  pinMode(PWMpin, OUTPUT); // sets the pin as output
  lcd.begin(16, 2);        // set up number of columns and rows
  lcd.setCursor(0, 0);     // set the cursor to column 0, line 0
  lcd.print("Stalker PWM"); // Print a message to the LCD
}

void loop() {
  val = analogRead(analogPin) >> 2; // read the potentiometer as 8 bit
  analogWrite(PWMpin, val);
  val = 255-val;                    // complement
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(spacestring);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(val);
  delay(500);
}
```



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

R1 = 330 Ω , $\pm 5\%$
 R2 = 5.1 k Ω , $\pm 5\%$
 R3 = 100 k Ω , $\pm 5\%$
 R4 = 100 k Ω , $\pm 1\%$ film métallique

Condensateurs

C1 = 100 nF, céramique
 C2 = 10 μ F, 50 V, électrolytique
 C3 = 200 nF, Mylar $\pm 2\%$
 C4 = 100 nF, Mylar $\pm 2\%$

Semi-conducteurs

IC1 = LM358
 IC2 = LM78L05
 IC3 = 6N136

Divers

Carte Arduino Uno

pour faire varier le rapport cyclique du signal PWM. Le code source du croquis Arduino est donné dans le **listage 1**.

(220136-04) — VF : Asma Adhimi

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (g.carrera@elettronicaemake.it) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



PRODUITS

> **Arduino Uno Rev3 (SKU 15877)**
www.elektor.fr/15877

> **Livre en anglais « Ultimate Arduino Uno Hardware Manual », W. A. Smith (Elektor 2021, SKU 19678)**
www.elektor.fr/19678

LIEN

[1] Code source : www.elektormagazine.fr/summer-circuits-2022

Vous souhaitez publier votre montage dans le magazine ?

Rendez-vous sur la page du labo d'Elektor : www.elektormagazine.fr/labs pour y enregistrer votre projet.

Cliquez sur « Créer un projet ». Connectez-vous (créez un compte gratuit si vous n'en avez pas encore). Remplissez les différents champs du formulaire.

Votre proposition de montage sera examinée par l'ensemble des rédacteurs du magazine. Si votre projet est retenu pour sa publication dans le magazine, un rédacteur prendra contact avec vous pour vous accompagner dans la rédaction de l'article.



Labo d'Elektor :
www.elektormagazine.fr/labs
 créer > partager > vendre





visite à domicile

... découvrez le thérémine

Gottfried Karenovics (Allemagne) et Eric Bogers (Elektor)

Demandez aux gens s'ils savent ce qu'est un thérémine et, dans la plupart des cas, vous n'obtiendrez aucune réponse. Quelques personnes pensent savoir que les Beach Boys ont utilisé un thérémine dans la chanson « Good Vibrations » — mais ce n'est pas tout à fait vrai. Celui-là a été développé plus tard et est en fait complètement différent, car ce n'est pas un instrument sans contact, un soi-disant Electro-Theremin [1]....

Même dans sa jeunesse, Gottfried Karenovics (né en 1943, professeur de chimie à la retraite) avait lu qu'il était possible de faire de la musique « dans le champ entre deux antennes » — sans toucher aux cordes ni aux touches. L'idée ne l'a jamais quitté.

« En 2008, j'ai découvert par hasard Lydia Kavina [2][3][4] sur Internet, la meilleure joueuse de thérémine au monde, et la petite-nièce de Lev Termen (plus tard Léon Theremin), qui a inventé l'instrument du même nom en 1920 et breveté en 1928 [5]. Je voulais vraiment posséder un tel instrument. Les thérémines à vendre (la plupart par Moog) étaient trop chers, alors j'ai décidé de développer le mien. Et pas seulement un instrument ordinaire — je voulais construire le Steinway parmi les Thérémines ».

M. Karenovics est un autodidacte en électronique. Il a développé de nombreux circuits à transistors, dont un pour détecter de très faibles

flux thermiques, dans le cadre de ses recherches doctorales à l'Université de Dortmund. Le développement et la construction du thérémine ont pris un certain temps ; en 2013, son (premier) instrument — de qualité concert — était terminé (figures 1 et 2).

« Mon thérémine a trois oscillateurs : deux pour la hauteur du son (un local et un variable) et un autre pour le contrôle du volume. J'ai conçu les circuits de l'oscillateur avec LTSpice et je les ai améliorés et optimisés étape par étape — au point qu'ils fonctionnent de manière plus que satisfaisante, voire parfaitement. Les oscillateurs LC de mon prototype fonctionnent à 530 kHz. Le circuit d'antenne est un circuit en série composé de deux bobines avec un petit condensateur réglable entre les deux. Lorsque la fréquence de résonance est précisément atteinte, le champ de la hauteur devient joliment cylindrique et linéaire. »



Figure 1. Le thérémine de Gottfried Karenovics dans toute sa splendeur.

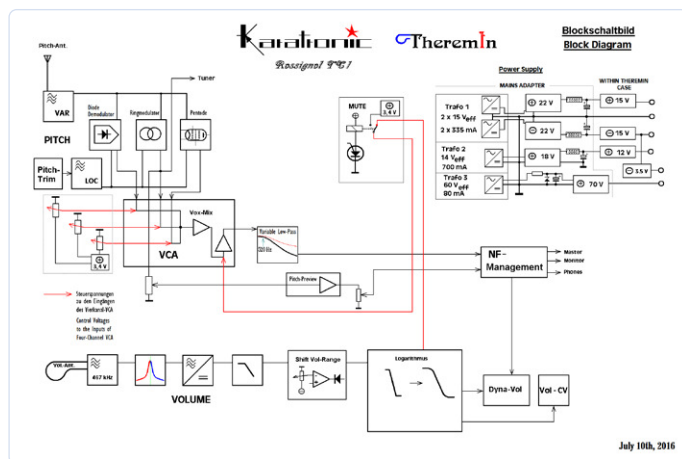


Figure 2. Schéma fonctionnel du thérémine construit par l'auteur.

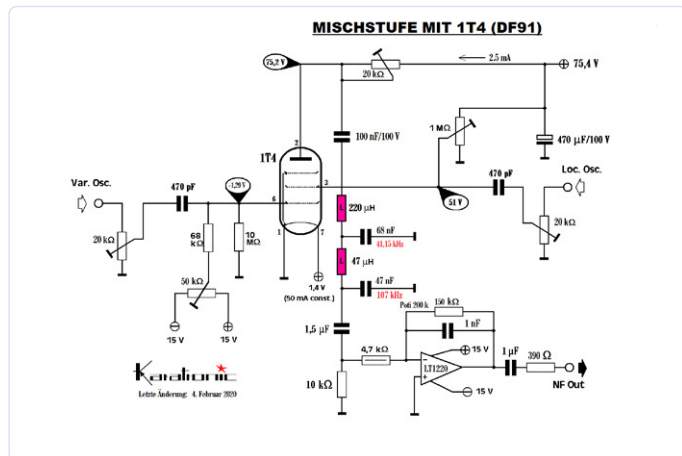


Figure 3. L'étage de mixage est construit avec une 1T4.

« L'oscillateur de volume fonctionne à 467 kHz. Le circuit de filtrage à pente raide (un circuit en série dans le premier étage et un circuit parallèle dans la boucle de rétroaction) offre une large plage de contrôle — tenir votre main gauche dans ou directement au-dessus de l'antenne cadre supprime complètement le bruit. Lever la main gauche augmente le volume de 100 dB. »

« Le contrôle de la fréquence se compose de trois circuits de modulation : un modulateur en anneau, un démodulateur à diode et un circuit avec une pentode miniature (une 1T4 avec une tension d'anode de 70 V et un courant d'anode de 50 mA). Ces trois signaux peuvent être fusionnés avec un mélangeur et produire un son magnifique (figure 3). »

« Contrairement aux instruments du leader du marché Moog, mon thérémine offre une stabilité de fréquence unique. L'instrument conserve ses réglages pendant des années — parce que j'ai utilisé des composants de haute qualité, tels que des condensateurs au mica et des inductances à noyau en ferrite dans les circuits déterminant la fréquence. Le Moog Etherwave se désaccorde en quelques semaines ou quelques mois et doit ensuite être recalibré, ce qui n'est pas si simple. »

Lors d'un passage à Colmar (Alsace), Lydia Kavina a joué de l'instrument de M. Karenovics ; elle a particulièrement apprécié le son du thérémine de fabrication artisanale.

Un problème avec un thérémine, bien sûr, est que le joueur ne peut pas retourner rapidement les pages des partitions ; cela aurait des conséquences catastrophiques sur la hauteur et le volume. M. Karenovics travaille donc sur une machine à rouler les partitions, avec laquelle les partitions sont collées ensemble sur un rouleau qui peut être roulé d'avant en arrière à l'aide de pédales. À cet effet, il a construit un boîtier plat avec des rouleaux en aluminium sur les côtés, qui sont entraînés par des servomoteurs et des courroies crantées. Malheureusement, jusqu'à présent, cela n'a bien fonctionné qu'avec des rouleaux minces. Avec des rouleaux plus épais (c'est-à-dire des morceaux de musique plus longs) le papier commence à onduler puis se coince. Il y a donc encore du travail à faire, par exemple, avec le support et les embrayages à friction.

« J'ai choisi le plexiglas pour le boîtier de mon thérémine car il a peu ou pas d'influence sur les champs électromagnétiques. J'ai conçu moi-même les circuits imprimés — je les ai dessinés dans Microsoft Paint, puis je les ai exposés et gravés moi-même (figures 4 et 5). Paint est un programme très simple, mais il aide à tracer des pistes d'impression droites et à garder les cartes bien rangées. »

Dans son atelier (figure 6), M. Karenovics n'a pas seulement construit son thérémine. Vers 1997, il a développé et construit un détecteur d'électrosmog pour les champs d'interférence électriques et magnétiques à basse fréquence ; c'est devenu un petit appareil pratique dont il a vendu 20 exemplaires à un petit entrepreneur indépendant du quartier. Et récemment, il a construit une minuterie basée sur un 7555, qui met en marche la pompe à air d'un orgue et l'éteint après un temps fixe de 3 heures — car le joueur de l'orgue lui-même oubliait régulièrement d'éteindre le moteur de la pompe.

« Pour jouer du thérémine, il est essentiel d'avoir une oreille musicale et c'est un avantage si vous savez déjà jouer d'un autre instrument. Une pratique régulière est absolument nécessaire pour entraîner une sorte de mémoire musculaire, de sorte qu'au bout

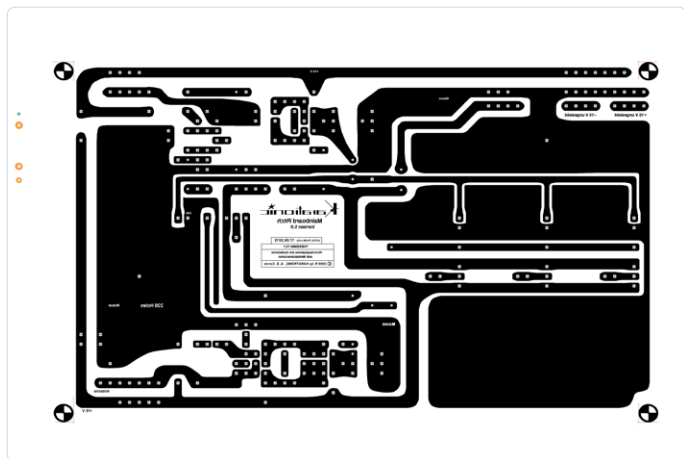


Figure 4. Microsoft Paint peut également être utilisé pour concevoir des circuits imprimés soignés.



Figure 5. La bière est-elle le secret d'une bonne impression gravée ?

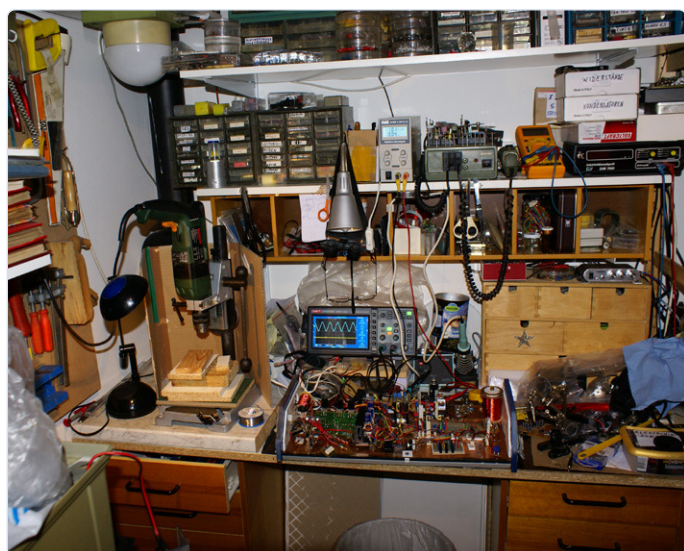


Figure 6. Encore beaucoup de travail à faire ici.

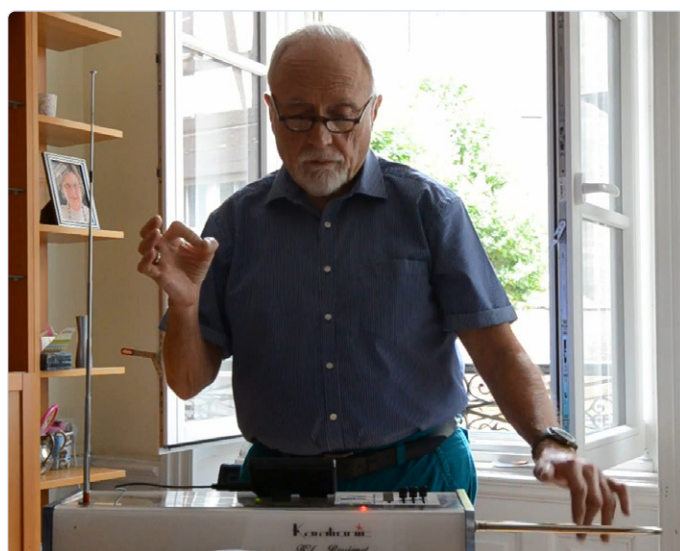


Figure 7. M. Karenovics lors d'une représentation jouant bien sûr de son propre instrument.

d'un certain temps, votre bras saura automatiquement quel ton se trouve à quel endroit. Et secrètement, j'espère toujours qu'une entreprise s'intéressera suffisamment à mon instrument pour le construire en série... »

200717-04

Des questions, des commentaires ?

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

LIENS

- [1] L'Electro-Theremin, connu de Good Vibrations : <https://en.wikipedia.org/wiki/Electro-Theremin>
- [2] Site de Lydia Kavina : www.lydiakavina.com/
- [3] Biographie de Lydia Kavina : https://fr.wikipedia.org/wiki/Lydia_Kavina
- [4] Voici à quel point un Thérémine sonne bien : www.youtube.com/watch?v=tXgkXTSTXgQ
- [5] Biographie de Lev Termen : https://fr.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9on_Th%C3%A9r%C3%A9mine

E-FFWD

electronica fast forward 2022 une initiative d'Elektor

15 - 18 novembre 2022,
electronica, Munich

équipe et calendrier

Udo Bormann (Elektor)

Notre jury, composé de nos rédacteurs, d'ingénieurs et d'experts, a évalué les différentes start-ups, scale-ups et entreprises qui ont fait la démonstration de nouvelles techniques. Voici venu le temps des résultats et nous nous réjouissons d'annoncer la liste finale des participants au concours *electronica fast forward 2022* — *une initiative d'Elektor*. Nous avons retenu 9 participants qui ont impressionné notre jury par leurs techniques. Du chargeur inductif le plus fin à la roue à conduite autonome, nous présenterons des solutions exceptionnelles et les équipes qui les ont développées. Rejoignez-nous au salon *electronica 2022* sur notre stand dans le hall B4.440. C'est peut-être la meilleure occasion de découvrir une nouvelle technique qui pourrait changer l'avenir de l'électronique !

Dans une cérémonie qui se déroulera le vendredi à 11 heures, nous décernerons trois prix pour des start-ups et remettrons des récompenses. Les gagnants recevront une part du budget marketing d'Elektor qui s'élève à 150 000 euros.



Voici, par ordre alphabétique, la liste des participants, de cette année, au concours **electronica fast forward 2022 — une initiative d'Elektor**

AirHood (France)

AirHood est une hotte portable pour de cuisine qui réduit les graisses, la fumée et les odeurs de cuisson au fur et à mesure qu'elles se produisent, et empêche la formation de films d'huile sur les surfaces. Elle maintient l'air et les comptoirs de cuisine propres tout en ajoutant une touche conviviale, mais discrète à toute cuisine.
<https://theairhood.com>



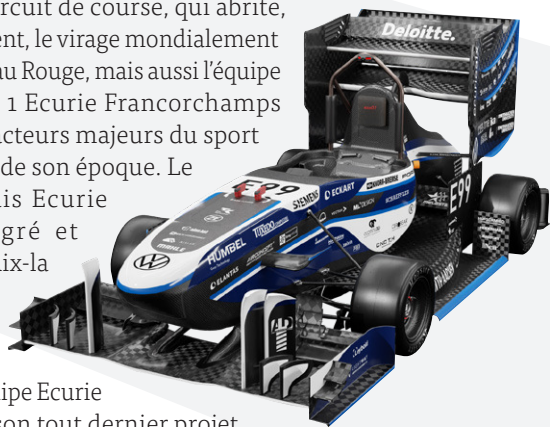
AMSEL GmbH (Allemagne)

AMSEL est l'acronyme d'*Advanced Materials and Surfaces for Environment and Life* (matériaux et surfaces avancés en faveur de l'environnement et de la vie). AMSEL GmbH vise à fournir des solutions

innovantes et écologiques d'ingénierie de surface exemptes de produits chimiques grâce à l'utilisation de la technique eBlaze, compacte, sûre, conviviale et écologique. Des objectifs tels que la soudure sans résidus et sans bulles de composants électroniques de puissance, le revêtement conforme sans bulles et la création des lignes de liaison étanches dans les boîtiers électroniques peuvent être atteints grâce au traitement eBlaze.

Ecurie Aix - Projet de l'Université d'Aix-la-Chapelle RWTH (Allemagne)

Le nom de cette équipe fait référence à l'histoire du sport mécanique de la région d'Aix-la-Chapelle. À moins d'une heure de route se trouve Spa-Francorchamps, le célèbre circuit de course, qui abrite, non seulement, le virage mondialement connu de l'Eau Rouge, mais aussi l'équipe de Formule 1 Ecurie Francorchamps — l'un des acteurs majeurs du sport automobile de son époque. Le mot français Ecurie a été intégré et combiné à Aix-la-Chapelle au nom de l'équipe de RWTH. L'équipe Ecurie présentera son tout dernier projet de développement, l'eax01, qui peut rouler de manière autonome.



QUADRUPED Robotics (Allemagne)



QUADRUPED Robotics est spécialisée dans le développement et la distribution de composants de recherche et développement. Avec QUADRUPED Robotics, l'accent est davantage mis sur le développement d'applications pour les robots multipattes, principalement basés sur les produits Unitree.

Opulo (États-Unis)

L'objectif d'Opulo est de créer des machines qui permettent aux utilisateurs de créer des produits à une plus grande



échelle qu'ils ne pourraient le faire autrement. Grâce à leur produit LumenPnP, une machine de bureau qui automatise l'assemblage de vos cartes, vous n'aurez plus jamais à assembler vos cartes à la main. Avec cette machine à code source ouvert, vous n'aurez plus besoin de sous-traiter.

Treesense (Allemagne)

Treesense permet aux gens de mieux comprendre le monde des arbres. Ils font tout leur possible pour que l'homme puisse durablement utiliser les ressources limitées de l'écosystème. Il s'agit surtout de l'eau et de l'air purs, de la fertilité des sols, d'un climat et d'un biotope sains, et de la protection des espèces — notamment grâce aux possibilités de récréation des forêts. Ils recherchent et développent des techniques basées sur les dernières découvertes scientifiques afin de valoriser l'importance des arbres en tant qu'élément essentiel de notre écosystème.



V-Juice (Allemagne)

V-Juice sera le meilleur et le plus intelligent des appareils de chargement qu'un client puisse acheter. Il s'agit de la station de recharge la plus fine et la plus discrète que l'on peut installer et réinstaller partout où il y a une surface disponible.

V-Juice



Voltera (Canada)

Voltera fabrique des plateformes d'électronique additive qui permettent aux fabricants de concevoir des solutions innovantes, qu'elles soient rigides, souples, flexibles ou extensibles. Voltera vous aide à franchir le pont entre rêves et réalité dans le domaine de l'électronique.



VOLTERA

wheel_me

wheel.me (Suède)

wheel.me est la première roue autonome au monde, dotée d'un composant robotique, d'une technique de navigation intérieure et d'une analyse de données, qui vous permet de faire bouger tout et sans effort.

Vous comptez visiter le salon electronica ? Ne manquez pas de visiter la scène d'*electronica fast forward* qui sera notre propre « terrain de jeu » pour cette année. Là, les participants présenteront leurs techniques. Si vous souhaitez assister à la présentation du produit d'un participant en particulier, consultez le programme ci-dessous et notez-le sur votre agenda. Toutes les présentations auront lieu dans le hall B4, stand 440. Bien entendu, Elektor aura son propre stand dans cette zone, et nous avons hâte de vous y voir. ◀

220422-04

Voici le calendrier officiel

Calendrier			
Date	De	Jusqu'à	Participant
Mardi, 15 nov.	10:00	18:00	Expert Meetup
	11:00	11:30	Treesense
	11:45	12:15	QUADRUPEd Robotics
	12:30	13:00	AMSEL
	13:15	13:45	Ecurie Aix
	14:00	14:30	Voltera
	14:45	15:15	wheel.me
	15:30	16:00	Opulo
	16:15	16:45	Airhood
Mercredi, 16 nov.	10:45	11:15	V-Juice
	11:30	12:00	Voltera
	12:15	12:30	wheel.me
	12:45	13:15	Ecurie Aix
	13:30	14:00	Treesense
	14:15	14:45	AMSEL
	15:00	15:30	Opulo
	16:00	16:15	QUADRUPEd Robotics
	16:30	17:00	Airhood
Jeudi, 17 nov.	10:30	12:00	Pitch officiel sur Cyber Forum Hall B4
	13:00	13:30	Voltera
	14:00	14:30	QUADRUPEd Robotics
	15:00	15:30	Ecurie Aix
Vendredi, 18 nov.	11:00	11:30	Cérémonie

elektor e-zine

Your dose of electronics



Chaque semaine où vous n'êtes pas abonné à l'e-zine d'Elektor est une semaine de grands articles et de projets électroniques qui vous manquent !

Alors, pourquoi attendre plus longtemps ? Abonnez-vous dès aujourd'hui à www.elektor.fr/ezine et recevez également le livre gratuit du projet Raspberry Pi !



elektor
design > share > earn



radiogoniométrie

retrouver les capteurs météo sans fil égarés

Prototype de radiogoniomètre.

Rolf Hase (Allemagne)

Si plusieurs de ces capteurs sont disposés au voisinage d'une station météorologique, au fil du temps il devient parfois difficile d'en localiser un ou plusieurs. Peut-être sont-ils envahis par la végétation ou avez-vous oublié où vous les aviez placés. Ce projet peut vous aider. La radiogoniométrie permet de localiser des capteurs sans fil.

Une bonne station météorologique mesure température, humidité et pression de l'air et fournit aussi des prévisions plus ou moins fiables sur l'évolution des conditions météo. Pour cela, il faut aussi mesurer direction et vitesse du vent, quantité et durée des précipitations, éclaircissement solaire et autres paramètres, tous évalués par le logiciel du microcontrôleur sophistiqué de la station météo. Cela met en œuvre un grand nombre de capteurs spécialisés dits *connect & forget* (connectez et oubliez) généralement reliés par radio à la station météo. Nous verrons ici les modules 433 MHz.

Afin d'utiliser la radiogoniométrie (RDF = Radio direction finding) pour localiser un capteur météo égaré, il faut d'abord savoir comment fonctionne une

station météo. Il ne s'agit pas d'apprendre les séquences d'impulsions spécifiques d'une marque, mais plutôt d'avoir une idée du trafic de données. En dehors des codes Manchester et Ethernet, il y a peu de façons de transmettre un paquet de bits série et le logiciel rtl_433 [1] permet facilement de décoder le trafic de données de tout capteur, même si le logiciel est conçu pour toute une gamme de fréquences. Il existe en ligne une version compilée, limitée à 433 MHz.

Principes de base

La fréquence d'émission d'une station météo se situe dans une bande dite ISM (industrielle, scientifique et médicale) à 433,92 MHz ou 868 MHz, stabilisée par un résonateur. C'est là que le bât blesse : tous

les émetteurs du voisinage - les vôtres et ceux de vos voisins - exploitent l'une de ces fréquences ou les deux. Ces capteurs, généralement alimentés par deux piles AA, rayonnent une puissance de l'ordre du mW et fonctionnent avec un très faible rapport cyclique, c'est pourquoi ils consomment très peu. Un à trois paquets de données sont envoyés, espacés de très longs intervalles, 44 s dans notre cas (**figure 1**). Le calage temporel est très précis, puisque même la station météo la plus simple a la précision d'une horloge à quartz.

Un amateur ou un fabricant astucieux pourra donner la priorité à son propre capteur grâce à un interrupteur DIL inséré dans la ligne d'alimentation positive du récepteur. En enfonçant le bouton droit pendant deux à trois secondes, la station météo passe en mode recherche, et le récepteur est alimenté en continu pendant deux à trois minutes (nous y reviendrons plus tard). L'icône du récepteur clignote en mode recherche. Dès que votre capteur est détecté, appuyez sur l'interrupteur DIL. Ainsi, votre capteur est le seul à être marqué dans le registre temporel. Une fois le mode recherche terminé, remettez l'appareil sous tension et tout fonctionnera comme d'habitude pendant une longue durée.

Le fonctionnement à faible consommation est aussi important pour les récepteurs des stations météo (sur pile pour la plupart). Elles exploitent la grande précision temporelle des transmissions récurrentes de paquets de données en allumant le récepteur au bon moment, à l'aide d'un signal de commutation. Si on tient un récepteur à large bande (par ex. un bon vieux ICOM PCR1000 [2]) près du récepteur, on entend le bruit du récepteur super-réaction (également appelé récepteur reflex) qui se met en marche juste avant l'arrivée du paquet de données. Les performances des semi-conducteurs modernes permettent le mode super-réaction même en bande UHF. Le bruit du PCR1000 provient du gain élevé obtenu en alternant entre l'oscillation et le blocage. Les récepteurs superhétérodynes (superhet) sont aussi utilisés dans ce domaine. Avec -112 dBm, leur sensibilité est meilleure que celle d'un récepteur simple d'environ 6 dBm. J'arrête ici mon exposé sur les stations météorologiques, la radiofréquence et l'électronique, pour aborder la radiogoniométrie.

De l'idée...

La situation initiale est la suivante : capteur et station météo fonctionnent correctement, mais nous ne retrouvons pas le capteur. Un oscilloscope avec déclenchement numérique performant (par ex. mon PicoScope, acheté dans la boutique Elektor) sera d'une grande aide dans ce domaine. Comme récepteur goniométrique, j'ai utilisé un superhet compact Aural RX 4MM5 [3]. Pour les 1er essais d'enregistrement de paquets de données pertinents, une courte antenne (environ 16 cm de long) reliée au récepteur superhet et placée en hauteur au-dessus du reste du matériel suffit. Observez les instructions de la fiche technique : pour la masse prenez comme point de départ de soudage soit un petit morceau de circuit imprimé, soit des fils de section assez forte. Beaucoup d'autres types de récepteurs superhet testés par l'auteur ont des oscillations persistantes incontrôlables.

Pour l'orientation initiale, j'ai ajouté une sortie d'écouteur, (résistance de 470 Ω + petit condensateur chimique) à la sortie d'impulsion (broche 14 du RX

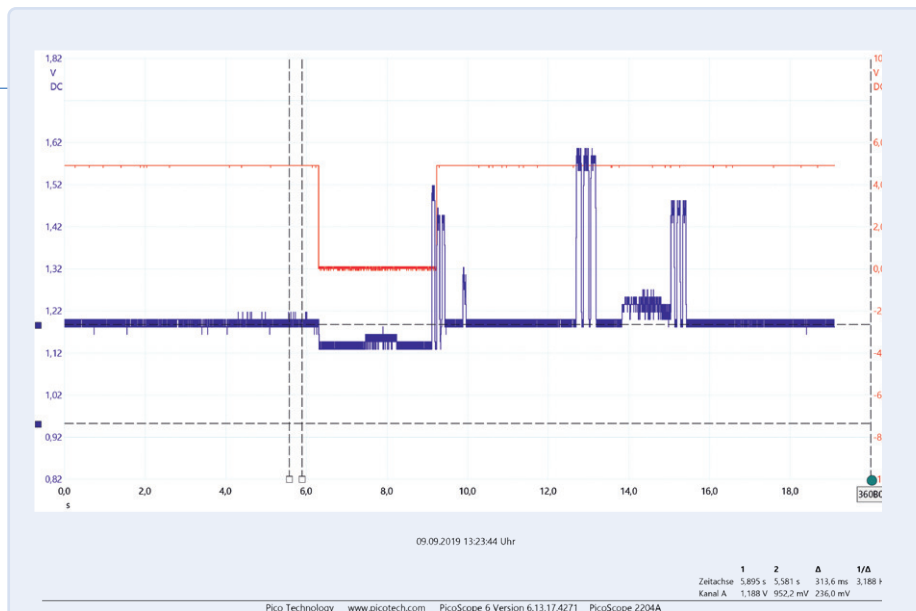


Figure 1. La bande 433 MHz est très occupée. Les signaux de différents modules d'émission sont représentés ici. La séquence d'impulsions centrale est celle que nous voulons.

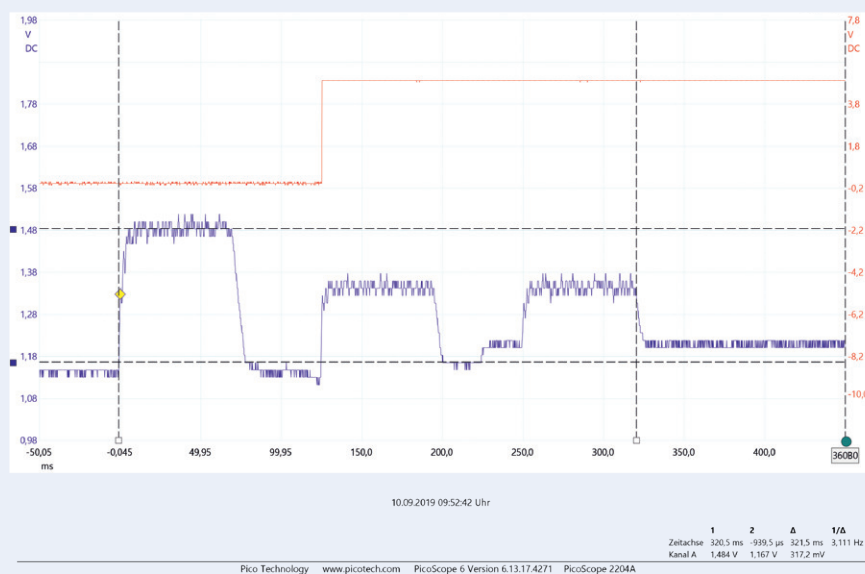


Figure 2. Le timing est critique pour sélectionner l'impulsion centrale.

4MM5). Parallèlement à cela, j'ai tout suivi sur le PCR1000, aussi à l'aide d'une antenne filaire courte de 16 cm de long. L'oscilloscope doit être réglé en mode déclenchement monocoup, car c'est la seule façon de déclencher sur l'événement souhaité (la séquence d'impulsions pertinente). Afin de filtrer le paquet de données correct, j'ai réinitialisé la station météo réceptrice en retirant et réinsérant la batterie car cela lance automatiquement la recherche du capteur. Puis la station météo affiche très vite une valeur valide (dès qu'elle provient du capteur) et son timing devrait également correspondre au signal sur l'oscillo si aucun autre signal n'interfère.

Les durées d'impulsion et de pause du paquet peuvent être lues sur l'écran de l'oscillo (**figure 2**, prise sur le dispositif déjà terminé). La durée du paquet en question est de 321 ms, tandis qu'un autre paquet avait une durée de 340 ms. Cette procédure relativement chronophage, est faisable, et évite de chercher un numéro d'identification dans les impulsions. Les temps déterminés de cette manière ne changeront plus, et ils ont été intégrés au logiciel du radiogoniomètre. La forme d'onde montre également la baisse du niveau du signal due à la commutation de l'antenne par les diodes PIN (nous y reviendrons plus tard). La vaste plage

dynamique de la mesure réduit diverses erreurs se produisant inévitablement en radiogoniométrie manuelle. La transition numérique L/H de la trace rouge supérieure de la **figure 1** indique que l'Arduino a reconnu l'impulsion correcte (celle du milieu) ainsi que la rupture d'impulsion et, a mesuré peu après, le niveau de la deuxième impulsion, indiqué sur la ligne inférieure de l'écran. L'évaluation du niveau du signal comporte un risque d'erreur car le filtre passe-bas produit un front de signal qui, selon la force du signal (proximité de l'émetteur) et la valeur du seuil, influence le temps que l'Arduino utilise comme critère d'évaluation. Toutefois, la méthode s'est avérée fiable. On pourrait aussi mesurer la durée du signal de données (les impulsions déclenchées) avec un circuit *sample-and-hold*, mais cela impliquerait de calculer des constantes de temps.

Comme je ne voulais pas m'épuiser comme les participants à une chasse au renard (voir encadré), j'ai préféré utiliser un servomoteur pour faire tourner le goniomètre. De là, il n'y aurait plus qu'un petit pas à franchir pour tout automatiser.

Cependant, le développement d'un appareil utilisable s'est avéré assez difficile. En effet, en raison de sa bande passante étroite, j'ai d'abord construit une antenne Yagi de 70 cm à six éléments filaires et effectué des tests dans le jardin. En raison des longs intervalles entre signaux, les essais prirent beaucoup de temps et ne furent pas très utiles. Une réalisation similaire à celle d'un récepteur de chasse au renard [4][5] est en fait préférable : appareil séparé, tenu à la main, avec boîtier étanche aux RF et alimentation électrique autonome, sans câble gênant pouvant modifier le champ RF en cas de déplacement. En outre, pour une utilisation réelle dans une station météo, l'oscillo a une tâche difficile : il doit capturer le signal correct (très bref) toutes les 44 secondes parmi de nombreux autres signaux et maintenir le niveau du signal assez constant, malgré de grandes fluctuations. C'est sans espoir, et l'utilisation d'un servomoteur pilotant automatiquement la ou les antennes est la seule alternative.

...au circuit

Les livres comme *Rothammel's Antenna Book* d'Alois Krischke montrent de beaux

diagrammes d'antenne. Pour les reproduire, il faut des conditions de champ libre idéales et un équipement de test précis. Dans notre cas, seul l'angle correspondant au minimum de signal importe et non l'exactitude de la valeur du signal. De plus, vous ne voulez pas inonder le voisinage d'émissions continues. Pour la mesure approximative de la caractéristique directionnelle, j'ai placé aussi loin que possible de ma maison (7 à 8 m) un petit module émetteur à résonateur bon marché (à cette fin, on peut aussi utiliser brièvement une télécommande de prise de courant sans fil à 433,92 MHz dont on tient le bouton enfoncé).

Côté récepteur, j'ai utilisé un potentiomètre de contrôle proportionnel de l'angle du servo (nécessaire pour les tests dynamiques de la mécanique de rotation) et un rapporteur pour enregistrer le diagramme d'antenne au pas de 30 degrés. Pour cela, j'ai chargé les programmes de contrôle adéquats.

Fort de ces essais, j'ai mis au point un récepteur goniométrique composé des éléments ci-dessous (voir le schéma, **figure 3**).

Les deux **antennes $\lambda/4$** disposées orthogonalement (en L). Les diodes PIN font en sorte que les deux antennes ne soient jamais allumées en même temps, et qu'elles s'influencent le moins possible.

Si un **filtrage** est nécessaire, un filtre T passe-bas (absent du schéma du circuit) composé de deux bobines à air en fil de cuivre argenté (trois tours sur un gabarit de 3 mm) et d'un condensateur de 2,2 pF peut être connecté directement à chaque antenne. Un circuit imprimé est ici idéal : il permet de construire un module compact, de faible hauteur, avec bornes d'antenne et diodes PIN. Les condensateurs servent de points de soudure.

Le module récepteur superhet RX 4MM5 reçoit les signaux des antennes et émet, entre autres, l'intensité du signal (RSSI). Ce signal analogique, compris entre 1,2 V (à -120 dBm) à 2,2 V (à -30 dBm) environ, est le seul signal utilisé. Il est lissé par un filtre passe-bas (3,3 k Ω / 1 μ F) et envoyé à l'entrée analogique AO de l'Arduino.

L'**Arduino** effectue trois tâches : Il évalue le signal RSSI filtré du récepteur et affiche le résultat sur deux modules d'affichage 16x2 ; il allume les deux antennes indivi-

duellement ; il pilote le servo aux positions de mesure voulues.

Le servo couvre environ 180 degrés en six pas de 30 degrés chacun, en partant de la gauche, pour un total de sept points de mesure. Si un paquet de données valide est détecté, la mesure de la première impulsion, correspondant à l'antenne de gauche, s'affiche sur la 1^{ère} ligne de l'écran de gauche. Avant la 2^e impulsion du même paquet de trois impulsions, l'antenne droite est activée par les diodes PIN, puis la valeur de cette 2^e impulsion est mesurée après un temps de stabilisation de quelques ms et affichée sur la 2^e ligne de l'écran. Puis le servo tourne de 30° et attend le paquet de données suivant. Le minimum des valeurs mesurées donne la direction vers l'émetteur, comme on le verra plus en détail ci-dessous. L'écran et le potentiomètre de droite et la plaque d'essai, sont destinés au diagnostic et à une étude plus détaillée (par ex. contrôle du servo avec le potentiomètre dans les 1^{ères} étapes du développement).

Comme prévisible, le minimum est approximativement perpendiculaire à l'orientation apparente des deux antennes, qui sont disposées à 90° l'une par rapport à l'autre, comme on peut le voir sur le prototype. Bien que les antennes soient isolées par les diodes BA479, à un certain angle, celle de gauche agit comme un directeur pour celle de droite (conformément à la théorie des antennes Yagi avec un ou plusieurs directeurs, un dipôle et un réflecteur), mais étant trop longue, elle agit plutôt comme un réflecteur et atténue le signal dans cette direction. Cela se voit bien sur l'écran (**figure 4**), où la direction visuelle de l'antenne pointe vers la position déjà connue d'un capteur météo situé à environ 5 m de distance. De gauche à droite, les trois paires de valeurs sont : 4 : 50/43, 5 : 47/34 et 6 : 51/46. En particulier, la valeur 34 pour l'antenne droite (2^e ligne de l'écran), alors « masquée » par l'antenne gauche dans cette position, montre bien cet effet. L'orientation est donc clairement définie. Un autre critère est l'amplitude des valeurs : l'intensité du champ diminue comme le carré de la distance (car la surface de propagation augmente selon la même loi).

Pour être autonome, le récepteur goniométrique est alimenté par six batteries

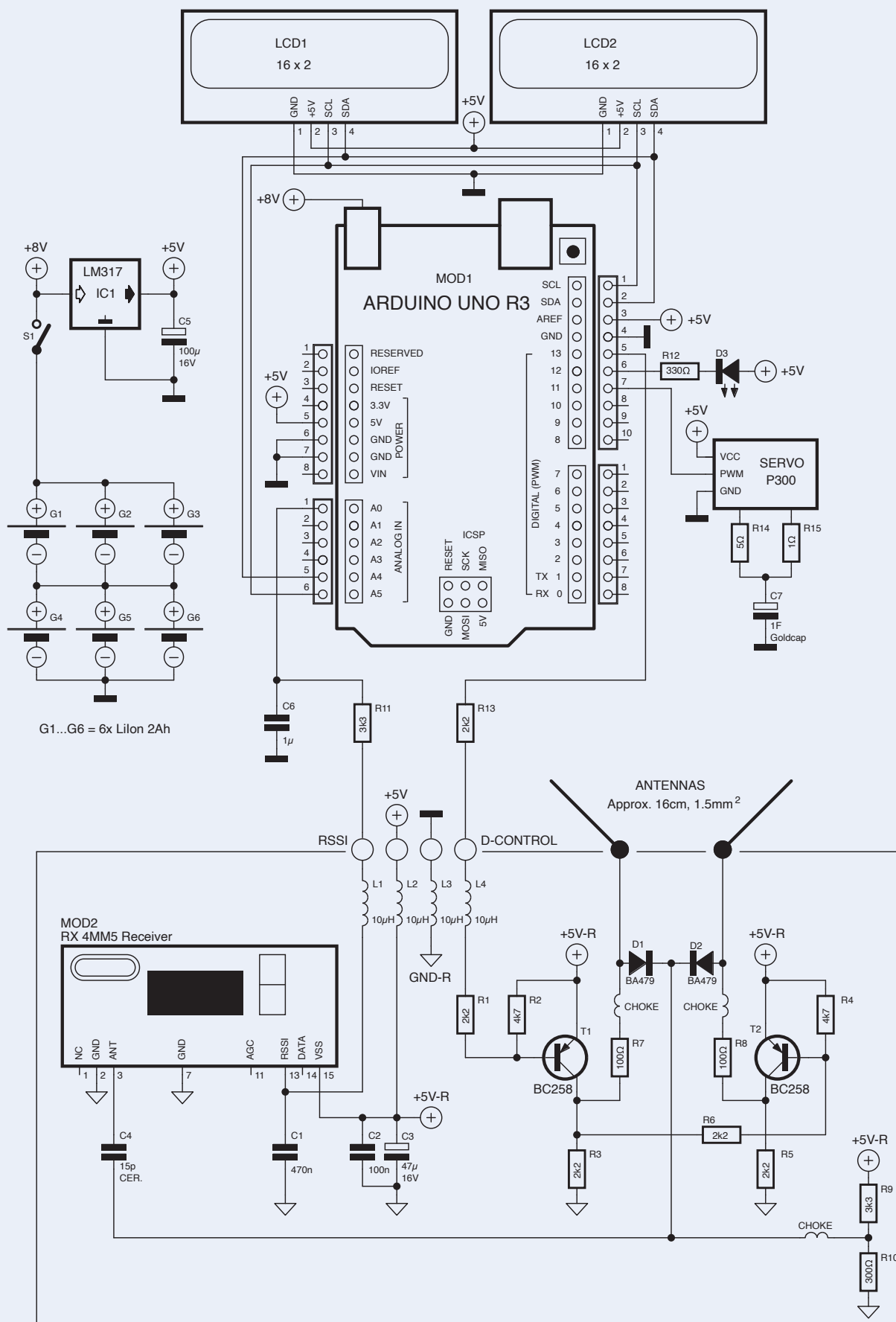


Figure 3. Schéma du circuit du récepteur goniométrique. -R : côté récepteur ; self $\lambda/4$: 16 cm de fil de cuivre de 0,2 mm sur gabarit de 3 mm. Connexion au module d'antenne rotatif : Câble ruban flexible à 14 voies, 50 cm ($3 \times \lambda/4$). BA479 : Diode PIN.



Figure 4. Lectures sur l'écran.

lithium-ion (deux jeux de trois connectés en série). La tension de sortie des piles est abaissée à 5 V par un régulateur de tension fixe (LM317) pour alimenter l'électronique. Notons que l'alimentation du circuit d'antenne doit être prise directement sur la broche 15 du module récepteur.

Tâches logicielles

Quiconque (comme moi) a beaucoup programmé en assembleur (logiciel très proche du matériel informatique et où les considérations de temps réel sont peu contraignantes) a des doutes quant à la capacité d'un langage de plus haut niveau, comme la variante C pour Arduino, à fonctionner en temps réel si le temps est critique. Tout semble plus simple, mais les langages de haut niveau ont des conventions internes qu'il faut connaître ou apprendre empiriquement.

La partie initialisation du croquis [6] se passe d'explication supplémentaire. La valeur du seuil `y` est définie et peut nécessiter d'être modifiée. L'Arduino nécessite quelques secondes pour se stabiliser en température, c'est un paramètre notable. Contrairement à l'ESP32, dont les mesures analogiques sont des estimations, l'Atmel ATmega328 possède un convertisseur A/N précis, qui est utilisé ici. La valeur analogique est lue au début de la boucle principale `loop()`. Deux routines sont à l'œuvre : `MessWert` et `TestWert`. Elles ne diffèrent que par le nombre de mesures en fonction du temps disponible. La longueur de l'impulsion haute est mesurée après élimination des rebonds. À cet effet, la fonction `millis()`, mesure la différence de temps. La valeur initiale doit donc être sauvegardée. Comme pour les mesures à l'oscilloscope, la durée de l'impulsion High être entre 63 et 76 ms. Si cette condition est remplie, l'indicateur `Block1` est mis à 1. Puis vient la mesure du temps de pause. Si le temps total est compris entre 117 et 127 ms, le capteur concerné a été trouvé et le `Block1` est mis à 2. Après un temps d'attente pour le front montant de la 2e impulsion (`delay(20)`), `Wert2` est déterminé sans bouger l'antenne et écrit sur la

2e ligne de l'écran, sous `Wert1`. Le reste est simple. Le paramètre `k` peut adresser les sept positions de l'écran LCD au plus jusqu'à la 37e seconde, ou si la distance est suffisante jusqu'à la 44e seconde, où a lieu la mesure suivante du paquet de données du capteur.

La question de savoir si l'Arduino peut gérer des tâches en temps réel peut précisément être résolue dans le logiciel avec cet arrangement de boucles `while` et `for`. Toutefois, j'ai dû numéroté les boucles au fur et à mesure, sinon au bout de 10 boucles, je perdais le fil. En attente de l'impulsion, le logiciel ne doit rien faire d'autre qu'attendre. En particulier, la commande de l'écran nécessite près de 20 ms, et ce n'est bien sûr pas possible lors des 75 ms d'une impulsion ni des 50 ms d'une pause. Cependant, après la détection d'un paquet de données, le canal reste silencieux pendant 44 s. C'est plus que suffisant.

Les temps d'impulsion et de pause relatifs sont sondés avec une certaine tolérance. Le seuil de déclenchement de l'impulsion est aussi important. Il est géré avec la moyenne sur une durée raisonnable. Comme dit ci-dessus, tout fonctionne exactement comme programmé ici. Soyez prudent si vous apportez des modifications autres que les paramètres numériques des impulsions, à moins de conserver la structure de la boucle. Certains des programmes auxiliaires que j'ai trouvés en ligne et modifiés, par ex. pour le servo, sont inclus dans le téléchargement de cet article [6] et vous pouvez les utiliser pour vos expériences.

Compartiments

Pour les radiogoniomètres le blindage est crucial, et le récepteur est en outre enfermé dans une tôle étamée pour le protéger des stations de base mobiles puissantes. J'ai construit beaucoup d'amplis et de convertisseurs RF utilisant des cartes imprimées (CI) logées dans des compartiments cloisonnés. Cette expérience m'a été utile ici. J'ai découpé les morceaux de CI à la taille du boîtier de connexion de l'antenne et je les ai soudées en place, avec des compartiments

intermédiaires pour les étages d'amplification disposés aussi près de l'antenne que possible. La fiche technique du récepteur superhet recommande un grand plan de masse, je l'ai donc monté sur un morceau de CI. Si vous n'avez pas d'expérience des lignes à bande (striplines), vous aurez du mal à travailler les pistes de CI dans la gamme UHF.

Le tout forme une unité compacte, de sorte qu'un blindage du compartiment interne est inutile et que seul l'ensemble du récepteur est blindé en l'enfermant dans une tôle soudée. La construction ou l'exploitation autonome du module, par ex. dans une station météorologique, n'est possible que si les liaisons de masse aux broches sont courtes et pas trop fines, au besoin découpées par des condensateurs.

Pour les raisons évoquées précédemment, la structure mécanique doit être aussi autonome que possible. L'alimentation est assurée par six piles lithium-ion standard. C'est plus que suffisant sur le plan électrique, mais cela garantit sa fiabilité et sa résistance. J'ai fixé un pilier carré à une planche servant de base et j'ai monté une boîte en bakélite au sommet du pilier. Elle abrite les piles, la carte Arduino et j'ai positionné le servo au milieu. Au-dessus du servo, j'ai monté un morceau de tôle supportant un petit roulement à billes pour tige filetée M4. Le récepteur est fixé à l'aide d'une petite équerre à l'extrémité supérieure de cette tige. La connexion électrique au récepteur est assurée par une nappe de câble ruban à 14 voies, à suspension élastique, d'une longueur d'environ 50 cm. Cela fait $3 \times \lambda/4$ et aide les selfs de 10 μH installées dans toutes les lignes d'alimentation du récepteur.

Il n'est pas indispensable d'avoir autant de fils de connexion que sur l'illustration en tête d'article car tous les fils des signaux et d'alimentation ont un fil de terre de chaque côté. Cela fournit un bon blindage et n'est que légèrement moins bon qu'un coaxial. J'ai initialement installé un servo miniature parce que l'antenne assemblée tournait sans effort. Ce fut une erreur, car l'inertie n'était pas prise en compte. Le servo, dont

le moteur est entraîné par un circuit en pont, n'émet aucun bruit et délivre toute sa puissance dès sa mise en marche, et... le petit réducteur s'est usé très rapidement. Heureusement, j'avais un servo de type PS300 avec un couple plus élevé en réserve. On vit et on apprend ! Par sécurité, j'ai d'emblée monté un réseau RC T dans le fil du moteur, composé de deux résistances ($1\ \Omega$ et $5\ \Omega$) et de deux goldcaps pour un total de $1\ \text{F}$, cela donne un démarrage progressif sur 1 s. En outre, j'ai découpé une rondelle de caoutchouc dans une chambre à air de vélo et je l'ai vissée sur le support. La tige filetée est entraînée par cette rondelle, ce qui atténue les saccades. Cela a résolu le problème de l'inertie.

Au sujet de la radiogoniométrie dans le monde des radioamateurs, je me dois de mentionner le goniomètre dit de Spandau. Il est toujours disponible chez Funkamateure.de [7]. Dans la gamme VHF, il est utilisé avec plus d'antennes reliées entre elles que cela ne serait approprié ici. Durant la guerre froide, Berlin-Ouest utilisait le goniomètre Spandau pour traquer les espions de la Stasi. Il va de soi qu'à l'époque personne ne se souciait d'avoir un très faible rapport cyclique (comme celui des capteurs météo : 400 ms en 44 s). Sur le plan technique, qui ne connaît pas de limite supérieure, le couplage des deux méthodes à l'aide de diodes de commutation BA479 serait certainement concevable. ◀

200636-04 – VF : Yves Georges

Le radioamateur ordinaire

Qui va à la chasse au renard dans les champs, les bois et les prairies ? C'est le radioamateur sportif, un vrai athlète !



(photo de K. Theurich de Funkamateure 9/88, avec l'aimable autorisation de la rédaction Funkamateure)

Impossible d'alléguer que le radioamateur commun (imperitus scintillae vulgaris) vit en ermite dans sa cabane radio, casque sur les oreilles pour écouter des gazouillis distordus et bruyants et ne se sustente que de pizzas tièdes et de boissons sucrées. Un observateur attentif peut en effet parfois apercevoir se déplaçant dans les champs et rampant dans les sous-bois des

silhouettes aux couleurs vives qui exhibent d'étranges engins métalliques tubulaires.

Pourquoi les radioamateurs ont-ils de tels rites ? Est-ce une quête collective de nourriture, ou bien une parade rituelle de séduction ?

No, none of that. These radio amateurs are engaged in fox hunting, which doesn't mean they're shooting at innocent creatures. Instead, they're participating in a peaceful radio sport, or more formally, amateur radio direction-finding in the terminology of the DARC. This involves using a lightweight portable receiver, together with a map and compass, to track down transmitters hidden in the terrain, usually operating in the 80 m band (3.579 MHz) or — more difficult — in the 2 m band (144.5 MHz). This may be a friendly recreational activity for people of all ages, but (especially in Eastern Europe) there are also serious and strenuous competitions ranging all the way up to world championships. For descriptions and more information, see [5].

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (rolf.hase@arcor.de) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



PRODUITS

➤ **Arduino Uno Rev3 (SKU 15877)**
www.elektor.fr/15877

➤ **Oscilloscope USB PicoScope 2204A (10 MHz) (SKU 17303)**
www.elektor.fr/17303



LIENS

[1] rtl_433 sur GitHub : https://github.com/merbanan/rtl_433

[2] IC-PCR1000 : www.funkamateure.de/typenblaetter-1.html?file=tl_files/downloads/typenblaetter/frei/IC-PCR1000_typ.pdf

[3] RX 4MM5 : www.velleman.eu/downloads/7/rx4mm5_usersmanual.pdf

[4] À propos de la « chasse au renard » : https://fr.wikipedia.org/wiki/Radiogoniom%C3%A9trie_sportive

[5] Qu'est-ce que l'ARDF ? (allemand) : <https://ardf.darc.de/pubrel/wasist.htm>

[6] Téléchargements pour cet article : www.elektormagazine.fr/200636-04

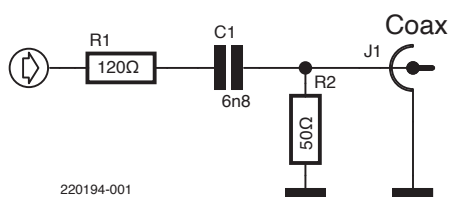
[7] Le goniomètre de Spandau, « Funkamateure » 9-11/2011 (allemand) : www.box73.de/product_info.php?products_id=2503

estimer le bruit interne d'un circuit intégré

méthode simple

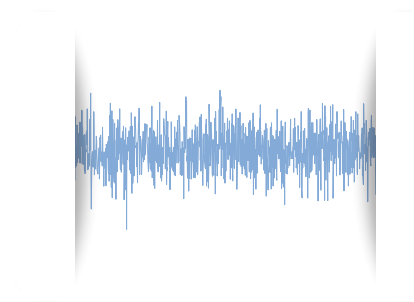
Mario Rotigni (Italie)

Vous pouvez utiliser une simple sonde pour évaluer le bruit interne des circuits intégrés. La construction et l'utilisation de la sonde fournissent des informations utiles et permettent de vérifier l'efficacité d'une modification apportée pour réduire le bruit émis au niveau de l'alimentation ou des lignes de signaux. Cela peut aider au débogage CEM.



220194-001

Figure 1. Réseau 150 Ω .



La source des rayonnements électromagnétiques sur les équipements électroniques modernes est souvent associée à un circuit intégré. L'industrie a développé une norme internationale pour spécifier des méthodes de test dédiées au niveau des circuits intégrés qui ne nécessitent pas d'infrastructures coûteuses. Une méthode populaire dans l'industrie des semiconducteurs est proposée par la norme IEC61967-4. Elle est appelée la méthode du « couplage direct de 150 Ω ». Cette méthode permet de mesurer le bruit électromagnétique présent sur une broche spécifique d'un circuit intégré. Elle fait intervenir le circuit d'interface simple présenté sur la **figure 1** (le réseau 150 Ω). L'entrée, à gauche, est connectée au point de mesure cible. La sortie du connecteur J1 est généralement reliée à un analyseur de spectre qui présente l'amplitude du bruit dans le domaine fréquentiel. Le réseau 150- Ω est pratiquement un filtre passe haut, et il a deux fonctions principales. Tout d'abord, il charge le point de mesure avec une impédance connue (environ 150 Ω , comme vous pouvez le deviner), ce qui permet de comparer différentes mesures, puisqu'elles sont effectuées dans des conditions stables. Ensuite, le réseau présente à l'instrumentation l'impédance de 50 Ω requise. Le condensateur empêche également l'application de tensions continues trop élevées aux entrées les plus sensibles des analyseurs de spectre. D'un point de vue technique, ce qui est mesuré est l'émission conduite du nœud analysé — la tension de radiofréquence non intentionnelle qui se propage à travers les connexions sur le matériel.

Mesures

La mesure des émissions rayonnées est généralement complémentaire à l'étude des circuits intégrés, mais ceux-ci ne font pas partie de ce travail. Il est possible d'effectuer des mesures sur les broches de l'alimentation, typiquement avec un condensateur de couplage de 6,8 nF, mais aussi sur les broches d'entrée ou de sortie. Puisque les broches de sortie peuvent être actives, par exemple pour transmettre un signal d'horloge à un périphérique externe, il est important d'adapter la valeur du condensateur de couplage en fonction de la charge capacitive maximale spécifiée dans la fiche technique du circuit intégré testé. La fréquence de coupure du réseau est de 174 kHz avec 6,8 nF, 24 MHz pour 50 pF. Au-dessus de la fréquence de coupure, dans la bande utile pour les mesures, l'atténuation est idéalement une constante de 15 dB.

Pour appliquer formellement la méthode, il faut intégrer le réseau 150 Ω dans un PCB de test, selon des règles de disposition précises. Vous pourriez appliquer la même méthode chez vous de manière moins formelle, en implémentant le réseau sur des nœuds intéressants de votre circuit imprimé ou comme une sonde. La répétabilité et la stabilité des mesures sont ainsi compromises, introduisant une incertitude dans l'impédance de charge et la réponse en fréquence.

Cependant, les résultats permettent de comprendre les tendances, ce qui facilite le débogage de la réduction du bruit. Par exemple, il serait possible d'évaluer différents condensateurs de découplage sur une alimentation ou l'effet des différentes forces de commande offertes par les broches de sortie à usage général de nombreux microcontrôleurs modernes.

Tests de pré-conformité

Fait intéressant, lorsque la sonde est placée sur une broche de sortie numérique statique, nous obtenons une idée du bruit sur les rails d'alimentation internes. En fait (voir **figure 2**), lorsque la broche de sortie est à un niveau logique haut, le transistor PMOS est passant, présentant une faible résistance et donnant accès au réseau électrique interne. Quand il est à un niveau bas, le NMOS nous donne accès au VSS interne. Il serait intéressant d'activer et de désactiver différents périphériques d'un microcontrôleur et de voir l'effet sur le bruit généré. Ces essais peuvent faire

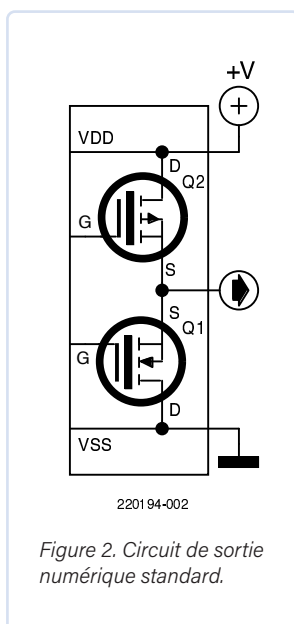


Figure 2. Circuit de sortie numérique standard.

partie des tests électromagnétiques de préconformité. En principe, un étalonnage pourrait renforcer la fiabilité d'une sonde. Cependant, il est toujours difficile de pallier l'indétermination liée à la connexion avec le dispositif testé. ◀

220194-04



À propos de l'auteur

Mario Rotigni est né à Bergame, en Italie, en 1958. Il a obtenu un diplôme en génie électrique en 1977. Il a découvert l'électronique comme un hobby à l'âge de 14 ans. En 1978, il devient un professionnel dans le domaine de l'électronique. Il a travaillé dans la recherche et le développement sur la conception d'instruments de processus fonctionnant dans des environnements électromagnétiques très hostiles. Après avoir conçu un équipement de test automatique pour les microcontrôleurs, il a rejoint un grand fabricant de semi-conducteurs, où il a occupé divers postes dans l'ingénierie, la conception, et actuellement en R&D dans le groupe Automotive Product.

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (m.rotigni@elettronicaemake.it) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr)

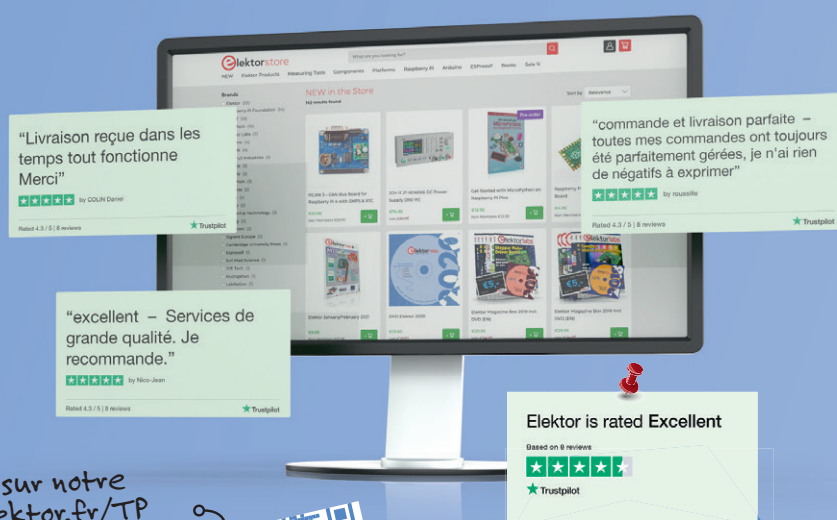
Ils nous font confiance, n'est-ce pas ?

Nous aimons l'électronique et les projets, et nous faisons tout notre possible pour répondre aux besoins de nos clients.

Le magasin Elektor :
Jamais cher,
toujours surprenant

Consultez d'autres avis sur notre page Trustpilot : www.elektor.fr/TP

Vous pouvez également vous faire votre propre opinion en visitant notre Elektor Store, www.elektor.fr





questions d'éthique

Initié par WEEF

Don Akkermans (directeur, WEEF) et Shenja Panik (chef de projet, WEEF)

Le Forum mondial de l'électronique éthique (WEEF) se veut un dialogue ouvert et inspirant sur l'éthique et les objectifs de développement durable. Participez à l'édition du 15 novembre 2022 — sur le salon electronica 2022 ou en ligne — pour partager vos idées sur les pratiques de conception écologiques, la gestion des déchets électroniques, l'éthique des RH...

L'industrie électronique dispose enfin de sa plateforme pour discuter éthique et économie : le *Forum mondial de l'électronique éthique* (WEEF). Le débat a trop longtemps été dominé par les seuls lobbyistes, activistes, ONG et politiciens, qui se contentaient de souligner l'influence néfaste de notre secteur sur la planète et ses habitants. Selon eux les consommateurs étaient les victimes consentantes de campagnes marketing orchestrées par une industrie cherchant à piéger ses clients dans une spirale d'achats sans fin. Ce tableau peu réjouissant dépeignait un consommateur avide d'acquiescer des produits à seule fin de satisfaire des besoins dont avant cela il ne soupçonnait même pas l'existence.

Avec un large sourire, un membre du parlement suédois suggéra un jour d'interdire tout achat durant une année, ce qui, selon lui, aboutirait à un monde aussi vert que joyeux. Rétrospectivement, l'ironie était de mise : même durant le confinement, avec des autos et avions quasiment à l'arrêt, les émissions de CO₂ n'ont baissé que de 4 %. Arrêter de consommer n'est donc sans doute pas la solution espérée. Alors quelle est-elle ?

Anecdote : certains magasins d'Amsterdam placardent des affiches humoristiques

montrant un employé disant « Nous n'avons rien à vendre » et auquel un client répond : « C'est exactement ce que je cherche. »

Il y a du vrai dans la formule *Less is more* : pourquoi polluer le monde avec des systèmes d'air conditionné, alors qu'une conception intelligente et l'emploi de certains matériaux (souvent traditionnels) peuvent suffire à rafraîchir un bâtiment ?

Ne craignez pas de voir baisser vos profits si des solutions non-électroniques sont trouvées, les applications électroniques embarquées seront bientôt presque partout. Oui, ne doutez pas qu'un jour même votre drap de bain vous enverra une notification par téléphone pour vous dire qu'il a trop servi.

Plus d'électronique dans plus de produits, plus d'IA et plus de robots en lieu et place de l'humain, c'est inéluctable. Et une bonne nouvelle pour l'industrie. Car il y aura également des capitaux à investir dans l'électronique verte, son commerce équitable, sa distribution durable et la gestion sociale de ses ressources humaines — bref, nous ferons du *business éthique*. Si les entrepreneurs voient dans les personnes et la planète la même richesse que le profit, les entreprises seront des acteurs au long cours bien plus efficaces pour changer les choses que les politiciens et leurs électeurs dénués de vision à long terme.

Cette prise de conscience est récente.



Le premier forum WEEF l'a montré, les ingénieurs sont idéalistes, mais aussi réalistes. Notre secteur n'a nul besoin d'activistes agressifs et à la pensée 100 % inclusive.



En 2014, lorsque Elektor a lancé ses premières tribunes sur les questions d'éthique, bon nombre de dirigeants et leaders de l'industrie ne purent s'empêcher de ricaner tant tout cela leur semblait gentiment naïf. Elektor dut leur expliquer **pourquoi** leur entreprise gagnerait à devenir elle aussi une « force du bien ».

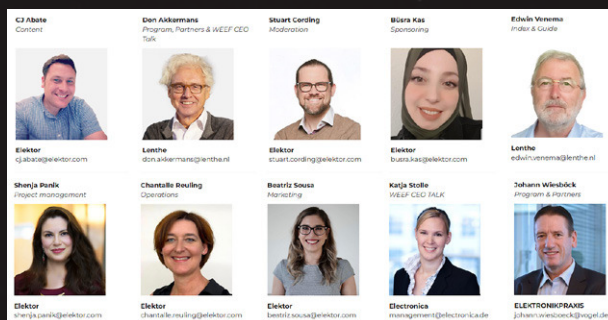
En 2022, la question — que posent aussi employés, clients et actionnaires — ne porte plus sur le **pourquoi**. Le monde regorge de consultants, d'associations, de politiciens et d'ONG disant aux entreprises de viser la valeur plutôt que le profit. De nos jours le débat porte sur le **comment**, le **quoi** et le **quand** de ce qu'il faut changer — pour réduire les écarts entre industrie et nature, riches et pauvres, ONG et entreprises.

Comment accélérer ce mouvement sans tuer une activité rentable ? Le lancement de marques vertes, éthiques ou sociales serait-il un de ces accélérateurs ? Il y a là matière à réflexion.

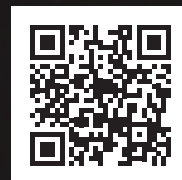
Le comité du WEEF n'est pas convaincu de l'utilité de tels « labels verts ». Prenez la certification *B Corp* : répondez à



La célèbre réplique de M. Douglas dans le film *Wall Street* de 1987. Ne vaudrait-il pas mieux dire « L'avidité verte est bonne » ?



Contactez le comité du WEEF si vous souhaitez être interviewé, prononcer un discours ou initier une action. Visitez <https://worldethicalelectronicsforum.com>.



200 questions, et si vous obtenez un drapeau vert pour 40 % d'entre elles, bingo, vous pourrez clamer dans toute la presse que vous êtes certifiés « B, comme Bon et Bien ».

Cette certification ressemble surtout à un outil marketing habile. Ce n'est pas une coïncidence si le PDG de *B Corp* a été attaqué en interne pour avoir certifié Nestlé. « Comment approuver cette décision alors que le PDG de Nestlé a déclaré que l'accès à l'eau n'est pas un droit humain ? » La question est légitime.

D'autres se réjouissent de cette profusion de labels. « Plus on est de fous, plus on rit », disent-ils. Des débats sur leur bien-fondé peuvent aussi faire naître des rumeurs : Hé, pourquoi cette entreprise n'est-elle pas (encore) labellisée ? Clients et acheteurs peuvent préférer des produits et services testés et labellisés.

Que pensez-vous des labels ? Quelle est **votre** position dans ce débat OUI/NON ? Peut-être se situe-t-elle entre ces deux avis extrêmes ?

Et maintenant, une question qui va droit au cœur du sujet sur le plan personnel : **seriez-vous prêt** à adopter publiquement un *e-LEDGE* (e-engagement) que nous introduirons prochainement et qui déterminera le comportement éthique à adopter à un niveau personnel en entreprise ? Pouvez-vous exprimer vos rêves et vos doutes à ce sujet, et ce en toute honnêteté ?

Si c'est le cas, peut-être aimeriez-vous les partager pour inspirer d'autres personnes ? Nous vous invitons pour cela à rejoindre

notre nouvelle communauté WEEF — des personnes prêtes à joindre le geste à la parole.

Pouvons-nous vous interroger et publier vos réponses ? Pouvons-nous montrer un dessin humoristique que vous aimez ? Publier une vidéo de vous en train de parler d'éthique en électronique ? Ou peut-être avez-vous déjà une vidéo que vous aimeriez partager ? Nos rédacteurs peuvent-ils créer un « passeport éthique » pour vous et votre entreprise ? Bref, discutons ! ▶

220394-04

Contactez Shenja par courriel à shenja.panik@elektor.com, nous vous répondrons sous 24 heures. Nous espérons vous rencontrer sur notre forum (sur place ou en ligne) et vous voir figurer dans notre guide de l'éthique.

Impliquez-vous avec le WEEF
L'éthique et l'électronique vous intéressent ? Le Comité des programmes invite tout personne impliquée dans la politique éthique de son entreprise, université, ONG, groupe d'action ou association, à s'exprimer par le biais d'un discours, d'une vidéo, ou au sein d'une table ronde. Pour en savoir plus et vous inscrire à la lettre d'informations du WEEF, visitez WorldEthicalElectronicsForum.com.



éthique et profit, un mariage de raison

entretien avec le professeur Stefan Heinemann

Edwin Venema (Fondation Lenthe)

Une entreprise d'électronique peut-elle rester viable et profitable sans se soucier d'éthique ? Éléments de réponse avec le professeur Stefan Heinemann.

Affaires et éthique sont souvent considérées comme antagonistes. L'éthique entraverait la rentabilité : elle ne serait qu'une posture politiquement correcte imposée par le mouvement Woke, une case à cocher avant de passer aux vraies affaires. Selon Stefan Heinemann — philosophe, théologien et professeur de déontologie des affaires — ce point de vue est dépassé. Pour lui, conduite morale et conduite des affaires ne sont que les deux faces d'une même pièce. Sans éthique, mener des affaires de façon viable, et donc profitable, est tout simplement devenu impossible. L'électronique est au cœur de nombreuses industries, et à ce titre a une obligation

presque morale d'accompagner les deux changements de paradigme de ce siècle que sont la numérisation et la durabilité. Et, oui, Heinemann se veut positif quant à la synergie des forces du bien : « Il y a toujours de l'espoir. Nous pouvons encore façonner l'avenir. Mais souvenez-vous : en électronique, le point de départ de l'éthique commerciale, c'est vous ! »

Edwin Venema : Aborder les affaires de façon éthique semble aller de soi. Qui pourrait vouloir agir autrement ?

Stefan Heinemann : Agir de façon éthique paraît peut-être évident, mais en pratique ce

n'est pas si aisé. Nous jugeons nos actions et nos déclarations en fonction du bien et du mal, deux notions définies par l'éthique. La différence entre les deux est parfois évidente. Personne ne doute que tuer ses enfants est mal, mais certaines lignes rouges peuvent être moins claires en pratique, surtout dans le monde des affaires. On pourrait même dire que l'économie repose sur des fondements amoraux — Luke Skywalker parlerait de son côté obscur. Elle offre aussi, et heureusement, une face lumineuse — et à mon avis dominante. Je suis convaincu que l'industrie électronique pourrait, voire devrait, se considérer comme un élément central de toute solution numérique. Gardez toutefois à l'esprit que la numérisation n'est pas une fin en soi (outre le fait que les solutions analogiques joueront encore un rôle dans ce contexte) : elle apporte de la durabilité aux entreprises, à leurs clients et, en fin de compte, à notre société. Investir dans l'éthique revient presque à créer de



la valeur ; c'est la meilleure chose que vous puissiez faire au sein d'une entreprise.

Cet engagement éthique nécessite un leadership moral et des modèles à suivre. Dans un secteur comptant aussi bien des entreprises individuelles que des multinationales, la chose n'est pas aisée. Il vous faudra vous positionner en tant que leader et vous engager non pas en suivant le troupeau (tout le monde le fait) mais en prenant conscience que votre rôle est celui d'un pionnier sachant l'importance qu'a l'éthique pour ses clients et pour les clients de ses clients. Comme le disait Benjamin Parker, l'oncle paternel de Spiderman : « Un grand pouvoir implique de grandes responsabilités ! »

Je suis convaincu que nous n'avons que deux options. Soit considérer l'éthique comme une clé de la réussite commerciale, soit y voir une forme de « lavage moral » et attendre passivement que des réglementations imposées d'en haut contraignent nos pratiques.

Venema : Ces réglementations sont souvent conçues comme des « prescriptions »...

Heinemann : Ce sont des règles formelles imposées « d'en haut ». Or, l'éthique c'est la liberté d'agir « de l'intérieur ». C'est une question de motivation interne. Songez au Dieselgate : Volkswagen n'aurait pas eu à débours des milliards si la structure et la culture internes avaient été plus favorables à un comportement moralement acceptable.

La réglementation est une moralité imposée, moins efficace que l'intégrité personnelle. C'est pourquoi la voix et le comportement des chefs d'entreprise sont si importants. Nous avons besoin de modèles à suivre.

Venema : Pouvez-vous citer un de ces modèles ?

Heinemann : C'est difficile, car de quoi parle-t-on lorsqu'on dit qu'une personne ou une entreprise est éthique ? Le personnel, les chiffres ou les produits sont-ils éthiques ?

*Comme le disait l'oncle paternel de Spiderman :
« Un grand pouvoir implique de grandes responsabilités ! »*

Aucune personne ou entreprise au monde ne l'est à 100 %. Je pourrais citer des exemples d'entreprises qui réduisent leur empreinte carbone plus que ne l'exige la loi, mais cela ne signifierait pas pour autant qu'elles agissent de façon éthique à 100 %. Ceci dit, ce genre d'effort est et reste important. Un point intéressant pour l'indice WEEF, je dirais. Mais n'oubliez jamais que nous ne sommes que des humains, pécheurs et sujets aux erreurs.

Venema : Agir au nom d'une éthique née d'une intégrité personnelle est d'autant plus compliqué en entreprise qu'on s'élève dans la hiérarchie : la responsabilité individuelle se dilue dans la dynamique des organisations et de la réalité politique.

Heinemann : Il est vrai que la responsabilité peut être diluée au niveau d'une entreprise, d'un secteur ou d'une société entière. Qui est responsable de quoi, précisément ? Que puis-je faire en tant qu'individu ? Je ne peux pas constamment déléguer ma responsabilité, lancer : « Que Georges se débrouille avec ces trucs écolos ! », rester sourd et aveugle au mal. Une responsabilité individuelle ne peut se développer qu'au sein d'un environnement et d'une société qui la stimule et la contrôle. Le WEEF peut à cet égard jouer un rôle de facilitateur. Invitez les (jeunes) participants à s'exprimer, donnez-leur une voix. Mais ne pensez pas que cela soit suffisant, car c'est bien d'un changement systémique dont il s'agit. Seules les générations d'aujourd'hui sont en mesure de l'amorcer. Si elles ne le font pas, ce sera trop tard.

Venema : Voilà une prédiction plutôt sombre.

Heinemann : Mais il y a de l'espoir ! Le monde est ce qu'il est. Nous pouvons

faire ce que nous sommes censés faire, ce qu'en tant que chrétien j'appelle création, autrement dit la possibilité de rendre cette planète meilleure. Je ne suis pas un fataliste clamant que tout est perdu.

Venema : Même avec la crainte généralisée d'une intelligence artificielle qui mettra fin à la race humaine ?

Heinemann : Lors d'un entretien précédent avec Elektor, j'ai dit : « L'optimiste pense que nous vivons dans le meilleur des mondes possibles, le pessimiste craint que l'optimiste n'ait raison. » Je me décrirais comme un réaliste de l'IA. L'IA façonne le monde, c'est certain, mais qui va la façonner ?

Si nous n'assurons pas de manière éthique l'avenir et, bien sûr, le développement et l'utilisation de l'IA, nous pourrions voir de notre vivant une IA générale — qui nous reprochera peut-être de l'avoir créée. Seul l'humain peut aimer, souffrir, penser, être moral, créatif, désorienté, dangereux, fascinant ou ennuyeux. Ne rejetons pas l'IA par crainte de voir advenir un monde pire que l'actuel, imposons-lui notre volonté de voir un monde différent, certes, mais meilleur. L'IA offre aux entreprises la possibilité de mettre numérisation et durabilité au service d'une réussite commerciale légitime. Cela implique de porter un regard critique sur la sécurité et la protection des données, de faire plus que ce qui doit être fait légalement, tout en assumant une responsabilité sociale.

Venema : Quel est, en dehors de l'individu, le rôle des autres parties prenantes ?

Heinemann : L'éthique concerne tout le monde. D'abord les employés et les employeurs dont nous venons de parler. Ensuite les entreprises. Enfin les plateformes sectorielles et les gouvernements. À ce dernier niveau, il s'agit davantage d'établir un cadre éthique. Nous nous dirigeons vers un nouvel ordre mondial beaucoup plus diversifié et dynamique, où s'affrontent diverses convictions éthiques entendant





*L'éthique n'est pas
une contribution à la
philanthropie mondiale,
mais une démarche
essentielle à la réussite
et à la bonne marche des
affaires.*

dicter la façon dont les sociétés devraient se développer. Les autocraties semblent plus problématiques que les démocraties d'un point de vue éthique, mais l'affaire est plus complexe qu'il n'y paraît. Une politique environnementale raisonnable mais menée par un « mauvais » régime n'est pas en soi une mauvaise politique ; à l'inverse, le libre choix n'engendre pas forcément des décisions ou des dirigeants sages : les élections de 2016 aux États-Unis l'ont montré.

Venema : Lorsqu'il s'agit de commerce éthique, les consommateurs semblent jouer un rôle crucial.

Heinemann : Les consommateurs peuvent être à l'origine de bouleversements — par exemple nous amener vers un monde moins matérialiste. L'UE, avec ses lignes directrices, a déjà accéléré ce processus en apportant plus de responsabilité personnelle et de dématérialisation. Dans le même temps, sans doute en raison de la pandémie, l'alphabétisation démocratique et numérique semble faire plus de pas en arrière qu'en avant. On peut disposer de nombreuses libertés au sein d'une société occidentale, mais on ne peut rien en faire si l'on est analphabète. De nombreuses personnes ne font rien — voter par exemple — de ces libertés. C'est un vrai problème, car nous ne

voulons évidemment pas d'une autocratie numérisée comme celle prévalant en Chine.

Consommation et démocratie présentent plusieurs similitudes structurelles. Acheter, c'est voter. Un marketing intelligent peut vous faire acheter des choses dont vous n'avez pas besoin. L'industrie électronique doit accepter qu'un monde à la croissance éternelle est un concept dépassé, le modèle d'hier. Aujourd'hui, la croissance, c'est le développement durable. La croissance, c'est celle de l'innovation, celle des bénéfices et non plus nécessairement celle du chiffre d'affaires. Les entreprises ont donc besoin de personnes et de compétences différentes, et aussi d'un leadership différent.

Venema : Un code d'éthique ou, mieux, un code de conduite, pourraient-ils être utiles au secteur électronique ?

Heinemann : Les codes impliquent un engagement volontaire et dépendent donc du sérieux des entreprises qui les appliquent. Leur succès dépend aussi de la façon, autoritaire ou non, dont ils sont introduits, présentés, intégrés et ancrés au quotidien. Une entreprise d'électronique doit comprendre que l'éthique n'est pas une contribution à la philanthropie mondiale, mais une démarche essentielle à la réussite et à la bonne marche des affaires. Comme je l'ai dit, il importe de parler, mais aussi d'agir. Nous parlons tous d'un monde libre et pacifique, mais comment y parvenir ?

Venema : Certains Objectifs de Développement Durable (en particulier les ODD 5, 9 et 12) sont des candidats de choix pour un code éthique. Cela exprime l'idée souvent énoncée qu'un code éthique devrait refléter les valeurs des ODD et servir de fondation à l'établissement d'un monde qui équilibrerait de façon durable et équitable les facteurs économiques, environnementaux et sociaux dans le contexte d'une économie du savoir hautement compétitive. Qu'en pensez-vous ?

Heinemann : Les ODD nous aident à mieux cerner ce que nous entendons par éthique, et à voir les points de connexion avec le monde de l'électronique — en dehors des

Stefan Heinemann

Stefan Heinemann enseigne l'éthique commerciale à l'université des sciences appliquées FOM d'Essen. Il est aussi porte-parole du Ethics Ellipse Smart Hospital de la faculté de médecine de cette même ville. Ses études portent sur les aspects économiques et éthiques de la médecine numérique et de l'industrie de la santé. Comme l'an passé, il sera membre du comité WEEF au salon electronica de Munich. Il est directeur scientifique du congrès Hauptstadtkongress de Berlin (Springer Medicine, Wiso). Il dirige le groupe de recherche Ethics of the Digital Health Economy & Medicine de l'institut ifgs pour la santé et les affaires sociales de l'université FOM. Il est membre du Working Group AI in Internal Medicine de la commission Transformation numérique de la médecine interne, et conseiller expert auprès de divers organismes de recherche et de formation. Avec sa casquette de philosophe et théologien, il est membre du conseil consultatif scientifique Transformation numérique de l'AOK Nordost, membre du conseil consultatif de l'Institut pour le vécu des patients de la faculté de médecine d'Essen, et membre du conseil consultatif de politique sociale et sanitaire de la représentation régionale Barmer de Rhénanie-du-Nord-Westphalie. Il est membre du conseil d'administration du Cologne Science Round, président du conseil d'administration de la Science City Essen et membre du conseil d'administration de sneep e. V., un réseau d'étudiants pour l'éthique des affaires et des entreprises. Il est aussi co-initiateur du site dataprotection-landscape.com documentant le RGPD.



règles et réglementations gouvernementales existantes. Reste à établir l'utilité de ces ODD pour les entreprises. Ils inspirent davantage les gouvernements, car leur adoption par une entreprise se heurte à une myriade de travers. L'intégration des ODD dans un code éthique et, au final, dans la stratégie et l'activité d'une entreprise, me semble difficile, mais pas impossible. Le WEEF pourrait examiner les cadres existants, par exemple celui des ODD, mais aussi d'autres « objectifs du millénaire » émanant de groupes de durabilité de l'UE. Et les lire — personne ne semble lire de genre de documents — afin de les traduire en étapes concrètes. Cela renforcerait le poids de l'industrie électronique, que beaucoup pensent trop fragmentée pour être en mesure d'agir.

Venema : En quoi le WEEF pourrait-il s'avérer utile ?

Heinemann : Il est évident qu'un simple code ou manifeste ne suffiront pas. Mieux vaut commencer par un document listant ce qu'il est possible de faire en matière de ventes, bénéfices, clients et produits, le tout illustré d'exemples pratiques. Il s'agit de montrer qu'une application raisonnée de l'éthique apporte des bénéfices durables tant à l'entreprise qu'à la société.

Le secteur est trop diversifié pour qu'une approche universelle réussisse. Je préconise le recours à une sorte de système à feux de signalisation vert-orange-rouge : qu'avez-vous déjà accompli ? Où en êtes-vous en tant qu'entreprise ? C'est là que le WEEF pourrait être utile en proposant des directives et des conseils formulés de manière neutre et applicables à la majorité des entreprises du secteur de l'électronique.

Songez toutefois qu'une petite structure ne peut pas se permettre de gros investissements. Si une opération éthique coûte un ETP ou cinquante subventions, la croisade est perdue d'avance. Les grandes entreprises disposant souvent des ressources nécessaires, la pression financière s'exerce sur les petites. Elles devront donc se montrer inspirées, par exemple en utilisant un stagiaire suffisamment intelligent

pour comprendre le concept et capable de rédiger un document ou des directives. Ce serait déjà un premier pas.

Le WEEF pourrait faciliter ce premier pas avec un matériel approprié, et ainsi favoriser l'adoption de règles éthiques équitables. Aucun document ou liste ne sauraient bien sûr remplacer des avocats ou autres cadres de la RSE, mais de tels supports permettraient d'enrôler aussi les petites entreprises.

Venema : Quels facteurs conditionnent la réussite d'une initiative comme le WEEF ?

Heinemann : J'en citerai trois :

1. Transparence et clarté du processus : qui en sont les initiateurs, et quelles sont leurs intentions ? Ce genre d'initiative sent parfois le « green washing » ou la campagne marketing déguisée. Pensez mouvement plutôt qu'organisation. Soyez humbles et prêts à mettre fin au projet lorsque l'industrie ou toute autre plateforme seront prêtes à agir en leur nom propre.
2. Implication des entreprises de toutes tailles : réunissez leurs employés et cadres (de la RSE) autour d'une table et donnez-leur la parole. Impliquez les acteurs de base. Pensez co-création et développez ensemble des idées. 80 % du secteur est constitué de petites entreprises qui sont souvent les fournisseurs des grandes. Tenez compte de ce ratio. Chaque voix compte. Vous pourriez même regrouper ces petites entreprises. Un produit fini durable devra provenir d'une chaîne durable de fournisseurs. Il y a là un intérêt commun.
3. Utilité et applicabilité : amorcez le processus avec non seulement un document, un engagement ou un code, mais aussi avec des outils concrets et peut-être quelques modèles. Ne réinventez pas la roue : adaptez à l'industrie électronique les outils qu'offrent parfois les chambres de commerce.

Venema : Enfin, quelle part accorder à l'éthique dans l'éducation et la formation des électroniciens ?

Heinemann : L'éthique devrait faire partie intégrante des sciences économiques. On ne peut pas simplement faire venir un professeur d'éthique et cocher la case « Fait ». Elle doit être liée à toutes les disciplines, et à ce titre être traitée comme tout autre enseignement. Avec des collègues, j'ai tout fait pour que l'éthique (au sens large) soit intégrée aux cours de management de l'enseignement supérieur. Cette prise de conscience passe par des initiatives dans l'enseignement et la recherche, le transfert de pratiques vers les entreprises, et la gestion pédagogique de l'université elle-même. Des progrès ont été accomplis, mais pas encore à grande échelle. Bien d'autres sont à l'évidence possibles. ◀

220433-04 – VF : Hervé Moreau

À propos de l'auteur

Edwin Venema a plus de 30 ans d'expérience dans le journalisme et le marketing de contenu. Il collabore avec la fondation Lenthe depuis 2003 et est rédacteur indépendant (dekopijmeester.nl). Il aide les personnes et les organisations à créer du contenu de qualité.

Intervention de S. Heinemann lors du WEEF 2021

Retrouvez en vidéo l'intervention du professeur Heinemann lors du WEEF 2021. Il y aborde notamment la durabilité et l'éthique d'entreprise.
youtu.be/ELpxR6SuLb8&t=1621s



l'index WEEF 2023



Edwin Venema (Fondation Lenthe)

Nous publierons prochainement l'index WEEF 2023 et le distribuerons à des centaines de milliers d'ingénieurs et dirigeants. Il comprendra des portraits d'innovateurs dont le souffle inspirateur pousse d'autres personnes à reconnaître l'importance de l'éthique en électronique.

Pommes et poires. Aléatoire. Surprenant. Discutable. Inspirant. Favoritisme. Désinvolte. Scandaleux. Malhonnête. Audacieux. Partial. Stimulant. Déraisonnable. Arbitraire. Impossible. Stupéfiant. Risible. Stupide. Encourageant. Mérite l'attention. Népotisme. Admirable. Populisme. Sans but. Coche les bonnes cases. Provocateur. Astuce. Vanité. Mauvais signal. Bon signal. Élément déclencheur. Étroitesse d'esprit. Novateur. Injuste. Révélateur. Politique du pouvoir. Enfin !

Ce genre de qualificatifs est souvent employé lorsqu'un éditeur ou une organisation entreprend de publier le classement des acteurs d'un secteur donné. Le nouvel *Ethics Index 2023* du WEEF fera lui aussi lever bien des sourcils et provoquera toutes sortes de réactions. Nous n'en doutons pas. Et c'est bien pour cela que nous l'avons conçu.

Pas de diamants sans pression

Bien des questions se poseraient si nous devions nous faire l'avocat du diable : comment allez-vous évaluer l'influence d'un individu en matière d'éthique ? Et à supposer que vous y parveniez, quel en serait le but ? La réponse à cette dernière question est claire : lister les acteurs du monde électronique les plus influents en matière d'éthique est en soi une prise de position et, de notre point de vue, bien plus qu'une campagne de communication (ce qui ne serait pas très éthique, n'est-ce pas ?) Les index, outre qu'ils flattent la vanité des élus et irritent les égos de ceux qui n'ont pas été choisis, expriment un sentiment général d'appréciation et de reconnaissance. Les votes sont souvent ce qu'une industrie ou une profession a de mieux à offrir pour faire émerger des modèles à suivre — ou forcer certaines portes. Quoi ? Il ou elle fait partie de cet index ? Mais ils sont devenus fous au WEEF !

Il n'y a pas de diamants là où ne s'exerce aucune pression. Pensez aux Oscars ou aux Emmys.

Approche fruitière

L'argument « Cet index, c'est comparer des pommes et des poires » est classique. Personnes différentes, entreprises différentes, responsabilités différentes... Certes, mais de même que pommes et poires ont pour dénominateur commun d'être des fruits, notre index prend pour dénominateur commun des personnes engagées dont la vision, la méthode novatrice ou le courage permettent de sortir des sentiers battus et d'ouvrir de nouvelles pistes. Ces acteurs stimulent nos réflexions et discussions sur l'éthique — un sujet encore loin d'englober toutes les facettes de l'industrie électronique. Bien des questions légitimes attendent encore une réponse. Par exemple :

- Les ingénieurs ont-ils, à titre personnel, la responsabilité éthique d'utiliser leurs compétences à d'autres fins que





l'obtention de bénéfices ?

- L'éthique doit-elle jouer un rôle dans la façon dont les grandes entreprises d'électronique mènent leurs affaires ?
- Jusqu'à quel point doivent-elles se préoccuper de sujets tels que le développement durable, la fabrication écologique et la responsabilité sociale ?
- Comment leurs décisions affectent-elles les communautés locales et l'environnement ?
- Doivent-elles s'associer pour participer à la résolution de conflits géopolitiques ?

Pas un classement... pour l'instant

Un index est une chose, un classement en est une autre. Si vous aimez les débats houleux ou la controverse, alors dressez un palmarès, vous serez vite servi. Pour la première édition de notre guide WEEF des personnes influentes, nous avons opté pour un compromis. Nous avons en quelque sorte posé les fondations de ce qui pourrait à l'avenir devenir un classement. L'essentiel pour nous, pour l'instant, est d'aller de l'avant.

L'index WEEF 2023 contiendra donc une liste alphabétique de cent personnes influentes, plus un « Numéro un » — non pas un « gagnant », mais un porte-drapeau, un inspirateur, un premier parmi ses égaux, en quelque sorte. Lui et les 99 autres personnes de l'index seront choisis par un jury sage et juste.

Composition du jury

Le jury évaluera les propositions en ligne, désignera les candidats retenus et coordonnera la communication. Il comprend :

- Don Akkermans (directeur général, Fondation Lenthe ; président, WEEF)
- Johann Wiesbock (rédacteur en chef, Elektronik Praxis)
- Tessel Renzenbrink (journaliste indépendante, spécialisée en éthique)
- Priscilla Haring-Kuipers (journaliste, Elektor)
- Shenja Panik (chef de projet, Elektor/WEEF)

Les critères

Le jury s'appuiera sur les critères suivants :

- Degré d'influence (dans les médias, forums, réseaux sociaux, et parmi les pairs).
- Degré d'innovation (y compris l'intégration des ODD).
- Volonté de partager des idées et concepts avec ses pairs.

Les candidats auront en commun de sortir des sentiers battus, d'être efficaces dans leurs actions et de les rendre visibles.

Les règles

- Le nom des candidats en lice sera public.
- Règles des votes en ligne : motivez (brièvement) chaque proposition de candidat. Toute proposition non motivée sera rejetée. Vous pouvez soumettre autant de noms de candidat que souhaité, mais pas proposer plusieurs fois un même candidat — toute proposition renouvelée d'un même candidat venant de la même adresse IP sera détectée et invalidée. Vous pouvez être candidat à votre propre nomination.
- Sont inéligibles à l'index WEEF100 : les membres du jury, les employés de la fondation Lenthe, ainsi que ceux de l'éditeur de l'index.
- Les motivations du jury pour le choix du ou de la nominée seront consignées par écrit. Il ou elle recevra un WEEF AWARD conçu dans le respect de l'environnement.
- La liste WEEF100 sera publiée sur le site web du WEEF ainsi que sur les sites de la Fondation Lenthe et de ses partenaires : Elektronik Praxis, electronica Munich, Elektor.

Visitez www.worldethicalelectronicsforum.com pour de plus amples informations et mises à jour. L'édition 2023 du WEEF se tiendra à Munich le 15 novembre. ◀

220434-04 – VF : Hervé Moreau

À propos de l'auteur

Edwin Venema a plus de 30 ans d'expérience dans le journalisme et le marketing de contenu. Il collabore avec la fondation Lenthe depuis 2003 et est rédacteur indépendant (www.dekopijmeester.nl). Il aide les personnes et les organisations à créer du contenu de qualité.

Contribuez à l'index WEEF

Si vous souhaitez apporter votre contribution à l'index WEEF 2023, contactez Shenja Panik à shenja.panik@elektor.com. Pour plus d'informations, visitez www.WorldEthicalElectronicsForum.com.

**WORLD
ETHICAL
ELECTRONICS
FORUM**

logiciel de calcul de filtres

Outils de conception de filtres analogiques

Alfred Rosenkränzer (Allemagne)

Si vous connaissez (ou du moins si vous savez où trouver) les formules de conception des filtres analogiques, vous êtes en mesure d'effectuer les calculs à la main. Aujourd'hui, cette approche semble quelque peu désuète si l'on veut aller au-delà des types les plus simples de filtres à réseau RC. Il existe désormais des logiciels de CAO adéquats et les fabricants de circuits intégrés en mettent même gratuitement à disposition. Cet article s'intéresse principalement à un logiciel créé par Texas Instruments.

Dans l'article *Conception de filtres analogiques (partie 2)* paru dans *Elektor* (11-12/2020) [1], nous avons abordé la structure de filtres actifs. Nous y avons parlé de l'existence de logiciels spécialisés qui allègent notablement l'effort de conception de telles configurations. Il n'est plus autant nécessaire d'avoir une compréhension détaillée des modèles mathématiques pour atteindre son but, mais les lecteurs intéressés par les formules peuvent les trouver sans peine dans la littérature, par ex. chez *Tietze/Schenk* [2].

Comme logiciel type de conception de filtre sur PC, nous avons choisi le programme *FilterPro* et son successeur en ligne *Filter Design Tool*.

FilterPro

Depuis quelque temps, Texas Instruments ne développe plus le programme *FilterPro* activement, mais il reste néanmoins un outil très utile. La version pour Windows la plus récente est téléchargeable ici [3]. Après avoir installé et lancé le programme, l'écran illustré

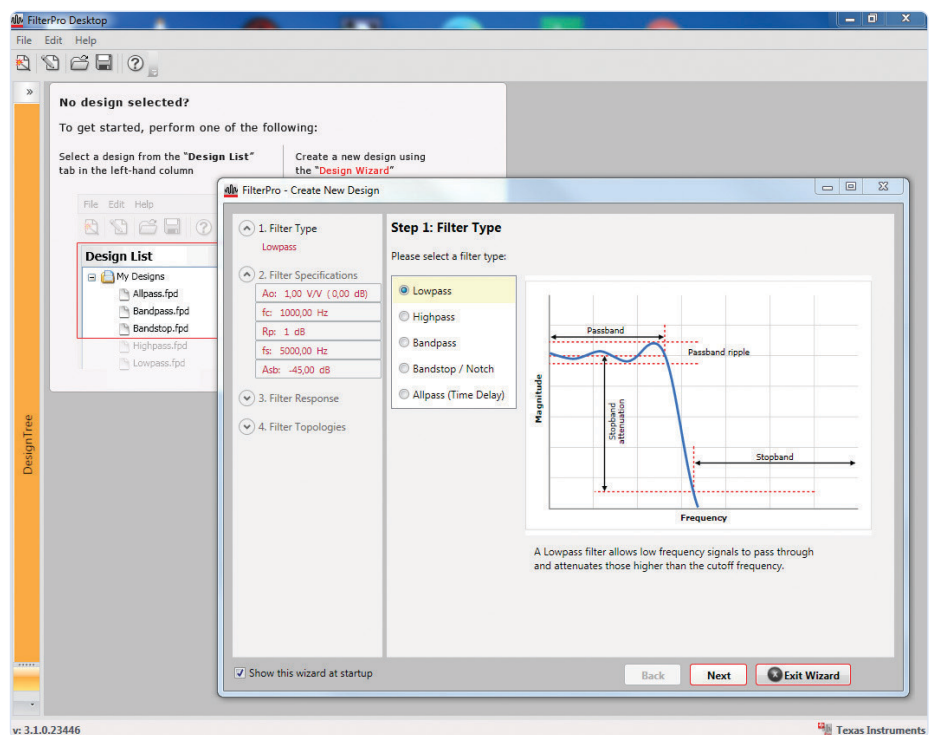


Figure 1. Menu de démarrage de FilterPro Desktop avec l'assistant de filtre.

à la **figure 1** se présente à l'utilisateur. Dans cette fenêtre, nous voyons l'assistant de filtre. S'il n'apparaît pas automatiquement, on peut le lancer avec la *baguette magique* (en haut à gauche). L'assistant vous guide pas à pas dans les étapes de conception. Dans la 1^{ère},

vous choisissez le type de filtre (*passe-bas, passe-haut, etc.*). La partie droite de l'illustration montre les paramètres qui doivent être saisis à l'étape suivante : bande passante, ondulation dans la bande passante, bande rejetée, etc.

Dans la 2^e étape, vous entrez les caractéristiques du filtre : voir la **figure 2**. Le 1^{er} paramètre est le gain. Bien qu'un gain >1 soit souvent souhaitable, mieux vaut commencer avec un gain unitaire, c.-à-d. de 1.

Quand on spécifie la fréquence de coupure du filtre, il convient de se rappeler que les structures d'approximation des filtres (par ex. *Bessel* et *Butterworth*) la définissent comme la fréquence à laquelle l'amplitude de la réponse chute de 3 dB. Pour les filtres de *Chebyshev*, en revanche, c'est la fréquence à laquelle l'ondulation de l'amplitude tombe sous un seuil donné. Ensuite, on entre l'ondulation autorisée dans la bande passante. Pour les filtres qui ne donnent pas d'ondulation, par ex., Bessel et Butterworth, la valeur par défaut convient. Il existe deux façons de spécifier l'ordre du filtre. Vous pouvez soit cocher la case *Set Fixed*, puis saisir l'ordre souhaité dans la case située immédiatement à sa droite (voir fig. 2), soit ne pas cocher la case *Set Fixed* et spécifier l'atténuation requise par l'application à une fréquence donnée. Le programme choisira alors automatiquement un ordre approprié. C'est un bon moyen de comparer la complexité des solutions offrant différents types d'approximation.

Dans la 3^e étape, vous choisissez le *type de réponse*, c'est-à-dire le type d'approximation du filtre (voir **fig. 3**). Le graphique montre les courbes d'amplitude, de phase et de délai de groupe en fonction de la fréquence. La molette de défilement sert à zoomer sur une zone, et cliquer-glisser permet de faire défiler le graphique. Un clic droit permet de revenir à l'affichage complet d'origine. Notez que l'axe des fréquences est logarithmique.

La 4^e et dernière étape consiste à choisir la topologie (**fig. 4**). Ici, vous avez le choix entre *rétroaction multiple* pour les amplificateurs asymétriques, *Sallen-Key* (également asymétrique) et *rétroaction multiple (entièrement différentielle)*. Ces termes sont expliqués en détail dans [1].

Quand vous cliquez sur *Finish*, le circuit s'affiche avec les valeurs des composants, un tableau des caractéristiques du filtre et deux graphiques montrant les courbes d'amplitude, de phase et de délai de groupe du filtre (**fig. 5**). Zoom et défilement sont aussi actifs sur ces graphiques.

Un résultat important, placé au milieu du tableau, est la valeur *Min GBW reqd.* Il s'agit du produit *gain × bande passante* minimal de l'amplificateur pour que le circuit de filtrage se comporte comme souhaité ; pour le dispositif utilisé, plus ce produit est faible, moins le circuit sera performant.

Le facteur de qualité *QualityFactor (Q)* est également expliqué dans [1].

Application pratique

Contrairement à leurs homologues passifs, les filtres actifs ont deux degrés de liberté pour le choix des valeurs des composants. Par ex., cliquez sur la valeur de C1 et réduisez-la d'un facteur 10 en la faisant passer de 10 à 1 nF et C2 changera proportionnellement. Les deux résistances augmentent également d'un facteur 10. La réponse du filtre est identique pour

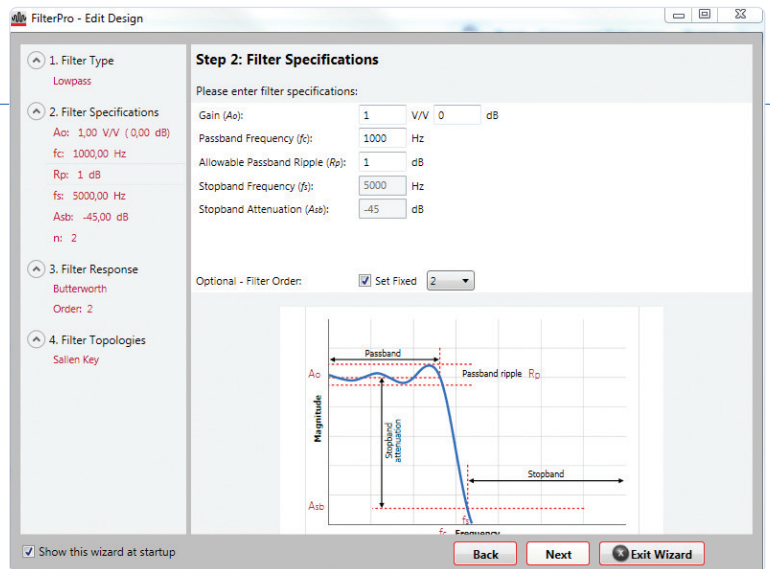


Figure 2. Saisie des caractéristiques du filtre.

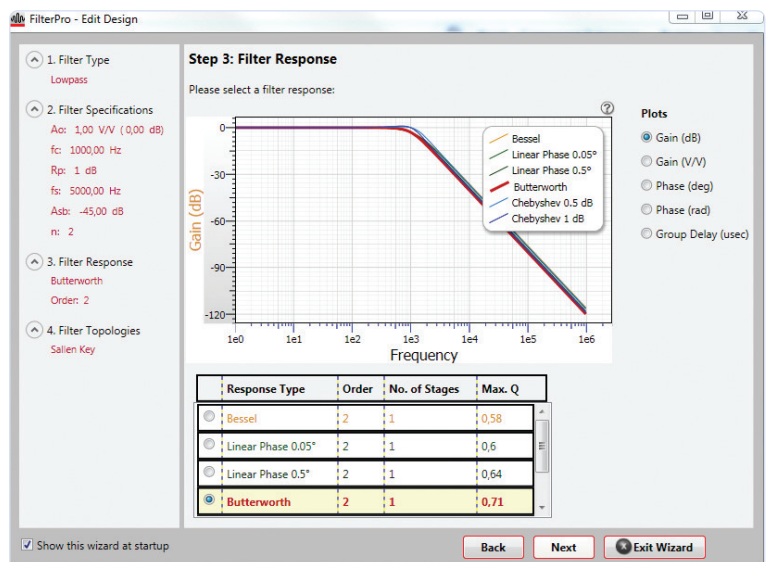


Figure 3. Réponse du filtre et ses approximations.

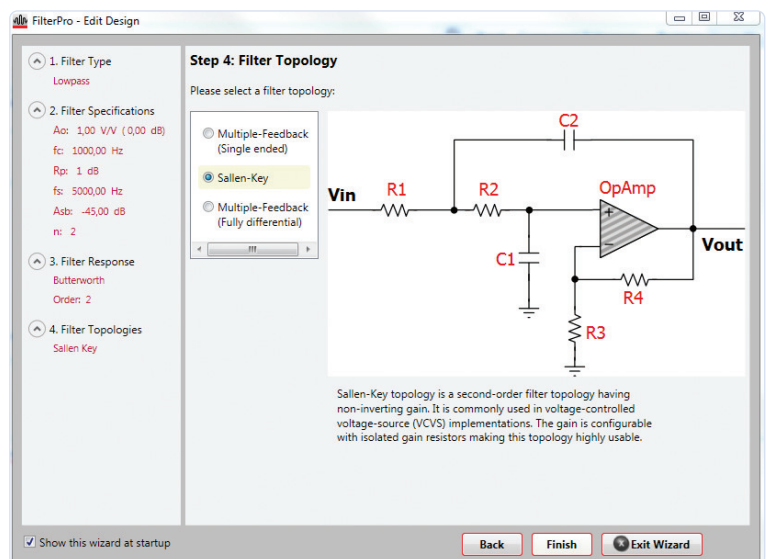


Figure 4. Choix d'une topologie de filtre.

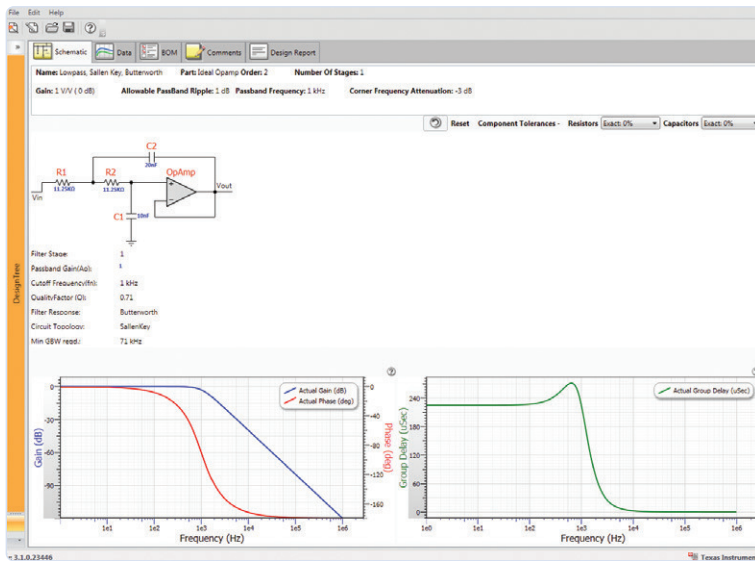


Figure 5. Le résultat : le schéma du circuit et les graphes du comportement du filtre.

les deux ensembles de valeurs, mais d'autres propriétés telles que le bruit et la distorsion peuvent être différentes.

En audio, il est typique de choisir des résistances comprises entre 1 kΩ et 10 kΩ : cela donne un bon compromis entre le bruit (qui diminue avec la valeur des résistances) et la distorsion (qui augmente avec le courant, donc quand les résistances diminuent). En pratique, mieux vaut d'abord expérimenter avec les condensateurs, car ceux-ci ne sont disponibles que dans une gamme de valeurs relativement limitée (séries E3 à E12) par rapport aux résistances (séries E12 à E96). Pour comprendre le 2^e degré de liberté, que cela nous plaise ou non, il va falloir mettre les mains dans le cambouis, c.-à-d. s'attaquer aux formules. La valeur de C1 peut être choisie librement, mais il existe un rapport C2/C1 minimal qui dépend du type d'approximation, de l'ordre et du gain choisis. Pour ce minimum et un gain unitaire, les deux résistances seront égales. Le programme *FilterPro Desktop* affiche ce rapport minimal, pour des valeurs exactes de condensateurs.

Si les condensateurs sont choisis dans une série E particulière, le programme choisit les valeurs les plus proches de l'optimum, et le rapport entre C2 et C1 augmente. Cela entraîne alors une modification des valeurs des résistances : elles ne seront plus égales. Dans l'exemple ci-dessus, les valeurs

respectives choisies pour C1 et C2 sont exactement de 10 et 20 nF : un rapport de 1/2. Les deux résistances ont la même valeur, à savoir 11,25 kΩ. S'il faut utiliser des condensateurs de la série E12, nous pouvons laisser C1 à 10 nF mais C2 doit être augmenté à 22 nF ; en conséquence, R1 vaut maintenant 7,68 kΩ et R2 14,65 kΩ.

L'outil en ligne actuellement disponible (nous y reviendrons plus loin) se comporte de la même manière. Malheureusement, le rapport ne peut être spécifié directement ; en revanche, en haut à droite de la fenêtre illustrée à la figure 5, on peut indiquer séparément pour les résistances et les condensateurs si on préfère utiliser des valeurs exactes ou des valeurs d'une série E particulière. Lorsque le choix est limité à une valeur de la série E, les graphes montrent les courbes de réponse à la fois pour les valeurs spécifiées de la série E et pour les valeurs idéales. Cela éclaire votre décision quant à l'écart acceptable par rapport aux performances idéales.

Dans l'exemple ci-dessus, une astuce permet toutefois de simplifier les choses. Si les deux résistances ont la même valeur, alors C2 doit être exactement le double de C1 : d'ailleurs, cette variante spécifique est décrite dans Tietze/Schenk. Pour avoir une bonne précision, choisissez pour C1 un condensateur facilement disponible avec boîtier et tolérance appropriés, et pour C2, mettez-en

deux (identiques à C1) en parallèle. Si les trois condensateurs sortent du même lot, leurs valeurs devraient être très proches. Tout écart par rapport aux valeurs nominales peut être corrigé en ajustant les valeurs des résistances : entrez la capacité mesurée de C1 dans la fenêtre illustrée à la figure 5 et les valeurs des résistances ajustées (ou les valeurs disponibles les plus proches dans la série E spécifiée) s'afficheront.

Pour construire un circuit de *crossover* précis, il est également judicieux d'utiliser les mêmes condensateurs dans les réseaux passe-haut et passe-bas. Cela permet d'assurer une transition optimale entre les caractéristiques passe-bas et passe-haut. Il reste toujours possible de synthétiser des valeurs de capacité et de résistance plus précises en combinant deux ou plusieurs composants individuels.

Caractéristiques spéciales

Avant de modifier la configuration du filtre, vous pouvez en enregistrer les résultats. Cliquez sur l'onglet *Data* en haut de la fenêtre, vous verrez la réponse en fréquence présentée sous forme de tableau ; l'option *Export to Excel* permet un post-traitement des données – par ex. pour comparer les résultats avec un prototype ou à des fins de documentation. L'onglet *BOM* produit la liste de composants. L'onglet *Comments* permet d'ajouter vos notes et l'onglet *Design Report* crée pour



PRODUITS

- **SDS1104 - oscilloscope à quatre canaux de OWON (100 MHz)**
www.elektor.fr/19514
- **XDM1041 - multimètre numérique (55 000 points) de OWON**
www.elektor.fr/19715
- **AG051 - générateur de formes d'onde arbitraires (5 MHz) de OWON**
www.elektor.fr/18874

vous la documentation (le tableau de réponse en fréquence n'y figure pas).

Avant de le construire pour de bon, il est intéressant de simuler le filtre. La simulation de Monte Carlo s'avère très utile pour analyser les effets des tolérances des composants. Vous pouvez simuler de nombreuses variations d'un filtre donné et comparer aussitôt leurs performances respectives.

Les filtres multiétages sont construits à partir d'étages individuels de 1^{er} et 2^e ordre. La mise en cascade de deux filtres Butterworth de 2^e ordre identiques ne produit pas un filtre Butterworth de 4^e ordre, mais un filtre dit de *Linkwitz-Riley* (ou *Butterworth au carré*) de 4^e ordre.

On peut expérimenter pour déterminer le *facteur de qualité* (Q) que l'on peut attendre du filtre ainsi que le produit *gain × bande passante* requis pour l'AOP.

Il est possible d'inclure dans les spécifications un gain de filtre supérieur à l'unité. Si c'est un filtre multiétage, le gain est réparti de manière égale entre les étages. Il est possible d'observer le changement de valeur des composants quand le gain souhaité augmente et d'éviter de trop grands écarts de valeur des composants. Au besoin, il est possible de réaliser un gain supplémentaire dans un étage séparé ; c'est avantageux, car s'il faut ensuite modifier le gain, les valeurs des autres composants restent les mêmes.

Autre remarque : Texas Instruments ne maintient plus la version *desktop* du logiciel, et en effet, elle n'est plus disponible sur les serveurs de la société. Cependant, une recherche rapide de « FilterPro desktop » conduit rapidement à des téléchargements, par ex. [3]. Le programme fonctionne sous Windows 7 et 10, et, de manière

assez étonnante, il est même stable sous Windows 11. Au démarrage, le programme semble parfois faire une pause d'une minute environ ; mais ensuite, tout fonctionne sans problème. Le manuel complet est disponible à l'adresse [4].

Outils en ligne

La dernière version du logiciel de filtre de Texas Instruments s'appelle *Filter Design Tool* [5]. Une fois enregistré, vous pouvez commencer à concevoir un filtre. Il n'y a pas de version « Pro » et donc pas de restrictions artificielles d'utilisation. L'interface est un peu plus moderne que celle du programme PC, mais le fonctionnement est globalement le même.

Par rapport à la version précédente, on peut, par ex., afficher la réponse du filtre à un échelon. Et si, au lieu des valeurs idéales, vous cochez les valeurs en série E, vous pouvez aussi spécifier séparément les tolérances pour les résistances et les condensateurs.

Ensuite, le tracé des courbes d'amplitude, phase et délai de groupe en fonction de la fréquence ainsi que de la courbe de réponse, fait apparaître une bande de tolérance autour de la courbe idéale. Cela évite de faire une simulation de Monte Carlo ultérieure (bien que je recommande de le faire quand même pour être sûr).

La version PC peut calculer des filtres à réjection de bande basés sur la topologie Sallen-Key (qui n'est pas idéale : voir l'article [1]) et sur des topologies à rétroaction multiple, mais la version en ligne ne propose que la topologie Bainter [6]. Des outils de CAO plus spécialisés existent sur l'internet pour aider à concevoir des filtres à topologie de Fliege [7] et des filtres à réjection de bande à état variable.

La manipulation des valeurs des composants est le point faible de l'outil en ligne. C'est plus facile avec la version PC. *Filter Design Tool* semble au moins prendre en charge le calcul du ratio de condensateurs minimal réalisable. Enfin, une remarque sur l'outil de CAO de filtres en ligne d'Analog Devices [8] : il semble insister sur un ratio de condensateurs fixe de 1/1 ou de 1/10. Le plus grand de ces rapports tend à conduire à une grande dispersion des valeurs, ce qui ne me paraît pas idéal. ◀

210041-04

Contributeurs

Auteur : Alfred Rosenkränzer

Rédaction : Thomas Scherer

Traduction : Yves Georges

Mise en page : Giel Dols

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur

(alfred_rosenkraenzer@gmx.de) ou

contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

LIENS

[1] « Conception de filtres analogiques (2) », A. Rosenkränzer, Elektor, 11-12/2020 : www.elektormagazine.fr/200452-03

[2] « Electronic Circuits: Handbook for Design and Application », U. Tietze, C. Schenk et E. Gamm, Springer : <http://tietze-schenk.com/tsbook.htm>

[3] Télécharger FilterPro Desktop V.3.1.0.23446 : www.softpedia.com/get/Science-CAD/FilterPro-Desktop.shtml

[4] Guide de l'utilisateur de FilterPro (en anglais) : www.ti.com/lit/an/sbfa001c/sbfa001c.pdf

[5] Outil de conception de filtres en ligne : <https://webench.ti.com/filter-design-tool/topology>

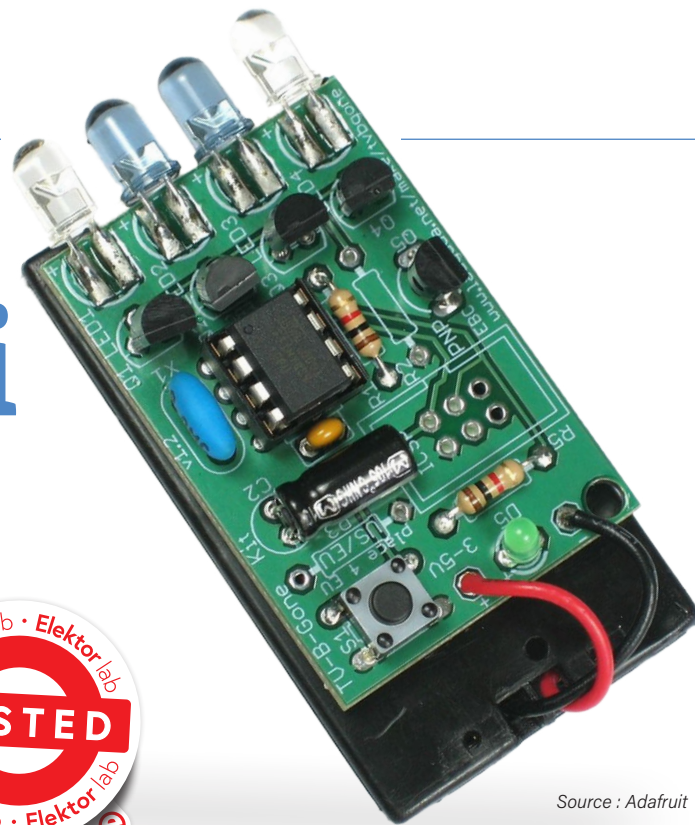
[6] « Bandstop Filters and the Bainter Topology », B. C. Baker, Analog Applications Journal : www.ti.com/lit/an/slyt613/slyt613.pdf

[7] Filtre à topologie de Fliege : <http://earmark.net/gesr/opamp/notch.htm>

[8] Assistant de filtre analogique (en ligne) : <https://tools.analog.com/en/filterwizard/>

éteins-moi cette télé !

avec TV-B-Gone



Source : Adafruit

Luc Lemmens (Elektor)

Vous dînez avec des amis dans un restaurant où les téléviseurs sont bruyants ? Vous voulez faire une blague aux téléspectateurs innocents ? Il suffit de pointer et de cliquer !



Il y a longtemps, les télécommandes sans fil de certains téléviseurs coûteux fonctionnaient avec des ultrasons. L'histoire nous raconte qu'un propriétaire d'un de ces appareils luxueux le renvoyait souvent au fournisseur pour réparation, car, soit la télé, soit la télécommande fonctionnait de manière erratique : changement de chaîne aléatoire, changement du volume ou arrêt soudain... Au désespoir du propriétaire et du technicien réparateur, la cause du dysfonctionnement n'a pu être identifiée ; dans l'atelier de réparation, tout fonctionnait bien. Lorsque le technicien a installé pour la énième fois la TV dans le salon du propriétaire, ce dernier a remarqué par hasard que la télé s'éteignait immédiatement dès que son perroquet de compagnie bien-aimé ouvrait son bec. Apparemment, l'animal a imité le son (inaudible par

les oreilles humaines) de la télécommande ! Que cette histoire soit vraie ou non, nous la laisserons de côté, mais elle reste certainement amusante. Plus tard, à l'époque des télécommandes à infrarouge, on a entendu des histoires d'enfants (non, les adultes ne font pas cela) commandant la télévision des voisins en se tenant secrètement derrière la fenêtre du salon avec une télécommande. Bien entendu, la seule condition est que l'appareil fonctionne avec le même protocole IR que la télé en question. Le kit dont nous allons parler ici ne court aucun risque : la télécommande émet plus de 230 codes IR différents pour éteindre plus de 230 types de téléviseurs et est censée être efficace sur une distance de 45 m ! La plupart des téléviseurs utilisent le même code pour la mise en marche et l'arrêt, donc dans ce cas, cette télécommande peut également allumer une télé (de plus).

Kit TV-B-Gone

TV-B-Gone signifie « télé, va-t-en » en français. Adafruit a produit un kit contenant un circuit imprimé et tous les composants nécessaires pour construire cette télécommande, conçue par Mitch Altman, et désormais disponible dans l'e-shop Elektor [1]. Comme pour beaucoup de produits de nos jours, il est livré avec un lien imprimé sur l'emballage, aucune documentation papier n'est fournie avec le kit. Pour compenser, beaucoup d'informations très claires sont disponibles sur le site d'Adafruit [2], GitHub [3], et le site du concepteur [4].

La première page contient toute la documentation dont vous avez besoin pour construire et utiliser le kit. Les instructions sont clairement illustrées et faciles à suivre. Elles vous permettent donc de réussir ce projet même si vous n'avez jamais assemblé de circuit, que vous maîtrisez la soudure ou que vous vous y initiez. Malgré la compacité de la carte, il s'agit d'une bonne façon de vous entraîner à un travail soigné et précis. Pensez à lire la section *Design Notes* qui contient des informations de base utiles sur le matériel et les codes de la télécommande.

Si vous souhaitez modifier le matériel (le circuit imprimé) ou le micrologiciel (par exemple, si vous souhaitez ajouter des codes IR pour des appareils qui ne sont pas pris en charge), GitHub est l'endroit idéal pour le faire. Le code source et les fichiers Eagle du schéma et du circuit imprimé s'y trouvent. Bien entendu, ces informations sont destinées aux utilisateurs plus expérimentés. Sur le site Web de Mitch Altman, d'autres projets similaires pour surveiller et influencer le comportement des téléspectateurs sont disponibles. Vous y trouverez peut-être d'autres produits utiles, ou peut-être vous inspireront-ils pour créer vos propres applications dans ce domaine.

Matériel

Le schéma du TV-B-Gone est présenté dans la **figure 1**. Rien de trop compliqué et la majeure partie du travail est effectuée par le logiciel. Si vous appuyez et relâchez le bouton-

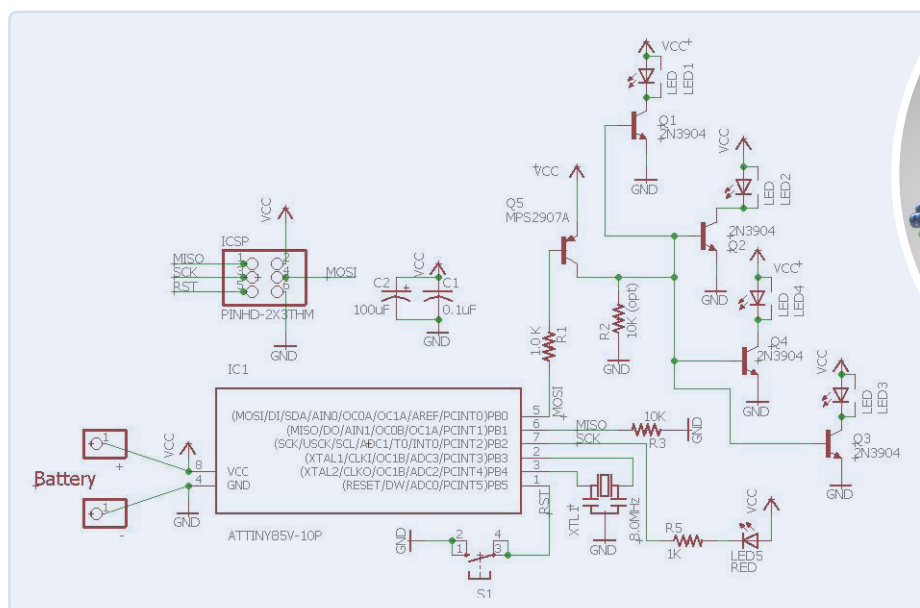


Figure 1. Schéma.

poussoir S1, l'analyse séquentielle de tous les codes d'extinction disponibles commence via les transistors Q1 à Q5 et les LED IR LED1 à LED4. La LED5 est utilisée pour indiquer que TV-B-Gone est actif. Le kit est livré avec un microcontrôleur ATtiny85 préprogrammé ; le connecteur à six broches permet de connecter un adaptateur de programmation AVR-ISP, vous n'en avez pas besoin, sauf si vous voulez expérimenter avec le micrologiciel.

Construire TV-B-Gone

La **figure 2** montre le contenu du kit, vérifiez toujours si tous les composants sont dans la pochette, en consultant la liste sur le site d'Adafruit. Notez qu'il existe différentes versions de la nomenclature des matériels, nous avons testé la version V1.2 ; le numéro de version est imprimé sur les deux côtés du circuit imprimé.

En suivant les instructions et les photos de la section **Solder It !** (soudez-le) du site Web d'Adafruit, vous pourrez facilement assembler le kit. Les électroniciens expérimentés vont probablement sauter cette étape et commencer directement à souder. Ce n'est vraiment pas difficile à construire. Mais, pour les débutants : suivez simplement le guide.

Utilisation de la télécommande

La procédure est simple : appuyez et relâchez le bouton-poussoir et les LED IR commenceront à émettre des codes marche/arrêt. La LED verte clignote pour indiquer que le circuit est actif. La transmission de tous les

codes prend un moment (jusqu'à plus d'une minute !) avant que le code correspondant à votre téléviseur soit transmis.

J'ai été impressionné par les spécifications de cette télécommande. Elle est censée être efficace à une distance de plus de 40 m (150 pieds). Mon salon est un peu petit pour tester cette portée, mais il était surprenant de pouvoir commander un téléviseur depuis la pièce voisine ou le coin de la rue, et d'utiliser les murs comme réflecteurs des rayons infrarouges. Pas mal du tout !

Ce sera amusant d'utiliser une autre télécommande secrètement et de voir la réaction des téléspectateurs qui ne se doutent de rien. Le TV-B-Gone ajoute une sortie IR amplifiée pour une portée beaucoup plus grande qu'une télécommande standard et, bien sûr, plus de 230 codes différents pour éteindre (presque ?) toutes les télévisions avec télécommande IR disponibles sur le marché. Mais avant de commencer à jouer avec ce gadget TV-B-Gone, assurez-vous que votre ou vos victimes apprécient ce genre d'humour. Certaines personnes risquent de se mettre en colère, voire d'être agressives, lorsque vous

interrompez leur émission préférée, ou lorsque leur équipe sportive favorite est sur le point de marquer dans la dernière minute du jeu et que la télévision s'éteint soudainement. Il y a peu de chance qu'ils découvrent que c'était vous avec cette petite télécommande, mais quand même, faites attention ! 

(220236-04) — VF : Asma Adhimi

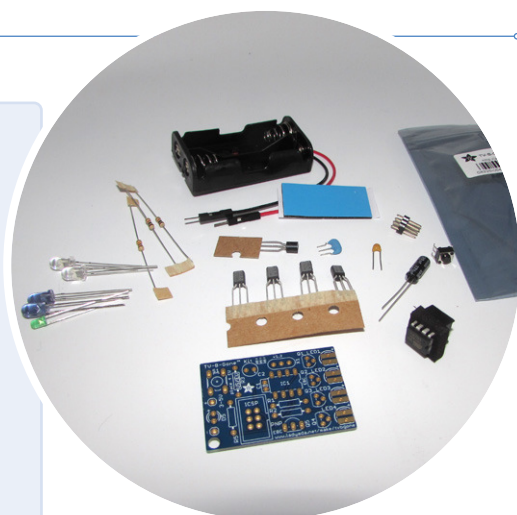


Figure 2. Contenu du kit.

Des questions, des commentaires ?

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



PRODUITS

➤ **Kit TV-B-Gone – Télécommande TV universelle (SKU 20140)**
www.elektor.fr/20140

LIENS

- [1] Achetez le kit : <https://elektor.fr/20140>
- [2] Instructions de construction : <https://learn.adafruit.com/tv-b-gone-kit>
- [3] Logiciels et fichiers de conception : <https://github.com/adafruit/TV-B-Gone-kit>
- [4] Site web du Concepteur : www.tvbgone.com/

Mesure de la qualité de l'air avec le RP2040

Claus Kühnel (Allemagne)

Début 2021, la Fondation Raspberry annonçait le Raspberry Pi Pico. Les lecteurs du magazine Elektor le savent, il ne s'agit pas d'un autre modèle de la famille RPi, mais d'une carte indépendante dotée du microcontrôleur RP2040. On peut l'utiliser pour mesurer la qualité de l'air. Les données sont acquises à partir d'un capteur de CO₂ puis transmises via un ESP8266 à ThingSpeak, la fameuse plateforme du nuage.

Même après l'annonce du RPi Pico, de nombreuses discussions controversées ont eu lieu sur l'Internet. Alors que certains accueillaient le nouveau microcontrôleur avec enthousiasme, d'autres se focalisaient immédiatement sur son manque de fonctionnalité. Elektor a essayé de donner un aperçu plus neutre dans [1] mais à l'époque le jugement était souvent très bipolaire, et il n'y avait guère de place pour des opinions différenciées.

Entre-temps, Arduino introduisait sur le marché l'Arduino Nano RP2040 Connect. Le microcontrôleur RP2040 amélioré par un module radio ublox NINA-W102 permet de constituer un dispositif IdO complet avec une connectivité Wifi et BLE. Si vous utilisez l'Arduino Nano RP2040 Connect dans un projet, vous utiliserez probablement aussi les EDI Arduino ou PlatformIO. Mais aucun des deux ne prend en charge

certaines spécificités du RP2040, comme le double cœur et le PIO. Autrement, avec le RPi Pico seul, vous avez le choix entre les SDK Raspberry Pi Pico C/C++ et Raspberry Pi Pico Python, qui prennent tous deux en charge toutes les fonctionnalités de ce microcontrôleur. En revanche, c'est la prise en charge de toute communication sans fil qui vous fera alors défaut. Il existe néanmoins suffisamment de modules de communication disponibles aujourd'hui pour ajouter cette fonctionnalité.

Grâce à la prise en charge de multiples microcontrôleurs et des nombreuses bibliothèques disponibles, j'utilise souvent l'EDI Arduino pour mes projets. La nouvelle version majeure de l'EDI Arduino est plus rapide et encore plus puissante. L'Arduino EDI 2.0 est en train de passer au statut stable avec une série de versions préliminaires (RC). En avril 2022, la version RC 2.0.0-rc6 de l'EDI Arduino 2.0 était disponible, téléchargeable à l'adresse [2]. En plus d'un éditeur plus moderne et d'une interface plus réactive, il propose l'autocomplétion, la navigation dans le code, et même un débogueur en direct.

Raspberry Pi Pico

Le microcontrôleur RPi Pico ne sera abordé que brièvement car il a déjà fait l'objet de nombreuses évaluations et la plupart des lecteurs le connaissent. Je n'entrerai dans les détails que de mon point de vue. La carte RPi Pico dispose d'une infrastructure minimale pour faire fonctionner le microcontrôleur RP2040 (**figure 1**). Les broches crénelées de la carte sont identifiables, ce qui permet d'assembler facilement (soudure carte à carte) le RPi Pico sur une carte porteuse. On utilise depuis longtemps les broches crénelées sur divers modules de circuits imprimés (les modules Bluetooth ou WiFi par ex.) pour les monter directement sur une autre carte.

Le RP2040 est un microcontrôleur rentable et puissant doté d'interfaces numériques modulables. Un processeur Cortex-M0+ à double cœur cadencé jusqu'à 133 MHz offre des performances suffisantes pour la plupart des applications IdO.

La **figure 2** montre les multiples affectations des GPIO du RPi Pico, ce qui se traduit par un haut degré de modularité dans la conception du matériel. Vous pouvez voir que les deux UART, les deux bus I2C et les

Tableau 1. Broches et fonctions principales

Broche	Direction E/S	Fonction
GPIO29	entrée	ADC3 capture VSYS / 3
GPIO25	sortie	LED utilisateur
GPIO24	entrée	Détection VBUS - haut si VBUS est présent, bas sinon
GPIO23	sortie	Contrôle du SMPS intégré

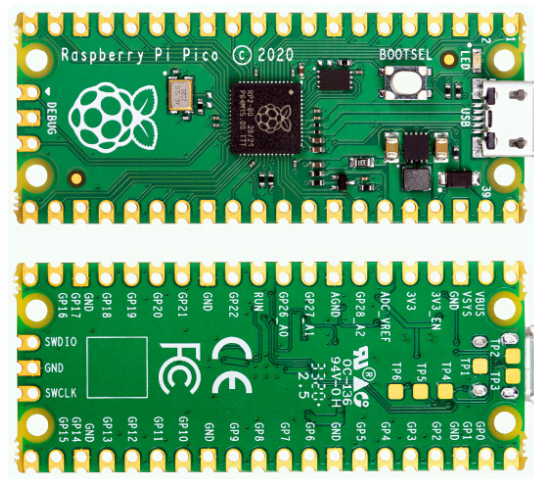


Figure 1. Vue de dessus et de dessous du RPi Pico (Image : fiche technique du RPi Pico).

deux bus SPI sont disponibles plusieurs fois. Seules les connexions CA/N internes sont affectées à des broches fixes. Certains GPIO servent à des fonctions internes. Le **tableau 1** présente les GPIO concernés et leur fonctionnalité. En plus de ces GPIO, sept autres connexions sont disponibles vers l'extérieur. Le **tableau 2** indique la désignation des connexions et leur fonction.

Le 3,3 V commutable (OUT) peut déconnecter les capteurs ou actionneurs de la tension d'alimentation pour économiser de l'énergie. Cela peut être très intéressant pour les applications IdO alimentées par batterie. Si la précision du CA/N ne doit pas être élevée, la tension de référence générée en interne est suffisante. On peut améliorer la

précision avec une tension de référence externe. Celle-ci peut être générée avec un LM4040, par exemple, et appliquée à la connexion ADC_VREF (**figure 3**). Notez que le CA/N de l'actuel RP2040 a encore quelques problèmes de linéarité. Ceci affecte toutes les cartes basées sur le RP2040.

Maker Pi Pico

Le RPi Pico n'est pas la seule carte basée sur le RP2040. Adafruit, Sparkfun, Pimoroni et d'autres fabricants réputés sont présents sur le marché avec leurs variantes de cartes à microcontrôleur basées sur le RP2040. Vous pouvez mesurer la qualité de l'air avec n'importe

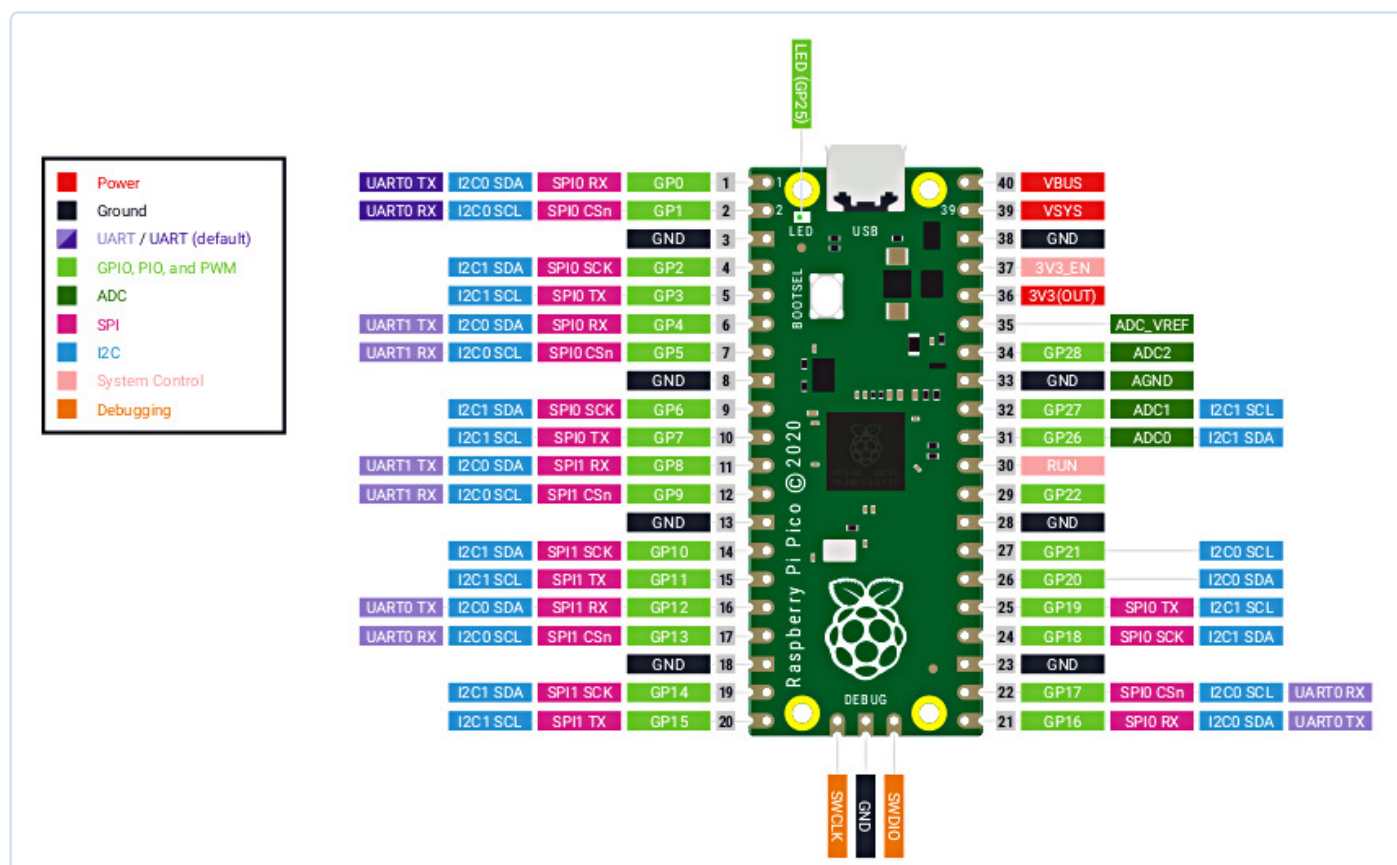


Figure 2. Brochage du RPi Pico (Image : [9]).

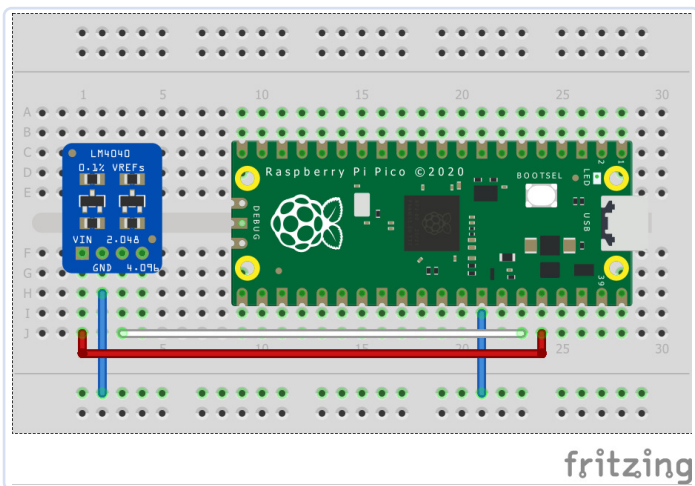


Figure 3. ADC_VREF externe avec le LM4040.

laquelle de ces cartes. J'utilise le Maker Pi Pico à cette fin en raison de l'excellente base expérimentale fournie par Cytron Technologies. Dans la boutique Elektor, vous trouverez d'autres cartes ainsi que des modules complémentaires pour vos projets [3].

Le fabricant Cytron Technologies utilise le slogan « Simplifier le RPi Pico pour les débutants » pour faire la publicité de sa carte Maker Pi Pico (figure 4). Il est toujours important de jouer sur un terrain connu et stable lorsqu'on a affaire à un nouveau microcontrôleur. Le nouvel environnement et les nouveaux outils offrent suffisamment d'occasions de commettre des erreurs.

Le RPi Pico est déjà soudé, et on peut voir les connecteurs Grove à gauche et à droite de la carte. Il y a un emplacement pour une carte microSD. La connexion pour un module ESP-01 en bas à droite est essentielle pour obtenir une connexion à l'Internet. Face aux nombreux modules Wi-Fi plus récents, l'ESP-01 basé sur l'ESP8266 d'Espressif reste un bon vieux module pour cet usage.

La figure 5 montre le brochage de la carte Maker Pi Pico. Vous y trouverez également les broches correspondantes du RPi Pico. Le bouton de réinitialisation de la carte (absent sur le RPi Pico) est essentiel faciliter le travail. Une LED RVB Neopixel permet de signaler les différents états.

Tableau 2. Autres broches et fonctions

Broche	Nom	Fonction
40	VBUS	Tension USB (5 V). Une alimentation externe via USB peut être détectée via GPIO24 (haut : tension disponible ; bas : pas de tension disponible).
39	VSYS	Tension d'entrée du système ; plage de 1,8 à 5,5 VCC. Le SMPS intégré génère les 3,3 V pour alimenter le RP2040 et ses GPIO.
37	3V3_ EN	Fixé au niveau haut par une résistance de rappel. Connecté à GND, le 3,3 V est désactivé.
36	3V3 (OUT)	Alimentation 3,3 V pour les composants externes. La charge doit être ≤ 300 mA.
35	ADC_ VREF	Tension d'alimentation et référence pour le CA/N. L'utilisation d'une référence de tension externe pour une meilleure précision est possible.
33	AGND	Masse analogique pour GPIO26 à 29. Si le CA/N n'est pas utilisé ou si sa précision n'est pas critique, cette broche peut être connectée à la masse numérique (GND).
30	RUN	Mis à l'état haut via une résistance de rappel. Un niveau bas réinitialise le RP2040. Il n'y a pas de bouton de réinitialisation.

La figure 5 montre également les multiples affectations des GPIO du RPi Pico aux connecteurs Grove. Vous pouvez voir que les deux UART, les deux bus I²C et les deux bus SPI sont disponibles plusieurs fois. Seuls les deux canaux CA/N sont affectés de manière fixe au connecteur Grove6. Trois GPIO sont connectés à des boutons programmables et plusieurs sorties à la LED RVB NeoPixel, au buzzer piézoélectrique et à l'audio. Le module Wi-Fi ESP-01 a déjà été mentionné. L'ajout d'un module Wi-Fi ESP-01 élimine le principal défaut du RP2040. La combinaison d'une carte RP2040 et d'un module Wi-Fi ESP8266 coûte généralement moins de 12 €. Comparez cela aux 30 € que vous devez payer normalement pour la carte Arduino Nano RP2040 Connect.

Mesurer la qualité de l'air

La qualité de l'air est une question essentielle en ces temps de Corona. Le risque d'infection est plus faible pendant l'été, mais les prévisions varient pour cet automne et cet hiver. Les polluants tels que la poussière fine, les fibres d'amiante, le formaldéhyde, le PCB, le radon, les produits de nettoyage, les moisissures, la poussière, la fumée de tabac et les composés organiques volatiles (COV) affectent la qualité de l'air intérieur, en plus du CO₂.

La proportion de dioxyde de carbone dans l'air que nous respirons aujourd'hui est d'environ 415 ppm ($\approx 0,04$ %). L'air expiré par une personne a une teneur en CO₂ d'environ 40 000 ppm. Par conséquent, dans les chambres à coucher non ventilées, les salles de classe entièrement occupées ou les salles de réunion, nous pouvons rapidement mesurer jusqu'à 5 000 ppm. Ces concentrations élevées de CO₂ sont néfastes pour l'attention, les performances et la santé en général. Si vous souhaitez évaluer la qualité de l'air de manière exhaustive, vous devez prévoir un système complexe de capteurs. Dans un système

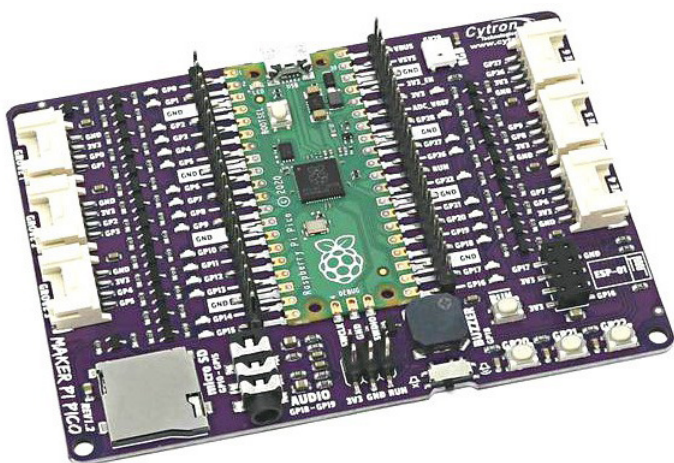


Figure 4. Vue de dessus du Maker Pi Pico (Image : Cytron).

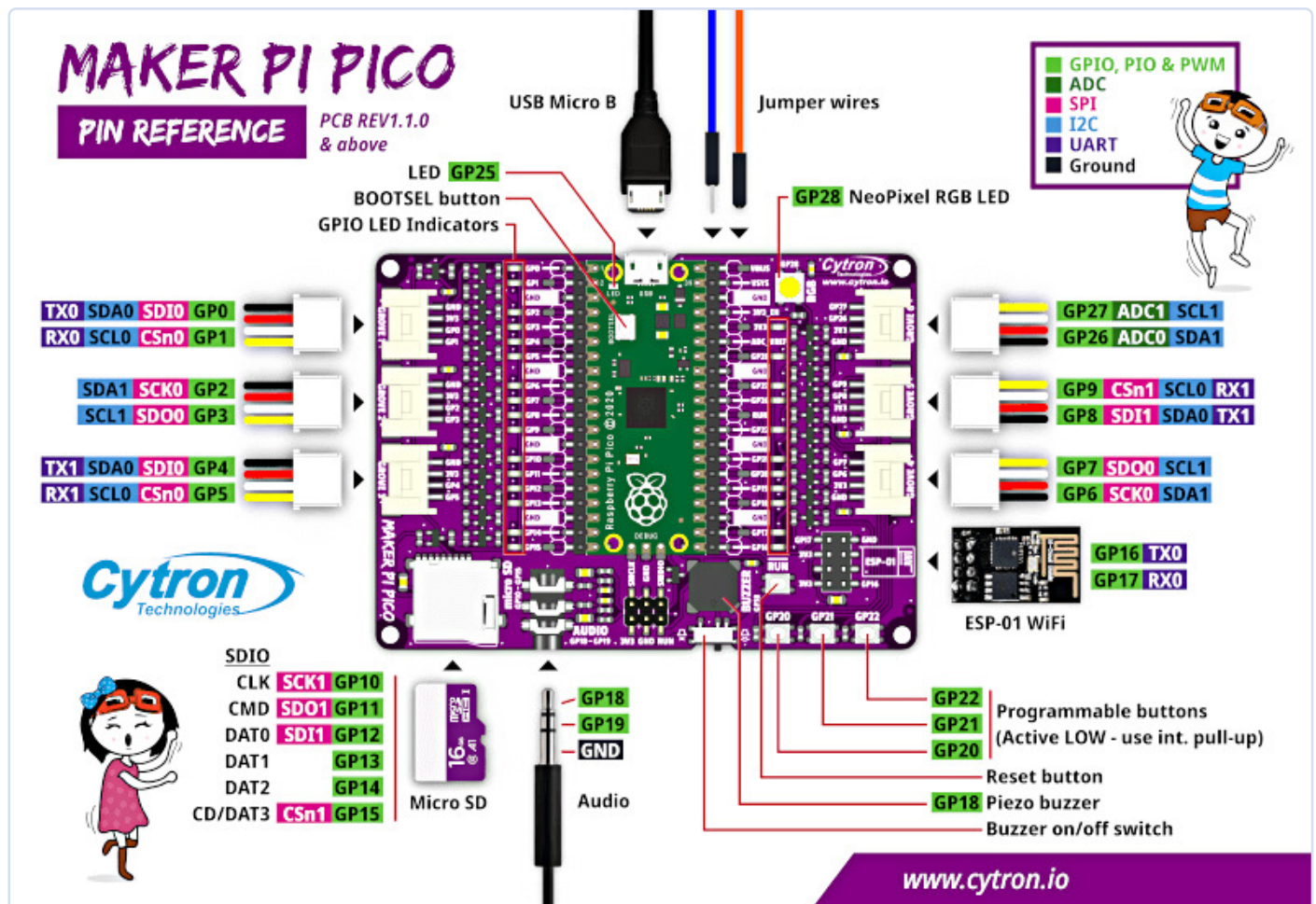


Figure 5. Brochage de la carte Maker Pi Pico (Image : Cytron).

de mesure professionnel, par exemple, différents capteurs mesurent les valeurs de CO₂, de poussières fines (catégories de taille pertinentes : PM1, PM2.5 et PM10), de NO₂, de CO, le bruit, la température, l'humidité et la pression atmosphérique. Cet article se concentre sur la mesure de deux valeurs importantes, le CO₂ et les COV, qui peuvent être mesurés par deux types de capteurs :

- Les capteurs NDIR (Non-Dispersive Infrared Sensors) utilisent l'absorption du rayonnement électromagnétique dans la gamme infrarouge en fonction de la concentration. L'absorption maximale de CO₂ se produit à une longueur d'onde de 4,3 µm, sans grande influence des autres gaz. La concentration de CO₂ peut donc être mesurée simplement et de manière très sélective.
- Avec les capteurs MOX, le gaz qui circule provoque une modification d'une couche d'oxyde métallique sensible au gaz. La modification de la résistance mesure la concentration des COV enregistrés dans leur intégralité car insolubles dans une substance particulière. Avec les capteurs MOX à large bande mesurant les COV, on dispose de capteurs qui détectent toute une série de substances dangereuses pour la santé à des concentrations spécifiques.

Comme indiqué, cet article se concentre sur la mesure du CO₂ et des COV. Supposons que nous utilisons la concentration de CO₂ comme mesure de la qualité de l'air. Nous avons alors une bonne indication de la pollution de la qualité de l'air par l'air expiré par les personnes

présentes et du risque associé d'infection par des virus transmis par les aérosols.

Supposons que nous utilisons des capteurs MOX à plus large bande pour mesurer la qualité de l'air. Dans ce cas, nous avons une bonne indication de la pollution de la qualité de l'air par divers polluants, y compris les vapeurs et les odeurs humaines. Dans une étude approfondie, j'ai examiné le comportement des capteurs NDIR et MOX lors de la mesure de la qualité de l'air [4]. Désolé, le texte est en allemand, mais la **figure 6** montre un résultat important. Dans l'une de ces expériences, j'ai fait des mesures avec deux capteurs CO₂ et un capteur MOX. Les capteurs de CO₂ utilisés étaient le SCD30 (NDIR) et le SCD41 (PASense), développés par la société suisse Sensirion. Le capteur de MOX était un SGP30 également de Sensirion. Comme il n'y avait pas de substances supplémentaires en plus des vapeurs humaines, les valeurs mesurées par le capteur MOX SGP30 suivent également les deux capteurs de CO₂ SCD30 et SCD41.

La mesure de la qualité de l'air des capteurs MOX, plus économiques, donne des résultats comparables à la concentration de CO₂ pur partout où l'air respiré et les vapeurs humaines sont dominants. Des écarts apparaissent dans les environnements pollués (par exemple, avec le formaldéhyde).

Qualité de l'air via le capteur MOX

Comme un capteur MOX suffit pour mesurer la qualité de l'air, j'ai utilisé le Sensirion SGP30 dans mon projet. Ce capteur mesure les concentrations de composés organiques volatils totaux (COVT) et

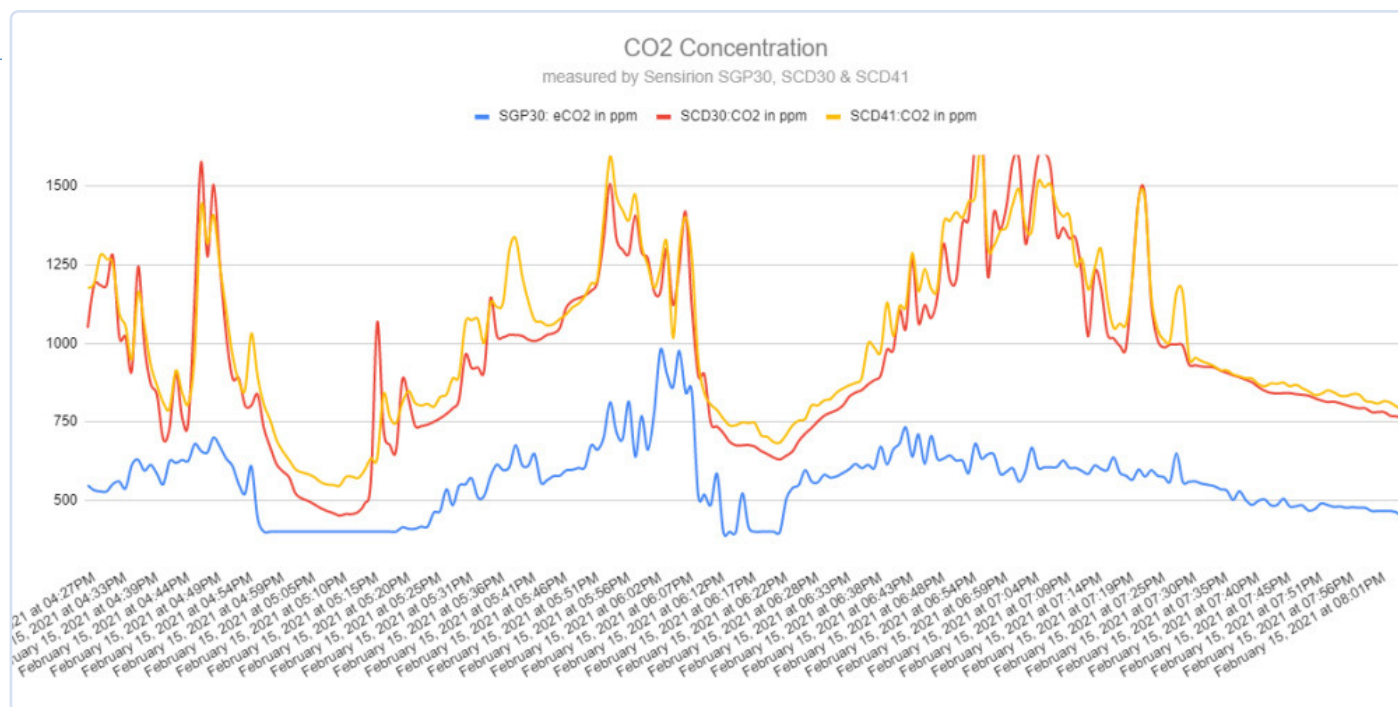


Figure 6. Concentration de CO_2 mesurée par le NDIR et le capteur MOX.



Figure 7. SGP30 (Image : fiche technique Sensirion SGP30).

les concentrations calculées équivalentes de CO_2 (eCO_2). eCO_2 est calculé sur la base de la concentration de H_2 et n'est donc pas aussi précis que la mesure directe du CO_2 , mais cela suffit pour mon objectif. Ne pouvant pas manipuler la puce (figure 7) elle-même, j'ai utilisé l'unité M5Stack TVOC/ eCO_2 . Il s'agit d'un SGP30 mis en boîtier, connectable via un connecteur Grove I²C (figure 8).

Un écran OLED de 2,4 cm connecté via I²C affiche les valeurs mesurées pour TVOC et eCO_2 . L'ESP-01 se charge de l'accès à l'Internet et est connecté via l'interface UART Serial1 au RPi Pico. La figure 9 montre tous les périphériques utilisés connectés à la carte Maker Pi Pico. Le NeoPixel sert de feu de signalisation. Le vert signifie que la qualité de l'air est bonne, le jaune qu'elle l'est moins et le rouge qu'elle est mauvaise (il est alors indispensable de ventiler).

La figure 10 montre le circuit complet. Le contrôleur interroge le capteur SGP30 toutes les cinq secondes et transmet les dernières



Figure 8. Capteur TVOC/ eCO_2 M5Stack2 (Image : M5Stack).

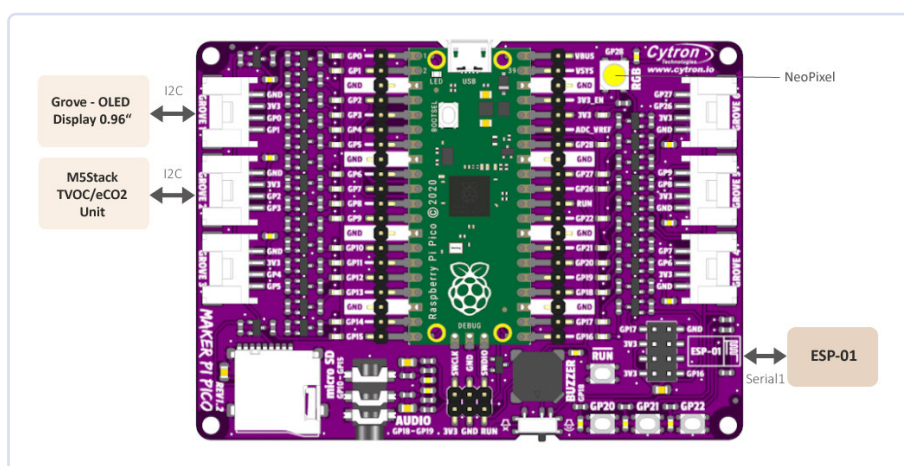


Figure 9. Périphériques utilisés connectés au Maker Pi Pico (Image : Cytron/Auteur).

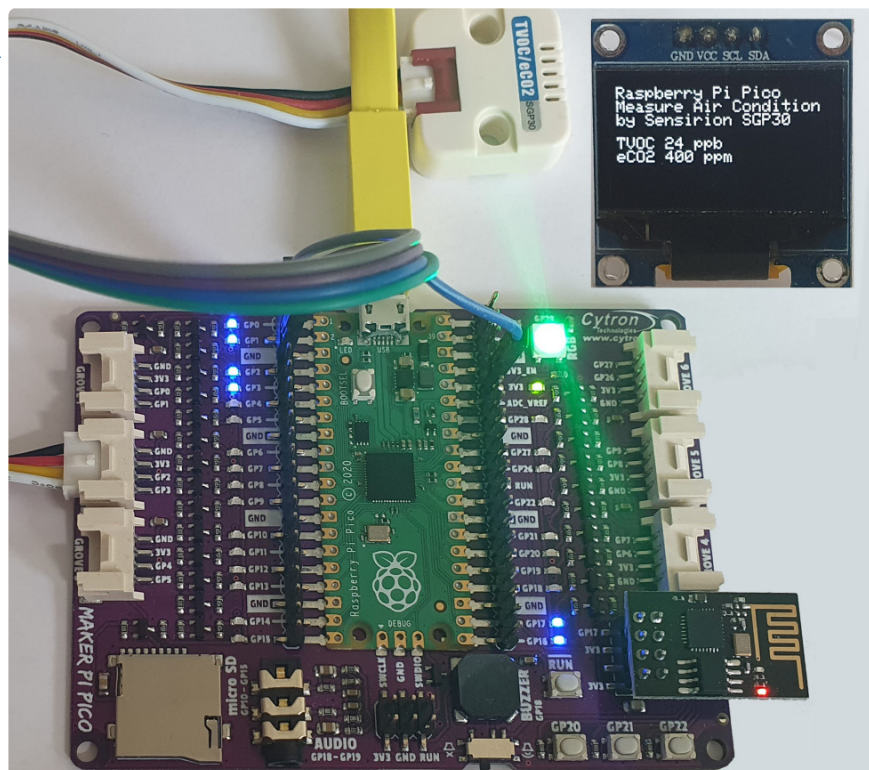


Figure 10. Mesure de la qualité de l'air avec Sensirion SGP30 et RPi Pico.

valeurs mesurées au serveur ThingSpeak une fois par minute. La couleur de la LED NeoPixel correspond à la valeur mesurée d'eCO₂ et peut être facilement ajustée (**figure 11**).

Pour visualiser les valeurs mesurées sur ThingSpeak, les données sont envoyées via un accès HTTP GET à l'API ThingSpeak. La **figure 12** montre la visualisation des valeurs mesurées dans ThingSpeak [5].

Logiciel

Pour cette application, j'ai utilisé l'EDI Arduino 2.0, comme mentionné dans la préface. Earle F. Philhower III a effectué le portage de la programmation du RPi Pico dans l'EDI Arduino. Grâce à son travail, on peut maintenant programmer toutes les différentes cartes RP2040 avec l'EDI Arduino. Ce portage du RP2040 (processeur RPi Pico) vers l'écosystème Arduino utilise le SDK Raspberry Pi

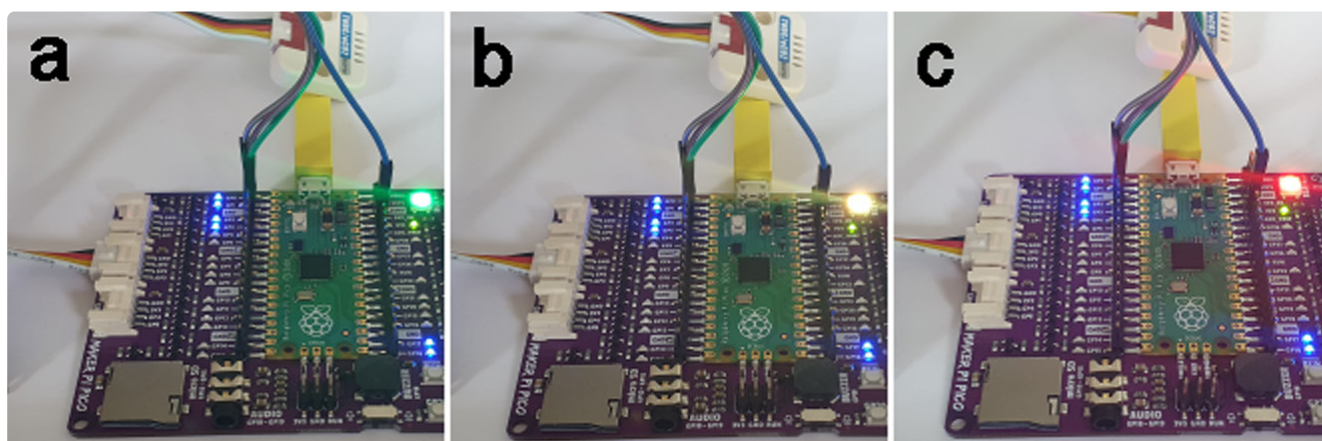


Figure 11. Signalisation de la valeur mesurée d'eCO₂ par la couleur de la LED RVB NeoPixel.

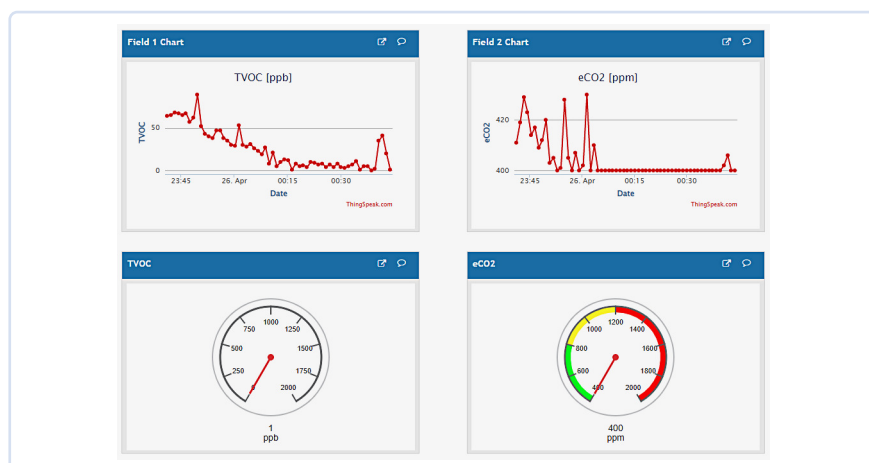


Figure 12. Affichage de Thingspeak.

Pico nu et une chaîne d'outils GCC 10.3/Newlib 4.0 personnalisée.

En mode d'amorçage, les cartes sont automatiquement reconnues et affichées dans l'EDI Arduino. La commande de téléchargement fonctionne avec l'outil Microsoft UF2 (inclus). Vous pouvez trouver les instructions d'installation et d'utilisation sur GitHub [6].

La **figure 13** montre le programme d'exemple *RP2040_WiFi.ino*. Il utilise deux fichiers supplémentaires, *sendMessage.ino* et *arduino_secrets.h*. Ils sont disponibles en téléchargement sur GitHub [7]. Lors des premières compilations de cette version du logiciel, le compilateur a

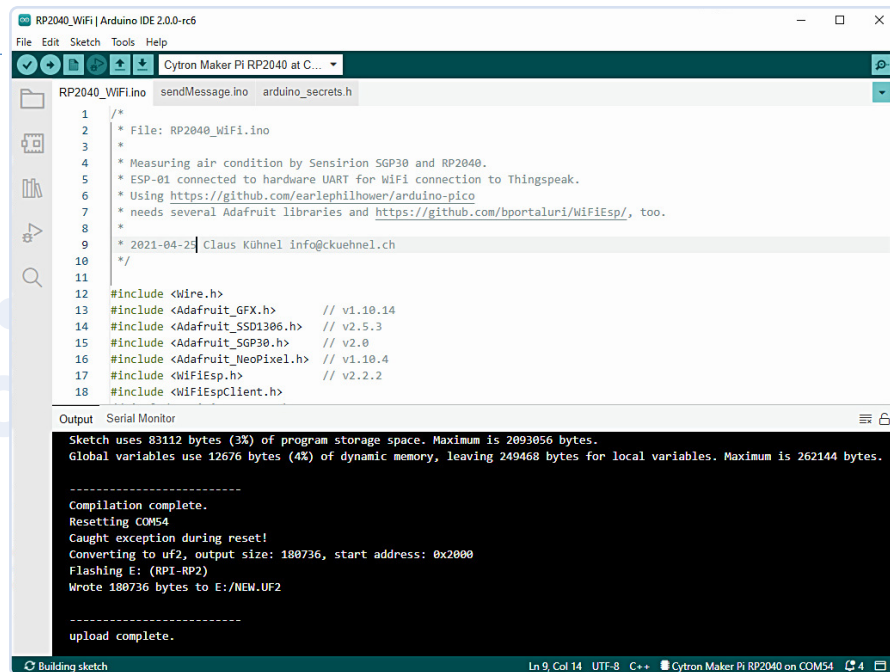


Figure 13. Exemple de programme RP2040_WiFi.ino dans l'EDI Arduino 2.0.

trouvé deux erreurs dans le fichier WiFiEspClient.cpp de la bibliothèque WiFiEsp v2.2.2. Après avoir ajouté les déclarations de retour manquantes, cela a fonctionné.

```
size_t WiFiEspClient::print(const __FlashStringHelper
    *ifsh)
{
    return printFSH(ifsh, false); // 2022-04-25 CK
}

// si nous surchargeons ceci, le println standard
// appellera deux fois la méthode d'impression
size_t WiFiEspClient::println(const __
    FlashStringHelper *ifsh)
{
    return printFSH(ifsh, true); // 2022-04-25 CK
}
```

Le programme *RP2040_WiFi.ino* comprend toutes les bibliothèques nécessaires. J'ai indiqué leurs versions utilisées en commentaire. Les déclarations et initialisations suivent avant la fonction `setup()`. L'initialisation des périphériques est intéressante et souligne la modularité du RP2040. Le code suivant est un extrait du code source commenté montrant l'affectation des fonctions aux GPIO et leur initialisation.

```
//I2C0 pour la connexion du SSD1306
Wire.setSDA(0);
Wire.setSCL(1);
Wire.begin();
...
// I2C1 pour la connexion du SGP30
Wire1.setSDA(2);
Wire1.setSCL(3);
Wire1.begin();
...
```

```
//Serial1 pour la connexion de l'ESP-01
Serial1.setRX(17);
Serial1.setTX(16);
Serial1.begin(115200);
WiFi.init(&Serial1);
```

Les valeurs eCO₂ inférieures à 800 sont indiquées par une LED verte. La LED s'allume en jaune entre 800 et 1200. Au-delà de 1200, la LED devient rouge (**figure 11c**). Modifiez ces niveaux en fonction de vos besoins.

La fonction `sendMessage()` se charge de l'accès HTTP GET à l'API de Thingspeak. La ligne

```
client.println("GET /update?api_key=" + api_key +
    "&field1=" + String(TVOC) + "&field2=" +
    String(eCO2) + " HTTP/1.1");
```

envoie la clé API, les valeurs TVOC et eCO₂ à l'API de Thingspeak (**figure 14**). En outre, vous pouvez voir dans cette capture d'écran la sortie série du programme après la réinitialisation.

Pour l'accès wifi, il faut, dans le fichier `arduino_secrets.h`, préciser votre SSID et votre mot de passe et pour Thingspeak, le jeton d'écriture. L'inscription à Thingspeak est requise. Les données dans le code suivant sont des exemples non fonctionnels.

```
// Accès aux données pour les services

// wifi
const char* ssid = "Sunrise_2.4GHz_8xxxxx0";
const char* pass = "u2uxxxxxDs";

// Thingspeak
// GET https://api.thingspeak.com/
```

```

21 void sendMessage()
22 {
23     // close any connection before send a new request
24     // this will free the socket on the WiFi shield
25     client.stop();
26
27     Serial.println("Starting connection to server...");
28     // if you get a connection, report back via serial
29     if (client.connect(server, 80))
30     {
31         Serial.println("Connecting...");
32         // Make a HTTP request
33         client.println("GET /update?api_key=" + api_key + "&field1=" + String(TVOC) + "&field2=" + String(eCO2) + " HTTP/1.1");
34         client.println("Host: api.thingspeak.com");
35         client.println("Connection: close");
36         client.println();
37     }
38 }

```

Output Serial Monitor x

Message (Ctrl + Enter to send message to 'Cytron Maker Pi RP2040' on 'COM54')

```

RP2040 Air Condition Measurement
Found SGP30 serial #01684D23
[WiFiEsp] Initializing ESP module
[WiFiEsp] Initialization successful - 1.5.4
Attempting to connect to WPA SSID: Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
[WiFiEsp] Connected to Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
You're connected to the network
SSID: Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
IP Address: 192.168.1.217
Signal strength (RSSI): -77 dBm
Initialization finished.
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm

```

Figure 14. Fonction `sendMessage()` dans le fichier `sendMessage.ino` et sortie série.

```

update?api_key=33xxxxxxSZE&field1=0&field2=0
const char* server = «api.thingspeak.com»;
String api_key      = «33xxxxxxSZE»;

```

Vous pouvez étendre cette application à un système en circuit fermé basé sur le matériel utilisé ici. Utilisez d'autres unités Grove pour contrôler la ventilation d'une pièce selon la valeur d'eCO₂, par exemple. En fonction de la température et de l'humidité, la régulation d'un système de climatisation est également possible. Vous devriez maintenant être

en mesure de développer d'autres idées pour mettre en œuvre l'automatisation dans votre environnement. La consultation d'un autre article d'Elektor [8] pourrait vous fournir des informations complémentaires sur la mesure de l'air et vous inspirer pour d'autres projets.

210636-04



PRODUITS

- **RP2040 controller boards and more @ Elektor**
www.elektor.com/raspberry-pi/rp2040
- **Sensors @ Elektor**
www.elektor.com/catalogsearch/result/?q=Sensors

À propos de l'auteur

Claus Kühnel a étudié les technologies de l'information à l'Université technique de Dresde et a développé pendant de nombreuses années des systèmes embarqués pour des appareils de diagnostic de laboratoire, entre autres. Dans ce domaine interdisciplinaire, il est entré en contact avec la scène maker. Il a publié de nombreux articles et livres sur le matériel et les logiciels de microcontrôleurs en Allemagne et à l'étranger. Il est passionné par les nouvelles technologies autour des microcontrôleurs.

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

LIENS

- [1] L. Lemmens, M. Claussen, « Carte Raspberry Pi Pico à RP2040 », Elektor 5-6/2021: www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-176/59572
- [2] Téléchargement EDI Arduino 2.0 (Windows 64 bits): https://downloads.arduino.cc/arduino-ide/arduino-ide_2.0.0-rc6_Windows_64bit.exe
- [3] Cartes microcontrôleur RP2040 et plus à Elektor: www.elektor.fr/raspberry-pi/rp2040
- [4] Mesurer la qualité de l'air avec des capteurs NDIR et MOX (allemand): <https://tinyurl.com/yvj9z5sb>
- [5] Résultats via Thingspeak: <https://thingspeak.com/channels/1392977>
- [6] Noyau Arduino Raspberry Pi Pico pour RP2040: <https://github.com/earlephilhower/arduino-pico>
- [7] Exemple RP2040_WiFi.ino: https://github.com/ckuehnel/Arduino2020/tree/master/RP2040/RP2040_WiFi
- [8] L. Lemmens, M. Claussen, « Détecteur de CO₂ : CO₂ Guard », Elektor 5-6/2022: www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-259/60520
- [9] Brochure du RPi Pico: <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/Pico-R3-A4-Pinout.pdf>

elekterminal

Low cost video terminal for μ P/TV typewriter applications

Titre et sous-titre du projet tels qu'imprimés dans le numéro de décembre 1978 de l'édition anglaise.

Jan Buiting (Elektor);
photos par Antoni Gendrau (Espagne)

En février 1979, Elektor a publié un article qui décrit un terminal pour la construction maison. Les terminaux dotés de tubes cathodiques et d'un clavier étaient destinés aux professionnels, à l'informatique centralisée, aux grands bureaux et aux gros budgets. Pour la première fois, les amateurs ont trouvé un moyen abordable de communiquer quotidiennement avec leur microprocesseur par écrit. ASCII et l'invite de commandes avec son curseur clignotant sont devenus des amis pour la vie.



Un elekterminal construit par Antoni Gendrau [2].

Le nom « elekterminal » remonte à l'utilisation progressive du terme par la rédaction néerlandaise de gauche et post-hippie d'Elektor au milieu et à la fin des années 70. Les majuscules, les espaces et l'orthographe du latin et du grec étaient supprimés, et la tendance néerlandaise à concaténer les noms et les adjectifs en un seul (long) mot était poussée à l'extrême. En plus, on a mis autant de « Elektor » ou « Elektuur » que possible dans ce nom de projet ! Par conséquent, on ne parlait pas d'« Elektor Terminal » ou

d'« ElekTerminal », mais d'**elekterminal** [1]. En y réfléchissant, « Elektuurminal » aurait été aussi drôle qu'approprié, mais seulement pour le public néerlandais.

HELLO via l'AY-5-1013

Les principaux composants de l'elekterminal étaient une puce de commande de tube cathodique SF.F 96364 (sic) de Thomson-CSF (Sescosem), un tas de RAM statiques 2102A 1 K x 1 pour la mémoire de page, et le fameux UART AY-5-1013 alias MM5303

pour les communications série. Dans le circuit logique de liaison, nous trouvons une ROM SFC71301E de 1024 bits. Ce composant semblait étrange pour de nombreux lecteurs à l'époque. Heureusement, le contenu de la PROM était imprimé dans le magazine et le composant était probablement disponible auprès du service logiciel d'Elektor (ESS) à cette époque. De plus, un équivalent a été décrit : le 74S387.

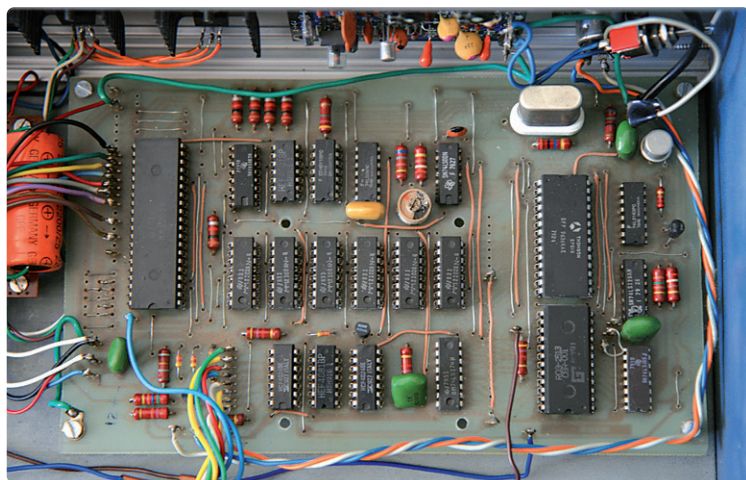
Sans déc ! Excellentes spécifications !

Les spécifications de l'elekterminal étaient décrites dans le magazine comme suit :

- 1024 caractères par page, formatés en 16 lignes x 64 caractères.



Couverture du magazine Elektor de février 1979.



Carte électronique d'elekterminal, entièrement gravée et réalisée par Antoni Gendrau. [2].

- Option plug-in pour l'extension à 16 pages.
- Vitesse de transmission : 75, 110, 150, 300, 600, 1200 baud.
- Options d'interface série : ASCII 6 ou 7 bits ; parité paire/impair/sans ; 1 ou 2 bits d'arrêt.
- Niveaux de tension TTL ou RS-232C.
- Signal vidéo normal (blanc sur gris) ou inversé (noir sur gris).
- Commande matérielle sophistiquée du curseur et défilement de l'écran.
- Mode duplex intégral ou semi-duplex.
- Seulement 21 circuits intégrés sur la carte.

L'elekterminal utilisait des caractères de 5x7 pixels plutôt que de 7x9 car, selon l'article : « Avec 64 caractères par ligne, la largeur de bande résultante est de plusieurs mégahertz, trop large pour les récepteurs de télévision conventionnels, et entraîne une mauvaise définition. Pour cette raison, la matrice 7x9 est généralement réservée à l'utilisation de moniteurs vidéo. » Bien que l'elekterminal permettait de commander un moniteur vidéo pro, la plupart des utilisateurs ont choisi de recourir à la télévision en connectant un modulateur TV réglé sur le canal VHF 2 ou UHF 21. Le modulateur était soit fait maison (Elektor, octobre 1978), soit acheté chez Maplin, ou bien connecté en boucle à un magnétoscope. Quant au clavier ASCII, il était, lui aussi, décrit dans Elektor, un mois plus tôt. Le terminal électrique et le clavier ASCII ont ensuite été réunis sous le nom de « TV Typewriter ».

Que de \$\$\$, pas d'_ERROR en 1978

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un appareil pionnier et qu'il s'agisse essentiellement d'une unité d'affichage, pour les amateurs, le terminal électrique a ouvert la voie à la communication série normalisée avec tout système informatique doté d'une interface série standard comme RS-232 ou même la boucle 20 mA, à un prix abordable.

L'elekterminal a connu un énorme succès dès le départ. Ses capacités, en particulier le format de l'écran et la vitesse de transmission de 1200 bauds, peuvent sembler antédiluviennes de nos jours, mais en fait, elles sont probablement à l'origine de tous les gigabits, 4K, 5G ou HyperTerminal que vous utilisez aujourd'hui, ou que vous comptez utiliser.

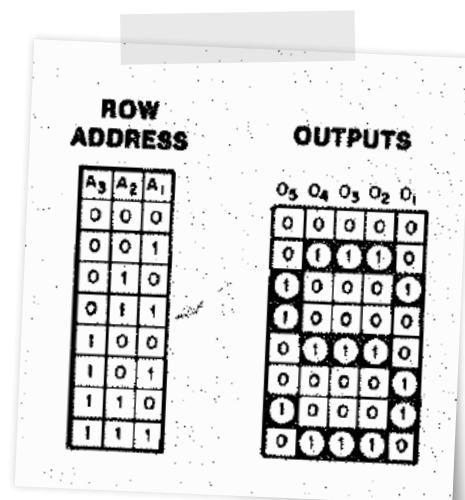
En ce qui concerne les prototypes de l'elekterminal, rien n'a survécu chez Elektor depuis la liquidation du laboratoire en 2006. C'est pourquoi les photos présentées ici sont tirées de l'article marrant d'Antoni Gendrau sur l'elekterminal publié dans le numéro d'octobre 2010 d'Elektor, dans la rubrique Rétronique [2]. J'ai cependant découvert un TV Typewriter (machine à écrire TV) parfaitement construite, exposée au musée de l'Histoire de l'ordinateur

à Mountain View, en Californie, en 2014. Ah, le son de ces touches à effet Hall du clavier Cherry... ◀

(220213-04) — VF : Asma Adhimi

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (jan.buiting@elektor.com).



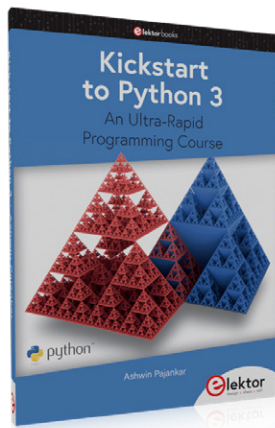
Matrice de caractères 5x7 utilisée dans l'elekterminal.

LIENS

- [1] « elekterminal », Elektor 2/1979 : www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-197902/54007
- [2] « Elekterminal » (Rétronique), Antoni Gendrau, Elektor 10/2010 : www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201010/11710

Bibliothèque Wand et traitement d'images

extrait du livre *Kickstart to Python 3*



Ashwin Pajankar (Pakistan)

Ashwin Pajankar, auteur du livre d'Elektor « Kickstart to Python 3 », se penche dans cet article sur un domaine où Python se classe parmi les meilleurs langages de programmation : le traitement d'images. Rejoignez Ashwin pour explorer une bibliothèque de traitement d'images nommée Wand, qui se distingue par sa capacité de programmation des effets spéciaux en toute simplicité et rapidité, bien entendu en Python.

Note de l'éditeur : cet article est un extrait du livre **Kickstart to Python 3** (Elektor, 2022), formaté et légèrement modifié pour correspondre aux normes éditoriales et à la mise en page du magazine Elektor. Puisque cet article est extrait d'une publication plus vaste, certains termes peuvent faire référence à des passages du livre d'origine situés ailleurs. L'auteur et l'éditeur ont fait de leur mieux pour l'éviter et seront heureux de répondre aux questions – pour les contacter, voir l'encadré « Des questions, des commentaires ? ».

Le traitement d'images implique l'utilisation d'algorithmes pour traiter le contenu des images. À l'époque des films analogiques et des images animées, il existait des procédés pour améliorer la qualité des images et des trames (dans une image animée) avec des techniques manuelles telle que l'utilisation de composés chimiques. C'était le prélude à la notion moderne de traitement d'images. Aujourd'hui, la plupart des images sont numériques. Bien entendu, le numérique n'a pas encore rattrapé les couleurs vives et la clarté de l'analogique (imagerie chimique sur film). Cependant, une grande majorité de personnes et d'organisations (de production et de traitement de films) utilisent l'imagerie numérique dans la production d'images et de vidéos puisqu'elle revient moins chère. Les ordinateurs modernes sont également suffisamment rapides pour le traitement des images numériques. En général, nous utilisons des langages de programmation modernes comme C, C++, Java, Python, MATLAB et GNU Octave pour traiter les images et les vidéos. Python simplifie le traitement des images grâce aux nombreuses bibliothèques tierces disponibles.

ImageMagick est un logiciel pour la manipulation des images. Il comprend des API pour différents langages de programmation. Nous pouvons utiliser la bibliothèque **Wand** qui fournit une interface Python à ImageMagick. Commençons par installer les logiciels nécessaires. Nous devons d'abord installer ImageMagick pour nos systèmes d'exploitation. Nous pouvons installer ImageMagick sur macOS avec les commandes suivantes :

```
brew install ghostscript
brew install imagemagick
```

Ces deux commandes permettent d'installer ImageMagick sur votre macOS. Mais si vous ne réussissez pas, vous devez l'installer manuellement. C'est simple - téléchargez le fichier zip trouvé à l'adresse [1] et copiez-le dans le répertoire personnel de votre utilisateur sous macOS. Extrayez-le avec la commande suivante :

```
tar xvf ImageMagick-x86_64-apple-darwin20.1.0.tar.gz
```

Nous devons maintenant ajouter quelques entrées au fichier **.bash_profile** qui se trouve dans le répertoire personnel de votre utilisateur sous macOS.

```
# Settings for ImageMagick
export MAGICK_HOME="$HOME/ImageMagick-7.0.10"
export PATH="$MAGICK_HOME/bin:$PATH"
export DYLD_LIBRARY_PATH="$MAGICK_HOME/lib/"
```

Quittez et relancez l'invite de commande et exécutez les commandes suivantes une par une :

```
magick logo: logo.gif
identify logo.gif
display logo.gif
```

qui afficheront le logo du projet ImageMagick.

L'installation sous Windows est simple. Il existe des fichiers binaires exécutables à installer pour toutes les versions de Windows de bureau (32/64 bits). Parmi toutes les options, nous devons choisir celle avec la description *Win64/Win32 dynamic at 16 bits-per-pixel component with High-dynamic-range imaging enabled*. Pour les systèmes 64 bits, utilisez [2] et pour Windows 32 bits, utilisez [3].

Les utilisateurs de Linux peuvent télécharger le fichier source avec

la commande suivante,

```
wget https://www.imagemagick.org/download/ImageMagick.tar.gz
```

Vérifions où tous les fichiers ont été extraits :

```
ls ImageMagick*
```

Cela nous indique le nom du répertoire :

```
ImageMagick-7.1.0-10
```

Accédez au répertoire :

```
cd ImageMagick-7.1.0-10
```

Ensuite, exécutez les commandes suivantes l'une après l'autre (si vous êtes familier avec Linux, vous saurez qu'il s'agit d'un ensemble standard de commandes pour installer tout nouveau programme sur les distros Linux) :

```
./configure
make
sudo make install
sudo ldconfig /usr/local/lib
```

Après avoir installé avec succès le programme ImageMagick, nous pouvons installer la bibliothèque Wand sur n'importe quelle plateforme avec la commande suivante :

```
pip3 install wand
```

Ceci achève l'installation d'ImageMagick et de Wand sur n'importe quel système d'exploitation.

Pour commencer

Veuillez créer un nouveau Jupyter *notebook* pour toutes les démonstrations de cet article. À partir de ce stade, tout le code doit être enregistré et exécuté dans le *notebook*. Commençons par importer les bibliothèques nécessaires.

```
from __future__ import print_function
from wand.image import Image
```

Ces commandes importent les modules nécessaires. Lisons une image et imprimons ses dimensions comme suit :

```
img = Image(filename='D:/Dataset/4.2.03.tiff')
print('width =', img.width)
print('height =', img.height)
```

le résultat est comme suit :

```
width = 512
height = 512
```

Nous pouvons également voir le type d'image :

```
type(img)
```

Ceci donne le résultat suivant :

```
wand.image.Image
```

Ensuite, nous pouvons afficher l'image dans le *notebook* comme sortie en tapant simplement le nom de la variable qui stocke l'image :

```
img
```



Figure 1. Image affichée dans le Jupyter notebook.

Ceci crée la sortie montrée dans la **figure 1**.

J'utilise l'ensemble de données d'images fourni par ImageProcessingPlace [4]. Toutes les images sont des images de test standard fréquemment utilisées en traitement d'images. Je n'utilise pas l'image de test Lena, car je pense que son origine est controversée et qu'elle est dévalorisante et irrespectueuse envers les femmes en général.

Nous pouvons également cloner une image, modifier son format de fichier et l'enregistrer sur le disque comme suit :

```
img1 = img.clone()
img1.format = 'png'
img1.save(filename='D:/Dataset/output.png')
```

Si vous ne l'avez pas encore remarqué, j'utilise un ordinateur Windows pour cette démo. Si vous utilisez un autre système d'exploitation Unix, vous devez en conséquence modifier l'emplacement. Par exemple, j'utilise le code suivant pour enregistrer le fichier de sortie sur un ordinateur Raspberry Pi OS (version Debian Linux) :

```
img1.save(filename='/home/pi/Dataset/output.png')
```

Nous pouvons également créer une image personnalisée avec une couleur uniforme :

```
from wand.color import Color
bg = Color('black')
img = Image(width=256, height=256, background=bg)
img.save(filename='D:/Dataset/output.png')
```

Voici comment redimensionner une image. Il y a deux façons, la première :

```
img = Image(filename='D:/Dataset/4.2.03.tiff')
img1 = img.clone()
img1.resize(60, 60)
img1.size
```

et la deuxième :

```
img1 = img.clone()
img1.sample(60, 60)
img1.size
```

Les routines `resize()` et `sample()` redimensionnent l'image aux valeurs spécifiées. Nous pouvons également rogner une partie de l'image, comme ceci :

```
img1 = img.clone()
img1.crop(10, 10, 60, 60)
img1.size
```



Figure 2. Image floue.

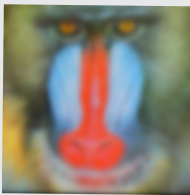


Figure 3. Flou adaptatif.



Figure 4. Flou de mouvement avec un angle de 30 degrés.

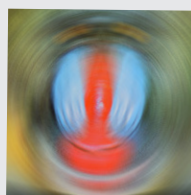


Figure 5. Flou de rotation.

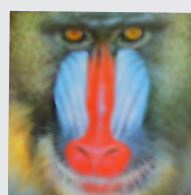


Figure 6. Flou sélectif.

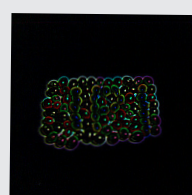


Figure 7. Détection des contours.

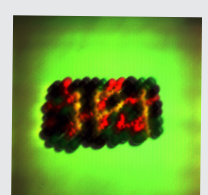


Figure 8. Effet de gaufrage.

Effets d'image

Nous disposons d'une grande variété d'effets d'image. Commençons par rendre une image floue.

```
img1 = img.clone()
img1.blur(radius=6, sigma=3)
img1
```

Le résultat est représenté sur la **figure 2**. Maintenant, appliquons un flou adaptatif :

```
img1 = img.clone()
img1.adaptive_blur(radius=12, sigma=6)
img1
```

et ensuite un flou gaussien :

```
img1 = img.clone()
img1.gaussian_blur(sigma=8)
img1
```

Le résultat est illustré à la **figure 3**. Nous pouvons également appliquer un effet de flou de mouvement :

```
img1 = img.clone()
img1.motion_blur(radius=20, sigma=10, angle=-30)
img1
```

Notez que nous indiquons l'angle de mouvement en appelant la routine. La sortie devrait être telle que dans la **figure 4**.

Ensuite, on utilise le flou de rotation (**figure 5**) :

```
img1 = img.clone()
img1.rotational_blur(angle=25)
img1
```

et le flou sélectif (**figure 6**) :

```
img1 = img.clone()
img1.selective_blur(radius=10, sigma=5,
threshold=0.50 * img.quantum_range)
img1
```

Il est également possible de débruiter une image, c'est-à-dire réduire le bruit :

```
img1 = img.clone()
img1.despeckle()
img1
```

et détecter les contours (**figure 7**) :

```
img = Image(filename='D:/Dataset/4.1.07.tiff')
img1 = img.clone()
img1.edge(radius=1)
img1
```

Nous pouvons générer un effet de gaufrage en 3D (**figure 8**) :

```
img1 = img.clone()
img1.emboss(radius=4.5, sigma=3)
img1
```

ou changer l'image en échelle de gris et appliquer un effet d'image (**figure 9**) :

```
img1 = img.clone()
img1.transform_colorspace('gray')
img1.emboss(radius=4.5, sigma=3)
img1
```

Pour une netteté globale de l'image, il suffit de programmer :

```
img1 = img.clone()
img1.sharpen(radius=12, sigma=4)
img1
```

d'appliquer l'algorithme de netteté adaptative :

```
img1 = img.clone()
img1.adaptive_sharpen(radius=12, sigma=6)
img1
```

ou en procédant à l'inverse en utilisant le filtre de suppression de la netteté :

```
img1 = img.clone()
img1.unsharp_mask(radius=20, sigma=5,
amount=2, threshold=0)
img1
```

Enfin, essayez de répartir les pixels de façon aléatoire dans le rayon spécifié :

```
img1 = img.clone()
img1.spread(radius=15.0)
img1
```

et observez le résultat comme dans la **figure 10**.

Effets spéciaux

Découvrons comment appliquer des effets spéciaux à une image. Le premier effet est le bruit. Il existe différents types de bruit. Voyons comment introduire un bruit gaussien.

```
img1 = img.clone()
img1.noise("gaussian", attenuate=1.0)
img1
```

La sortie est représentée à la **figure 11**. Voici une liste de toutes les chaînes de caractères valides qui peuvent être utilisées comme noms de types de bruit :

```
'gaussian'
```

```
'impulse'
'laplacian'
'multiplicative_gaussian'
'poisson'
'random'
'uniform'
```

Nous pouvons appliquer le décalage vers le bleu à une image de la manière suivante (**figure 12**) :

```
img1 = img.clone()
img1.blue_shift(factor=0.5)
img1
```

ou créer l'effet de dessin au fusain (**figure 13**) :

```
img1 = img.clone()
img1.charcoal(radius=2, sigma=1)
img1
```

Nous pouvons aussi appliquer une matrice de couleurs :

```
img1 = img.clone()
matrix = [[0, 0, 1],
[0, 1, 0],
[1, 0, 0]]
img1.color_matrix(matrix)
img1
```

Une matrice de couleurs peut avoir une taille maximale de 6 x 6. Dans une matrice de couleurs, chaque colonne correspond à un canal de couleur à référencer, et chaque ligne représente un canal de couleur à affecter. Pour les images RGB, il s'agit de rouge, vert, bleu, n/a, alpha et une constante (*offset*). Pour les images CMYK, il s'agit de cyan, jaune, magenta, noir, alpha et d'une constante. Dans cet exemple, nous avons créé une matrice 3 x 3 dont le résultat est illustré à la **figure 14**.

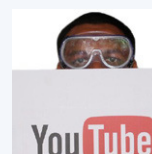
Le programme prend en charge d'autres effets spéciaux, décrits dans le livre, notamment le mélange avec une couleur constante, l'implosion, le Polaroid, la sépia, l'esquisse, la solarisation, le tourbillon, la teinte, la vignette, la vague, le débruitage par ondelettes, le flip, le flop et la rotation. ◀

220314-04 – VF : Asma Adhimi

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (ashwin.pajankar@gmail.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

À propos de l'auteur



Ashwin Pajankar est titulaire d'un MASTER en technologie de l'IIT Hyderabad et a plus de 25 ans d'expérience en programmation. Il a commencé son parcours dans la programmation et l'électronique avec le langage de programmation BASIC et maîtrise maintenant la programmation en assembleur, C, C++, Java, Shell Scripting et Python. Il a également acquis une expérience technique dans le domaine des ordinateurs monocartes tels que Raspberry Pi, Banana Pro et Arduino.



PRODUITS

► **Livre en anglais, « Kickstart to Python 3 », A. Pajankar, Elektor 2022**
Version papier : www.elektor.com/20106
Version numérique : www.elektor.com/20107

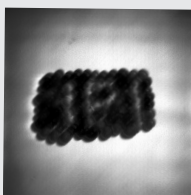


Figure 9. Gaufrage sur une image en échelle de gris.



Figure 10. Effet d'étalement.



Figure 11. Bruit gaussien.

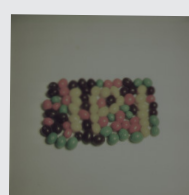


Figure 12. Image décalée vers le bleu.



Figure 13. Effet dessin au fusain.



Figure 14. Effet de matrice de couleurs.

LIENS

- [1] Téléchargement d'ImageMagick :
https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-x86_64-apple-darwin20.1.0.tar.gz
- [2] ImageMagick pour les systèmes Win64 :
<https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-7.1.0-10-Q16-HDRI-x64-dll.exe>
- [3] ImageMagick pour les systèmes Win32 :
<https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-7.1.0-10-Q16-HDRI-x86-dll.exe>
- [4] Bases de données d'images, ImageProcessingPlace.com :
www.imageprocessingplace.com/root_files_V3/image_databases.htm

SOLARPUNK

un avenir prometteur

Priscilla Haring-Kuipers (Pays-Bas)

Un futur radieux, vert, socialement équitable et soutenu par la technologie nous attend. Un monde nourri de nos aspirations, et délivré de nos culpabilités.

Les perspectives nous semblent parfois peu réjouissantes, en particulier lorsqu'on conçoit ou produit du matériel électronique : les solutions imaginées sont brillantes, mais bon nombre d'entre elles recourent à des matériaux non éthiques, et elles sont de surcroît utilisées pour soutenir un système qui manque de sens et met en péril nos modes de vie. Les temps sont difficiles, et tout changement semble hors de notre pouvoir. Il importe donc de réfléchir à ce que nous souhaitons réellement. Par exemple un monde dans lequel nos fers à souder œuvreraient pour le bien commun.

Du punk aux airs de harpe

Le *solarpunk* [1] est un genre de la science-fiction décrivant un monde bien éloigné des scènes post-apocalyptiques que le terme *punk* pourrait laisser imaginer. Elle en prend même le contre-pied : elle imagine la façon dont nous pourrions vivre après avoir résolu la crise éco-sociétale actuelle, créé une société égalitaire prospère, appris à vivre en harmonie avec la nature sans rien céder de notre confort, et rendu omniprésente les énergies renouvelables. C'est une vision dont les éclats semblent parfois à portée de regard. Un futur rempli de panneaux solaires et de biologie. Une utopie technologiquement réalisable. Le *solarpunk* n'est qu'un modique sous-genre de la science-fiction, mais l'intérêt qui lui est porté et le nombre de ses titres augmentent.

La technologie n'y est ni évitée, ni dominante. Elle est le soutien d'une écologie bio-dynamique, et en ce sens donne du sens à la

vie. De pointe ou classique, la technologie est appliquée partout où elle favorise un mode de vie égalitaire et durable.



Image obtenue par P. Haring-Kuipers avec DALL-E 2 d'OpenAI.

Comme tout mouvement punk, le *solarpunk* va à l'encontre de la philosophie dominante actuelle et réclame un changement complet du système. Le souci des autres y prend le pas sur l'avidité. Les humains ne sont pas des éléments extérieurs de l'écologie naturelle, mais en font partie intégrante. L'homme adopte les principes de la permaculture biodynamique et de la régénération des ressources afin de ne pas dégrader son environnement et d'être en mesure de produire sa propre nourriture. L'attention portée à l'autre, à soi-même et à l'environnement sont liées. Le *solarpunk* considère la technologie comme le pilier d'une vie égalitaire, non polluante, axée sur la santé et dotée de sens. Il met en scène des réseaux hyperlocaux, petits et autonomes, mais dont les acteurs sont des citoyens du monde. Pression capitaliste et course aux profits y sont absentes, remplacées par une répartition éco-socialiste des ressources et des bénéfices. La vie y est moins rythmée que la nôtre, mais offre plus de choses à apprécier.

Un imaginaire où il fait bon vivre

Si Star Trek donnait l'avant-goût d'une société « *solarpunk* », le pays imaginaire *Wakanda* et le film d'animation *Nausicaä de la Vallée du Vent* en auraient l'esthétique. Mais la meilleure (et la plus courte) illustration d'une telle société est sans doute la publicité *Eat today, feed tomorrow* de la marque Chobani.

L'esthétique du *solarpunk* rappelle celle de l'Art nouveau des années 1900. L'art et l'artisanat sont appliqués partout à des fins « d'élévation et d'inspiration ». L'art est pour les masses, l'artisanat est pour chacun. L'art *solarpunk* s'inspire des formes naturelles et du vivant. Il utilise des lignes dynamiques pour donner une impression de mouvement. Chaque espace et chaque objet sont l'occasion d'exprimer la beauté. Arbres et plantes poussent partout. Des vergers bordent les rivières, tandis que des panneaux solaires et divers systèmes éoliens dessinent la silhouette urbaine. La lumière abonde et les couleurs, dominées de bleu et de vert, sont vives. On dirait un endroit heureux.

Bon nombre de nos réalisations actuelles peuvent être considérées comme *solarpunk* (du moins en partie) : les robots biomimétiques de Festo, les véhicules électriques alimentés par panneaux solaires domestiques, les voiliers autosuffisants à panneaux solaires et moteur électrique, ou encore les géonefs autonomes du Nouveau-Mexique. Il arrive que l'esthétique ne soit pas leur qualité première, et sans doute ces réalisations auraient-elles besoin d'un réservoir d'algues bioluminescentes par-ci ou d'une micro-culture par-là pour être vraiment futuristes. Mais nous en sommes proches. Très proches.

Un monde à bâtir

Les réseaux hyperlocaux et la pratique « DIY » de la vision *solarpunk* mèneraient à la création de coopératives et d'espaces de fabrication communautaires. La boîte à outils du citoyen *solarpunk* pourrait comprendre une banque de graines commune, un guide du paillage, une imprimante 3D en bioplastique, un fer à souder... Mais quel support technologique nécessiterait un mini-réseau de cinq maisons partageant des sources d'énergie durables ? Comment construire des capteurs de sol simples ? Comment améliorer l'aquaponie d'un quartier ? Quel type de construction adopter lorsque les énergies renouvelables seront omniprésentes et que les combustibles fossiles seront épuisés ? Si les grands fabricants de matériel ne fermaient pas leurs conceptions à des fins écono-

miques, l'électronique serait plus ouverte. Imaginez que la plupart des gens puissent et veuillent adapter ce matériel à leurs besoins : que feriez-vous, et pouvez-vous commencer à le faire maintenant ? Essayez d'imaginer ce futur et la façon dont vous le soutiendriez.

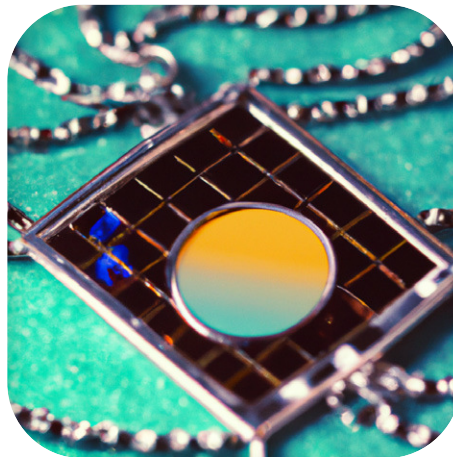


Image obtenue par P. Haring-Kuipers avec DALL·E 2 d'OpenAI.

Et du côté de mon entreprise, quelle influence a le *solarpunk* ? D'ici 2 ans environ, nous aurons besoin, pour notre prochain projet de synthétiseur, d'une petite usine. Nous prévoyons de la faire fonctionner avec des énergies renouvelables, d'éviter les matériaux non éthiques, d'offrir un environnement de travail équitable et solidaire, et de cultiver notre nourriture. Peut-être n'y parviendrons-nous pas à 100 %, mais nous essaierons. Nous voulons traiter notre petite usine comme une communauté, et partager notre espace et nos ressources avec d'autres fabricants de synthétiseurs. Nous souhaitons faire ressortir la beauté de nos objets et espaces. Avec des formes naturelles, des lignes dynamiques et des couleurs vives. ◀

220396-04 — VF : Hervé Moreau

LIENS

- [1] Solarpunk, Wikipedia : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Solarpunk>
- [2] Système d'IA créant des images à partir d'une description : <https://openai.com/dall-e-2/>

Forum mondial de l'électronique éthique 2022

En novembre 2021, Elektor a lancé à Munich le World Ethical Electronics Forum (WEEF) avec pour objectif d'ouvrir un débat public sur l'éthique et les objectifs de développement durable. Parmi les intervenants figuraient, outre les ingénieurs et rédacteurs d'Elektor : Stefan Heinemann (Professeur d'éthique commerciale à l'école de commerce FOM), Paula Palade

(PhD, Jaguar Land Rover), Margot Coolijmans (Directrice, Philips Foundation), ainsi que plusieurs autres spécialistes des questions d'éthique, dont Priscilla Haring-Kuipers. Pour en savoir plus sur le WEEF et l'édition de novembre 2022, visitez la page www.elektor-magazine.com/weef. <https://worldethicalelectronicsforum.com>

**WORLD
ETHICAL
ELECTRONICS
FORUM**

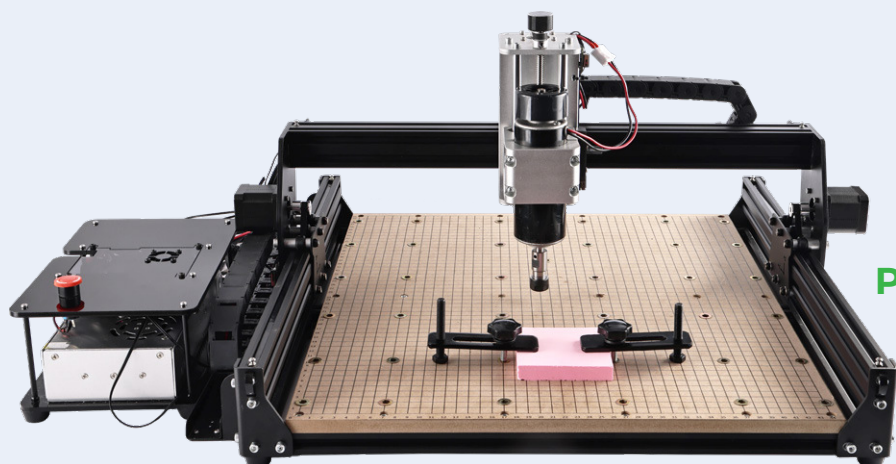
e-choppe Elektor

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. Seule exigence : **jamais cher, toujours surprenant !**

Anet 4540 Desktop CNC Machine



Prix : 899,00 €

Prix (membres) : 809,10 €

www.elektor.fr/20260

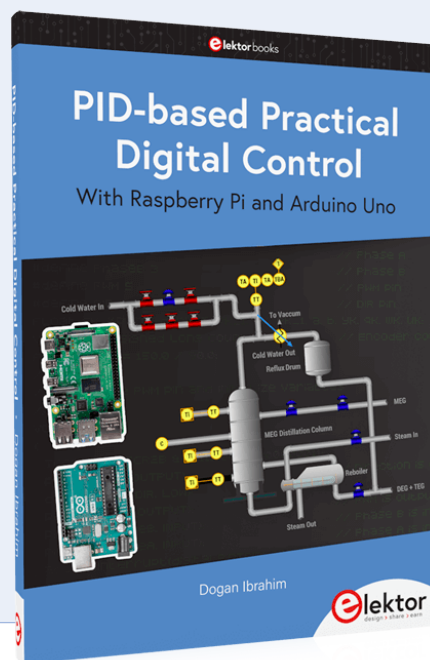
PID-based Practical Digital Control with Raspberry Pi and Arduino Uno

Troisième tirage : réclamez votre exemplaire dès aujourd'hui !

Prix : 34,95 €

Prix (membres) : 31,46 €

www.elektor.fr/20274





Elektor CheatKard – Antisèche pour élect(ron)icien

-14%

29,95 €

à la place de
34,95 €



www.elektor.fr/20080

MakePython ESP32 Development Kit



-19%

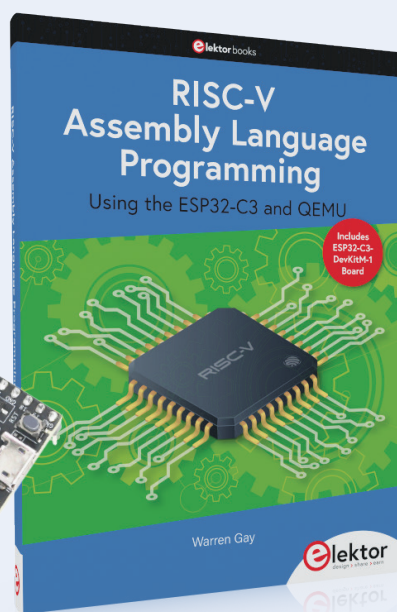
64,95 €

était 79,95 €

www.elektor.fr/20137

RISC-V Assembly Language Programming

Comprend carte de
développement
ESP32-C3-DEVKITM-1



Prix : 37,95 €

Prix (membres) : 34,16 €

www.elektor.fr/20296

Elektor Dual DC LISN 150 kHz – 200 MHz (pré-commande)



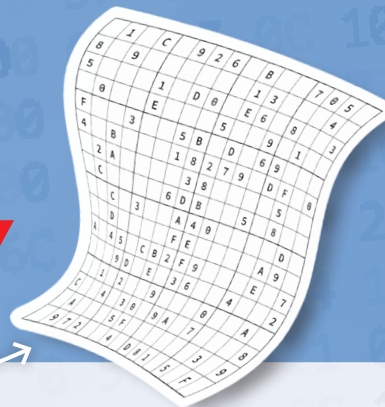
Prix : 129,95 €

Prix (membres) : 116,96 €

www.elektor.fr/19869

hexadoku

casse-tête pour elektorniciens



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 2022** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

LES GAGNANTS

La solution de la grille du numéro de septembre/octobre 2022 est **60E5A**.

La liste des gagnants est publiée ici : www.elektormagazine.fr/hexadoku

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

7	B		C			6			4			F		9	3
9		E			0	3			F	6			7		C
	0		3		B		7	9		D		5		1	
A		4		9							3		8		E
			8	A	6	B			D	E	0	3			
	1	F		C	3		E	2		4	7		9	5	
C	2			5							F			A	0
		5			F					A			B		
		B			4					0			E		
2	A			6							4			C	1
	C	0		F	9		3	6		8	5		D	2	
			4	E	2	1			A	B	D	7			
5		1		8							A		3		4
	E		B		D		C	4		F		6		7	
8		C			5	7			E	1			A		F
3	F		7			4			5			8		E	D

7	3	C	0	F	8	A	1	E	9	D	2	6	B	5	4
B	D	1	5	2	C	E	0	6	4	F	A	3	7	8	9
E	8	F	4	9	3	B	6	1	7	5	0	A	C	D	2
2	6	9	A	7	4	5	D	B	C	3	8	F	E	0	1
C	E	7	6	8	F	2	9	A	0	4	5	D	1	3	B
4	1	3	8	0	B	6	5	D	E	7	9	2	A	F	C
F	9	5	D	3	7	C	A	8	1	2	B	4	0	6	E
A	0	2	B	E	D	1	4	F	3	C	6	7	5	9	8
0	2	4	1	A	E	7	8	9	F	6	D	C	3	B	5
3	B	6	7	5	1	9	F	0	2	8	C	E	4	A	D
5	A	E	9	4	0	D	C	3	B	1	7	8	6	2	F
8	C	D	F	6	2	3	B	4	5	A	E	0	9	1	7
9	4	A	C	B	5	F	7	2	8	0	3	1	D	E	6
D	7	8	2	C	6	0	E	5	A	B	1	9	F	4	3
6	F	B	E	1	A	8	3	C	D	9	4	5	2	7	0
1	5	0	3	D	9	4	2	7	6	E	F	B	8	C	A

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.

Rejoignez la communauté Elektor



Devenez membre maintenant !



- ✓ 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 
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

La plus large sélection de composants électroniques™

En stock et prêts à être expédiés



mouser.fr



**MOUSER
ELECTRONICS**