

TESTEUR AUDIO

BON MARCHÉ

Avec logiciel sur PC et
interface audio USB

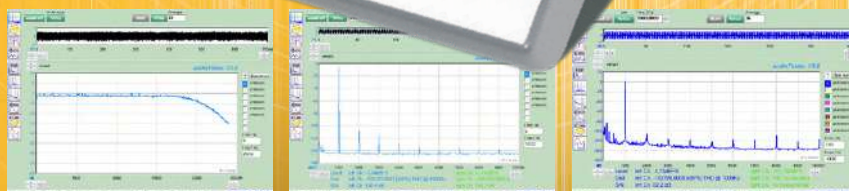


p. 6



FOCUS SUR

Test & Measure



p. 14 Fréquencemètre pour secteur CA

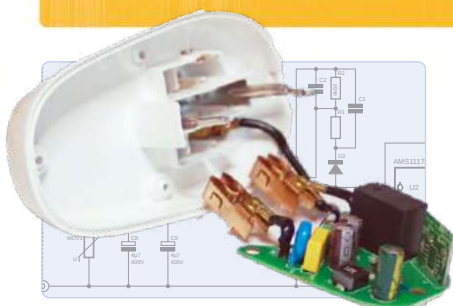
Contrôle de la fréquence et
de la tension du secteur

p. 18 Inductancemètre tout simple

Un appareil de faible coût
pour votre établi

p. 30 Débuter avec son oscilloscope

Suivez le guide à travers les
boutons et molettes



**Dissection de prises
intelligentes**
Lesquelles peut-on ouvrir ?

p. 90



**Nouvelle donne dans les
instruments de test et mesure**
L'innovation des petits acteurs

p. 48



**Feu tricolore pour CO₂
connecté à Sigfox**
Pas besoin de réseau WiFi !

p. 74

L 19624 - 496 - F - 15,50 € - RD



eilektor 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 !



À quoi pouvez-vous vous attendre ?

Éditorial

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

Promotionnel

Ne manquez pas les promotions de notre magasin, chaque mardi et jeudi nous avons une promotion spéciale pour vous.

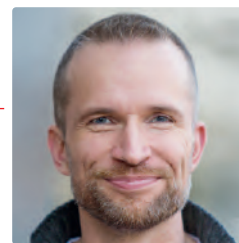
Envoi des partenaires

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

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.

rédacteur en chef d'Elektor Magazine



Des instruments de mesure à un coût abordable

« Vous avez mesuré ? Mais ça ne rime à rien ! » : chaque étudiant d'une discipline technique ou scientifique a tôt ou tard vécu cette expérience – et c'est tant mieux. Aucun instrument de mesure ne peut remplacer l'expérience de l'utilisateur et de solides connaissances de base.

C'est pourquoi nous vous proposons à nouveau le mélange typique de pratique et de théorie sur ce sujet important. Mon collègue Clemens Valens initie les débutants à l'utilisation des oscilloscopes. Dans son article « testeur audio bon marché », Alfred Rosenkränzer associe sa spécialité professionnelle, à savoir les techniques de mesure, à sa passion pour l'audio. Un logiciel de mesure et une interface audio de haute qualité relativement bon marché, associés à un PC, fournissent une solution plus qu'adéquate pour les mesures sur les appareils hi-fi, les haut-parleurs (à faire soi-même) et autres matériels audio. Alfred complète son projet avec diverses mesures. Son interface audio omet un élément important que la plupart des instruments professionnels comprennent : un filtre coupe-bande réglable. Toutefois ce point devrait faire l'objet d'un prochain article.

Ce numéro contient bien sûr de nombreux montages à réaliser. Vous y trouverez un appareil de mesure de la fréquence du secteur ainsi qu'un appareil de mesure de la résistance en série des condensateurs. Vous serez peut-être tenté par l'inductancemètre, modeste mais bien utile.

Bel été à vous tous !

Kurt, tu vas nous manquer !

Nous avons tous été choqués par le décès inattendu de notre collègue de longue date, Kurt Diedrich, en avril dernier. Kurt était rédacteur chez *Elektor* dans les années 80 ; depuis lors, il nous est resté fidèle en tant que contributeur pendant toutes ces décennies. Diplômé en géologie, il a écrit des livres et des articles, a traduit des numéros entiers (plus récemment pour le magazine *MagPi*), et a produit des schémas et autres dessins dans le célèbre style Elektor. Pendant son temps libre, cet amateur de musique construisait des synthétiseurs analogiques et se mettait à la guitare. Kurt, tu vas nous manquer !



notre équipe



Rédacteur en chef :	Jens Nickel
Rédaction :	Eric Bogers, Jan Buiting, Rolf Gerstendorf, Thomas Scherer, Clemens Valens, Mariline Thiebaut-Brodier (coordination)
Service aux lecteurs :	Ralf Schmiedel
Correcteur technique :	Malte Fischer
Laboratoire :	Mathias Claussen, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens (responsable)
Maquette :	Giel Dols, Harmen Heida



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. »

Testeur audio bon marché

Avec logiciel sur PC et interface audio USB



6



Rubriques

3 Édito

25 Démarrer en électronique... (14)

Les redresseurs

28 electronica fast forward 2022

68 Drôles de composants

Relais Reed

84 Questions d'éthique

Femmes de tech

104 Sur le vif

Nul n'est prophète en son pays

114 Hexadoku

Casse-tête pour elektorniciens

FOCUS

86 Oscilloscope tablette ADS1013D à petit prix

Bon rapport qualité/prix ?

100 Impédance et capacité de la peau

Petites expériences

FOCUS

106 Prise en main du Pokit Meter

Couteau suisse pour la mesure

Articles de fond

22 Lévitiation avec ondes acoustiques

Un aperçu du kit de lévitation acoustique de Makerfabs

FOCUS

30 Débuter avec son oscilloscope

Suivez le guide à travers les boutons et molettes

FOCUS

42 Capteurs d'humidité pour systèmes d'arrosage

Arrosage automatique

61 Création d'interfaces graphiques en Python

5^e partie : jeu de morpion

Industrie

FOCUS

48 Nouvelle donne dans les instruments de test et mesure

L'innovation des petits acteurs

FOCUS

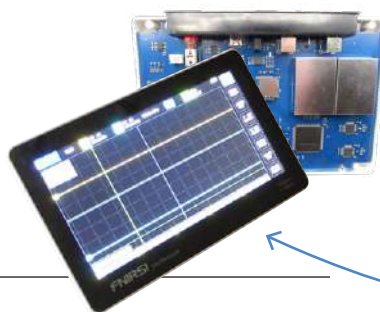
54 Elektor infographie

Faits et chiffres sur test et mesure

56 L'inspiration, c'est ça qui compte

Entretien avec Walter Arkesteijn, de l'entreprise InnoFaith Beauty Sciences et lecteur d'Elektor

58 Minimiser l'interférence CEM des selfs de stockage

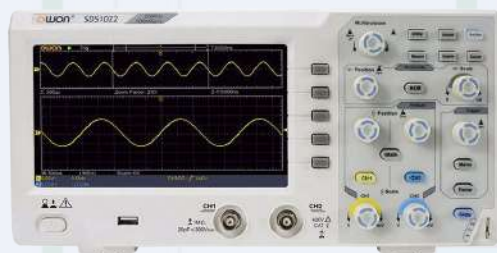


oscilloscope tablette
ADS1013D
à petit prix

86

Débuter avec son oscilloscope

Suivez le guide à travers les boutons et molettes



30



Dissection de prises intelligentes

Lesquelles peut-on ouvrir ?

90

Réalisations

FOCUS

6 Testeur audio bon marché

Avec logiciel sur PC et interface audio USB

FOCUS

14 Fréquencemètre pour secteur CA

Contrôle de la fréquence et de la tension du secteur

FOCUS

18 Inductancemètre tout simple

Un appareil de faible coût pour votre établi

34 Radio logicielle MSF utilisant un Raspberry Pi Pico

Décoder un signal temporel avec une radio logicielle (SDR) à base de RPi Pico

FOCUS

70 ESR-mètre analogique simple et précis

À galvanomètre à cadre mobile

74 Feu tricolore pour CO₂ connecté à Sigfox

Pas besoin de réseau WiFi !

90 Dissection de prises intelligentes

Lesquelles peut-on ouvrir ?

Bientôt dans ces pages

Numéro hors-série d'Elektor (parution en août 2022)

Elektor renoue avec une tradition : le numéro double d'été. Les plus anciens de nos lecteurs ont sûrement conservé ces numéros qui fourmillaient de montages. Le prochain numéro d'Elektor sera donc un hors-série avec plus de 50 projets ainsi que des articles de fond.

Extrait du sommaire :

- > Capteur de radiateur sans pile
- > Source de courant pour LED
- > Référence de fréquence avec ATiny
- > Commutateur activé par le son
- > Dispositif de calibrage de CA/N à faible bruit
- > Testeur de semiconducteurs de puissance
- > Convertisseur boost DC/DC
- > Gradateur numérique pour 220 V AC avec Arduino

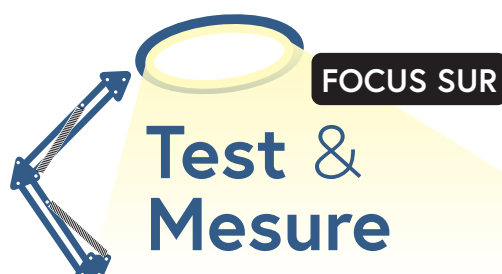
Et bien d'autres choses encore !

Le numéro hors-série de l'été 2022 sera publié aux alentours du 4 août 2022. Il sera disponible en kiosque pendant trois mois. La date d'arrivée du magazine papier chez les abonnés dépend des aléas de cheminement. Le contenu et les titres des articles peuvent être modifiés.



l'évitation
avec ondes
acoustiques

22



testeur audio bon marché

Avec logiciel sur PC et interface audio USB

Alfred Rosenkränzer (Allemagne)

L'équipement professionnel pour caractériser et développer un appareil audio est généralement hors de portée d'un laboratoire amateur. Un logiciel de mesure et une interface audio de haute qualité peuvent toutefois être relativement bon marché. Associés à un PC, ils peuvent fournir une solution plus qu'adéquate pour les mesures sur les appareils Hi-Fi et autres matériels audio. Cet article examine en détail une solution pratique.

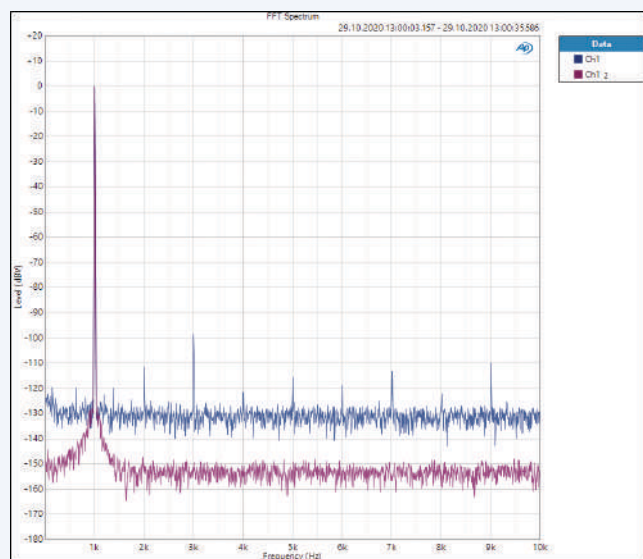


Figure 1. Spectre d'une onde sinusoïdale à 1 kHz, 1 V_{eff} (0 dBV), produite et mesurée avec l'Audio Precision APx555.

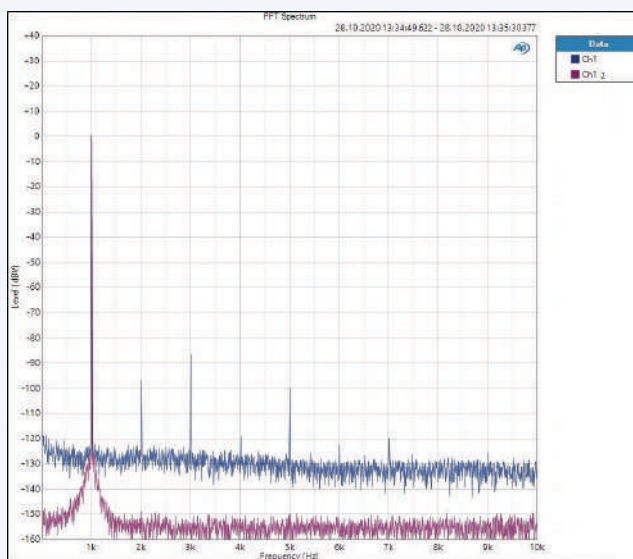


Figure 2. Comparez avec la figure 1. Spectre d'une onde sinusoïdale, 1 kHz, 1 V_{eff} avec le Steinberg UR22.

Je suis resté plus de 20 ans chez un concepteur high-tech, entouré d'équipements de test et de mesure de pointe, notamment pour l'audio. Toutefois cette période a pris fin d'un coup et réaliser rapidement un essai ou des mesures est devenu hors de portée immédiate : j'étais séparé du matériel professionnel auquel j'étais habitué, non seulement par la distance entre mon domicile et mon lieu

de travail, mais aussi par les effets du coronavirus. De là est née cette envie de réaliser un projet tel que celui-ci.

Considérations

Une recherche d'appareils de test professionnels d'occasion sur eBay m'a vite appris la triste réalité : les appareils de plus de dix ans, sans SAV du fabricant depuis longtemps,

valent plus de 1 000 €. Les appareils neufs dotés de caractéristiques professionnelles démarrent à un peu moins de 10 000 €, c'est hors de proportion par rapport à ce que je veux en faire. J'ai donc dû essayer de trouver une solution différente, et surtout plus abordable.

En général les équipements de test professionnels de ce début de 3^e millénaire ne sont



Figure 3. Face avant de l'UR22C de Steinberg.

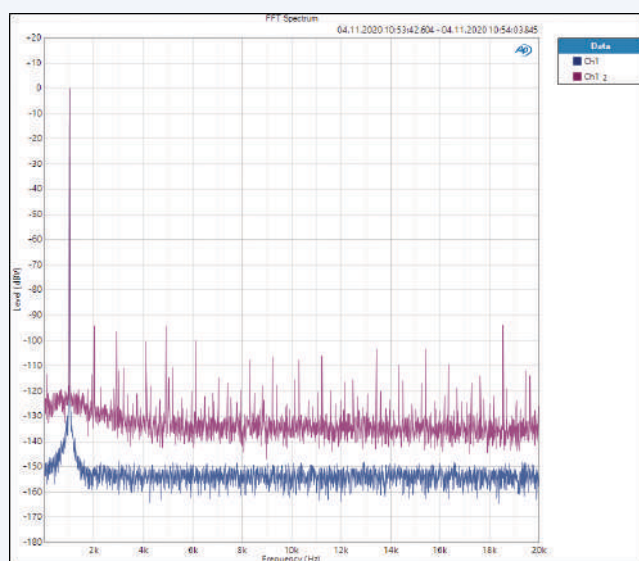


Figure 4. Comparez avec les figures 1 et 2. Spectre d'une onde sinusoïdale, 1 kHz, 1 V_{eff} en utilisant le Steinberg UR22C.

qu'une *boîte noire*, sans commande manuelle. Un logiciel fonctionnant sur PC commande ladite boîte et traite les résultats. Pourquoi devrait-il en être autrement pour les amateurs ? J'ai donc d'abord cherché un logiciel approprié pour effectuer des mesures audio. Un tel logiciel doit fonctionner à la fois avec le matériel intégré au PC et avec du matériel externe connecté par *USB*. Il doit

pouvoir mesurer la distorsion harmonique totale (*THD*), le rapport signal/bruit (*SNR*) et la réponse en fréquence. De plus, la partie « générateur de signaux » du système doit au minimum produire des signaux sinusoïdaux, carrés et de bruit. La sortie sinusoïdale doit pouvoir être balayée en fréquence. Sans être indispensables, d'autres formes d'onde (triangle, impulsions) sont d'un certain

confort. Ces options sont simples à mettre en œuvre par logiciel et n'ajoutent que peu à sa complexité et à son coût.

Le logiciel doit être capable d'acquérir un signal sur l'entrée audio et de l'afficher. La gamme de fréquences doit couvrir au moins la bande audio de 20 Hz à 20 kHz, mais une bande plus large est souhaitable. La numérisation doit être possible à des fréquences d'échantillonnage de 44,1 kHz, 48 kHz et leurs multiples jusqu'à 192 kHz au moins.

Logiciel

Pendant mes recherches, le progiciel AudioTester V3.0 m'a attiré l'œil. Il fonctionne sous Windows XP et versions ultérieures, et peut être téléchargé gratuitement [1] avec un manuel disponible en anglais et en allemand. Pendant un mois, la version d'essai gratuite offre toutes les fonctions du logiciel payant. La seule restriction est que la mesure s'arrête au bout de dix minutes. Pour continuer, il faut redémarrer le logiciel. Comme les derniers réglages sont enregistrés, il reprend immédiatement là où il s'est arrêté.

La licence est au prix modique de 39 €. Après quelques jours d'expérimentation, j'ai acheté une licence auprès du développeur et reçu un fichier de clé de déverrouillage. À ce stade, ma recherche d'un logiciel approprié était terminée. Peut-être trouverez-vous d'autres programmes appropriés ? Si oui, n'hésitez pas à me contacter par courriel.

Matériel

Pour mes premiers essais, j'ai utilisé le matériel audio interne de mon PC en boucle : j'ai connecté un simple câble mini-jack entre la sortie audio et l'entrée ligne (et non l'entrée micro). Comme j'utilisais le circuit audio intégré à la carte mère du PC, mes attentes n'étaient pas très élevées. Les résultats, n'étaient pas trop mauvais, bien qu'insuffisants pour mes besoins.

J'ai ensuite commencé à chercher une interface audio externe de meilleure qualité avec une liaison USB. Je voulais un appareil doté de connecteurs *XLR* pour les signaux différentiels (« équilibrés ») et de prises phono ou jack pour les signaux asymétriques (référéncés à la masse). Les connecteurs *BNC* que l'on trouve d'ordinaire en instrumentation sont rares sur ce type d'interface. Ce n'est toutefois pas bloquant, car des adaptateurs appropriés existent. Une sortie casque permet de vérifier facilement le signal audio. Il faut pouvoir commander les niveaux d'entrée et de sortie soit sur l'interface elle-même, soit au minimum par le logiciel qui l'accompagne. C'est là que l'on voit d'emblée le plus gros inconvénient de ce type de solution par rapport à des matériels professionnels, dont les niveaux d'entrée et de sortie sont calibrés en V ou en dBV. Si nous définissons un niveau donné dans le logiciel, c'est ce niveau qui sort du générateur. Le logiciel pilote l'appareil pour produire le niveau souhaité avec la meilleure qualité possible. L'entrée peut être configurée soit automatiquement, soit en fonction du niveau d'entrée attendu.

Niveaux

Le logiciel *AudioTester* permet de régler le niveau de sortie en dBFS (dB *full scale*), c'est-à-dire en décibels par rapport au niveau de sortie maximal du CN/A. Le niveau réel en sortie d'interface doit ensuite être réglé soit sur l'interface même, soit à l'aide du logiciel qui l'accompagne. Cela implique un moyen



Figure 5. RME Babyface Pro (Photo : RME).

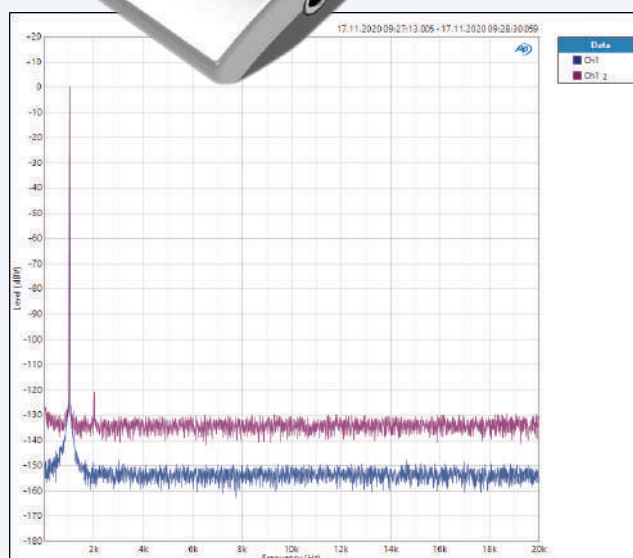


Figure 6. Comparez avec les figures 1, 2 et 3. Spectre d'une onde sinusoïdale à 1 kHz, 1 V_{eff} en utilisant le RME Baby Face Pro.

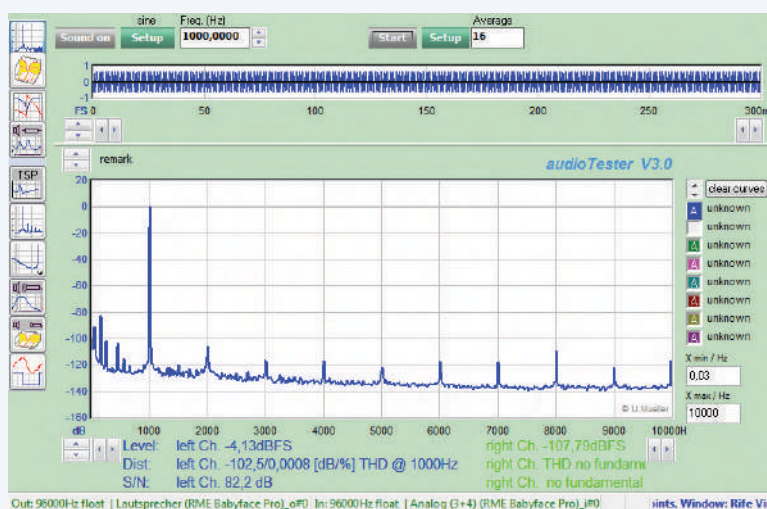


Figure 7. Onde sinusoïdale à 1 kHz, 1 V_{eff} générée par l'APx555, mesurée par le logiciel *AudioTester*, via l'entrée de l'interface RME. Vers le haut de la fenêtre se trouve l'indicateur de niveau de commande pour le CA/N.

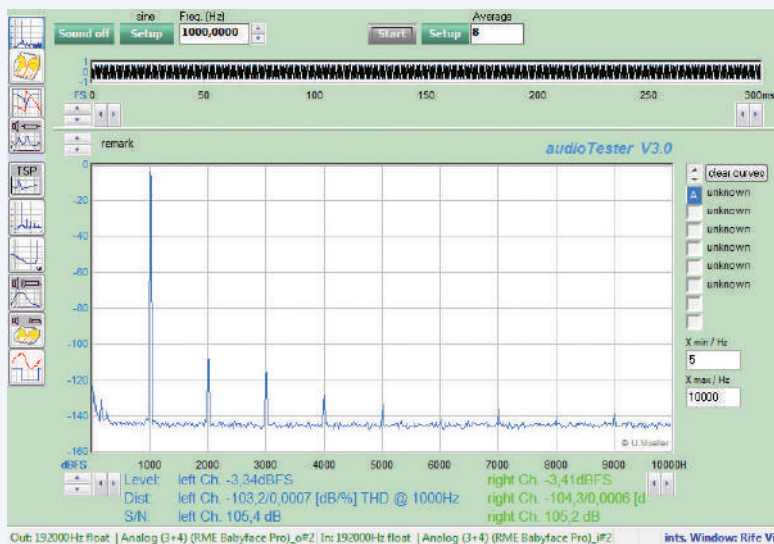


Figure 8. Bouclage du RME Babyface Pro à 192 kiloéchant/s.

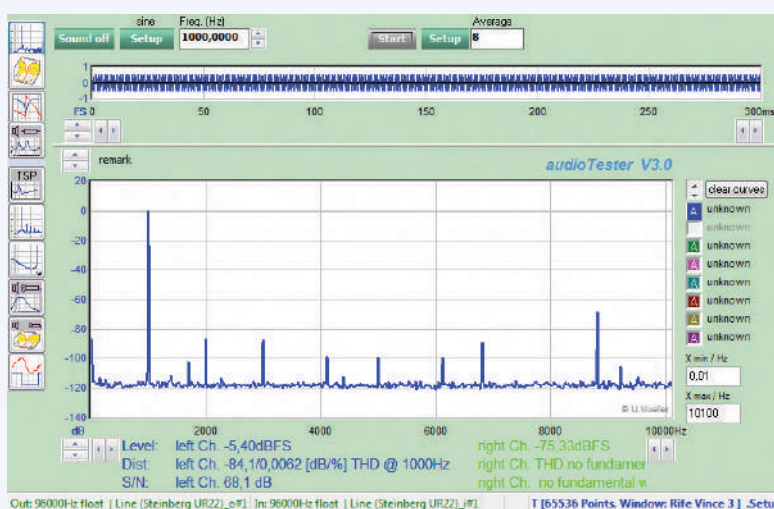


Figure 9. Bouclage du Steinberg UR22 à 48 kiloéchant/s.

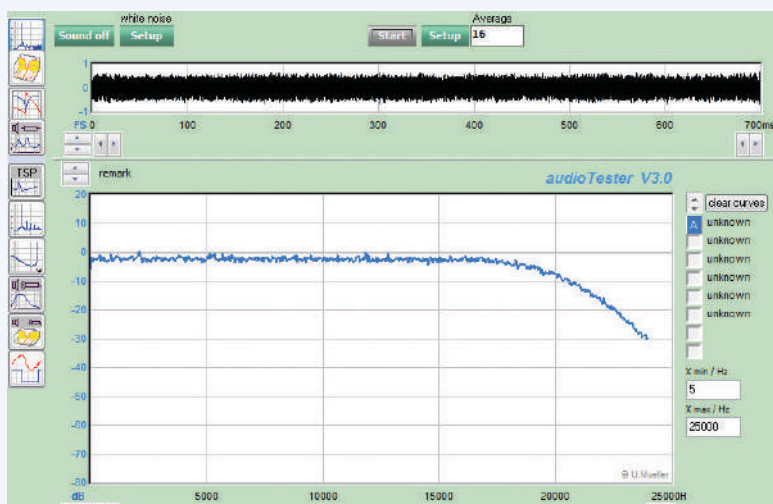


Figure 10. Réponse en fréquence du RME Babyface Pro à 48 kiloéchant/s.

de mesurer le niveau en externe (par ex. avec un oscilloscope). Malheureusement, le logiciel AudioTester ne peut pas régler le gain de sortie de l'interface.

Cette difficulté affecte également l'entrée. En haut de la fenêtre, une sorte d'indicateur montre le niveau de commande du CA/N. En ajustant le gain sur l'interface ou dans son logiciel, on peut s'assurer que le CA/N reçoit assez de signal, mais ne sature pas.

Générateurs de signaux

J'ai d'abord mesuré la sortie de la carte son interne avec un instrument professionnel (un *Audio Precision APx555*). Le **figure 1** montre en violet la sortie de l'APx555 : on ne voit pas d'harmoniques et le plancher de bruit est à environ -150 dBV. Le graphique bleu montre la sortie de la carte son. L'harmonique la plus forte est à 3 kHz avec une amplitude de -98 dBV. Le plancher de bruit est environ 20 dB au-dessus de celui de l'APx555. Ces résultats sont remarquables pour une carte son interne.

Cette affirmation est particulièrement vraie par comparaison avec l'interface externe *UR22* de *Steinberg*. Comme le montre le **figure 2**, l'harmonique à 3 kHz de cet appareil a une amplitude plus élevée, à -87 dBV.

J'ai emprunté la version la plus récente de cette interface, l'*UR22C*, pour refaire une comparaison. Le **figure 3** montre sa face avant et les résultats de la mesure peuvent être admirés à la **figure 4**. Le motif d'harmoniques observé dépend de la fréquence d'échantillonnage choisie pour le CA/N. D'autres essais, notamment sur une interface *Zoom R16*, ont donné des spectres similaires.

La principale conclusion qui s'en dégage est que les résultats des interfaces externes ne sont pas vraiment convaincants. J'ai donc consulté des amis techniciens et ils m'ont recommandé la *RME Babyface Pro FS* [2]. L'appareil de Steinberg coûte environ 150 €. L'interface RME est beaucoup plus chère, à 709 €. Le **figure 5** montre l'apparence de cette interface ; pour de plus amples informations, voir par ex. le site web de Thomann [3]. Le **figure 6** montre ce que vous obtenez pour votre argent : la deuxième harmonique est à -120 dBV ! À un niveau de sortie réduit de $0,25 V_{\text{eff}}$ elle disparaît dans le bruit.

Entrées audio

La 2^e étape a consisté à relier les sorties de haute qualité de l'APx555 aux entrées audio de l'interface RME, en affichant le résultat à l'aide d'AudioTester (fig. 7). Les spectres obtenus par le même test sur la carte son interne et sur l'interface Steinberg sont moins bons et ne sont pas illustrés ici.

Ensuite, quelques mesures en bouclage entre sorties et entrées ont été effectuées sur la même interface. Voici le résultat des deux interfaces : Babyface de RME (fig. 8) et UR22 de Steinberg (fig. 9). Par souci d'équité, il faut noter que les spectres sont liés à la fréquence d'échantillonnage et au niveau de commande du CA/N, mais une chose reste constante : l'interface RME est plus performante dans tous les cas.

Pour tester la réponse en fréquence, on peut soit utiliser un signal de bruit blanc et examiner le spectre résultant, soit utiliser un balayage de fréquence sinusoïdal. Les figures 10, 11 et 12 montrent la réponse de l'interface RME à des taux d'échantillonnage de 48, 96 et 192 kHz (toutes mesures en bruit blanc). Sur la figure 12, nous voyons que la réponse est plate jusqu'à environ 90 kHz, nous pouvons donc faire des mesures bien au-delà de la gamme audio normale.

Procédure

L'interface RME peut être en partie pilotée à l'aide de ses boutons et de sa commande rotative. Malheureusement, cela ne permet pas d'activer l'alimentation fantôme de 48 V ni l'atténuateur des entrées.

Pour un contrôle total de l'interface, il faut installer le logiciel RME TotalMix. Ce logiciel se lance automatiquement à la connexion de l'interface au PC. Il permet de régler les niveaux, mais comprend également un égaliseur paramétrique et d'autres fonctions. Il est essentiel de lire le manuel, et sur YouTube, il y a un certain nombre de vidéos expliquant les finesses de l'interface.

La figure 13 montre l'interface utilisateur du logiciel RME. La fenêtre de la figure 14 permet de configurer les paramètres de

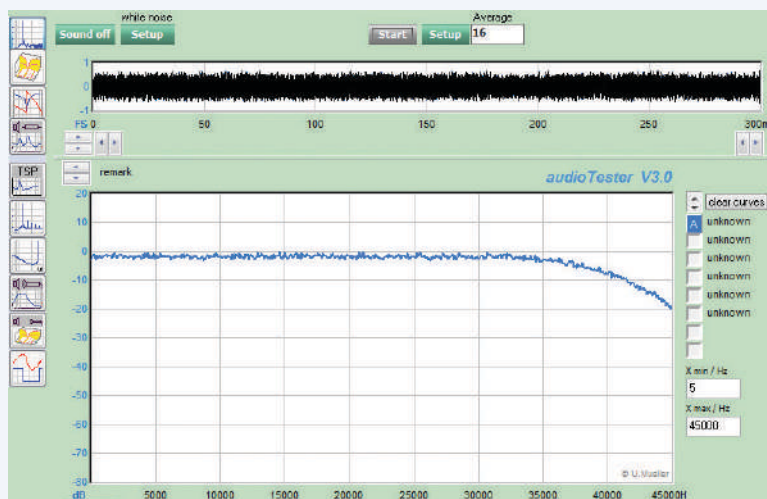


Figure 11. Réponse en fréquence du RME Babyface Pro à 96 kiloéchant/s.

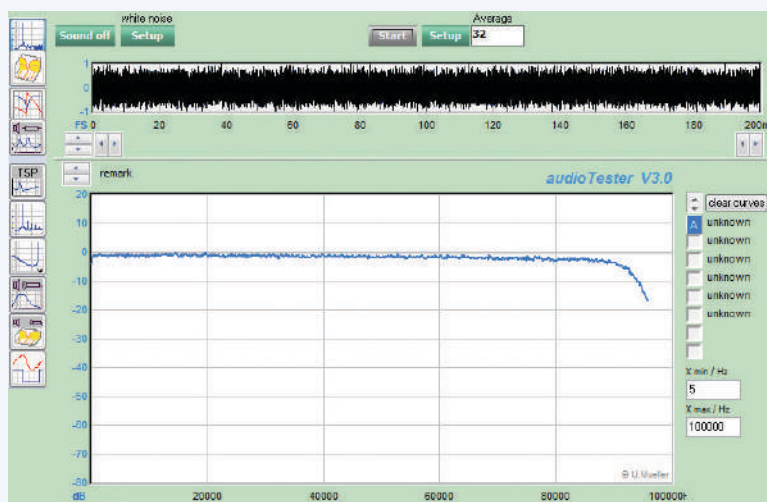


Figure 12. Réponse en fréquence du RME Babyface Pro à 192 kiloéchant/s.

base comme l'entrée, la fréquence d'échantillonnage, etc. Cette dernière valeur doit être la même que celle configurée dans le logiciel AudioTester, sous peine d'erreurs ou éventuellement de bruits indésirables apparaissant dans le spectre.

L'interface RME peut s'alimenter par USB ou à l'aide d'un adaptateur externe fournissant 12 V. La consommation sur USB étant d'environ 500 mA, l'utilisation d'une alimentation externe est recommandée avec un ordinateur portable pour la charge sur la connexion USB.



Figure 13. Capture d'écran de l'interface utilisateur du logiciel RME Babyface Pro.

Avec une alimentation externe à découpage, vérifiez que la fréquence de commutation est au-delà de la gamme audio.

Utilisation du logiciel Audio Tester

Une fois le logiciel installé et lancé, sélectionner le 1^{er} mode 2D FFT de mesure (bouton du haut de la barre verticale d'icônes de mesure à gauche de l'écran). L'écran devrait ressembler à la figure 8. La rubrique de menu *Options* permet de sélectionner l'interface à utiliser pour l'entrée et la sortie. Si la carte son interne du PC n'apparaît pas, tentez de brancher des câbles dans les prises correspondantes. Si plusieurs interfaces sont disponibles, on peut en choisir deux différentes pour l'entrée et la sortie.

Enfin, *Options* permet, par ex., de configurer la fréquence d'échantillonnage et le nombre de canaux d'entrée et de sortie. Le bouton *Setup*, juste à droite de *Sound on*, permet de choisir la forme d'onde, le niveau d'attaque du CN/A, la fréquence et, selon le cas, d'autres paramètres. *Sound on* active la sortie. Le

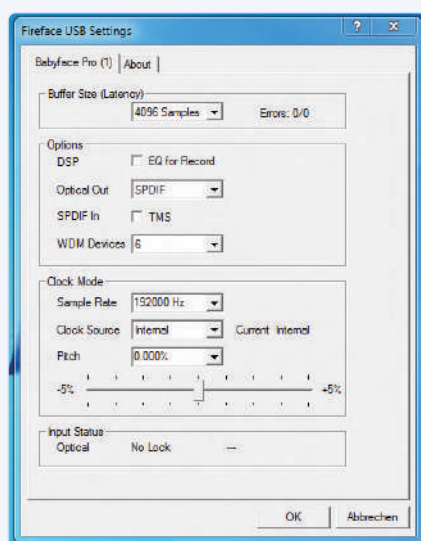


Figure 14. Paramètres de base du RME Babyface Pro.

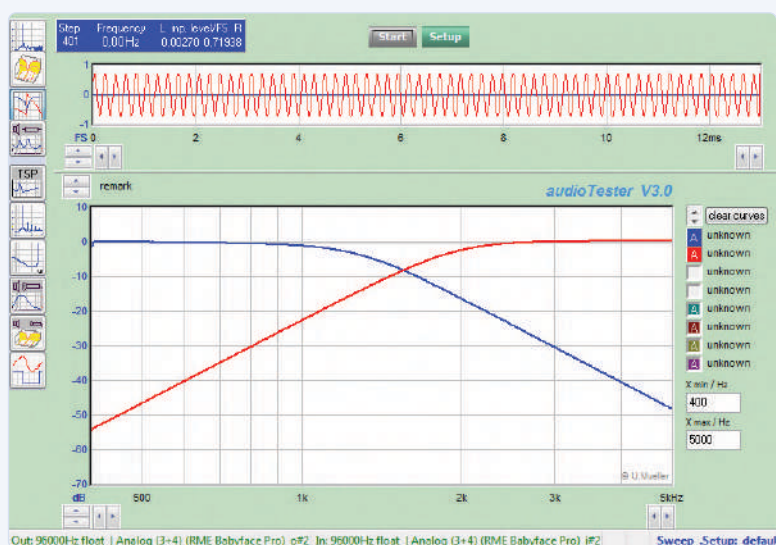


Figure 15. Réponses d'un filtre passe-bas 1,2 kHz et d'un filtre passe-haut 2 kHz (filtres de Butterworth), échelle log. de fréquence.

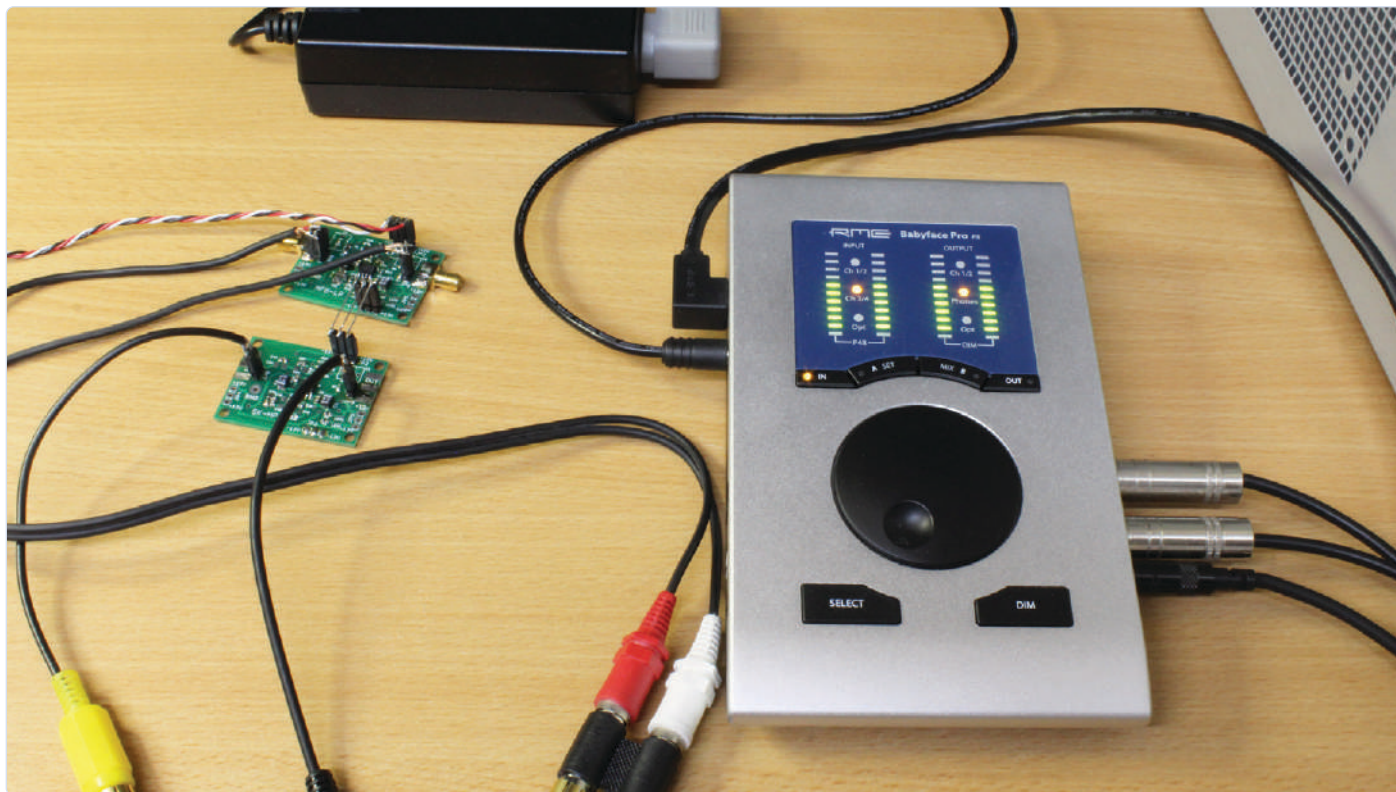


Figure 16. Configuration de test utilisant l'interface RME avec une alimentation externe de 12 V et les deux cartes filtres.

niveau de sortie peut alors être vérifié à l'aide d'un oscilloscope et les niveaux sur l'interface ajustés à volonté.

Le bouton *Start* démarre une mesure. Le bouton *Setup* adjacent permet de choisir une fonction de fenêtre et une longueur de FFT. En augmentant *Averages* (Moyennes), le bruit diminue, mais le temps de mesure augmente. La boîte *Analyze Dialog*, sous *Analyze*, permet de configurer des mesures automatiques. On peut par ex. définir le nombre d'harmoniques pris en compte dans le calcul du THD. Les résultats de mesure sont affichés sous le graphique.

Je n'aborderai pas ici le 2^e mode *Courbes FFT 3D*. Le 3^e mode permet d'activer les *Mesures en balayage* (par ex. pour mesurer la réponse en fréquence), les paramètres étant configu-

rés sous *Setup*. Un clic droit sur le graphique permet de modifier l'affichage.

La **figure 15** illustre cette possibilité. Elle montre la réponse en fréquence de deux filtres de Butterworth (passe-bas 1,2 kHz et passe-haut 2 kHz). La **figure 16** montre le montage matériel. On utilise les connexions asymétriques du côté droit de l'interface RME. Le 4^e mode, *Courbes d'impédance*, permet d'afficher l'impédance en fonction de la fréquence, par ex. d'un haut-parleur avec ou sans circuit de filtrage. Les résonances apparaissent très clairement. Pour une telle mesure, il faut bien sûr un amplificateur de puissance, avec ses deux entrées connectées, pour piloter le HP, ainsi qu'une résistance de puissance, selon le schéma de la documentation.

Le 5^e mode *Calcul des paramètres de Thiele/*

petits ne sera pas abordé ici. Le 6^e mode, *Distorsion/fréquence*, affiche la courbe de la distorsion en fonction de la fréquence.

Le 7^e mode *Distorsion/amplitude* affiche la courbe de la distorsion en fonction de l'amplitude. Ici, il faut noter que le logiciel AudioTester ne peut contrôler que le niveau de pilotage du CN/A ; il n'a pas accès au contrôle de niveau de l'interface audio. Par conséquent, à faible niveau, la résolution numérique sera réduite, ce qui augmente la distorsion. Avant d'effectuer des mesures sur un circuit, il faut tester le comportement du système en le bouclant. On peut aussi régler le niveau manuellement dans l'interface et maintenir constant le niveau de commande numérique du CN/A.

Outre l'absence de niveaux de sortie absolus bien définis, l'interface audio omet également

LIENS

[1] Logiciel AudioTester : <http://www.audiotester.de>

[2] Interface audio : <https://www.rme-audio.de/babyface-pro-fs.html>

[3] Informations sur l'interface RME : https://www.thomann.de/gb/rme_babyface_pro_fs.htm

un élément important que la plupart des instruments professionnels comprennent : un filtre coupe-bande réglable. Celui-ci permet d'atténuer la fondamentale d'un signal et ainsi d'analyser les autres parties du signal (harmoniques, tonalités non harmoniques et bruit) avec une meilleure précision. Il permet aussi de réduire les harmoniques produites par le CA/N lui-même lorsqu'il est piloté à un niveau élevé. Un filtre coupe-bande externe peut être ajouté si ces avantages sont importants dans votre application.

Dans le cadre de cet article, il est bien sûr impossible de faire plus qu'effleurer les capacités du logiciel AudioTester. Pour en savoir plus, vous pouvez expérimenter ou vous plonger dans la documentation. Vous pouvez d'ailleurs essayer ce dont vous avez besoin pendant un mois. La licence est de toute façon d'un prix modique, il n'y a donc rien à perdre.

Caractéristiques des mesures

Le logiciel AudioTester V3.0 offre toutes les fonctions de mesure dont j'ai besoin, plus

À propos de l'auteur

Alfred Rosenkränzer a travaillé de nombreuses années comme ingénieur concepteur, à l'origine dans les techniques de la télévision professionnelle. Depuis la fin des années 1990, il développe des circuits numériques et analogiques à haut débit pour les testeurs de circuits intégrés. Les techniques audio sont sa passion privée.

quelques autres. Il semble stable et il y a peu de bogues. Tout peut être essayé avant l'achat d'une licence : à 39 €, c'est une très bonne affaire. Il est compatible avec les cartes son internes et toutes les interfaces audio USB externes que j'ai pu essayer. La RME Babyface Pro est certes nettement plus chère que les autres interfaces, mais j'ai été convaincu par la haute qualité des signaux et mesures qu'elle produit. ◀

200604-04

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (alfred_rosenkraenzer@gmx.de) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



PRODUITS

- **Compilation d'articles « The Complete Linear Audio Library » (clé USB, en anglais)**
www.elektor.fr/19672
- **Livre « Designing Audio Power Amplifiers » (2^e édition, en anglais)**
www.elektor.fr/19150

Publicité

KURTH ELECTRONIC



La société Kurth Electronic GmbH, fondée en 1977 dans le sud de l'Allemagne, est depuis plus de 40 ans un synonyme de technique de mesurer et de tester professionnellement, 100% made in Germany! Dans le monde entier, les opérateurs de réseaux, les entreprises spécialisées et les entreprises d'installation des secteurs des télécommunications, de la technique des réseaux de données et de l'électricité font confiance à nos produits de haute qualité. Notre mission est de simplifier le travail quotidien des utilisateurs et de le rendre plus efficace grâce à l'utilisation de nos appareils. Nos 6 groupes de produits comprennent

des solutions pour la localisation de câbles et de lignes dans presque tous les types d'installation, des instruments pour les réseaux locaux de données (LAN), des instruments de haute qualité pour l'analyse des défauts de câbles et la qualification des lignes ainsi que des plateformes de mesure pour les réseaux à large bande sur la base du cuivre (xDSL), de la fibre optique (xPON/ETH P2P) ou sans fil (WiFi), y compris les services triple-play.

Visitez notre site en web www.kurthelectronic.de, nos canaux de médias sociaux et prenez contact avec nous!



fréquencemètre pour secteur CA

Contrôle de la fréquence et de la tension du secteur

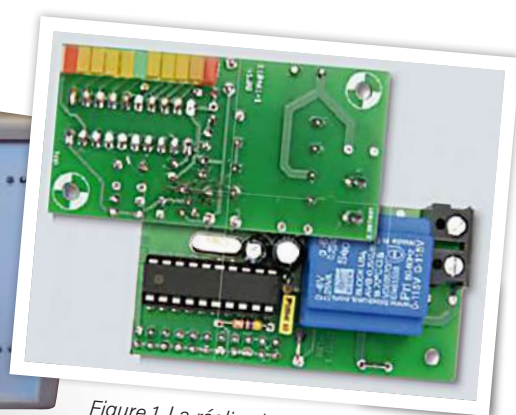
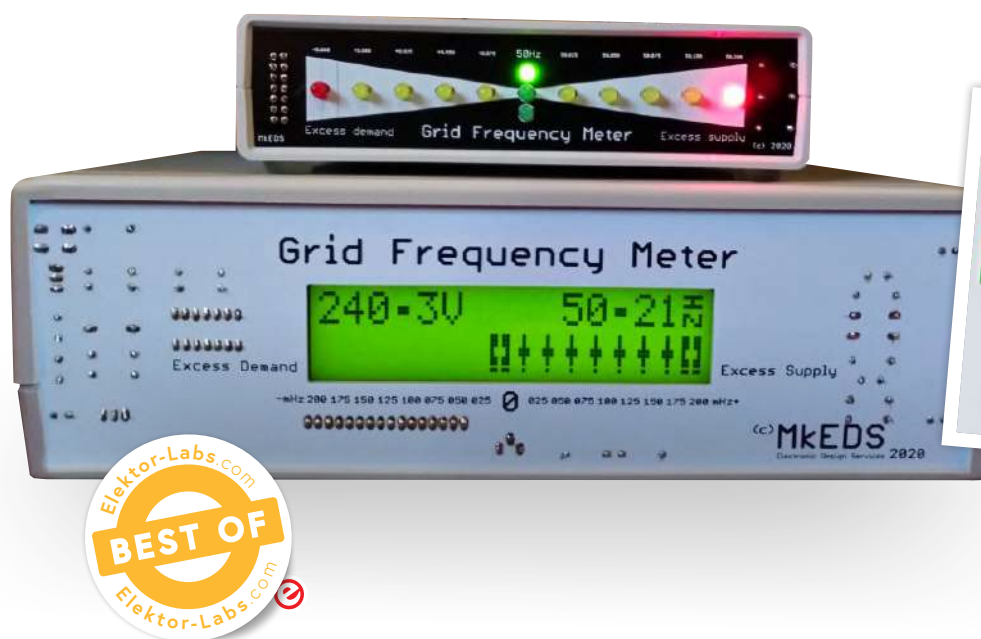


Figure 1. La réalisation de Dieter Laues avec affichage de la fréquence du secteur avec une ligne de LED.

Mark Stevenson (Royaume-Uni)

La fréquence traduit fidèlement la charge du réseau. Ce fréquencemètre pour le secteur surveille non seulement ce paramètre important de notre réseau CA, mais aussi sa tension.

Voilà quelques années, j'ai lu dans *Elektor* un article de Dieter Laues qui montrait comment on peut déterminer la charge du réseau électrique national en mesurant sa fréquence [1]. En bref : les générateurs ralentissent quand la charge augmente et donc la fréquence du secteur diminue ; quand la charge est faible, les générateurs

accélèrent et la fréquence augmente.

Au Royaume-Uni (R-U), le National Grid est tenu de maintenir la fréquence à $\pm 1\%$ de sa valeur nominale F_n de 50 Hz, donc entre 49,5 Hz et 50,5 Hz. Toutefois, l'opérateur vise à maintenir cette fréquence à $\pm 0,2$ Hz (49,8 Hz à 50,2 Hz). Le dépassement de ces limites causa une coupure générale de courant dans une grande partie du R-U : deux grandes centrales électriques tombèrent en panne quasi simultanément. La charge des centrales restantes devint soudain excessive et la fréquence baissa. Pour rester en deçà des seuils d'exploitation et permettre aux centrales restantes de continuer à produire, il fallut réduire la charge en « débranchant » une bonne partie des abonnés. Des installations de réserve prirent le relais et le courant fut finalement rétabli.

J'ai construit le compteur original (fig. 1) dès la publication du projet. Quelques années plus tard, je décidai de fabriquer ma propre version avec un μ contrôleur PIC de Microchip Technology au lieu de l'AVR du projet de Dieter. J'ai remplacé la barre de LED d'origine par un LCD, et mon compteur affiche aussi la tension du secteur. Note : cet appareil affiche les tendances des valeurs du secteur. Il n'est pas ultraprécis quant aux mesures de tension et de fréquence.

Matériel

La figure 2 donne le schéma de principe du fréquencemètre pour le secteur. Un bloc secteur enfichable CA de 9 à 12 V_{eff} est connecté à K1. C1 élimine tout bruit HF. D2 redresse en monoalternance et, après lissage par C2 et C3 (470 μ F), alimente le régulateur 5 V IC1. En cas de coupure de courant, grâce à C5 et C2+C3, le processeur

a le temps d'enregistrer la perte de tension dans l'EEPROM. R5 polarise le bouton-poussoir NO d'étalonnage à 5 V. Idem pour R8/R9 et les ponts à souder 120/220 V. Si aucun pont n'est soudé, l'échelle de tension est par défaut de 240 V. Ainsi, la tension de sortie du bloc secteur CA est utilisée pour mesurer la tension du secteur ; cette mesure fiable n'est pas ultraprécise, mais l'est assez pour suivre les variations de tension CA. Les diodes D3 et D4 redressent en monoalternance les entrées respectives tension/fréquence. D3 est reliée à l'entrée CA par R1, ce qui combiné à D5 et R10 limite la tension maximale appliquée sur Volt_In (br. 3) du μ contrôleur. Le potentiomètre à dix tours R11 permet de régler la tension sur une plage raisonnable ; R10 apporte une atténuation supplémentaire lorsque R11 est à sa valeur maximale. D4 est reliée à travers R3 à la base du transistor de mise en forme d'impulsion. C4 filtre tout bruit sur l'alimentation AC, ce qui arrondit les transitions, mais le logiciel compense en mesurant la durée des niveaux *haut* et *bas* de l'impulsion.

D1, R2, R4 et C8 alimentent le rétroéclairage du LCD. Ce redressement monoalternance peut entraîner un scintillement du rétroéclairage si on le regarde de près. En cas de gêne, C8 peut être augmenté. Il faut adapter R2 et R4 à la limite de courant spécifique au LCD installé.

Le μ contrôleur (IC2) est un PIC16F1825 fonctionnant à 32 MHz. Le LCD est connecté en mode 4 bits et la broche R/W est à la masse (écriture seule). R13 est un potentiomètre de réglage du contraste du LCD.

Construction

Le dessin du circuit est simple en soi et ne contient que des composants traversants standard. Si vous ne voulez pas faire faire un circuit imprimé, réaliser le montage sur une carte de prototypage ou une platine d'essai devrait être aisé. Diverses cartes ont été réalisées pour ce projet, les photos de cet article et celles d'*Elektor Labs* illustrent une version à LCD géant (récupéré d'un appareil mis au rebut) ; ce fréquencemètre pour le secteur utilise le côté cuivre de la carte comme face avant. Des fichiers de

CAO Eagle et Gerber sont disponibles en téléchargement sur *Elektor Labs* [2] pour les LCD standard à 2×16 caractères ou le LCM1602 plus grand.

Logiciel

À nouveau projet, nouveau logiciel. Après mûre réflexion, j'ai choisi la façon de mesurer la période d'impulsion avec un MCU PIC trouvée sur le forum *Great Cow BASIC* [3]. Pour écrire le code, j'ai utilisé le compilateur *open source* Great Cow BASIC [4] pour les PIC et AVR à 8 bits. Le code source et le fichier HEX de programmation du PIC16F1825 sont en téléchargement sur la page *Elektor Labs* du projet [2]. Le signal « carré » que délivre T1, le transistor de mise en forme de la demi-alternance CA, n'est pas parfait. Il est arrondi, un peu asymétrique et les durées hautes et basses diffèrent. En mesurant les deux durées *haute* et *basse* et en en faisant la somme, on corrige ce problème. Un délai d'attente est prévu pour qu'en cas de perte d'alimentation à cause d'une panne du secteur, le compteur ne reste pas dans l'attente de

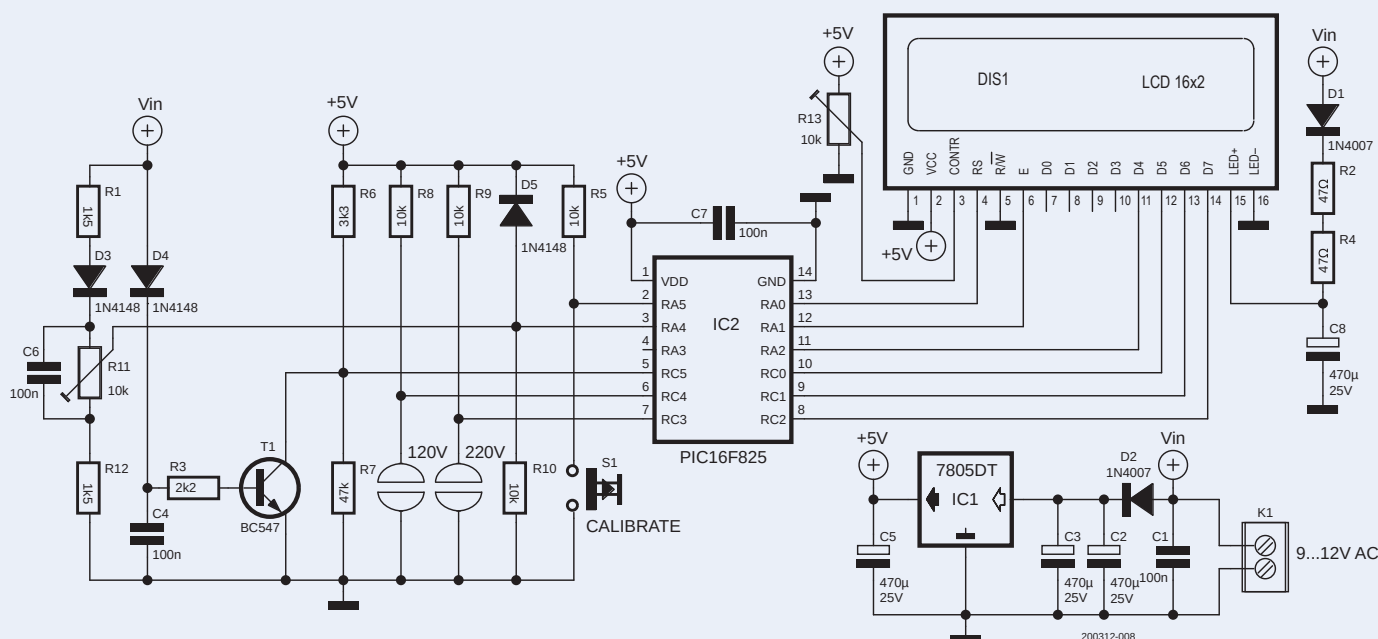


Figure 2. Schéma du projet.

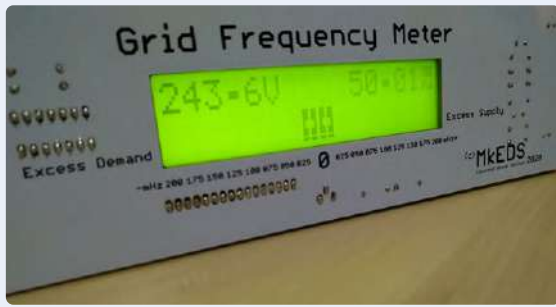


Figure 3. Affichage de la mesure en conditions normales.



Figure 4. Affichage de l'événement « sous-tension ».

la transition suivante *haute* ou *basse*. On utilise la moyenne de 20 comptages. La fréquence affichée est bien plus stable. Le logiciel détecte automatiquement une fréquence du secteur nominale F_n de 60 Hz et étalonne l'affichage du bargraphe pour le centrer autour de 60 Hz. Faute de moyen précis de produire du 60 Hz, cela n'a pas encore été testé.

Une fois la fréquence mesurée, c'est au tour de la tension du secteur. Une demi-alternance brute, non filtrée, arrive sur la broche 3. Elle est échantillonnée 50 fois à intervalle de 1 ms et la lecture de crête est exploitée. Cette lecture est ensuite multipliée par un facteur adéquat pour afficher la valeur approchée de la tension efficace. Deux ponts à souder permettent de choisir un facteur d'échelle parmi trois comme indiqué sur le schéma. Cela permet la détection correcte de la tension nominale V_n de 120 V, 220 V ou 240 V. Un potentiomètre à 10 tours permet de s'adapter à une alimentation CA de 9 à 12 V_{eff} . Avec les ponts corrects en place, et si la broche 3 reçoit 4 $V_{crête}$, la bonne tension du secteur doit s'afficher. Pour stabiliser la mesure et l'immuniser contre le bruit, le programme fait la moyenne de huit comptages.

Ce que montre l'écran

Avec le LCD à 2×16 caractères le plus courant, en conditions normales, la ligne du haut indique à gauche la tension du secteur, la fréquence s'affiche sur les six caractères les plus à droite, comme sur la **figure 3**. La ligne du bas de l'écran LCD affiche un bargraphe à segments s'allumant progressivement à partir du centre. Si les segments s'allument du centre vers la droite, la fréquence est supérieure à sa valeur nominale ($>F_n$) ; si c'est du centre vers la gauche, la fréquence est $<F_n$. Un segment équivaut à 25 millihertz (mHz). Huit segments dans chaque direction permettent d'afficher ± 200 mHz. Si la

fréquence est très proche de F_n , les deux éléments centraux prennent chacun l'aspect d'un grand bloc carré. Si la fréquence s'éloigne de F_n , le bloc à gauche ou à droite du centre se change en un caractère « + » s'étendant verticalement, pointant vers le haut ou le bas de la fréquence, selon le sens de l'écart.

Les deux caractères du centre de la ligne du haut sont utilisés pour signaler des « événements ». Si la tension ou la fréquence dépassent une limite ($\pm 5\%$ en tension, $\pm 0,6\%$ en fréquence), un drapeau et un symbole d'événement s'affichent. Par ex., une flèche vers le bas s'affiche si la tension est faible, une flèche vers le haut si elle est excessive.

Si un événement s'est produit, le temps écoulé depuis ce dernier s'affiche dans la partie inutilisée de la zone d'affichage du bargraphe une fois par minute environ, au format heures et minutes pour les premières 24 heures, puis jours et heures. Par ex., l'affichage de la **figure 4** montre un drapeau d'événement *sous-tension* : un symbole qui évoque une fiche débranchée de sa prise, suivi d'une flèche vers le bas. La 2^e ligne indique que l'événement s'est produit il y a une minute et que la fréquence était $>F_n$: l'indication de temps est à gauche et le bargraphe s'étend vers la droite de la ligne. Si la fréquence avait été $<F_n$, le bargraphe se serait étendu vers la gauche et l'heure de l'événement aurait été placée à droite du bargraphe.

Les événements de tension s'effacent automatiquement après sept jours, ceux de fréquence après dix minutes. On peut effacer les événements manuellement d'une brève pression sur le bouton *Calibrage*. Le logiciel tentera de stocker l'événement le plus récent dans l'EEPROM. Le plus probable est un événement *sous-tension*. En cas de coupure du secteur, les condensateurs électrolytiques de part et d'autre du régulateur 5 V doivent garder le proces-

seur alimenté pendant quelques ms après la chute de la tension sur ses broches 5 et 3 (mesures fréquence/tension). Si le secteur baisse ou tombe à zéro pendant plus de 500 ms, cet événement doit être capturé et enregistré. Si le secteur est totalement coupé, l'événement doit être enregistré. Lorsqu'il est rétabli, l'événement s'affiche et le décompte de temps redémarre de zéro.

Étalonnage

Le processeur utilisé possède un résonateur interne. Il est raisonnablement précis, mais si on essaie de descendre à une précision du mHz, on note des différences d'un processeur à l'autre. L'étalonnage réalise une petite correction de la somme des durées des niveaux *Haut* et *Bas* des impulsions dérivées de la tension CA d'entrée. Le facteur de correction est déterminé une fois pour toutes et stocké dans l'EEPROM. L'étalonnage s'effectue par une pression prolongée sur le commutateur *Reset/Calibrates1*. La valeur d'étalonnage initiale s'affiche quelques ms puis commence à augmenter. La plage de réglage est comprise entre -99 et +99. Si l'étalonnage augmente au-delà de +99, il revient à -99. Un pas de réglage ajoute ou soustrait une valeur équivalente à ± 250 μ Hz, la plage complète de réglage étant juste inférieure à ± 250 mHz. Si vous disposez d'un générateur de signaux ayant une résolution (et une précision) de l'ordre du mHz, vous pouvez l'utiliser : retirez D4 et envoyez le signal directement à la broche 5 d'IC2. Il est plus pratique d'attendre 2 à 3 heures du matin (on suppose que fréquence et tension du secteur sont nominales à cette heure) puis de régler le compteur pour qu'il indique la fréquence nominale (F_n) du secteur, soit 50 ou 60 Hz. Je préfère cette méthode car le risque de frustration est réduit ! Si le compteur est réglé ainsi, je vous suggère de surveiller la fréquence et de noter si elle est majoritairement $>F_n$ ou $<F_n$, en effectuant de petits

ajustements jusqu'à ce qu'elle soit correcte. La lecture de tension du secteur peut être étalonnée à l'aide de n'importe quel multimètre assez précis **en observant les précautions applicables à la mesure de tensions potentiellement mortelles**. Si vous n'êtes pas sûr de vous en matière de mesure de haute tension, attendez jusqu'aux premières heures du matin et réglez le potentiomètre pour que la tension V_n s'affiche.

Sur *Elektor Labs*, on note quelques commentaires concernant l'exactitude et la pertinence d'utiliser un processeur à résonateur interne par rapport à un quartz externe. J'estime que le résonateur interne est validé par l'utilisation : récemment j'ai construit ma propre version du montage de Dieter Laues qui utilise un cristal et, le « mien » et le « sien » ont fonctionné côte à côte pendant plusieurs mois. À aucun moment, je n'ai perçu le besoin de revoir la conception du mien ni d'utiliser un oscillateur à quartz. 

200312-04 – VF : Yves Georges

Des questions, des commentaires ?

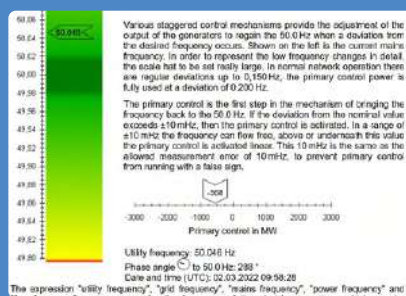
Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Fréquence du réseau électrique en ligne

Si vous souhaitez voir ou même suivre la fréquence du secteur sans acheter ou construire votre propre compteur, il existe quelques sites web qui fournissent des informations intéressantes sur le secteur. Au R-U, un certain nombre de ressources en ligne indiquant la fréquence instantanée existaient jadis ; cependant, en les observant, on s'apercevait que certaines étaient en retard sur d'autres et qu'elles ne concordaient presque jamais. Pire, en majorité elles semblent avoir disparu ou s'appuyer sur Adobe Flash aujourd'hui dépassé et rejeté par les navigateurs modernes. En faisant des recherches pour cet article, nous avons trouvé un site du R-U qui semble être précis [5], le rafraîchissement n'est pas automatique, et il faut constamment rafraîchir la page pour obtenir la valeur instantanée



Pour l'Europe, nous en avons trouvé un qui fonctionne bien, avec rafraîchissement automatique, mais nous ne pouvons certifier son exactitude [6].



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

R1,R12 = 1,5 kΩ
R2,R4 = 47 Ω
R3 = 2,2 kΩ
R5,R8,R9,R10 = 10 kΩ
R6 = 3,3 kΩ
R7 = 47 kΩ
R11 = 10 kΩ ajustable, multitour
R13 = ajustable 10 kΩ

Condensateurs

C1,C4,C6,C7 = 100 nF
C2,C3,C5,C8 = 470 μF, 25 V radial

Semi-conducteurs

D1,D2 = 1N4007
D3,D4,D5 = 1N4148
T1 = BC547
IC1 = 7805
IC2 = PIC16F1825

Divers

S1 = bouton-poussoir NO
DIS1 = LCD alphanumérique,
2×16 caractères



PRODUITS

➤ **Compteur intelligent SmartPi 3.0 pour Raspberry Pi (carte, sondes et boîtier)**
www.elektor.fr/19953

➤ **2715 - testeur numérique de boucles / PSC (courant de court-circuit présumé) de PeakTech**
www.elektor.fr/19078

➤ **3445 - multimètre numérique à valeurs efficaces vraies, avec Bluetooth, de PeakTech**
www.elektor.fr/18774

LIENS

- [1] « Le réseau EDF à la loupe », Dieter Laues, Elektor 01/2012 : www.elektormagazine.fr/110461
- [2] Page de ce projet sur Elektor Labs : www.elektormagazine.fr/labs/electricity-grid-frequency-meter-v2
- [3] « Measuring Pulse Width To Sub-Microsecond Resolution with PIC Capture & Compare », W. Roth, Great Cow BASIC, 2015 : <https://bit.ly/measuring-pulse-width>
- [4] Compilateur BASIC Great Cow : <http://gcbasic.sourceforge.net/Typesetter/index.php/Home>
- [5] Fréquence du secteur R-U en ligne : <http://mainsfrequency.uk/fm-last10m>
- [6] Fréquence du secteur UE en ligne : www.gridwatch.templar.co.uk

inductancemètre tout simple

Un appareil de faible coût pour votre établi



Philippe Le Guen (France)

Si vous recherchez un instrument de test et de mesure des inductances, cet inductancemètre à construire vous-même remplacera avantageusement bien des appareils plus onéreux du marché.

Un bon instrument de test et de mesure des inductances figure depuis longtemps sur la liste des appareils souhaitables pour mon labo. J'ai donc décidé de le construire moi-même. L'instrument simple présenté ici ne peut pas rivaliser avec les instruments complets, sophistiqués, mais complexes du marché ; ce n'est qu'un modeste inductancemètre qui indique la valeur d'une inductance inconnue. On trouve sur internet de nombreux appareils de ce type, parfois basés sur *Arduino*. Voici quelques années, je découvris le site de F. Kudelsko [1]. Il décrit un petit inductancemètre à monter soi-même dont la gamme de mesure va de quelques dizaines de nH à environ 10 mH. Un programme PC

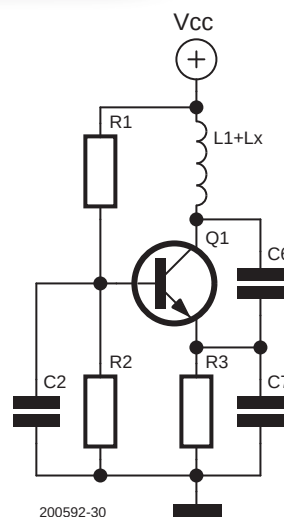


Figure 1. Le circuit réservoir LC détermine la fréquence de l'oscillateur de Colpitts.

Windows récupère la valeur de l'inductance par *USB* pour l'afficher. Je trouvais cette approche assez intéressante, mais je voulais plutôt un appareil autonome. Je remercie vivement l'auteur qui a partagé son travail et je me suis basé sur celui-ci pour développer le mien.

Principe de fonctionnement

Le principe de l'inductancemètre est assez simple. L'inductance inconnue est insérée dans le circuit LC d'un oscillateur. En mesurant sa fréquence, on peut déterminer la valeur de l'inductance inconnue.

Un oscillateur LC peut être construit de nombreuses façons. Il s'agit ici d'un oscillateur de *Colpitts* (voir **fig. 1**). Il se base sur un étage amplificateur à transistor en base commune (Q1) (entrée sur l'émetteur, sortie sur le collecteur). Sans entrer dans le détail du fonctionnement de cet oscillateur, la formule de *Thomson* (alias *Lord Kelvin*) donne la fréquence de sortie :

$$f = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$$

En isolant L , on obtient :

$$L = 1 / (4\pi^2 f^2 C)$$

C est ici constitué de $C6$ et $C7$ en série et donc :

$$C = (C6 \times C7) / (C6 + C7)$$

La valeur de ces condensateurs est connue, mais, pour plus de précision, je les ai mesurés avec mon capacimètre. Il suffit d'entrer C et la fréquence mesurée dans la formule donnant L pour trouver sa valeur. Je recommande d'utiliser des types *MKT* à 5 %.

Schéma de principe

Le schéma de l'inductancemètre est présenté à la **figure 2**. Comme je n'avais pas besoin d'interface USB, j'ai remplacé le μ contrôleur *PIC18F2550* d'origine [1] par un *PIC18F252* et ajouté un écran *LCD* de 2 lignes de 16 caractères. La valeur de certains composants a été déterminée par ceux dont je disposais.

Note sur $C5$: ce condensateur provient du schéma d'origine [1]. Il a une légère influence sur la fréquence de l'oscillateur. Du point de vue courant alternatif, il est en parallèle sur ($C5$ - $C6$) et donc, la formule pour calculer C devient :

$$C = C5 + [(C6 \times C7) / (C6 + C7)]$$

$C5$ doit être de la même précision et qualité que $C6$ et $C7$.

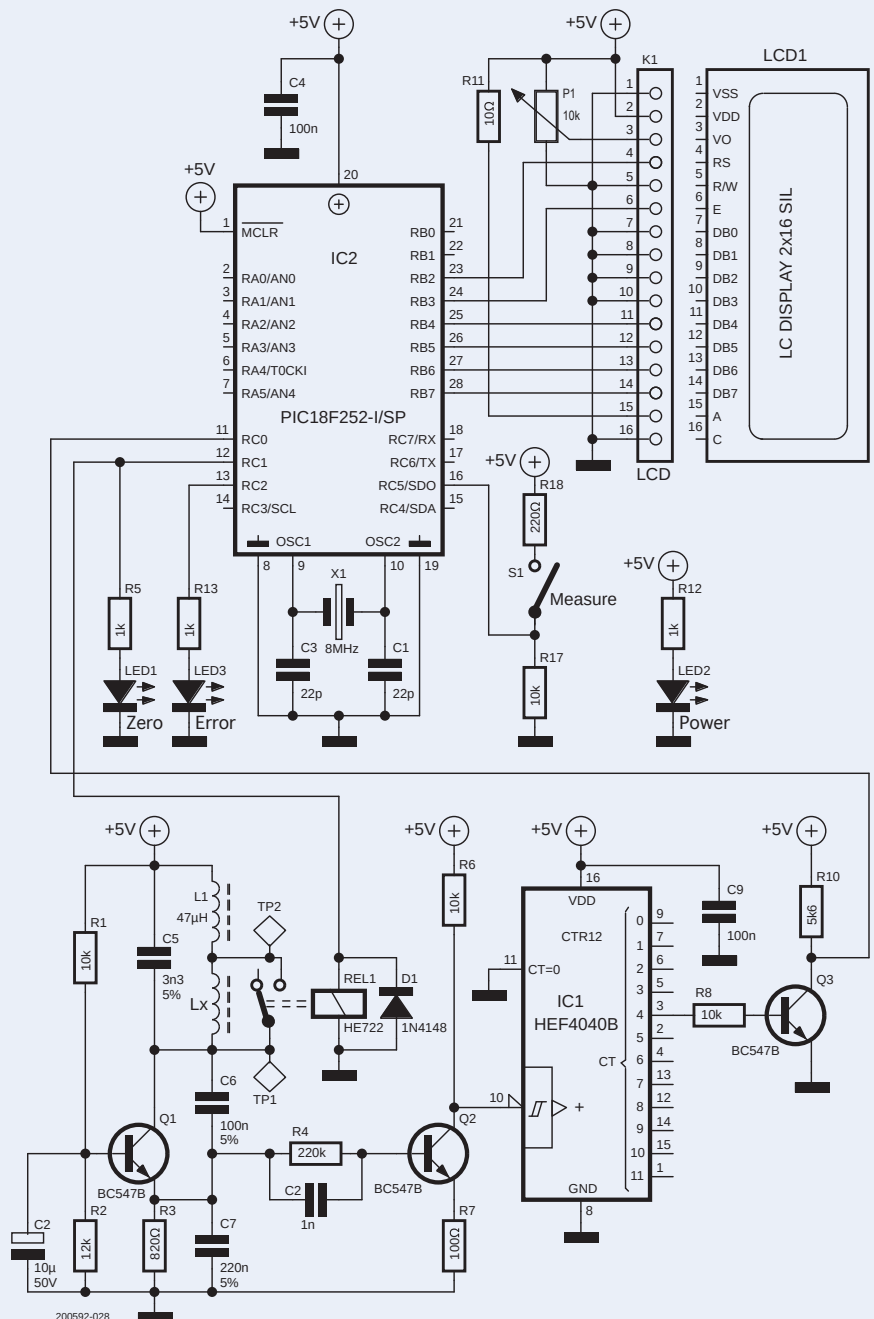


Figure 2. Un prédiviseur (IC1) réduit la fréquence de l'oscillateur fixée par L_x à une valeur acceptable par le μ contrôleur (IC2).

Avec la valeur de mes composants et L_x court-circuitée (relais, voir ci-après), la fréquence théorique de l'oscillateur est de 83,821 kHz (86,488 kHz avec des composants idéaux). À l'oscilloscope, j'obtiens une fréquence de 88,652 kHz, soit une différence de 5,4 %.

Tous les calculs sont effectués par le μ contrôleur. Il mesure la fréquence de l'oscillateur sur le port RC0. Il faut auparavant réduire cette fréquence pour la ramener à une valeur qu'il peut mesurer. Un compteur binaire de type 4040 (IC1) s'en charge. Il divise la fréquence par 32. J'avais en stock un *HEF4040B* que j'ai utilisé pour IC1, mais un *74HCT4040* convient aussi.

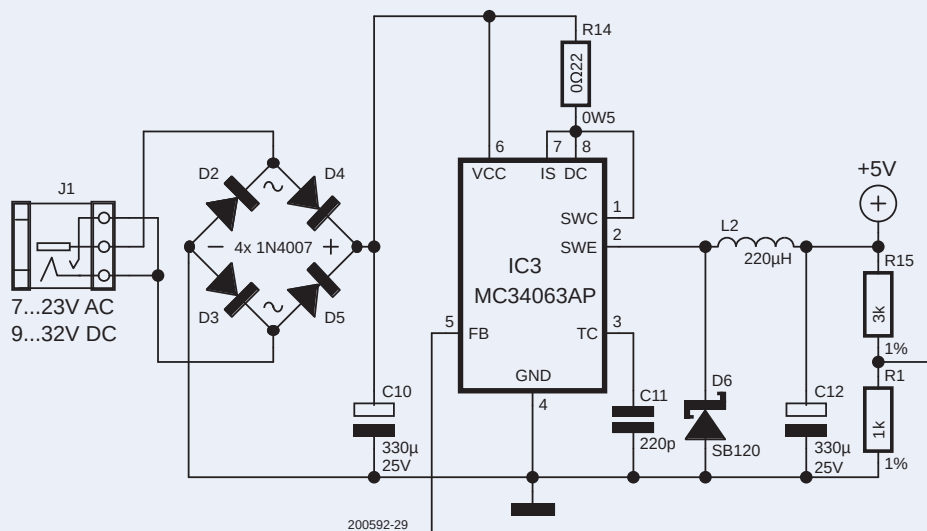


Figure 3. L'alimentation à découpage couvre une vaste plage de tension d'entrée.

L1 et le relais

Pour que l'oscillateur démarre quelle que soit la valeur de l'inductance inconnue L_x , une autre inductance $L1$ est placée en série avec celle-ci. Quand on effectue une mesure, la fréquence de l'oscillateur est déterminée par la somme de ces deux inductances. Cependant, seule L_x nous intéresse. Le logiciel effectue d'abord une mesure avec L_x en court-circuit. Cette valeur est donc la référence zéro. Elle est mémorisée puis utilisée pour calculer la valeur de L_x .

Alimentation électrique

Un MC34063 (IC3) monté en régulateur *buck* à découpage fournit la tension d'alimentation convenable de +5 V (fig. 3). La source d'alimentation CA/CC à l'entrée du circuit est redressée puis filtrée par le condensateur C10 avant d'entrer dans IC3. Le redresseur D2 à D5 permet l'alimentation en courant alternatif (CA) et en courant continu (CC) de polarité quelconque. Ainsi, l'appareil accepte à son entrée des tensions de 7 à 23 V_{AC} ou de 9 à 32 V_{CC}. La fréquence de découpage est voisine de 30 kHz. Le circuit complet ne consomme que 35 mA. Comme l'alimentation peut fournir jusqu'à 1,2 A, elle est très largement dimensionnée. La broche centrale du connecteur d'alimentation a un diamètre de 2 mm, compatible avec de nombreux adaptateurs standard.

Micrologiciel

J'ai écrit un petit programme en mikroC [2] qui, comme l'original, permet la mesure de toute inductance, et affiche sa valeur (en nH, µH ou mH) sur le LCD. La sélection de la plage de mesure est automatique. La mesure de la valeur de L_x se fait en deux étapes :

1. Étalonnage du zéro de mesure (relais fermé, fig. 4).
2. Mesure avec affichage de la valeur calculée.

Le programme lance le comptage du *Timer1* du MCU au premier front montant sur RC0 ; il s'arrête au bout d'une seconde (contrôlé par *Timer0*). La valeur de *Timer1* représente alors la fréquence du signal présent en entrée. Le processeur effectue les calculs nécessaires pour déterminer la valeur de $L1$ (étape 1) ou de L_x (étape 2). L'écran LCD affiche l'état du processus. Pendant l'étape 1, la LED jaune

(LED1, Zero) s'allume. Si l'inductance inconnue n'est pas connectée, le message « aucune bobine détectée » s'affiche et la LED rouge (LED3, Error) s'allume. Dans ce cas, vérifiez la connexion et recommencez la séquence de mesure en appuyant sur le bouton-poussoir.

L'utilisation du système est simple et agréable car tout est automatique. Il n'y a qu'à appuyer brièvement (environ 0,5 s) sur le bouton-poussoir connecté à RC5 pour, au besoin, relancer la mesure. Une flèche apparaît sur l'écran pour indiquer une nouvelle mesure.

Réalisation pratique

Une fois le prototype validé, j'ai conçu son circuit imprimé en double face [2]. Il peut être inséré dans un boîtier Multicomp MCRH3135 (fig. 5). Votre œil d'expert aura remarqué la petite taille des pastilles. Elles font pour la plupart 1,4 mm de Ø avec un trou de 0,8 mm. Pour le montage, je recommande donc soit d'utiliser un bon fer à souder miniature, soit de redessiner votre circuit imprimé.

Malgré mes efforts pour dessiner un circuit imprimé sans erreur, deux problèmes sont apparus au montage car

- j'avais omis de vérifier dimensions et forme des plots du connecteur d'alimentation J1. Si vous utilisez le même modèle que moi, et que vous ne modifiez pas le dessin, corrigez l'erreur avec un outil de type *Dremel* (fig. 6). Cependant, les soudures ne maintiendront pas suffisamment le connecteur, collez-le ensuite sur la carte.
- Il n'y a pas de connecteur ICSP pour la programmation en place de la MCU, ce qui n'est pas très pratique. Il est toutefois possible de programmer le MCU en le retirant de la carte et en le plaçant sur une plaque d'essai ou de prototypage.

L'écran LCD est monté sur une barrette simple rangée à 16 voies, et fermement fixé au circuit imprimé à l'aide de quatre entretoises en nylon M3 x 10 mm et de vis et écrous appropriés.

Les circuits intégrés sont montés sur supports, ce qui, pour le µcontrôleur, n'est nécessaire que si vous voulez pouvoir le reprogrammer. Pour éviter les capacités et inductances parasites



Figure 4. Pour assurer une bonne précision, chaque mesure est effectuée en deux étapes. On voit ici l'étape 1, la séquence d'étalonnage du zéro.

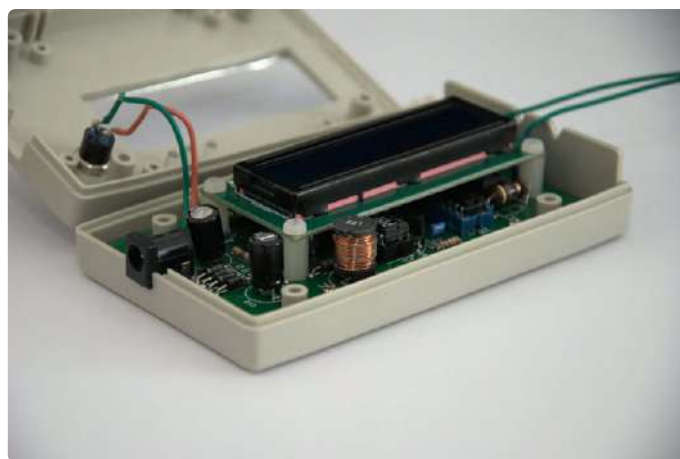


Figure 5. Le boîtier est tout à fait adapté au circuit imprimé de l'inductancemètre.

indésirables, mieux vaut souder le relais directement sur la carte. Les trois LED sont soudées presque au ras de la carte, et des guides de lumière (fibre optique) améliorent leur visibilité. Le fichier binaire produit par le compilateur doit être transféré dans la mémoire flash du μ contrôleur avec un programmeur tel que le PICKit3.

Après avoir dessiné la face avant avec l'outil gratuit *Front Panel Designer* [2][3], je l'ai imprimée sur une feuille d'aluminium autocollante (3M) avec mon imprimante laser. Le résultat est propre, mais la découpe et le positionnement avant collage sont un peu délicats.

Détails et finitions

Mieux vaut garder les connexions entre l'appareil et l'inductance L_x aussi courtes que possible car leurs capacités et inductances parasites engendrent une erreur de mesure. Mes cordons de test sont des fils multibrins de 12 cm et $0,2 \text{ mm}^2$ terminés par un crochet. Comme pour tout instrument de mesure, stabilisez-le en température en l'allumant quelques minutes avant de commencer les mesures. 

200592-04 – VF : Yves Georges

Des questions, des commentaires ?

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

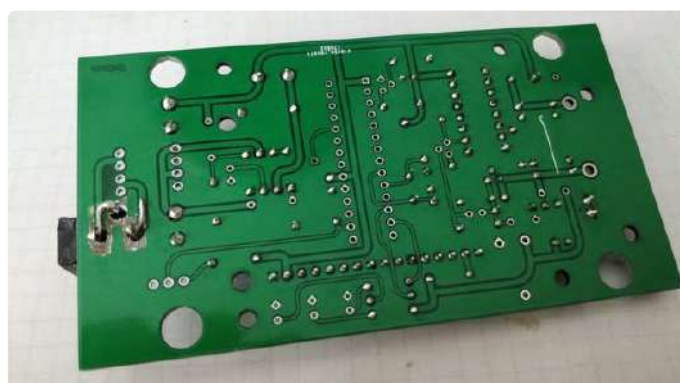


Figure 6. « Errare humanum est », modification du circuit imprimé pour l'adapter à l'empreinte exacte de la prise d'alimentation.



PRODUITS

- > LCR-mètre 2 MHz d'Elektor
www.elektor.fr/19883
- > DT71, pincette de mesure numérique de Miniware
www.elektor.fr/19422
- > Livre « Les microcontrôleurs PIC pour les débutants », R. Mallard, Elektor, ISBN 9782866611931
www.elektor.fr/15959

LIENS

[1] Inductancemètre DIY : http://kudelsko.free.fr/inductance_usb/sommaire.htm

[2] Téléchargements sur la page de ce projet, Elektor Labs : www.elektormagazine.fr/labs/autonomous-inductance-meter

[3] Concepteur de face avant : www.frontpanelexpress.com/

Lévitaiton avec ondes acoustiques

Un aperçu du kit de lévitation acoustique de Makerfabs

Luc Lemmens (Elektor)

Avec le projet TinyLev, vous pouvez faire des expériences avec des ondes stationnaires ultrasoniques pour faire léviter des objets. Le kit de Makerfabs contient tous les composants nécessaires pour concevoir votre propre lévitateur acoustique. Mais est-il réellement si simple à construire ?

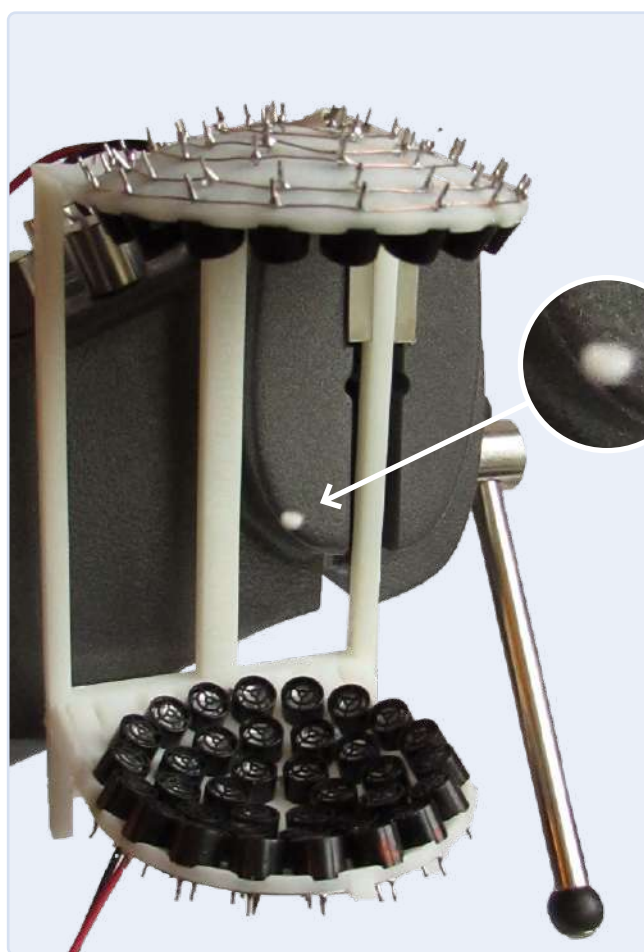
Dans les dernières éditions d'*Elektor*, nous avons présenté trois petits circuits simples pour la lévitation magnétique. Nous avons remarqué qu'il existe d'autres méthodes pour faire léviter des objets, comme l'utilisation d'ondes acoustiques [1]. Le site Instructables.com décrit un projet de bricolage conçu à l'Université de Bristol qui utilise les ondes sonores de transducteurs ultrasoniques standards pour obtenir cet état d'apesanteur apparente des petits objets [2]. Le kit *DIY Acoustic Levitator* de Makerfabs, disponible dans l'e-choppe Elektor, contient toutes les pièces nécessaires à la réalisation de ce projet TinyLev, vous évitant ainsi de devoir chercher vous-même les composants, notamment le cadre imprimé en 3D nécessaire à la construction du dispositif complet.

Le kit est livré sans documentation, mais un lien pour accéder à la page du projet Instructables [2] mentionné plus haut est disponible sur l'e-choppe Elektor. Ce guide est rempli d'instructions sous forme de texte,

de photos et même de vidéos. L'approche progressive vous guidera dans la construction du kit.

Sur cette page web, vous trouverez également des liens vers des informations de base et des ressources sur la théorie de la lévitation acoustique ; elle constitue une bonne référence si vous voulez faire plus que simplement construire et jouer avec le TinyLev comme un gadget. En bref : la lévitation est fondée sur le modèle d'onde stationnaire de

réseaux de transducteurs ultrasoniques (dans ce cas : deux), chaque réseau étant disposé dans un « réflecteur » incurvé en forme de boule. La forme et la géométrie correctes de la base avec les réflecteurs et le positionnement des transducteurs sont essentielles pour créer l'effet de lévitation. Sur le site Instructables, deux designs 3D sont disponibles pour le téléchargement et l'impression de la base pour TinyLev. Le kit *Acoustic Levitator* de Makerfabs contient un spécimen imprimé de



la version V1 plus le pied qui doit être collé à la base, prêt à être utilisé.

Commencez à construire, mais en priorité...

Après avoir vérifié le contenu du kit (**figure 1**), il faut d'abord déterminer la polarité correcte de chaque transducteur à ultrasons (étape 4... 6). Apparemment, il ne faut pas se fier aux indications de polarité inscrites sur les transducteurs à ultrasons en général, ce n'est pas que les kits de MakerFabs contiennent des composants qui ne sont pas fiables ! Avec 72 sondes au total, c'est une tâche qui prend beaucoup de temps. Dans les instructions, deux méthodes sont décrites, l'une consiste en l'utilisation de la carte Arduino Nano - qui est également incluse dans le kit de Makerfabs — en tant qu'un « oscilloscope minimaliste ». Vous pouvez effectuer le test avec un multimètre numérique standard. C'est probablement le moyen le plus simple et le plus rapide : il suffit de marquer la polarité en fonction du potentiel initial sur les broches du transducteur lorsque les sondes sont connectées. Cependant, mes multimètres numériques à plage automatique ne semblent pas utiles ici, vous devez avoir un compteur qui peut être commuté manuellement sur la plage de tension la plus sensible et qui répond immédiatement lorsque les sondes du compteur sont connectées au transducteur. Finalement, j'ai utilisé la méthode de test par l'Arduino Nano. Prenez votre temps pour le faire, une seule erreur peut gâcher ou même complètement ruiner l'effet de lévitation. Il est de la plus haute importance que tous les transducteurs aient la phase correcte du signal sonore.

Les réseaux de transducteurs

Une fois tous les transducteurs marqués, il ne reste plus qu'à les coller sur le cadre imprimé en 3D. Le guide sur Instructables recommande l'utilisation de la colle chaude ; pour moi, ce n'est pas aisé avec des pièces relativement petites, telles que ces transducteurs. Donnez-moi un pistolet à colle chaude et c'est le bazar sur mon établi. J'ai utilisé un tube de colle de bricolage pour plastiques durs. Quoi que vous utilisiez, assurez-vous que toutes les marques que vous avez faites sur ces pièces pointent dans la même direction : soit toutes vers le centre, soit toutes vers le bord extérieur du réflecteur. Ils doivent s'insérer dans les cavités rondes de la base. Il me restait quelques pièces de rechange, quatre transducteurs n'étaient pas nécessaires pour

remplir complètement le cadre (c'est-à-dire qu'il y en a 76 dans le kit !). Deux d'entre eux peuvent être utilisés pour le dépannage et comme capteurs (microphones) pour vérifier la phase du son provenant de tous les transducteurs individuellement (si les choses ne fonctionnent pas...).

L'étape suivante (le point 8 des instructions) consiste à câbler les transducteurs. Le kit contient un morceau de fil épais et tordu dont l'isolation a été découpée (**figure 2**). Chaque fils peut être utilisé pour interconnecter les pieds des transducteurs en cercles concentriques. Les fils rouges et noirs les plus

longs du kit servent à terminer le câblage de la base, avec les transducteurs disposés en deux rangées de 36 ; les fils plus courts sont mis de côté pour réaliser le câblage de l'alimentation électrique des composants électroniques aux étapes 15 et 16. La **figure 3** montre à quoi ressemblera le câblage de l'un des réflecteurs.

Autres matériels et logiciels

Dans les étapes suivantes, le reste des connexions doit être réalisé : entre l'Arduino Nano et la carte de commande, le câblage d'alimentation, et entre la carte de commande et la base avec les transducteurs. L'Arduino



Figure 1. Contenu du kit.



Figure 2. Fils pour connecter les transducteurs.



Figure 3. Le câblage de l'un des deux réseaux.

doit bien sûr être programmé. Téléchargez le sketch *Nano_TinyLev.ino* depuis le site Instructables, compilez-le et téléversez-le dans l'Arduino IDE.

Le pilote est une carte standard L298N pour double moteur, dans ce cas, il produit les signaux sonores de 40 kHz pour les deux réseaux de transducteurs. La procédure pour réaliser ces interconnexions ne sera pas difficile pour le bricoleur expérimenté, il suffit de suivre le texte et les photos sur Instructables qui — il faut l'admettre — manquent de précision sur certains points. La plaque de base utilisée pour fixer les circuits imprimés et le circuit d'alimentation n'est pas incluse dans le kit, mais un morceau de contreplaqué de 10 x 10 cm ou plus fera l'affaire.

Vérifiez, revérifiez...

Il est conseillé de réaliser les tests décrits dans les instructions avant de connecter les transducteurs, en particulier pour vérifier l'absence de courts-circuits dans les réseaux, qui endommageraient probablement la carte de commande. Vérifiez également les signaux de sortie de la carte de commande à l'aide d'un oscilloscope. Ensuite, si vous êtes assez sûr de votre travail, c'est-à-dire si vous êtes — pour ainsi dire — certain que tous les transducteurs sont correctement connectés et fonctionnels, vous pouvez gagner du temps et ne pas vérifier la phase de chaque sondeur individuellement. Vous pourrez toujours le faire par la suite ; si la lévitation ne fonctionne pas correctement, il y a de fortes chances que le problème concerne les matrices. J'avais une grande confiance dans mon travail et elle s'est avérée justifiée : cela a marché tout de suite !

Et expérimentez...

Ensuite, il est temps de commencer à faire des expériences avec toutes sortes d'objets qui peuvent être lévités avec le TinyLev. Je n'ai pas passé trop de temps à faire cela, j'ai essayé quelques petits morceaux de papier enroulés, des petites perles en plastique et des boules de polystyrène, et il était assez facile de les mettre en lévitation entre les réseaux de transducteurs (voir **figure 4**). La page Instructables décrit également la lévitation de petits insectes



Figure 4. Une minuscule boule de polystyrène en vol stationnaire dans le TinyLev.

(morts) et de gouttes de liquide. En cherchant « TinyLev » sur Internet, vous trouverez beaucoup d'autres expériences avec ce projet qui peuvent être intéressantes à essayer (ou qui peuvent susciter de nouvelles idées).

Planer sur les ondes acoustiques

Construire le TinyLev est facile à faire avec ce kit *Acoustic Levitator* de MakerFab. Toutes les pièces nécessaires sont incluses et avec toutes les informations disponibles sur le site Instructables et d'autres sources Internet, il sera relativement facile de commencer à expérimenter la lévitation acoustique. Ne vous attendez pas à terminer la construction en une heure ou deux. J'ai passé pas mal de temps uniquement pour vérifier et marquer les transducteurs et pour souder les réseaux. Quant au reste, j'ai même sauté certaines étapes qui n'étaient pas indispensables pour réaliser la lévitation sur mon établi. Ne précipitez pas les choses, cependant : une erreur — en particulier dans les réseaux de transducteurs — peut coûter beaucoup de temps à dépanner et à réparer ! Si vous avez fait un effort pour réaliser ce travail, vous serez récompensé par un sentiment d'admiration lorsque vous verrez le premier objet planer sur les ondes acoustiques du TinyLev ! ◀

220062-04

Des questions, des commentaires ?

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

Bonnes nouvelles !

La fréquence des ultrasons est supérieure à la limite de l'audition humaine, d'où leur nom. Dans notre cas, nous parlons de 40 kHz, soit environ un facteur 2 supérieur à la plus haute tonalité que nous pouvons percevoir. Nous entendrons au mieux un clic ou un court grésillement lorsque nous allumons le TinyLev, mais d'autres créatures, comme vos animaux domestiques, peuvent l'entendre et y réagir fortement. Les chats de l'auteur ne semblent pas s'en préoccuper, mais ils ne réagissent de toute façon que lorsqu'ils entendent leurs gamelles bouger.



PRODUITS

➤ Kit de lévitation acoustique de Makerfabs
www.elektor.fr/19984

LIENS

[1] Eric Bogers, « Lévitation acoustique des objets lourds » Elektormagazine.fr:
www.elektormagazine.fr/news/levitation-acoustique-des-objets-lourds

[2] Lévitateur acoustique sur « Instructables »: www.instructables.com/Acoustic-Levitator/

démarrer en électronique... (14)

Les redresseurs

Eric Bogers (Elektor)

Dans le numéro de mai/juin d'Elektor, nous avons accueilli la diode comme le premier membre de la famille des semi-conducteurs et l'électronique d'aujourd'hui est inconcevable sans elle. Cette fois, nous allons faire quelques petits calculs avec les redresseurs. Après tout, nous ne pouvons pas nous contenter de souder des composants ensemble et espérer que cela va fonctionner.

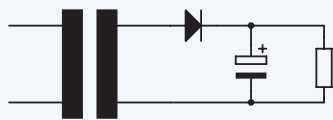
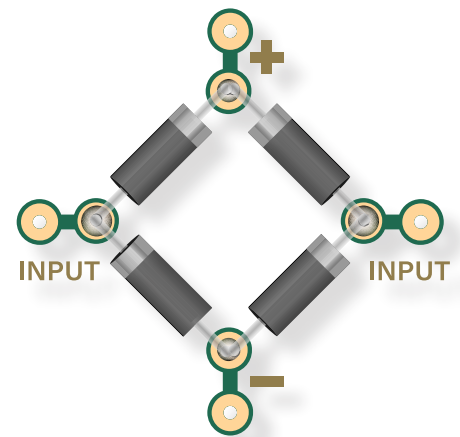


Figure 1. Le redresseur demi-onde.

Commençons avec un redresseur demi-onde (**fig. 1**). Plus la capacité du condensateur électrolytique est grande, moins la tension baissera pendant les demi-périodes négatives de la tension alternative ; de même, plus la résistance est petite (et donc plus le courant absorbé par la charge est élevé), plus la tension baissera pendant les demi-périodes négatives (« effondrement », dit l'ingénieur en électronique). On peut traduire cela par une formule :

$$U = \frac{Q}{C} \rightarrow \Delta U = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I \cdot T}{C} = \frac{I}{f \cdot C}$$

Nous avons supposé que le courant est constant. Supposons maintenant que nous ayons un transformateur de 15 V, un redresseur demi-onde et une charge dont le courant est de 1 A. La tension fournie par le redresseur doit être stabilisée par un circuit intégré régulateur qui nécessite une tension d'entrée minimale de 18 V pour fournir une tension de sortie stable de 15 V (nous reviendrons sur ce circuit intégré dans un prochain épisode). Dans ce cas, quelle doit être la capacité du condensateur ?

Tout d'abord, nous devons calculer la valeur de crête de la tension alternative. Dans un article précédent de cette série, nous avons vu que la valeur de crête s'obtient avec la formule :

$$U_{peak} = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

Soustrayons 0,7 V de cette tension de crête pour tenir compte de la tension directe de la diode au silicium utilisée comme redresseur :

$$U_{peak} = 15 \text{ V} \cdot \sqrt{2} - 0,7 \text{ V} = 20,5 \text{ V}$$

Pour les perfectionnistes parmi vous, nous avons arrondi le résultat à une décimale – ce qui est suffisamment précis dans ce cas. Comme le circuit intégré a besoin d'une tension d'entrée d'au moins 18 V (ce qu'indique la fiche technique de ce CI), la tension peut chuter de 2,5 V maximum pendant une période. Nous réécrivons la formule pour la tension aux bornes du condensateur et ajoutons les valeurs de courant, de tension et de fréquence :

$$\Delta U = \frac{I}{f \cdot C} \rightarrow C = \frac{I}{f \cdot \Delta U}$$

$$C = \frac{1 \text{ A}}{50 \text{ Hz} \cdot 2,5 \text{ V}} = 8000 \mu\text{F}$$

La valeur standard immédiatement supérieure serait de 10 000 μF , ce qui, pour un courant de seulement 1 A, est déjà un « gros » condensateur. En principe, il existe deux méthodes pour obtenir une valeur inférieure (et donc un condensateur électrolytique plus petit et moins cher) :

- utiliser un redressement pleine onde, ce qui signifie que le condensateur est chargé deux fois plus souvent ;
- augmenter la tension du transformateur et donc la chute de tension admissible.

Gardons le redressement pleine onde pour plus tard et commençons par augmenter la tension du transformateur. Avec un transformateur de 18 V au lieu de 15 V, la tension de crête sur la

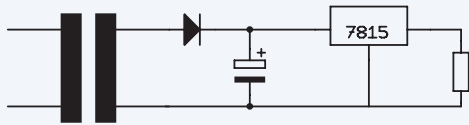


Figure 2. Redresseur demi-onde avec circuit intégré stabilisateur.

diode passe à environ 24,7 V, soit une chute de tension maximale admissible de 6,7 V, ce qui conduit à une capacité calculée d'environ 3 000 µF. La valeur standard immédiatement supérieure est de 3 300 µF ou 4 700 µF.

Comme l'a dit un célèbre philosophe du football néerlandais (Johan Cruyff), tout avantage a son inconvénient : cette solution entraîne une consommation d'énergie plus élevée ainsi qu'une plus grande dissipation de chaleur dans le régulateur de tension. Pour cela, nous allons examiner la **figure 2**.

Le composant portant la référence 7815 est un régulateur de tension fixe. Pour l'instant, peu importe son fonctionnement. Ce qui nous intéresse, c'est que ce CI transforme une tension d'entrée continue variable (dans certaines limites) en une tension de sortie continue (presque) constante.

La puissance de sortie est la même, indépendante du modèle du transformateur (15 V ou 18 V) :

$$P_{out} = 15 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 15 \text{ W}$$

La dissipation dans le CI (la puissance convertie en chaleur dans le CI) est égale à la différence entre les tensions d'entrée et de sortie multipliée par le courant (dans de nombreux cas – et ici aussi – nous pouvons négliger la consommation propre du CI).

$$P_{loss} = (U_{in} - U_{out}) \cdot I = \left(\frac{U_{in(min)} + U_{in(max)}}{2} - U_{out} \right) \cdot I$$

$$P_{loss(15V)} = \left(\frac{18 \text{ V} + 20,7 \text{ V}}{2} - 15 \text{ V} \right) \cdot 1 \text{ A} = 4,35 \text{ W}$$

$$P_{loss(18V)} = \left(\frac{18 \text{ V} + 24,7 \text{ V}}{2} - 15 \text{ V} \right) \cdot 1 \text{ A} = 6,35 \text{ W}$$

La tension d'entrée du CI n'est évidemment pas constante ; pour simplifier, nous utilisons la moyenne arithmétique des tensions d'entrée minimale et maximale (une approximation qui suffit à nos besoins).

En conséquence, la puissance perdue dans le régulateur de tension augmente d'environ 50% – c'est beaucoup de chaleur en plus à dissiper. Le fait que le transformateur doive maintenant fournir 22 W au lieu de 20 W (y compris les pertes dans la diode et le régulateur de tension) n'a d'importance que si cela nous oblige à en utiliser un de plus grande taille.

Le redresseur pleine onde

Nous avons représenté le redresseur pleine onde de manière schématique à la **figure 3**. Grâce à l'ingénieux circuit à quatre diodes (également appelé pont redresseur ou de Graetz), les deux demi-périodes de la tension alternative sinusoidale à l'entrée sont maintenant utilisées. Pendant la demi-période positive, le courant de charge du condensateur électrolytique passe par les diodes en haut à droite et en bas à gauche, et pendant la demi-période négative par les diodes en bas à droite et en haut à gauche. L'avantage est que le condensateur électrolytique est chargé deux fois plus souvent et donc que sa taille diminue de moitié environ. On obtient les courbes de tension de la **figure 4** : en haut la tension d'entrée, au milieu la tension aux bornes de la charge sans le condensateur et en bas la tension aux bornes du condensateur.

La variation de tension aux bornes du condensateur est la suivante :

$$\Delta U = \frac{I}{2 \cdot f \cdot C}$$

Calculons maintenant notre exemple précédent (avec le transformateur de 15 V) avec un redresseur pleine onde. En raison de la chute de tension supplémentaire aux bornes de la deuxième diode, nous avons maintenant une tension de crête de :

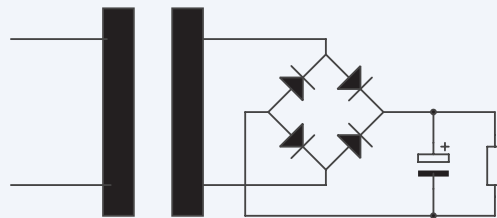


Figure 3. Le redresseur pleine onde.

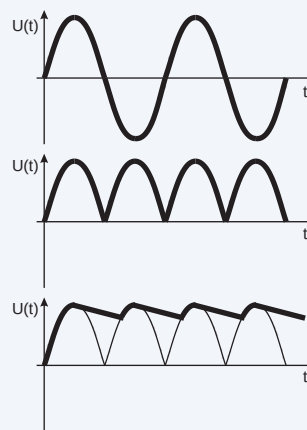


Figure 4. Courbes de tension avec le redresseur pleine onde.

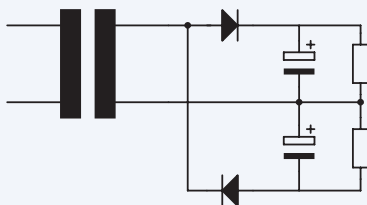


Figure 5. Réalisation d'une tension d'alimentation symétrique.

$$U_{peak} = 15\text{ V} \cdot \sqrt{2} - 1,4\text{ V} = 19,8\text{ V}$$

Cela nous donne une valeur pour le condensateur électrolytique de :

$$C = \frac{1\text{ A}}{2 \cdot 50\text{ Hz} \cdot 1,8\text{ V}} = 5500\text{ }\mu\text{F}$$

La valeur standard immédiatement supérieure est de 6 800 μF , fort peu courante, ce qui nous ramène à la valeur de 10 000 μF . Avec un transformateur de 18 V, la valeur calculée passe à 1 700 μF et la valeur standard à 2 200 μF : au moins une taille en dessous. Notre estimation initiale, selon laquelle la taille du condensateur diminuerait de moitié, ne tenait pas compte de la tension directe des diodes de redressement.

Il est clair que le courant traversant la charge a un effet déterminant sur la capacité du condensateur. C'est la raison pour laquelle on trouve souvent un grand nombre de gros condensateurs électrolytiques dans l'alimentation des amplificateurs de grosse puissance.

Tension d'alimentation symétrique

Les circuits utilisant des amplificateurs opérationnels (« ampli op ») ont souvent besoin d'une tension d'alimentation symétrique, c'est-à-dire de tensions positive et négative égales par rapport à la masse commune. En principe, c'est possible avec deux transformateurs ou avec un transformateur à deux enroulements secondaires, suivis de deux redresseurs.

Une simplification possible est de dériver ces deux tensions à partir d'une seule tension alternative, comme le montre la **figure 5**. En fait, il s'agit de deux redresseurs demi-onde, l'un utilisant les demi-périodes positives de la tension alternative sinusoïdale d'entrée et l'autre les demi-périodes négatives. Le calcul des condensateurs électrolytiques est le même que pour les redresseurs demi-onde « normaux ».

Cependant, la taille du transformateur nécessite maintenant un peu plus d'attention. Supposons que nous ayons besoin d'une tension d'alimentation symétrique de $\pm 15\text{ V}$ pour un courant de 1 A. Ces tensions sont stabilisées par des régulateurs de tension. Le transformateur doit être capable de fournir au moins 20 W (1 A

à une tension de crête d'environ 20 V) – mais cela pour chaque demi-période. Au total, le transformateur doit pouvoir fournir au moins 40 W.

C'est tout pour cette fois. Dans le prochain épisode, nous multiplierons les tensions. ◀

220169-04 – VF : Helmut Muller

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).



PRODUITS

- **B. Kainka, Initiation à l'électronique et programmation de montages pour débutants**
www.elektor.fr/19339
- **R. Mallard, L'électronique pour les débutants**
www.elektor.fr/15662



LIEN

- [1] « Démarrer en électronique... (13) - Entrée en scène de la diode », E. Bogers et M. Ebner, Elektor 05-06/2022 : www.elektormagazine.fr/220003-04

E-FFWD

regardons à nouveau
vers l'avenir !

Tout comme la société Messe München et l'ensemble des professionnels de l'électronique, Elektor espère que le salon electronica 2022 retrouvera sa fréquentation d'antan en novembre prochain. Le besoin de se rencontrer à nouveau en personne est sur toutes les lèvres, et cela s'applique en particulier aux inventeurs de tout poil qui sont les piliers du concours *electronica fast forward* (e-ffwd) !



Même si nous essayons d'éviter de parler de la covid maintenant que nous avons retrouvé une certaine liberté d'action, il est bien sûr inévitable de considérer son impact sur l'édition à venir. Nous sommes heureux d'avoir pu maintenir le concours de start-ups *fast forward* ces deux dernières années. Après une version numérique en 2020 et une édition lors du salon *productronica* en 2021 encore fortement affectée par les restrictions de voyage, il est clair que nous espérons avoir un impact plus important cette année.

C'est donc avec beaucoup d'enthousiasme que nous envisageons l'édition 2022 du plus grand salon d'électronique au monde, qui se tiendra à partir du 15 novembre à Munich. Cela promet d'être un grand événement, qui comprendra à la fois le salon lui-même (presque tous les acteurs majeurs ont annoncé leur venue) et l'*electronica fast forward*, la plateforme de start-ups d'*electronica* et Elektor. Avec un rôle de premier plan pour les start-ups et les scale-ups novatrices qui seront accueillies sur un stand de plus de 270 m², nous ferons plus que compenser l'absence de ces dernières années !

En 2022, il y aura beaucoup plus à découvrir, car non seulement nous exposerons des projets novateurs qui en sont à leurs tout débuts, mais nous donnerons aussi la parole à des acteurs qui ont déjà franchi les premiers obstacles de leur parcours entrepreneurial.

Le meilleur des meilleurs

Cette année, nous avons l'intention de repérer la « crème de la crème » des start-ups pour les mettre en avant. Nous nous concentrons sur les entrepreneurs intéressants et avant-gardistes, avec beaucoup de conviction et d'audace. Pour les trouver, nous allons encore plus loin en 2022. Outre l'appel annuel par le biais des canaux de *Messe München* et d'Elektor, nous effectuons également un repérage actif à l'échelle internationale grâce à des collaborations avec l'industrie, des plateformes telles que Kickstarter, Indiegogo et Crowd Supply, ainsi que des publications internationales.

Nous recherchons des start-ups et des scale-ups à différents stades de leur démarche entrepreneuriale.

Avec quelques talents en devenir et jusqu'à trois entreprises qui ont déjà obtenu leurs premiers succès commerciaux, le concours *e-ffwd 2022* promet d'être une combinaison d'inspiration et d'aspiration. Comme chaque année, Elektor invite les entrepreneurs les plus pertinents et les plus inspirants à se présenter et à raconter leur histoire, ainsi qu'à montrer leurs produits sur le stand *e-ffwd*, devant l'ensemble des acteurs du monde de l'électronique.

Les articles ainsi que les vidéos publiés régulièrement – dans notre magazine, notre lettre d'information et sur nos réseaux sociaux – permettent de découvrir les candidats potentiels. Pour déterminer

qui seront les entrepreneurs invités sur le stand à Munich, c'est-à-dire ceux avec les parcours les plus intéressants, il y a un vote combiné à un examen du jury. Ainsi, la participation au concours *e-ffwd* de cette année est « sur invitation seulement » mais pondérée. Les gagnants se partageront une cagnotte de 150.000 € d'actions de marketing et l'une des très convoitées invitations à *electronica 2024*. Ainsi, un des gagnants pourra participer à la prochaine édition du plus grand salon d'électronique au monde.

Équipe universitaire

Autre nouveauté pour 2022 : nous projetons d'inviter également une équipe d'étudiants d'une université technique. De nombreuses universités ont des projets étonnamment ambitieux, inscrits à des concours internationaux (souvent parrainés par l'industrie électronique). Ces dernières années ont été marquées par de nombreux projets notables qui, dans une certaine mesure, n'ont pas encore reçu l'attention qu'ils méritent. C'est pourquoi *Messe München* et Elektor veulent les accueillir lors cette édition spéciale qui marque le grand retour d'*electronica* !

Notre équipe est donc à la recherche d'un invité « au top », issu du secteur éducatif international. Bien entendu, nous encourageons notre propre communauté à réfléchir et à proposer des candidatures. Cela peut se faire via notre site web spécial « *fast forward 2022* ». Les équipes peuvent également s'inscrire de leur propre chef. Les établissements d'enseignement ne font pas partie du concours *e-ffwd 2022*, mais il n'y a évidemment pas de meilleur endroit pour montrer les résultats d'un travail acharné à l'ensemble du secteur international dont chaque étudiant rêve de devenir membre !

Ambition

Il est clair que le concours *electronica fast forward 2022* est ambitieux, grâce à l'ardeur des entrepreneurs et des étudiants engagés dans les start-ups. Mais les organisateurs du concours *e-ffwd 2022* sont également ambitieux, ils veulent que cette édition soit la meilleure de celles organisées jusqu'à présent. La société *Messe München* a mis à disposition un stand impressionnant au milieu du hall B4, juste à côté du forum où chaque équipe d'étudiants, start-up ou scale-up aura la possibilité de se présenter. Et Elektor utilisera tous ses médias pour donner un coup de pouce marketing aux invités du concours de cette année.

L'organisation invite cordialement les partenaires industriels à participer à cette édition spéciale du concours *fast forward*. Montrez votre soutien à l'avenir de notre industrie et devenez sponsor de cet événement unique. N'hésitez pas à nous contacter à l'adresse fastforward@elektor.com ou demandez à vos interlocuteurs habituels chez Elektor quelles sont les possibilités de sponsoring.



débuter avec son oscilloscope

Suivez le guide à travers les boutons et molettes

Clemens Valens (Elektor)

Après un certain temps passé à bricoler de l'électronique, vos projets vont s'étoffer et vous aurez sans doute besoin d'un oscilloscope. Un oscilloscope est un instrument qui affiche l'évolution d'une ou plusieurs tensions en fonction du temps. Mais comment le choisir ? Et comment l'utiliser ?



Bien sûr, vous avez déjà acheté un multimètre, c'est bien, mais un oscilloscope peut faire des choses qu'un multimètre ne peut pas faire. En revanche, les oscilloscopes sont aussi des instruments beaucoup plus complexes que les multimètres, et il faut donc du temps et de la pratique pour en tirer profit.

De quoi avez-vous besoin ?

Autrefois, les oscilloscopes étaient chers, mais depuis les prix ont tellement baissé que presque tout le monde peut s'en offrir un. Pour la plupart des applications de loisirs, de bricolage et de *maker*, un oscilloscope de base est plus que suffisant. Si votre domaine ce sont les projets avec des cartes Arduino ou Raspberry Pi, la construction et la réparation d'amplis audio, d'instruments de musique ou d'effets de guitare, inutile d'investir dans un oscilloscope à quatre voies (ou plus) avec des centaines de MHz de bande passante et pleins de giga-échantillons. Un oscilloscope à deux canaux de 20 à 50 MHz suffira amplement (fig. 1).

Pas trop petit, s'il vous plaît

Cependant, même si cela semble tentant, je ne recommande pas d'investir dans ces petits oscilloscopes en kits bon marché pour amateurs qu'on peut trouver en ligne (fig. 2).

Vous n'aurez ni le confort ni les fonctions d'un modeste mais véritable oscilloscope de labo. Ils sont pratiques en déplacement ou quand vous êtes vraiment à l'étroit, mais c'est leur seul avantage. Je me réjouis que mon oscilloscope ne bouge pas lorsque je tire sur un cordon, et il doit posséder des boutons et molettes accessibles rapidement. Pour moi, un oscilloscope sans bouton pour l'axe horizontal ni vertical n'est pas un vrai oscilloscope.

Oscilloscopes sans écran

Il y a bien sûr des oscilloscopes sans écran avec d'excellentes spécifications (fig. 3), mais ils nécessitent une tablette ou un ordinateur et une souris. Ces appareils sont bons pour effectuer des mesures à distance, pour la documentation ou la surveillance permanente, pour l'enregistrement et le post-traitement des données (ou pour faire des choses très précises avec beaucoup de manipulations). Dans la configuration de mon labo, l'ordinateur est indispensable pour afficher un schéma, modifier un micrologiciel, lire des fiches techniques et effectuer des recherches sur l'internet. Je ne veux pas en faire aussi un oscilloscope. Je ne veux pas d'un deuxième ordinateur qui prendrait trop de place sur la paillasse et, bien sûr, je veux de vrais boutons.



DSO, MSO, analogique ?

Les oscilloscopes d'aujourd'hui sont numériques et s'appellent DSO (*Digital Signal Oscilloscope*). Dans le passé, les oscilloscopes étaient analogiques. Encombrants et limités, ils ne vous servaient à rien, à moins d'avoir des besoins très particuliers. Il y a eu des oscilloscopes hybrides qui pouvaient faire les deux, sans intérêt non plus pour vous. À propos, ne confondez pas ces oscilloscopes avec les oscilloscopes à signaux mixtes, ou MSO (*Mixed Signal Oscilloscope*), qui sont des DSO dotés de fonctions spéciales pour les signaux numériques, les bus de communication, etc.

Passons à la pratique

Maintenant que nous en savons un peu plus sur les oscilloscopes, nous pouvons commencer à apprendre à nous en servir. Si vous avez été malin et que vous avez acheté un appareil bon marché, il n'aura pas trop de fonctions, et il est donc facile de s'y mettre.

Comme dit au début, un oscilloscope affiche l'évolution d'une tension en fonction du temps, un « signal », ceci sous forme d'un graphique bidimensionnel centré au milieu de l'écran. Notez que j'ai écrit « tension »,

et non « courant ». Un oscilloscope est un voltmètre de luxe.

Principales sections de commandes

Parce qu'il affiche les signaux sous forme de graphiques, un oscilloscope dispose de commandes qui permettent de régler les axes horizontaux et verticaux du graphique. Sur tous les oscilloscopes modernes que je connais, ces commandes sont regroupées dans deux sections intitulées *Horizontal* et *Vertical* (fig. 4). La section *Horizontal* est aussi appelée *Base de temps* car l'axe horizontal représente généralement le temps.

Il y a ensuite une troisième section appelée *Trigger* (déclenchement). C'est probablement la section la plus importante, car elle détermine quand et comment un signal est affiché. Généralement il est assez facile de faire tenir le signal que vous mesurez sur l'écran en ajustant les axes horizontaux et verticaux, mais faire afficher par l'oscilloscope la partie du signal qui vous intéresse peut s'avérer beaucoup plus difficile. La section *Trigger* permet de commander cela et il est donc important de comprendre ce qu'elle fait et comment.

Vertical

Mais regardons d'abord la section *Vertical*. Cette section vous permet d'amplifier ou d'atténuer la tension (ou signal) d'entrée, ce qui signifie qu'on peut régler son amplitude et la déplacer vers le haut ou le bas, ceci indépendamment pour chaque canal d'entrée. À propos, dans le langage de l'oscilloscope, un signal est également appelé une *trace*. *Single-trace* signifie un seul signal ou voie, *dual-trace* deux voies, etc.

Mode XY

Autre sujet à confusion : les connecteurs d'entrée qui, en plus d'être intitulés *Channel 1* et *2*, sont parfois aussi intitulés *X* et *Y* (fig. 5). Cela fait référence à un mode de fonctionnement spécial de l'oscilloscope dans lequel l'entrée *X* commande l'axe horizontal au lieu de l'axe vertical. C'est avec ce mode que l'on crée les fameuses figures de Lissajous, favorites des vieux films de science-fiction. Nous n'utiliserons pas le mode XY dans cet article ; pour nous, l'axe horizontal représente toujours le temps.

Connexion de la sonde

Connectez une sonde à l'un des connecteurs de canal, et non au connecteur *Ext*, *Trigger*,

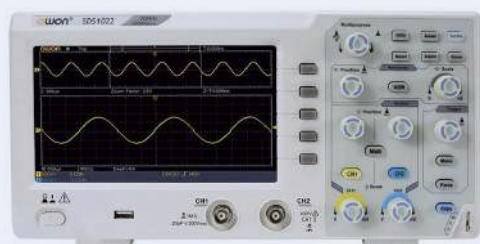


Figure 1. Dans la plupart des situations, un simple oscilloscope à deux canaux de 20 à 50 MHz suffit.



Figure 4. Les trois principales sections de commande de tout oscilloscope. 'Vertical', 'Horizontal' et 'Trigger'.



Figure 5. Les entrées X et Y sont utilisées en mode XY et permettent de créer, par exemple, des figures de Lissajous.



Figure 2. Malgré leur aspect sympa, les oscilloscopes miniatures ne sont pas très pratiques à utiliser.



Figure 3. Un oscilloscope sans écran permet de gagner de la place sur la paillasse. Mais est-ce bien le cas ? Il faut un ordinateur ou une tablette pour visualiser les signaux.

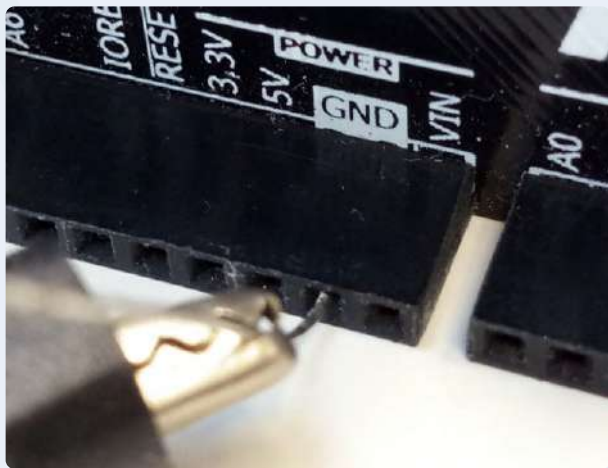


Figure 6. Connectez la pince crocodile de la sonde à GND (masse). La règle est d'essayer de la placer aussi près que possible du signal concerné, mais souvent, « n'importe où » convient parfaitement.

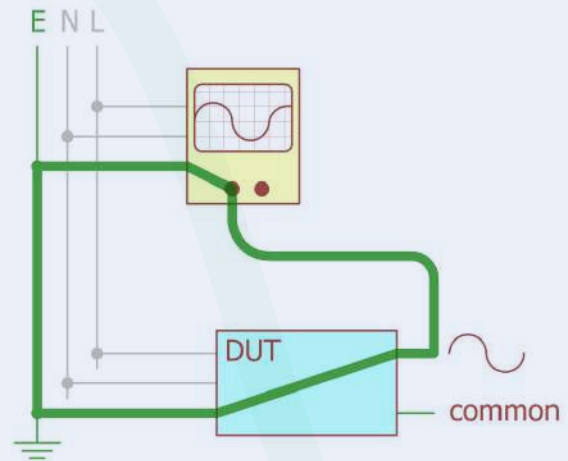


Figure 7. N'oubliez jamais qu'un oscilloscope peut être relié à la terre. Si c'est le cas, des courts-circuits peuvent se produire lorsque la pince crocodile de la sonde est connectée à autre chose que la terre.

Aux ou Z. Notez que les sondes disposent souvent d'un commutateur permettant de choisir entre 1:1 et 10:1. Il s'agit d'une option d'atténuation supplémentaire pour adapter les signaux forts ou améliorer la précision de mesure des signaux faibles. Certains utilisent toujours le mode 10:1 et il y a des sondes en mode 10:1 fixe. (Il y a également d'autres rapports comme 1 000:1.) Les sondes sont également appelées 1x et 10x, le « x » signifiant atténuation et non amplification. On peut souvent indiquer à l'oscilloscope le type de sonde utilisée, afin qu'il puisse adapter les échelles en conséquence.

Avant d'appliquer la pointe de la sonde au signal à observer, connectez d'abord la pince crocodile fixée à la sonde à la référence de masse du circuit testé. En règle générale, connectez-la aussi près que possible du signal. Cependant, dans de nombreux cas, ce n'est pas grave tant qu'elle est connectée quelque part à la terre (fig. 6). Il peut même s'avérer pratique d'utiliser la pince crocodile d'une deuxième sonde uniquement pour la connexion à la masse, afin de pouvoir retirer la pince crocodile de la sonde de mesure pour qu'elle ne gêne pas.

Un mot sur la masse

Notez que la masse ne doit pas nécessairement être la terre, il peut s'agir de n'importe quelle tension ou signal dans le circuit, mais ce doit être la même pour chaque canal. Notez aussi que la masse de la sonde est généralement connectée à la masse de l'oscilloscope qui peut être connectée à la terre du secteur, donc si vous connectez la masse de la sonde

à autre chose que la terre, des courts-circuits peuvent être créés et constituer des situations dangereuses (fig. 7). Par conséquent, connectez toujours la pince crocodile à la terre, sauf si vous savez ce que vous faites.

Horizontal ou base de temps

Avec le bouton de la section *Horizontal*, vous pouvez effectuer un zoom avant ou arrière sur l'échelle de temps et déplacer le signal vers la gauche ou la droite. En général, le centre de l'écran est à zéro.

Déclenchement

Jusqu'ici, je supposais que vous aviez vu quelque chose sur l'écran de l'oscilloscope, mais peut-être n'est-ce pas le cas ? Il se peut que la trace ne soit pas sur l'écran. Trouvez-la avec la commande de niveau vertical. La luminosité peut aussi être trop faible et, dans ce cas, augmentez-la. Enfin il peut s'agir d'un problème de déclenchement. Si votre oscilloscope dispose d'un bouton *Auto Setup* (configuration automatique) ou équivalent (fig. 8), c'est le bon moment pour vous en servir. Vous n'aurez peut-être pas le résultat attendu, mais au moins vous devriez voir quelque chose. Utilisez les boutons verticaux et horizontaux pour ramener le signal dans la gamme.

Le déclenchement est ce qui rend un oscilloscope vraiment utile, car il vous permet de vous concentrer sur la partie intéressante d'un signal. Un déclencheur est nécessaire pour démarrer une trace. Sans lui, la trace ne démarrera pas et vous ne verrez rien. C'est pourquoi un oscilloscope offre plusieurs options de déclenchement. On pourrait même

dire que plus un oscilloscope a d'options de déclenchement, mieux c'est.

Dans mon monde, tout oscilloscope possède au moins un déclenchement automatique et un normal, un niveau de déclenchement réglable, des déclenchements sur fronts ascendants et descendants ou positifs et négatifs et une entrée de déclenchement externe.

La première chose à faire est de sélectionner la source du signal de déclenchement. Il s'agit en général de l'un des signaux à examiner, mais il peut s'agir d'un signal produit par un autre appareil.

Déclenchement automatique

Le déclenchement automatique est le plus facile à utiliser (fig. 9). Dans ce mode, l'oscilloscope décide du moment du déclenchement, et l'utilisateur peut définir le niveau et le front sur lesquels déclencher. Ce mode est utile pour voir rapidement si quelque chose « se passe » sur une entrée ou simplement pour mesurer une tension continue.

Mode normal

En mode normal, l'oscilloscope ne déclenche que si les conditions de niveau et de front, ou toute autre condition que vous avez pu spécifier, sont remplies. Le tracé se poursuit ensuite jusqu'à atteindre la droite de l'écran. Il faut un nouveau déclenchement pour le faire repartir. Si vous réglez le niveau de déclenchement trop bas ou trop haut, la trace se fige ou peut ne pas apparaître, car elle n'est jamais déclenchée. Ce mode est idéal pour les événements peu fréquents ou pour se concentrer sur des événements particuliers.

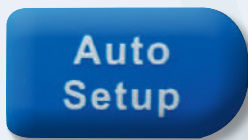


Figure 8. Le bouton 'Auto Setup' peut vous aider à trouver vos signaux, mais le résultat ne sera pas toujours celui attendu..

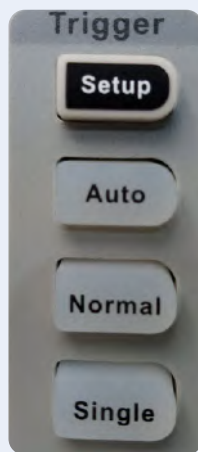


Figure 9. Ne confondez pas le bouton de déclenchement 'Auto' avec le bouton 'Auto Setup'. Le mode de déclenchement 'Auto' est utile pour configurer rapidement une mesure avant de passer en mode 'Normal'.



Figure 10. Les boutons 'Run', 'Stop' et 'Single' permettent de capturer des événements peu fréquents ou de geler les traces pour prendre des mesures sans que le signal ne disparaisse.

Run/Stop & Single

Il est fort probable que votre oscilloscope dispose d'un bouton *Run/Stop* et d'un bouton *Single* (fig. 10). Le bouton *Run/Stop* vous permet de figer l'affichage, ce qui est pratique si vous voulez étudier un signal en détail sans qu'un nouveau déclenchement ne puisse le modifier ou le faire disparaître. Appuyez à nouveau sur le bouton pour quitter ce mode. On peut utiliser le bouton *Single* lorsqu'un événement ne se produit qu'occasionnellement, par exemple seulement à la mise sous tension ou après la pression d'un bouton, ou lorsqu'il n'est pas périodique. Après le déclenchement, le tracé ne s'exécute qu'une fois, puis l'oscilloscope passe en mode *Stop*. Vous devez appuyer sur *Run* ou *Single* pour relancer la capture d'un autre événement. Appuyez à nouveau sur *Single* ou *Run* pour revenir au mode normal (le bouton sur lequel appuyer dépend, bien sûr, de l'oscilloscope).

Selon l'oscilloscope, il peut y avoir plus d'options de déclenchement. Les autres options typiques vont du déclenchement sur les deux fronts, ou sur un délai entre les fronts, une impulsion pour ainsi dire, au déclenchement sur une séquence, à l'intérieur ou à l'extérieur d'une fenêtre, avec des délais et autres. Comme je l'ai déjà dit, plus il y a d'options de déclenchement, mieux c'est. Nous nous arrêtons ici. Votre oscilloscope possède probablement plusieurs autres boutons qui ne sont pas abordés dans cet article. Mais maintenant que vous savez comment obtenir un signal stable sur son écran, vous pouvez explorer ces fonctions plus en profondeur.

Quoi que vous fassiez, gardez toujours à l'esprit qu'avant de mesurer quoi que ce soit, vous devez avoir une idée de ce à quoi vous devez vous attendre afin de pouvoir comparer le résultat à ce qu'il est censé être. Si vous ne savez pas à quoi vous attendre, vous ne pourrez pas dire si c'est faux ou si c'est juste. ◀

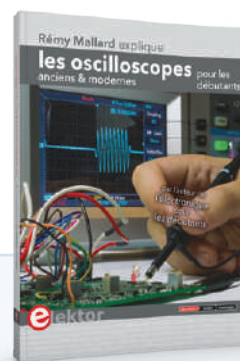
200661-04 – VF : Denis Lafourcade

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (clemens.valens@elektor.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr). Notez que nous sommes conscients que cet article est incomplet et que certains raccourcis ont été pris. Cet article n'est pas destiné aux experts.



PRODUITS



- Livre « Les oscilloscopes anciens & modernes pour les débutants », R. Mallard, Elektor, ISBN 978-2-86661-208-5 www.elektor.fr/19124
- SDS1022 - oscilloscope numérique à 2 voies (20 MHz) de Owon www.elektor.fr/18898
- Oscilloscope USB SmartScope de LabNation www.elektor.fr/17169
- PeakTech 1375 - oscilloscope tout-en-un à 4 voies (100 MHz, 1 Géch/s) www.elektor.fr/19316
- Oscilloscope DSO Coral 112A de JYE Tech www.elektor.fr/18319

Radio logicielle MSF utilisant un Raspberry Pi Pico

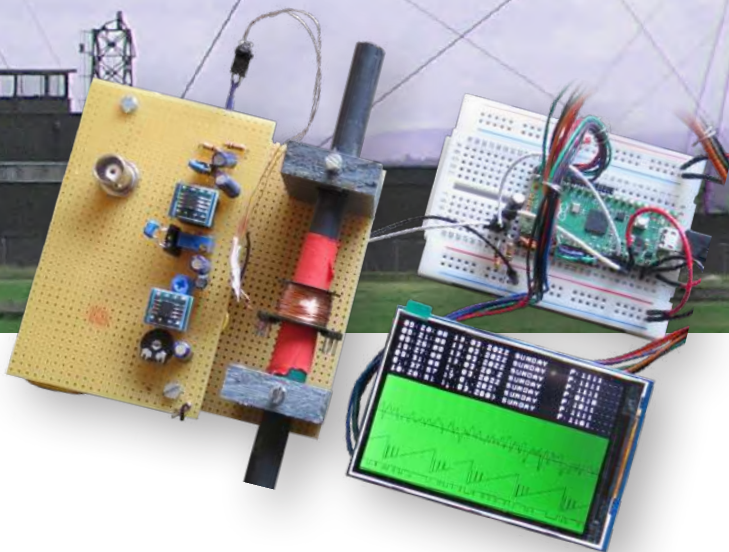
Décoder un signal temporel avec une radio logicielle (SDR) à base de RPi Pico

Antenne à très basse (VLF) fréquence à Anthorn (Dougsim, <https://bit.ly/34HXeuG>)

Martin Ossmann (Allemagne)

MSF est l'équivalent britannique de l'émetteur allemand de signaux horaires DCF77. Ce projet de radio logicielle montre comment un récepteur et un décodeur de ces signaux horaires (et d'autres) peuvent être mis en œuvre simplement et, surtout, à moindre coût. Comme matériel, vous n'aurez besoin que d'un Raspberry Pi Pico à prix modéré pour la réception, le décodage et l'affichage des informations du signal horaire MSF.

En Allemagne, l'émetteur DCF77 de Mainflingen transmet un signal horaire codé en ondes longues. Son équivalent basé au Royaume-Uni est le signal MSF, anciennement connu sous le nom de « The Rugby Clock » [1]. Il envoie des signaux horaires en utilisant un signal porteur à ondes longues de 60 kHz. Au début, il servait d'étalon de fréquence et émettait un paquet d'impulsions de cinq minutes deux fois par jour. Le protocole de transmission du signal a changé plusieurs fois au cours des dernières décennies, mais ce n'est qu'en 1977 que le codage a commencé à inclure des informations sur l'heure et la date pouvant être évaluées par le récepteur.



Projet

Au fil des ans, de nombreux circuits de réception/décodage qui utilisent le signal DCF77 ont été décrits dans divers articles d'Elektor, mais c'est pratiquement la première fois que la conception d'un récepteur MSF est présentée. Il y a eu, cependant, un circuit d'extension [2] pour le bon vieux 6502 Junior Computer [3] décrit dans l'édition anglaise d'Elektor. L'eau a coulé sous les ponts depuis lors, et la technologie relative aux récepteurs/décodeurs a progressé à pas de géant. Dans cet article, nous allons utiliser les derniers principes « à jour » pour construire une radio définie par logiciel (SDR) à l'aide d'une petite carte à microcontrôleur. La carte Raspberry Pi Pico, qui utilise un CPU RP2040 cadencé à 125 MHz (équipé de deux cœurs à 32 bits ARM Cortex M0+), est un matériel approprié, voire prédestiné, pour cette application. Son convertisseur analogique numérique peut fonctionner à 500 Ké/s. Toute cette puissance de traitement peut être achetée pour un montant presque négligeable de 5 € (voir l'encadré « **Produits** » ci-dessous). Nous présentons ici la mise en œuvre matérielle et logicielle d'un récepteur complet pour le signal temporel MSF de 60 kHz. Le récepteur complet, sans écran, mais avec une sortie RS232 et une connexion d'antenne, est représenté sur la **figure 1**.

Matériel

Tout d'abord, nous allons jeter un coup d'œil au matériel nécessaire pour construire la radio logicielle (SDR). Il y a juste quelques composants supplémentaires à connecter à notre carte Pico.

Entrée d'antenne : nous utilisons la broche d'entrée analogique ADC2 (GPIO28, sur la broche 34 de la carte Pico) pour la réception des signaux de l'antenne. Le CA/N utilise la tension interne de 3,3 V comme tension de référence. Cette broche doit donc être polarisée à la moitié de la tension de référence. Les deux résistances de la **figure 2** s'en chargent. Le condensateur C1 de 10 μ F assure le couplage en courant alternatif du signal reçu.

Sortie RS232 : dans sa forme la plus simple (sans affichage à cristaux liquides), le récepteur utilise une interface série (115.200 bits/s) pour transmettre les données. L'interface est mise en œuvre par le circuit illustré à la **figure 3**. Il n'est pas possible d'utiliser le port USB pour produire les données série, car cela générerait des interruptions de manière imprévisible dans notre logiciel.

CN/A PWM : lorsqu'aucun écran LCD n'est connecté, il est possible d'utiliser les CN/A avec des signaux modulés en largeur d'impulsion (PWM) pour faciliter le débogage. Nous avons mis en place deux CN/A PWM avec les filtres passe-bas associés comme le montre la **figure 4**. En utilisant GPIO 2 et GPIO 3 comme sorties PWM, par exemple, le signal démodulé et les signaux Bit-Timer peuvent être affichés sur un oscilloscope (**figure 5**).

LCD : le module Arduino 8 bits de 3,5 pouces ILI9486 (version sans écran tactile SKU MAR3502 [4]) peut être utilisé comme écran LCD. Ce module Arduino de 3,5 pouces possède 480x320 pixels colorés et est commercialisé pour environ 10 €. La **figure 6** montre comment le connecter au Raspberry Pi Pico.

Le signal reçu est affiché sur l'écran LCD avec une forme d'onde montrant les informations de synchronisation des bits. Les informations sur l'heure de réception sont affichées en texte clair au-dessus de la forme d'onde (**figure 7**). Si vous ne souhaitez pas afficher ces informations, vous pouvez vous passer de l'écran LCD sans avoir à modifier le logiciel.

Antenne active : nous avons déjà abordé la connexion de l'antenne ; le circuit de l'antenne active est présenté à la **figure 8**. Il est essentiellement basé sur le double amplificateur opérationnel LM6132. Cet AOP est particulièrement adapté à cette application avec une tension de fonctionnement de 2,7 à 24 V, un produit de gain-bande passante de 10 MHz, une plage de signal d'entrée et de sortie comprise entre les deux polarités d'alimentation, et une faible consommation de courant de 360 μ A par amplificateur. Bien sûr, d'autres AOP feraient aussi l'affaire

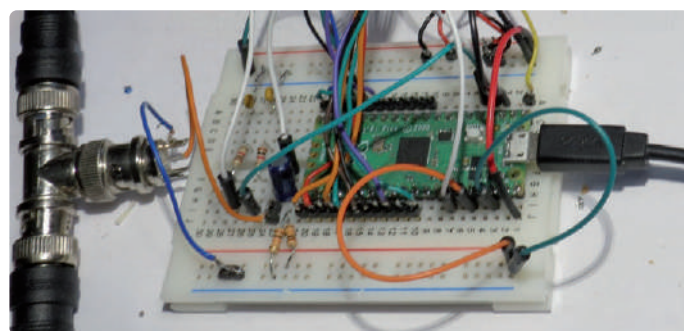
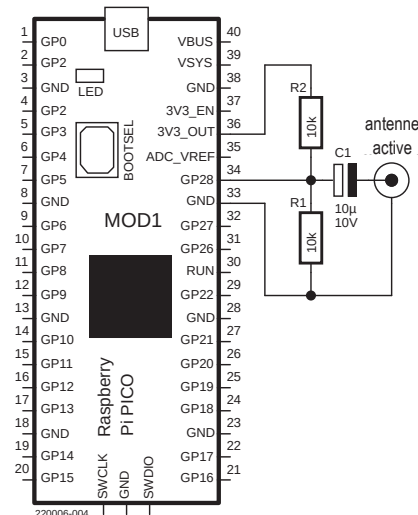


Figure 1. Carte Raspberry Pi Pico dans une radio définie par logiciel (SDR) pour la réception MSF.



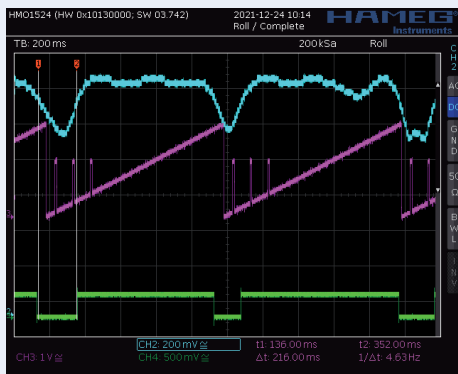


Figure 5. Les signaux du test PWM : La courbe du haut est la valeur de l'amplitude, celle du milieu est SecondTimer montrant les impulsions de déclenchement de l'échantillonnage, et celle du bas est le signal numérique sigValue.

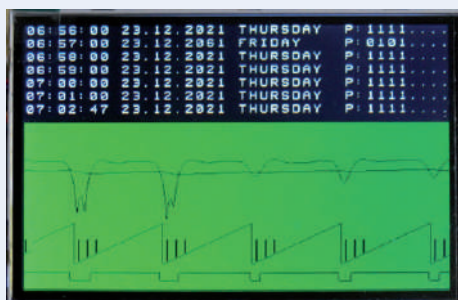


Figure 7. Informations du récepteur sur un écran LCD.

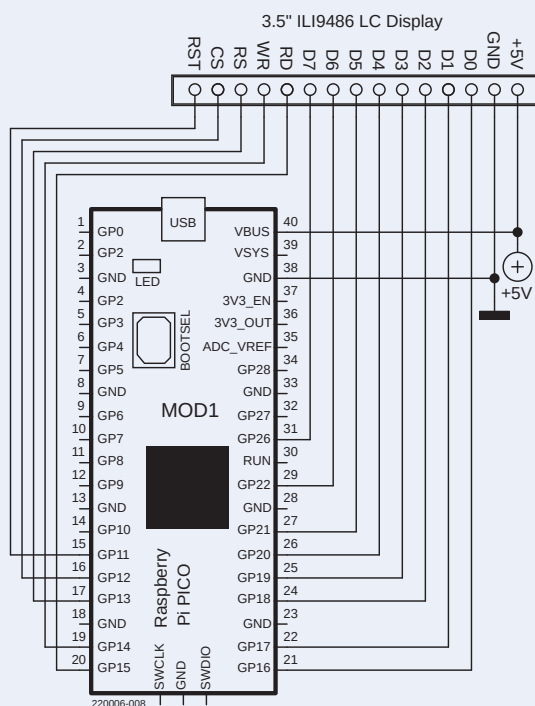
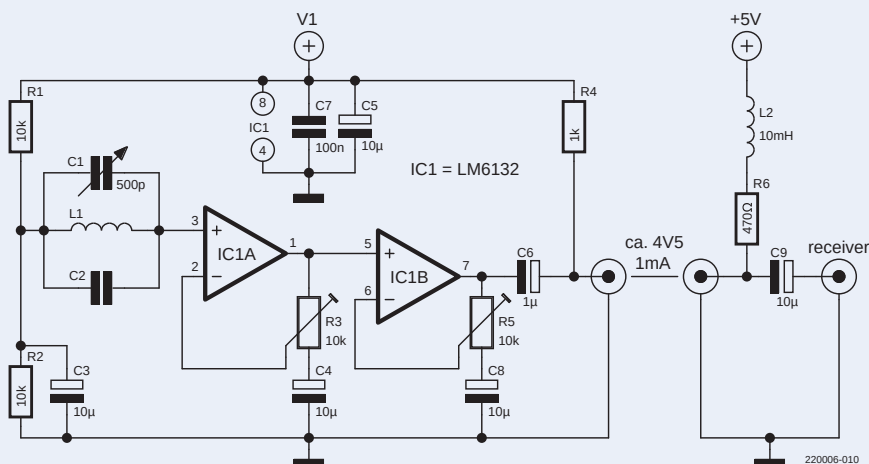


Figure 6. Connexions du LCD 3,5 pouces.



L1: 500 spires fil cuivre émaillé 0,2 mm sur barre de ferrite 10 mm x 180 mm

C2: comme requis

Figure 8. Antenne active pour le signal MSF de 60 kHz.

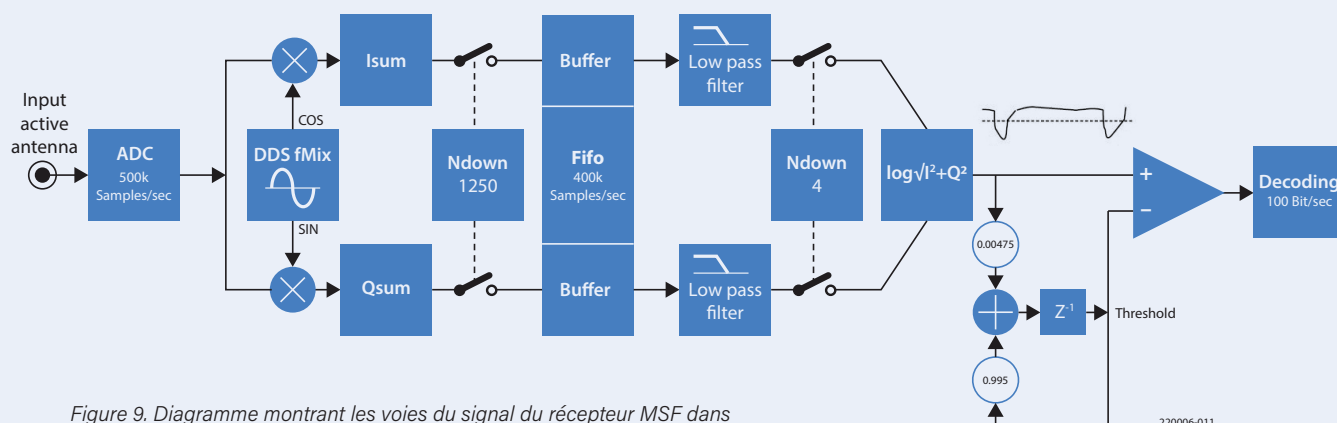


Figure 9. Diagramme montrant les voies du signal du récepteur MSF dans la carte Raspberry Pi Pico.

ici, mais si vous avez l'intention de remplacer le LM6132, vérifiez bien les spécifications.

Programmation du mélangeur d'entrée

Nous abordons maintenant la programmation. Les voies analogiques de la radio logicielle (SDR) sont structurées comme le montre la **figure 9**. Le Raspberry Pi Pico peut être programmé en utilisant différents langages de programmation. Pour cette application, nous avons choisi le langage C en utilisant l'environnement de développement Microsoft Visual Studio Code fonctionnant sur un PC sous Windows 10. Voyons comment fonctionnent les différentes parties. La routine d'échantillonnage du CA/N est déclenchée par la modulation PWM. Elle est appelée 500.000 fois par seconde via une interruption. Le décalage `ADCOffset` = 2048 est soustrait de la valeur du CA/N et le résultat est ensuite multiplié par `ADCscale` = 10 (**listage 1**). La phase de l'oscillateur local (LO-DDS) est mise à jour et la valeur d'entrée est multipliée par le cosinus (signal en phase ou signal I) et le sinus (signal en quadrature de phase ou signal Q). Les produits sont additionnés sur 1250 échantillons (dans `Isum` et `Qsum`). Les valeurs sont ensuite (dans le **listage 2**) transmises à un dispositif PEPS (FIFO) pour un traitement ultérieur, qui se déroule alors à 500.000/s/1250 = 400 échantillons/s. Ce taux d'échantillonnage est si faible que tout le traitement ultérieur peut être effectué en utilisant des valeurs de variables doubles. Les valeurs sont lues à partir du FIFO et passent par un filtre passe-bas Butterworth d'ordre quatre, avec une fréquence de coupure de 3 Hz. Au cours du développement, il s'est avéré que cette basse fréquence de coupure était nécessaire, car l'antenne utilisée par l'auteur recevait de forts signaux parasites directement adjacents au signal utile. Cette opération est suivie d'un autre sous-échantillonnage, cette fois d'un facteur 4, de sorte que 100 échantillons/s sont ensuite traités.

La routine `msfSample()` du **listage 3** calcule ensuite l'amplitude `ampl` de la porteuse à partir des composantes I/Q. Le logarithme d'`ampl` est dérivé et stocké à son tour dans `ampl`, ce qui facilite le décodage des bits. Le seuil de niveau de commutation est dérivé d'`ampl` via un calcul de filtre récursif de premier ordre. Le signal `ampl` est ensuite comparé au seuil de niveau de commutation `threshold` pour déterminer sa valeur numérique de réception `sigValue`. Maintenant que le traitement du signal analogique a été traité, nous pouvons examiner comment les données sont récupérées à partir du signal reçu et la correspond avec les informations indiquant l'heure de la journée.

Lecture des bits

L'émetteur MSF envoie des impulsions de porteuse RF toutes les secondes, comme le montre la **figure 10**. À la seconde 0 de chaque minute, la porteuse s'éteint pendant 500 ms. La radio logicielle utilise cette impulsion pour la synchronisation. Les impulsions émises à chacune des 59 secondes suivantes contiennent deux bits d'information : A et B. Au début de chacune de ces secondes, la porteuse est éteinte pendant 100 ms (correspondant à 10 échantillons dans notre application). Si le bit A = 1, la porteuse reste éteinte pendant 100 ms supplémentaires, et si le bit B = 1, la porteuse est éteinte pendant 100 ms supplémentaires.

Dans `SecondTimer`, un timer, synchronisé à chaque seconde, tourne de 0 à 99. Le décodage logiciel fonctionne comme suit : dans `Duration`, la longueur d'impulsion de l'impulsion actuelle est mesurée. Si une absence de 0,5 s de la porteuse est détectée, `SecondTimer` est réglé sur la valeur 50 - 2 = 48 de sorte que le timer `SecondTimer` fonctionne maintenant de manière synchrone avec la seconde (**listage 4**). En

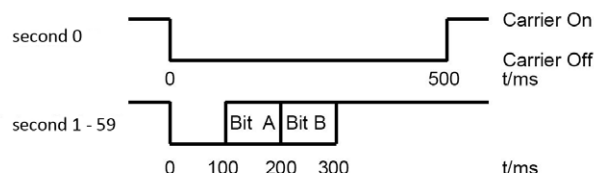


Figure 10. L'impulsion des secondes MSF montrant le codage Bit A et Bit B.

Year (BCD coded 0...99)								Meaning
80	40	20	10	8	4	2	1	BCD weighting
17A	18A	19A	20A	21A	22A	23A	24A	Bit

Month (BCD coded 1...12)					Meaning
10	8	4	2	1	BCD weighting
25A	26A	27A	28A	19A	Bit

Day of month (BCD coded 1...31)						Meaning
20	10	8	4	2	1	BCD weighting
30A	31A	32A	33A	34A	35A	Bit

Day of week (BCD coded 0...6)			Meaning
4	2	1	BCD weighting
36A	37A	38A	Bit

Hour (BCD coded 0...23)						Meaning
20	10	8	4	2	1	BCD weighting
39A	40A	41A	42A	43A	44A	Bit

Minute (BCD coded 0...59)							Meaning
40	20	10	8	4	2	1	BCD weighting
45A	46A	47A	48A	49A	50A	51A	Bit

Minute marker								Meaning
52A	53A	54A	55A	56A	57A	58A	59A	Bit
0	1	1	1	1	1	1	0	Value

Parity bits

Bit 54B with bit 17A to 24A results in odd number of bits
 Bit 55B with bit 25A to 35A results in odd number of bits
 Bit 56B with bit 36A to 38A results in odd number of bits
 Bit 57B with bit 39A to 51A results in odd number of bits

Figure 11. Schéma de codage temporel MSF. (Source : [5]).



Listage 1. Échantillonnage A/N et fonctionnement de l'oscillateur local. Somme et sous-échantillonnage avec un facteur de 1250 à 400 échantillons/s.

```
int16_t adcv=(uint16_t) adc_hw->result;           //get ADC result
hw_set_bits(&adc_hw->cs, ADC_CS_START_ONCE_BITS); //start ADC again
pwm_clear_irq(pwm_gpio_to_slice_num(PWM_PIN1));  //interrupt flag
DDSp += DDSd ;                                   //increment LO-DDS phase
inputVal=ADCscale*(adcv-ADCOffset) ;             //offset and scaling
Isum += L0cosTab[DDSp>>24]*inputVal ;           //I-multiplication
Qsum += L0sinTab[DDSp>>24]*inputVal ;           //Q-multiplication
SampleTime++ ;                                   //refresh this step
if(sampleTime>=1250){                             //downsampling
    FIFO...}                                     //further steps
```

Listage 2. Filtrage des valeurs I et Q et sous-échantillonnage par un facteur 4 à 100 échantillons/s.

```
Isample=IntFifoI[IntFifoOutPtr] ;                //get I-signal from FIFO
Qsample=IntFifoQ[IntFifoOutPtr] ;                //get Q-signal from FIFO
IntFifoOutPtr=(IntFifoOutPtr+1) & IntFifoMask ;   //increment FIFO pointer
IfilOut = tprun(IIfil,Isample) ;                 //lowpass filter I-signal
QfilOut = tprun(QQfil,Qsample) ;                 //lowpass filter Q-signal
kdown++ ;
if(kdown>=4){                                     //downsampling factor 4
    msfSample(IfilOut,QfilOut) ;
    kdown=0 ;
}
```

Listage 3. Calcul de l'amplitude ampl, du seuil de commutation « threshold » et de la durée de l'impulsion de récupération des bits.

```
void msfSample(double ii, double qq){
    ampl=sqrt(ii*ii+qq*qq) ;                      //get carrier amplitude
    ampl=40*log(ampl+1) ;                         //log is better!
    threshold=0.995*threshold+0.005*ampl*0.95 ; //recursive mean as threshold
    if(ampl>threshold){                           //comparator function
        sigValue=1 ;                             //digital value = 1
    }
    else {
        sigValue=0 ;                             //digital value = 0
    }
    doScope(ampl/2.0+20,threshold/2+20,sigValue*10+10, DAC/2.0+30) ;
    if(sigValue==lastSigValue){
        Duration++ ;                             //pulse goes on
    }
    else {
        tt=pulseForm(lastSigValue,Duration) ;    //pulse end reached
        if(tt=='z'){                             //get pulse character
            printf("sync on z") ;                 //signalize sync
            SecondTimer=50-2 ;                   //sync SecondTimer
        }
        printf("%c",tt) ;                         //display pulse character
        Duration=0 ;                             //new pulse length starts
        lastSigValue=sigValue ;                  //update lastSigValue
    }
}
```

Listage 4. Échantillonnage des bits A et B déclenché par SecondTimer.

```
IncSecondTimer() ;                               //SecondTimer runs from 0 to 99
DAC=SecondTimer ;                               //scope sawtooth signal
if (SecondTimer==5+0) { DAC=60 ; }               //scope signal pulse
if (SecondTimer==15+0) {                         //bit A sample time
    DAC=60 ;                                     //scope signal pulse
    putMSFbit(Second,0) ;                       //clear bit store
    if (sigValue==0) {                           //if carrier switched off
        addMSFbit(Second,1) ;                   //Bit A set true
    } ;
}
if (SecondTimer==25+0) {                         //bit B sample time
    DAC=60 ;                                     //scope signal pulse
    if (sigValue==0) {                           //if carrier switched off
        addMSFbit(Second,2) ;                   //Bit B set true
    } ;
}
```

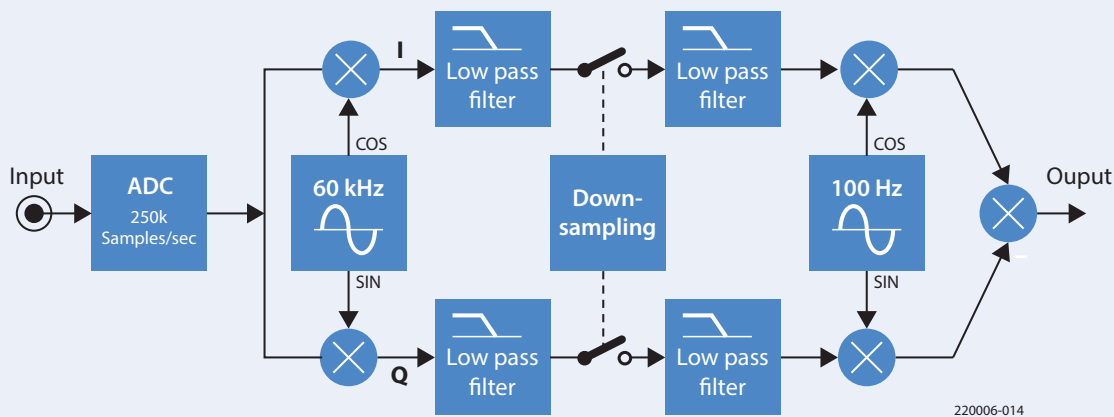


Figure 12. Conversion ascendante vers une FI de 100 Hz.

même temps, la minute est synchronisée en fixant la valeur de la seconde actuelle à 0 dans `doMinuteSync()`.

Grâce au timer `SecondTimer`, le signal reçu est échantillonné à la position mid-bit du Bit A et du Bit B (`SecondTimer==15` et `SecondTimer==25`) afin de déterminer les valeurs de ces bits transmis. Nous sortons simplement la valeur numérique reçue via la broche 4 du GPIO (broche 6 du Pico) :

```
gpio_put(GPIO4, sigValue); // Output sigValue at
                          // pico GPIO4=pin 6
```

La valeur de `SecondTimer` est également sortie ultérieurement via PWM pour être utilisé dans le débogage, tout comme les valeurs d'`amp1` et `DAC`. Ceci est réalisé avec les deux instructions suivantes :

```
pwm_set_gpio_level(PWM_PIN1, amp1/5.0 ); // Output
                                          // amplitude
pwm_set_gpio_level(PWM_PIN2, DAC );      // Output timing
```

Information sur le temps de décodage

Lorsque `SecondTimer` est synchronisé avec un décalage de 0,5 s, une minute s'est écoulée et nous pouvons évaluer la dernière information temporelle. Les bits de données reçus sont dans les valeurs `MSFbits[0 à 59]`. L'émetteur encode dans ces bits les informations indiquées dans la **figure 11**. Les informations relatives à l'heure et à la date sont ensuite simplement réorganisées comme dans le **listage 5** pour donner les heures et les minutes.

Nous affichons également les mêmes informations que nous envoyons via l'interface série sous forme de texte sur l'écran LCD. Ceci est fait en utilisant les instructions données dans le **listage 6**. On effectue un contrôle de parité sur les informations reçues comme dans le **listage 7**. Les bits contrôlés sont les bits A de l'information transmise. Les quatre bits de contrôle sont les bits B de chaque impulsion de seconde correspondante. Quatre contrôles de parité sont réalisés, l'intégrité de 12 bits au maximum est protégée par un bit de parité.

Signaux de débogage

Les récepteurs superhétérodynes (ou superhet) classiques mélangent le signal RF entrant avec un signal d'oscillateur local à fréquence variable pour produire une fréquence intermédiaire inférieure (ou FI). Le signal FI est ensuite filtré avec un filtre à bande relativement étroite. Le signal FI du récepteur MSF60 peut également être visualisé à l'aide

d'un oscilloscope. Notre récepteur mélange le signal d'entrée jusqu'à $FI = 0$ Hz. Si vous voulez observer un signal FI CA, vous pouvez convertir le signal FI 0 en FI CA. Le schéma fonctionnel du circuit est illustré à la **figure 12**.

Le logiciel permettant d'effectuer la synthèse des canaux nécessaire est présenté dans le **listage 8**. Une sortie PWM est utilisée comme C/NA. Le signal FI modulé en amplitude à 100 Hz est illustré à la **figure 13**. Ceci conclut la conception et la construction du récepteur MSF. Nous avons utilisé un seul cœur du processeur dans cette application, ce qui laisse beaucoup de puissance de calcul disponible pour une extension. Le décodage des bits, par exemple, peut être amélioré en matière de tolérance aux erreurs. Il est possible de construire un récepteur DCF77 à peu près de la même manière, il suffirait d'adapter le processus de décodage des bits. La réception du signal MSF ici à Aix-la-Chapelle (Allemagne) est beaucoup plus faible que celle du signal DCF77 avec une radio logicielle (SDR) équivalente. Cela se traduit souvent par des bits de parité indiquant des erreurs dans les informations reçues, mais des messages sans erreur sont tout de même transmis assez fréquemment pour permettre l'affichage fiable d'informations précises sur l'heure du jour.

Travailler avec un RP2040

Nous avons démontré qu'avec très peu de matériel supplémentaire, la carte Raspberry Pi Pico peut être transformée en un MSF SDR complet. La tâche la plus complexe de cette réalisation est la construction de l'antenne active. Compte tenu de la puissance de traitement

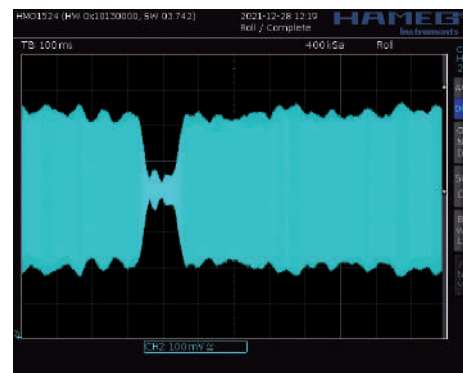


Figure 13. Signal FI de 100 Hz modulé en amplitude.

Listage 5. Décodage et sortie BCD en série des heures et des minutes.

```
void OutBCD2(int v){                                     //issue 2 BCD digits
    uartPutc('0'+(v>>4)) ;                             //via serial interface
    uartPutc('0'+(v & 0xf)) ;
}
int GetBCDbits(int StartPos , int Length){             //fetch length bits from MSFbits
    int v,k ;                                           //start at StartPos
    V=0 ;                                              //BCD coding
    for (k=0 ; k<Length ; k++ ){
        v=(v<<1) + ( MSFbits[StartPos++] & 1) ;
    }
    return v ;
}
hours =GetBCDbits(39,6) ; OutBCD2(hours) ;             //hours = bits 39 to 44
uartPutc(':') ;
minutes=GetBCDbits(45,7) ; OutBCD2(minutes) ;         //minutes = bits 45 to 51
UartBlank();
```

Listage 6. Affichage des informations sur les heures et les minutes sur l'écran LCD.

```
LcdPutc(CRcode) ;                                     //output carriage return
LcdPutc(LFcode) ;
LcdPutc('0'+((hours>>4)&0xF)) ;                       //MS digit of hours
LcdPutc('0'+(( hours)&0xF)) ;                         //LS digit of hours
LcdPutc(':') ;                                         //separator
LcdPutc('0'+((minutes>>4)&0xF)) ;                   //MS digit of minutes
LcdPutc('0'+(( minutes)&0xF)) ;                     //LS digit of minutes
LcdPutc(':') ;                                         //separator
```

Listage 7. Contrôle de parité.

```
LcdPutc(CRcode) ;                                     //output carriage return
int parity(int from , int to) {                       //parity over A bits
    int parity ;
    int k ;
    parity=0 ;
    for (k=from ; k<=to ; k++){
        parity ^= MSFbits[k] ;                       //XOR with bits
    }
    Parity &= 1 ;                                     //select A bit
    return parity ;
}
void parityCheck(int from , int to , int checkPosition) {
    int p ;
    p=parity(from,to) ;
    if ( (MSFbits[checkPosition] & 2)>0) {           //B bit is parity
        P ^= 1 ;                                     //XOR parity bit
    }
    uartPutc(' ') ;
    uartPutc('P') ;
    uartPutc('=') ;
    uartPutc('0'+p) ;                                //output parity bit
}
ParityCheck(17,24,54) ;                             //four parity checks
parityCheck(25,35,55) ;
parityCheck(36,38,56) ;
ParityCheck(39,51,57) ;
```

Listage 8. Code de la synthèse multi-canal.

```
debugDDSp += debugDDSD ;                             //100Hz phase update
v=IfilOut*cosTab[debugDDSp>>24] ;                  //add I signal
+QfilOut*sinTab[debugDDSp>>24] ;                   //add Q signal
v=62+v/1024 ;                                        //offset and scaling
pwm_set_gpio_level(PWM_PIN2,v) ;                   //PWM output
```

et du faible coût de la carte, cette application montre ce que même un amateur disposant de peu de ressources est capable de réaliser de nos jours. Vous lisez souvent à quel point la carte Pico est facile à programmer en Python, mais dans cette application, elle ne sera pas adaptée à la fréquence d'échantillonnage de 500 Ké/s du signal d'entrée. Cependant, grâce au langage C, on peut manipuler plus directement le matériel du microcontrôleur et le programmer efficacement. Nous voyons ici que même sans l'avantage d'une unité à virgule flottante (FPU), le RP2040 est plus que capable d'implémenter un filtre numérique passe-bas. ◀

220006-04

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (ossmann@fh-aachen.de) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



PRODUITS

- **Elektor Raspberry Pi RTL-SDR Kit (livre et composants) (SKU 19518)**
www.elektor.fr/19518
- **Elektor SDR Hands-on Kit (livre + shield SDR avec toroïde ferrite et câble)**
www.elektor.fr/19041
- **Raspberry Pi Pico RP2040 (SKU 19562)**
www.elektor.fr/19562



LIENS

- [1] « Time from NPL (MSF) », Wikipedia : [https://en.wikipedia.org/wiki/Time_from_NPL_\(MSF\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Time_from_NPL_(MSF))
- [2] « Time receiver for the Rugby MSF », Elektor 9/1982 : www.elektormagazine.com/magazine/elektor-198209/44950
- [3] J. Buiting, « Elektor Junior Computer », Elektor 1/2005: www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-200501/10053
- [4] Écran de 3,5 pouces : www.lcdwiki.com/3.5inch_Arduino_Display-UNO
- [5] Services de temps et de fréquence NPL, « MSF 60 kHz Time and Date Code » : www.npl.co.uk/products-services/time-frequency/msf-radio-time-signal/msf_time_date_code

Publicité

PERFORMANCE. RELIABILITY. SERVICE.

Optocouplers by Würth Elektronik



WÜRTH
ELEKTRONIK
MORE THAN
YOU EXPECT

WE are here for you!

Join our free webinars on:
www.we-online.com/webinars

Optocouplers by Würth Elektronik

With the new optocouplers, Würth Elektronik presents one of the latest additions to its optoelectronic product portfolio. The innovative design features a coplanar structure and high-grade silicon for total internal reflection. The coplanar design ensures the isolation gap stay fixed during the production process and provide perfect isolation and protection for your application. The total internal reflection provide stable CTR over the whole temperature range and high CTR even at low current operation.

Provided in all industry standard packages. Available with all binnings ex stock. Samples free of charge: www.we-online.com/optocoupler

- Innovative coplanar design
- High grade silicon encapsulation
- Copper leadframe for high reliability
- Stable CTR over whole temperature range
- High CTR in low current operation

Capteurs d'humidité pour systèmes d'arrosage

Arrosage automatique

**Peter Tschulik (Autriche) et
Christof Hübner (Allemagne)**

Avant de commencer à travailler avec les capteurs d'humidité, inspirez-vous des conseils suivants pour les choisir et les intégrer. Une fois familiarisé(e) avec les bases, vous pourrez commencer à les incorporer à l'aide de l'IDE (environnement de développement intégré) destiné aux cartes Arduino et ESP, entre autres.

Depuis de nombreuses années, je me sers des systèmes d'arrosage automatique pour rendre le jardinage plus pratique. Mon premier système consistait en une simple minuterie avec des électrovannes à prix modéré, comme celles utilisées dans les machines à laver. La génération suivante que j'ai utilisée intégrait une carte Arduino avec un afficheur. Elle recueillait ses données à l'aide de simples capteurs d'humidité capacitifs, et établissait même un journal des arrosages. Mon système d'arrosage actuel est basé sur une carte ESP32 et est entièrement intégré à mon système domotique. Je peux ainsi notamment le démarrer manuellement, définir et visualiser les horaires les plus récents des arrosages et configurer d'autres paramètres. J'espère que vous pourrez vous inspirer de mon expérience.

La description ci-dessus n'est pas exhaustive. Il existe notamment une fonction d'alarme qui signale l'échec d'une session d'arrosage, par exemple en cas de rupture d'un tuyau. Il est également possible de commander le système à partir d'un navigateur Web, ou de mettre à jour le logiciel à distance (OTA).

Cependant, le sujet de cet article n'est pas le système d'arrosage, qui a été conçu pour répondre à mes propres besoins. Mon intention est surtout de décrire mon expérience en matière de sélection de capteurs d'humidité, car j'ai beaucoup appris à leur sujet au fil des ans.

Les capteurs d'humidité jouent deux rôles dans un système d'arrosage : ils communiquent au système l'état actuel de l'arrosage et contribuent ainsi à une utilisation plus économe de la ressource en eau. De nombreuses plantes ne tolèrent pas un sol sec ou gorgé d'eau. Bien qu'il existe un très grand nombre de capteurs d'humidité, il semble que seuls certains d'entre eux fonctionnent convenablement.

Cet article donne un aperçu des principes de fonctionnement des capteurs d'humidité les plus courants, puis aborde l'intégration des capteurs à l'aide de l'IDE pour les cartes les plus diffusées comme l'Arduino ou l'ESP. Si vous utilisez actuellement un système d'arrosage sans capteurs ou si vos capteurs d'humidité ne sont pas satisfaisants, vous êtes au bon endroit.

Mesure de l'humidité du sol

Il existe différentes définitions de l'humidité du sol. Ce qui nous intéresse en général, c'est la teneur en eau, c'est-à-dire le volume d'eau par rapport au volume total du sol. Si toutes les cavités du sol sont remplies d'eau, la teneur en eau maximale du sol naturel est d'environ 50 à 60 %. La tourbe et d'autres matières organiques présentent des valeurs plus élevées.

La teneur en eau gravimétrique correspond à la masse relative d'eau dans le sol. Il est possible de la déterminer, par exemple, en pesant un échantillon de sol avant et après séchage. Ce paramètre doit être mesuré en laboratoire, il n'est donc pas adapté à la surveillance continue de l'humidité du sol.

Les capteurs électriques d'humidité du sol reposent sur différents principes de mesure physique. La mesure de la conductivité électrique est peu coûteuse, mais malheureusement non fiable, car la conductivité dépend également de la quantité d'ions dissous. Pour une même teneur en eau, la mesure de la conductivité peut donner des résultats complètement différents selon le type de sol, la teneur en sel et les engrais. La conductivité dépend aussi fortement de la température, ce qui est pratiquement impossible à compenser dans la pratique. Cependant, le plus gros problème est la corrosion des électrodes des capteurs, dont la durée de vie se mesure en jours ou en semaines.

Les capteurs capacitifs, dont les électrodes sont protégées par une couche isolante, sont bien plus efficaces à cet égard. Le principe

de la mesure est basé sur l'interaction des molécules d'eau avec un champ électrique, étant donné que les molécules d'eau sont des dipôles possédant des extrémités positives et négatives. Si nous plaçons un dipôle entre les électrodes d'un condensateur à plaques et que nous appliquons une tension aux électrodes métalliques, le dipôle s'alignera avec le champ électrique (voir la **figure 1**).

Cet effet de polarisation est exprimé par la constante diélectrique ϵ_r . Elle varie de $\epsilon_r = 1$ pour l'air à $\epsilon_r = 3$ à 8 pour les particules de sol minéral et à $\epsilon_r = 80$ pour l'eau [1]. La constante diélectrique effective d'un sol donné, constitué d'un mélange d'air, d'eau et de particules de sol, est donc essentiellement déterminée par la teneur en eau. Si l'on place un échantillon de sol entre les électrodes d'un condensateur et que l'on mesure la capacité résultante, on peut calculer la constante diélectrique associée et en déduire la teneur en eau. Dans la pratique, nous appliquons une tension alternative aux électrodes pour réduire l'électrolyse aux électrodes du condensateur, les perturbations dues à la polarisation de la surface et l'influence de la conductivité du sol. Le fait d'augmenter la fréquence du signal de mesure permet d'obtenir des résultats plus précis et augmente l'immunité aux interférences. Les fréquences supérieures à 100 MHz sont idéales, mais elles rendraient les circuits beaucoup plus coûteux.

Capteurs de conductivité

Principe de mesure : l'humidité du sol est déterminée en mesurant la conductivité électrique du sol entre deux électrodes. Le capteur est généralement fourni avec un circuit de traitement du signal analogique comportant une valeur seuil réglable (voir la **figure 2**).

Inconvénients : la conductivité électrique du sol dépend non seulement de la teneur en eau, mais aussi fortement de la teneur en sel, des engrais et du type de sol, et constitue donc une mesure peu fiable de l'humidité du sol. Le capteur est exposé à une forte corrosion dans le

sol et a donc une courte durée de vie. Cela s'applique également aux électrodes dotées d'une fine couche d'or. En outre, les bornes ne sont généralement pas protégées contre l'eau.

Avantage : Très économique.

Capteurs capacitifs basse fréquence

Principe de mesure : l'humidité du sol est déterminée par la mesure de la capacité. Le circuit électronique fonctionne à basse fréquence, dans une plage allant de quelques kHz à environ 1 MHz. Vous pouvez trouver de nombreuses versions en ligne, qui fonctionnent souvent avec un circuit de temporisation NE555 (voir la **figure 3**).

Inconvénients : en raison de la faible fréquence de fonctionnement, les mesures d'humidité sont plus fortement influencées par d'autres facteurs tels que la conductivité électrique et la température du sol, n'offrant alors qu'une précision limitée. Les électrodes ne sont souvent protégées que par une fine couche de réserve de soudure, qui ne persiste pas longtemps dans le sol. Souvent, le circuit et les bornes ne sont pas étanches à l'eau.

Avantage : relativement économique.

Capteurs capacitifs haute fréquence VH400

Principe de mesure : l'humidité du sol est déterminée par la mesure de la capacité.

Inconvénients : gamme de prix moyenne. On constate encore l'influence du type de sol sur la mesure. Les électrodes étant très proches, le champ de mesure électrique dépasse à peine la carte de circuit imprimé et le capteur est peu adapté aux sols à gros grains (voir la **figure 4**). Les mesures dépendent de la température et changent lorsqu'on touche le câble de connexion avec la main [5].

Avantage : mesure de l'humidité suffisamment précise dans de nombreux types de sols.

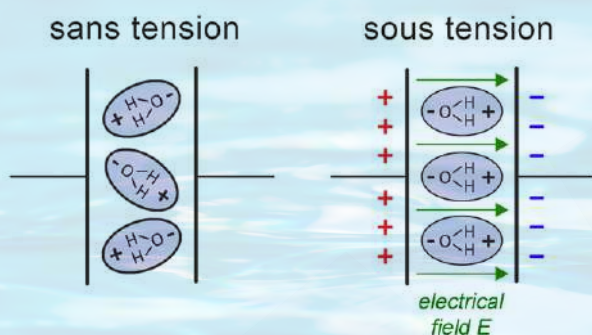


Figure 1. Orientation et polarisation des molécules d'eau dipôles dans un condensateur à plaques.



Figure 3. Exemple de capteur capacitif basse fréquence. (source : [3]).



Figure 2. Capteur pour la mesure de la conductivité (YL69 ou similaire) ; source : [2].



Figure 4. Capteur VH400 (source : [4]).

Figure 5. Capteur CWT-SOIL-H-S (AliExpress ; source : [6]).



Figure 6. Capteur capacitif haute fréquence SMT 50 (source : [7]).



Figure 7. Capteur DAV-6440 (source : [8]).



Figure 8. Capteur SMT 100 TDT (source : [9]).



Figure 9. Principe de fonctionnement d'un capteur TDT. Le temps de propagation des impulsions du conducteur de la boucle, qui dépend de l'humidité, est converti en fréquence.

CWT-SOIL-H-S

Principe de mesure : aucune information disponible concernant le principe de mesure ou la fréquence de mesure.

Inconvénient : gamme de prix moyenne. Pannes fréquentes après une courte période dans le sol.

Avantages : possibilité d'une mesure supplémentaire de la conductivité électrique ; différentes versions (voir la **figure 5**).

Capteur capacitif haute fréquence SMT 50

Principe de mesure : l'humidité du sol est déterminée à l'aide d'un diviseur de tension capacitif. Le circuit fonctionne à 16 MHz ou plus.

Inconvénients : gamme de prix moyenne. L'influence du type de sol sur la mesure est encore perceptible.

Avantages : la fréquence de mesure est suffisamment élevée et permet une mesure fiable de l'humidité dans de nombreux types de sol. Les électrodes sont intégrées dans une carte de circuit imprimé multicouche, offrant une bonne protection mécanique et une longue durée de vie dans le sol. Le circuit est protégé par de l'époxy pour le rendre complètement étanche (voir la **figure 6**). Le câble de raccordement de 10 m de long avec une gaine en polyuréthane est adapté à une installation souterraine (résistant aux microbes et à l'hydrolyse).

Tensiomètre DAV-6440

Principe de mesure : ce capteur Watermark est un modèle de tensiomètre, qui mesure la tension de l'eau du sol (corrélée à la teneur en eau du sol). Pour cela, il faut déterminer la résistance électrique d'un matériau en contact hydraulique avec le sol (voir la **figure 7**). D'autres capteurs tensiométriques utilisent un tissu intissé en contact avec le sol et déterminent sa teneur en eau par réchauffement électrique tout en observant la température (par exemple, les capteurs Gardena).

Inconvénients : les tensiomètres sont lents et réagissent progressivement aux changements d'humidité du sol. Il y a un effet d'hystérésis, ce qui entraîne des mesures différentes pour une même tension d'humidité du sol (avec une teneur en eau croissante ou décroissante). Dans des conditions très sèches, le capteur peut perdre le contact hydraulique avec le sol. La durée de vie indiquée de ce capteur dans le sol est d'au moins 5 ans, ce qui n'est pas particulièrement long.

Avantage : la tension d'humidité du sol indique l'humidité du sol disponible pour les plantes.

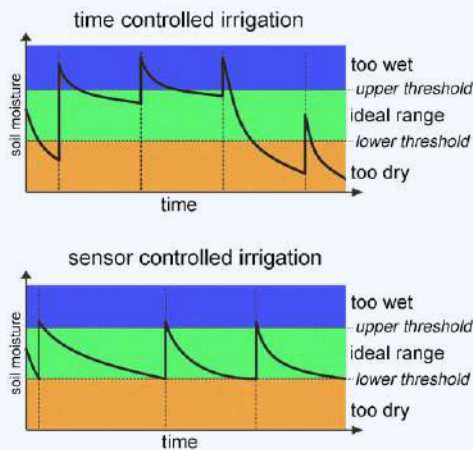
Capteur SMT 100 TDT

Principe de mesure : ce capteur de réflectométrie temporelle TDT (*Time Domain Transmission*) est constitué de boucles conductrices formant une ligne de transmission haute fréquence pilotée par des signaux impulsionnels (voir les **figures 8 et 9**). Un oscillateur en anneau est créé par rétroaction sur un amplificateur, et sa fréquence est mesurée par un microcontrôleur. La capacité entre les électrodes est influencée par l'humidité du sol. Plus le taux d'humidité est élevé, plus le temps de propagation des impulsions est long et plus la fréquence de l'oscillateur en anneau est basse.

Inconvénient : gamme de prix supérieure.

Avantages : la fréquence de mesure est supérieure à 150 MHz, ce qui offre une grande précision et une bonne résolution, ainsi qu'une influence minimale du type de sol sur la mesure. Le capteur atteint une longue durée de vie dans le sol grâce au câble de haute qualité

Stratégie d'arrosage



Comparaison entre un arrosage contrôlé en fonction du temps (haut) et un arrosage contrôlé par capteur (bas).

L'arrosage classique à commande temporelle irrigue en fonction d'intervalles de temps fixes, sans tenir compte du besoin réel en eau. Selon les conditions météorologiques, il peut donc entraîner un excès d'irrigation et un engorgement nuisible, ou une carence en eau et un risque de sécheresse. L'utilisation d'un capteur de pluie ou d'informations météorologiques en ligne permet d'atténuer ce problème. L'arrosage contrôlé par capteur est beaucoup plus efficace. Cela permet non seulement une distribution optimale de l'eau aux plantes, mais aussi une réduction de sa consommation. Les différences sont illustrées dans le graphique.

Il existe différentes stratégies pour fixer les seuils. Un jardinier expérimenté peut constater les symptômes du dessèchement en observant les plantes (léger flétrissement, enroulement du bord des feuilles). L'arrosage excessif entraîne une saturation, sans que l'humidité du sol augmente davantage. Si vous attendez un peu (environ 24 heures), l'excès d'eau s'écoulera dans le sous-sol. En règle générale, vous pouvez fixer le seuil inférieur du niveau de saturation à 60 %. Pendant la phase d'étude, observez les plantes ainsi que la variation de l'humidité et ajustez les niveaux de seuil si nécessaire pour obtenir un arrosage automatique optimal et économique à long terme. Il est important de positionner correctement le capteur dans la zone où se trouvent les racines des plantes. Pour obtenir un bon cycle d'humidité du sol avec l'irrigation goutte à goutte, le capteur ne doit pas être placé trop loin ou trop près de l'emplacement du goutte-à-goutte.

et au circuit imprimé multicouche avec enrobage époxy. Vous disposez d'un large choix d'interfaces, notamment une sortie analogique, RS-485 (TBUS/ASCII et Modbus), SDI-12 et une boucle de courant de 4 mA à 20 mA.

Le capteur SMT 100 est souvent utilisé à des fins professionnelles (agriculture de précision ou applications scientifiques en hydrologie et pédologie).

Intégration des capteurs dans les systèmes d'arrosage

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les capteurs à coût modéré ont des interfaces analogiques, et seuls les capteurs de qualité supérieure disposent d'interfaces numériques. Il est facile d'intégrer des capteurs analogiques simples dans l'IDE Arduino, sans bibliothèques

supplémentaires. Tout ce dont vous avez besoin est une entrée analogique. Dans l'exemple de code suivant, nous utilisons la broche A0 d'un Arduino Uno.

```
int SENSOR_PIN = A0; /* select analog pin */
int SENSOR_VAL = 0; /* variable storing sensor value */
void setup()
{
    Serial.begin(9600); /* setup serial connection */
}
void loop()
{
    /* read value */
    SENSOR_VAL = analogRead(SENSOR_PIN);
    Serial.println(SENSOR_VAL); /* output value */
}
```

Les capteurs de qualité supérieure, tels que le CWT-SOIL-H-S ou le SMT 100, disposent d'interfaces numériques. Dans mon système, je connecte les deux capteurs via une interface Modbus RS-485. Les avantages de cette connexion sont évidents : les longs câbles (jusqu'à 100 m entre le capteur et l'unité de contrôle) ne posent aucun problème et la transmission des données est insensible aux interférences. De plus, il est possible de connecter de nombreux capteurs sur la même interface.

Le capteur CWT-SOIL-H-S fonctionne bien pour l'essentiel. Pour autant, dans mon système, deux capteurs ont tout simplement cessé de fonctionner au bout de deux ans ou ont commencé à indiquer des valeurs irréalistes. En outre, même si le guide de l'utilisateur inclus est compréhensible, l'outil de configuration décrit est difficile à trouver en ligne et n'est disponible qu'en chinois. Pour cette raison, nous ne discuterons ci-dessous que de l'intégration du capteur SMT 100.

Tout d'abord, nous allons faire quelques remarques sur le RS-485 et le Modbus. Le RS-485 est une interface série différentielle à deux lignes qui transmet les données en mode différentiel, ce qui élimine les interférences en mode commun et améliore le rapport signal/bruit par rapport à l'interface RS-232. Il permet d'établir des connexions robustes jusqu'à 100 m de long avec de simples câbles à paires torsadées non blindées. Modbus est un protocole de communication client-serveur, développé en 1979 pour la communication avec les automates programmables. Ce protocole ouvert est devenu un standard industriel reconnu. Tous les documents techniques sont disponibles gratuitement sur [10]. Chaque nœud possède fondamentalement une adresse unique pour y accéder.

Configuration des capteurs

Lors des premières expériences avec le SMT 100, il est recommandé d'utiliser un pont USB/RS-485 ou une carte PCIe RS-485 afin que le capteur puisse communiquer directement avec un ordinateur portable ou de bureau. J'utilise un adaptateur USB bien documenté basé sur un circuit intégré FTDI.

Un programme de configuration Modbus très pratique est téléchargeable sur le site web du fabricant du capteur [11]. Après avoir déballé et installé le capteur, procédez comme suit pour connecter la version RS-485 du capteur à l'interface RS-485 : le fil blanc du câble

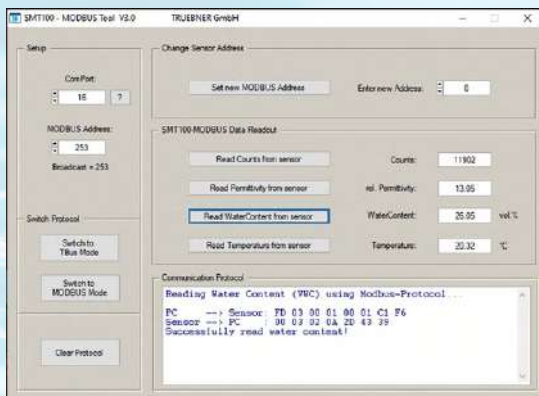


Figure 10. Programme de test Modbus du capteur SMT 100.

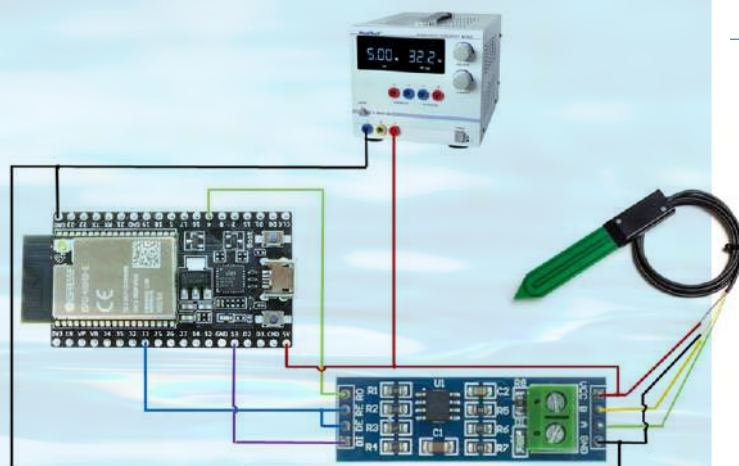


Figure 11. Configuration de test pour connecter un capteur SMT 100 à un ESP32.

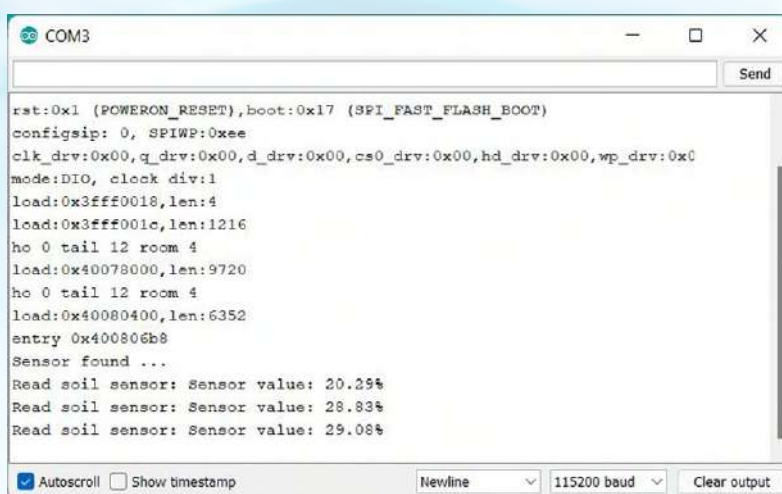


Figure 12. Les données de sortie dans le moniteur série de l'EDI Arduino.

du capteur est la masse, le fil vert correspond à l'interface RS-485 A et le fil jaune à l'interface RS-485 B. Vous devez également connecter au fil marron une tension d'alimentation comprise entre +4 V et +24 V (par rapport à la masse).

Après avoir lancé l'outil Modbus, vous devez d'abord sélectionner le port COM. Si vous utilisez un adaptateur USB et qu'aucun port n'est affiché, vous aurez besoin d'installer le pilote approprié. Si tout est correct, la fenêtre illustrée par la **figure 10** apparaît.

À ce stade, vous pouvez lire les différents paramètres ou modifier l'adresse Modbus. Par défaut, le capteur est accessible à l'adresse 253 (Broadcast). Si vous voulez connecter plusieurs capteurs, chacun d'entre eux doit avoir une adresse unique. Dans le programme d'exemple, l'adresse Modbus est fixée à 1 par l'instruction **Set new MODBUS Address**. Pour être sûr, vous pouvez vérifier la communication via l'adresse 1, pour laquelle **Modbus Address** à gauche doit être fixée à 1. Notez que lors du réglage de l'adresse, il n'est possible de connecter qu'un seul capteur à la fois au bus.

Programme de test

Découvrons maintenant comment ce type de capteur peut être intégré dans un système d'arrosage. Le programme de test est représenté par la **figure 11**.

Le kit ESP32-DEV-Kit, facilement disponible, se présente sous la forme d'une petite carte qui convertit le signal RS-485 du capteur en niveaux TTL adaptés au microcontrôleur. La borne DI est une entrée pour la transmission série de données de l'ESP32 vers le capteur. La borne RO reçoit les données de l'ESP32 à transmettre au capteur. Les bornes DE et RE sont connectées ensemble ici. Lorsque ces bornes sont rappelées à l'état bas, le récepteur du circuit intégré MAX485 est activé. Lorsqu'elles sont rappelées à l'état haut, l'émetteur MAX485 est activé. Jetons maintenant un coup d'œil au programme de test [12]. La première partie (avant la configuration) définit les broches et les variables pour les capteurs. Dans la fonction de configuration, la broche destinée à la commutation de l'émetteur/récepteur est initialisée, l'interface série standard est définie comme interface de débogage, l'interface série vers le capteur est initialisée comme « **Hardware Serial Interface 2** », et une sous-routine vérifie si le capteur est correctement connecté.

Dans la boucle principale, le capteur est interrogé toutes les trois secondes en appelant la fonction **SUB_RECEIVE_HUMIDITY**, et le résultat est affiché. L'interrogation des valeurs du capteur est gérée par trois fonctions : **SUB_CHECK_HUMIDITY** vérifie l'exactitude de l'adresse du capteur reçue pour s'assurer qu'il est connecté, **SUB_RECEIVE_HUMIDITY** récupère la valeur du capteur et **SUB_CALCULATE_CRC**

calcule la somme de contrôle CRC. Le code d'exemple complet et abondamment commenté est disponible gratuitement sur le site [12]. Si la sortie dans la fenêtre Arduino Serial Monitor est similaire à celle de la **figure 12**, alors tout fonctionne correctement. ◀

210684-04

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (peter.tschulik@chello.at) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



PRODUITS

- **ESP-C3-12F-Kit carte de développement avec 4 Mo mémoire Flash (SKU 19855)**
www.elektor.fr/19855
- **MakePython ESP32 kit de développement (SKU 20137)**
www.elektor.fr/20137
- **Box : *Getting Started with ESPHome* + LILYGO TTGO T-Display ESP32 (16 MB) (SKU 19896)**
www.elektor.fr/19896

LIENS

- [1] C. Hübner, U. Kaatz, « Mesure électromagnétique de l'humidité », Universitätsverlag Göttingen : <https://doi.org/10.17875/gup2016-958>
- [2] Capteur de conductivité YL69 : <https://bit.ly/YL69-soil-sensor>
- [3] Capteur capacitif : <https://bit.ly/cap-sensor>
- [4] Vegetronix VH400 : www.vegetronix.com/Products/VH400
- [5] Comparaison des capteurs (en allemand) : <https://bit.ly/SMT50-vs-VH400>
- [6] Capteur CWT-SOIL-H-S : <https://fr.aliexpress.com/item/1005001524845572.html>
- [7] Capteur SMT 50 : www.truebner.de/en/smt50.php
- [8] Capteur DAV-6440 : <https://bit.ly/DAVIS6440>
- [9] Capteur SMT 100 : www.truebner.de/en/smt100.php
- [10] Modbus : <https://modbus.org>
- [11] Outil SMT 100 Modbus : www.truebner.de/download/ModbusTool_Installer_V3.zip
- [12] Exemple de code : www.elektormagazine.fr/210684-04

Publicité

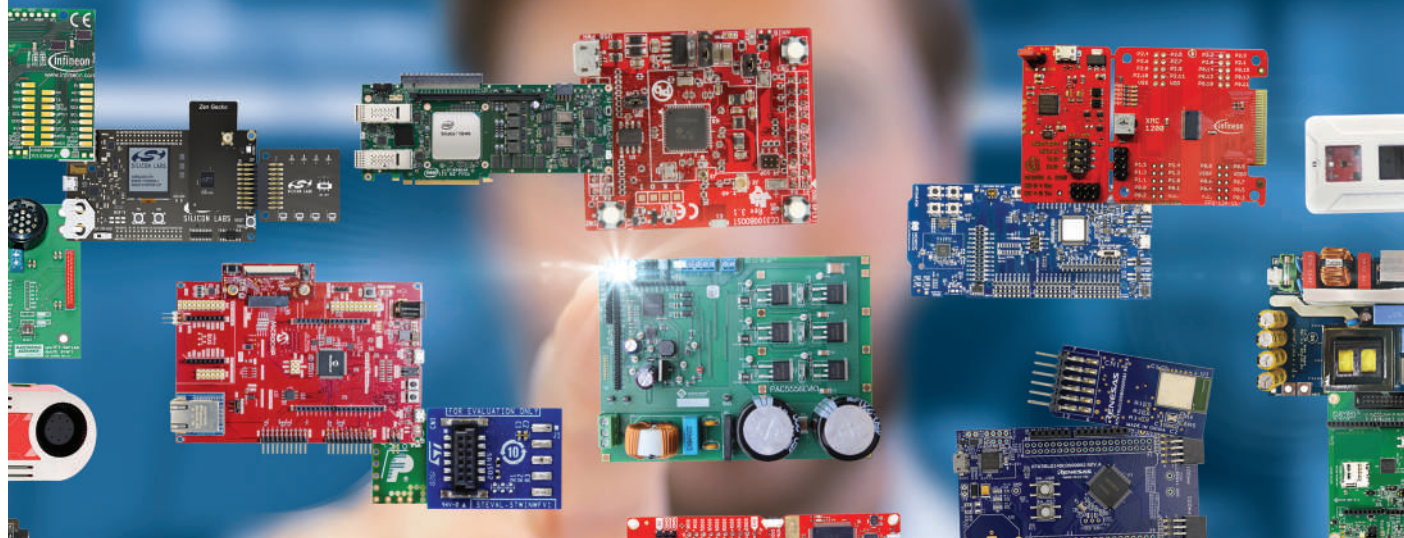
De nombreux outils de développement en un seul endroit

Provenant de centaines de fabricants fiables



**MOUSER
ELECTRONICS**

Choisissez parmi une vaste sélection de produits sur
mouser.fr/dev-tools



nouvelle donne dans les instruments de test et mesure

L'innovation des petits acteurs



Stuart Cording (Elektor)

Il n'y a rien de plus rassurant que de voir un laboratoire rempli d'instruments de test et mesure. C'est un indice de sérieux et de compétence, mais le coût des outils classiques peut être prohibitif pour les start-ups, petites entreprises ou étudiants. Alors, que fait-on pour que tous puissent accéder à la mesure ?

En parcourant un salon de l'électronique tel qu'*electronica* ou *embedded world*, on s'enthousiasme aisément pour les équipements de test et mesure (T&M) alignés par les principaux fournisseurs mondiaux. Écrans couleur, boutons dociles, et molettes à retour haptique rassurant lorsqu'on les tourne, tout cela respire la qualité, la fiabilité et la justesse de mesure. Mais à quel prix ? Chez les grands noms, comme Rohde & Schwarz ou Keysight, même les oscilloscopes d'entrée de gamme à bande passante de 50 MHz tutoient déjà les 1000 €. Pour les générateurs de signaux et analyseurs de spectre, c'est 2000 €. Et la mobilité, par ex. avec un ordinateur de poche, se paie beaucoup plus cher.

La pression sur les budgets est vite évidente lorsqu'il s'agit d'équiper un laboratoire. Elle est encore plus forte pour les établissements d'enseignement ou les laboratoires de R&D. Alors qu'un étudiant ou un ingénieur peut passer sa journée à la paillasse, les appareils de T&M ne sont pas tous dans ce cas. Certains sont utilisés à longueur de journée, mais d'autres seulement une fois par semaine. Oscilloscopes et analyseurs de spectre sont encombrants, ce qui les rend peu pratiques à déplacer. Les applications étant toujours plus complexes, l'équipement de T&M est aussi souvent intégré aux systèmes d'automatisation des tests pendant le développement. Dans ce cas, un outil donné peut être bloqué et donc inaccessible pendant des jours ou des semaines.

Les fournisseurs classiques d'instruments de T&M sont aujourd'hui bousculés par les acteurs du renouveau. Des start-ups et des anciens de l'industrie électronique, exaspérés par la complexité des outils classiques, l'esthétique austère et les interfaces utilisateur absconnes, proposent des alternatives efficaces offrant des capacités de pointe pour une fraction du prix d'une alternative de table. Les ingénieurs commencent à équiper leur laboratoire (et les étudiants à apprendre) autrement.

Le laboratoire en boîte

Jusque-là, l'acquisition d'un ensemble (oscilloscope, alimentation, analyseur de spectre, générateur de formes d'onde et voltmètre) nécessitait un budget élevé et un établi robuste, chaque élément étant fourni isolé. Au fil des ans, poussés par l'expansion des systèmes de test automatisés, des fournisseurs tels que National Instruments ont développé des solutions matérielles modulaires de T&M, par ex. PXI. Celles-ci comprennent un châssis dans lequel on insère diverses cartes de mesure, permettant la création de solutions d'instrumentation personnalisées. Mais qu'arriverait-il si le matériel restait le même et que seul le logiciel définissait la capacité de mesure ?

Cette question, l'équipe de cinq fondateurs de *Liquid Instruments*, basée au nord de *San Diego* (Californie), se l'est posée. Ce groupe

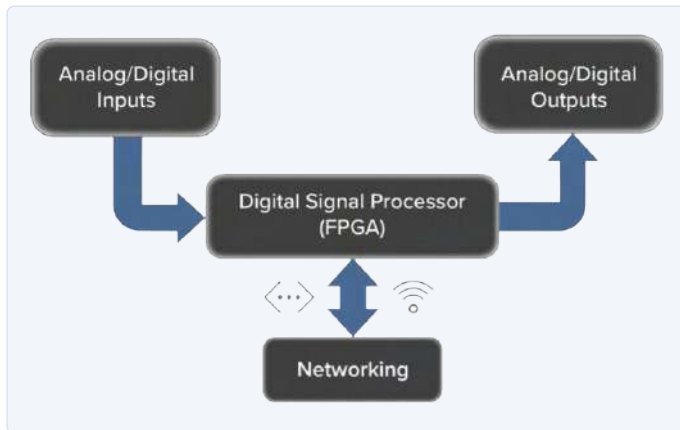


Figure 1. Moku, famille d'instruments sur puce (IoC), propose une partie analogique très performante couplée à un FPGA reconfigurable pour mettre en œuvre les différentes capacités prises en charge. (Source : Liquid Instruments)



Figure 2. Moku:Go est l'instrument de test et de mesure portable d'entrée de gamme de Liquid Instruments. (Source : Liquid Instruments)

de scientifiques ayant participé à des expériences de physique et à des recherches sur les ondes gravitationnelles trouvait que l'offre en matière de T&M était peu flexible et manquait d'évolutivité. La disponibilité de puissants systèmes sur puce (SoC) et de réseaux de portes programmables sur le terrain (FPGA) leur donna l'idée de développer une plateforme matérielle commune utilisable de multiples façons (**fig. 1**). Leur objectif devint : les utilisateurs doivent pouvoir construire des solutions de mesure que l'équipe n'avait pas imaginées.

Et c'est ainsi que la gamme Moku de solutions T&M définies par logiciel vit le jour. En entrée de gamme, il y a *Moku:Go* (**fig. 2**), une plateforme d'ingénierie conçue pour se glisser facilement dans le sac d'un étudiant ou d'un ingénieur. Mesurant à peine 24 × 13 cm et épaisse de 3,8 cm, elle comporte deux voies d'entrée analogiques de 12 bits et 125 Méc/s, offre une BP de 30 MHz et une plage d'entrée de ± 25 V. Côté sorties, deux sont analogiques (12 bits, 125 Méc/s avec une BP de 20 MHz et une plage de ± 5 V) et 16 sont des voies d'E/S numériques. Quatre sorties d'alimentation délivrant selon le modèle entre 150 mA et 1 A sous -5 V à 16 V, complètent les caractéristiques de l'outil.

À vos tablettes !

À l'instar des outils de ce genre, l'interface utilisateur graphique (IUG) s'appuie sur un matériel externe. Les ordinateurs portables et les PC accèdent d'habitude à l'IUG via un navigateur. Ici, Moku est optimisé pour l'écran tactile d'un iPad. Le Wi-Fi assure la connectivité des Moku:Go Mo et M1, mais le M2 dispose aussi d'un port Ethernet. Grâce au soin apporté à sa conception, l'IUG est propre et intuitive.

Prêt à l'emploi, Moku:Go [1] offre 11 instruments, dont un oscilloscope, des générateurs de formes d'ondes standard et arbitraires, un analyseur logique et un analyseur de spectre. En outre, il existe des instruments avancés, tels qu'un constructeur de filtres à réponse impulsionnelle finie, un enregistreur de données, un ampli à

verrouillage de 20 MHz et un contrôleur PID multi E/S [2]. Ce dernier instrument met en évidence la capacité de ce type d'équipement à implémenter, configurer et contrôler jusqu'à deux contrôleurs PID. Le tracé de Bode interactif offre un contrôle en temps réel et des configurations de constructeurs PID à sections multiples, donnant un superbe aperçu de son fonctionnement aux fabricants de systèmes de contrôle et aux enseignants.

Michi Yoneda, membre de l'équipe de Liquid Instruments, indique que la gamme Moku est à l'aise dans les laboratoires universitaires et les instituts de recherche. Elle y est utilisée partout : photonique, LiDAR, spectroscopie et même informatique quantique. Sa capacité à changer d'instrument à la volée et son interface programmable en font une alternative précieuse aux coûteux équipements de T&M classiques. Chacun peut aussi développer ses propres instruments, même sans accès aux outils classiques de développement FPGA. Toute personne maîtrisant le langage VHDL peut créer le flux binaire requis via leur plateforme *Cloud Compile* [3]. Pour l'instant, seul *Moku:Pro* bénéficie de cette fonction, mais elle pourrait être étendue à Moku:Go.

La précision de ces outils est une préoccupation. Certes, ils permettent d'obtenir une vue d'ensemble des signaux sur un circuit imprimé (PCB), mais puis-je garantir à un client la justesse de la valeur mesurée ? Yoneda m'assure que, oui, c'est possible, grâce à un tiers qui propose un étalonnage accompagné d'un certificat.

De la frustration à l'analyseur logique

Il n'y a rien de plus irritant que de s'apercevoir qu'il faut acquérir une licence une fois que l'on a installé ses sondes sur une interface série et trouvé un décodeur approprié sur son analyseur logique ! Après tout, le matériel peut intrinsèquement faire le travail, et l'outil est déjà payé. D'autres fois, c'est simplement l'absence d'instruments de test abordables qui conduit à la création d'entreprises comme *Saleae*, le développeur et fabricant d'analyseurs logiques basés sur USB.



Figure 3. Logic 8, entrée de gamme de Saleae, offre huit voies de capture de signaux mixtes dans un minuscule boîtier d'aluminium usiné d'à peine 5,3 cm de côté. (Source : Saleae)

Mark Garrison, vice-président de Saleae et chargé de l'ingénierie, explique qu'un travail de son frère sur un système embarqué fut le déclencheur du développement de leurs outils. À l'époque, aucun analyseur logique de table n'était viable financièrement, même d'occasion sur eBay, alors il s'est procuré un appareil basé sur USB. Le problème fut que cet outil nécessita encore plus de débogage que le système qu'il construisait.

Au fil des ans, leur gamme d'analyseurs logiques s'est développée, et désormais, c'est le Logic 8 (fig. 3) qui débute leur offre [4]. Il a huit entrées de signaux mixtes enregistrant des signaux numériques, analogiques ou les deux. La vitesse d'échantillonnage numérique

de 100 Méc/s et analogique de 10 Méc/s couvre la majorité des besoins des laboratoires de recherche et d'enseignement.

Changez en douceur

Leur logiciel Logic 2 (fig. 4), l'interface utilisateur de l'outil qui fonctionne sous Windows, Linux et Mac OSX est en tout point remarquable. L'IUG est intuitive, permet d'activer et de désactiver les voies, de les nommer, et le codage couleur utilisé reproduit celui des câbles de connexion de l'unité. Le décodage des protocoles série standard est pris en charge : I²C, SPI, UART, MIDI, Modbus RTU, et même l'interface HD44780 utilisée sur les LCD alphanumériques. Le dispositif est aussi fréquemment utilisé pour l'enregistrement de données, par les développeurs utilisant l'API Python.

Cependant, comparée à celle d'un instrument de table classique, la facilité d'examen des signaux dans le logiciel est bluffante. M. Garrison explique que l'interface utilisateur de Google Maps fut une source d'inspiration lors du développement initial. L'IUG localise facilement des transitions consécutives dans le flux de données, même très espacées. Une pichenette à droite (ou à gauche) sur le flux de données fait défiler la sortie logique qui ralentit ensuite jusqu'à l'arrêt, à moins de la bloquer avant. C'est une amélioration considérable sur les boutons classiques.

Aujourd'hui, environ 80 % des achats sont le fait d'équipes d'ingénieurs, dont beaucoup apprécient la capture de données à haute résolution de ce modeste appareil. Le reste de la clientèle se partage entre fabricants et passionnés, enseignants et jeunes entreprises, tous heureux d'utiliser un outil de ce calibre aussi abordable. Leur actif forum d'utilisateurs reflète cela [5] : les outils et les questions

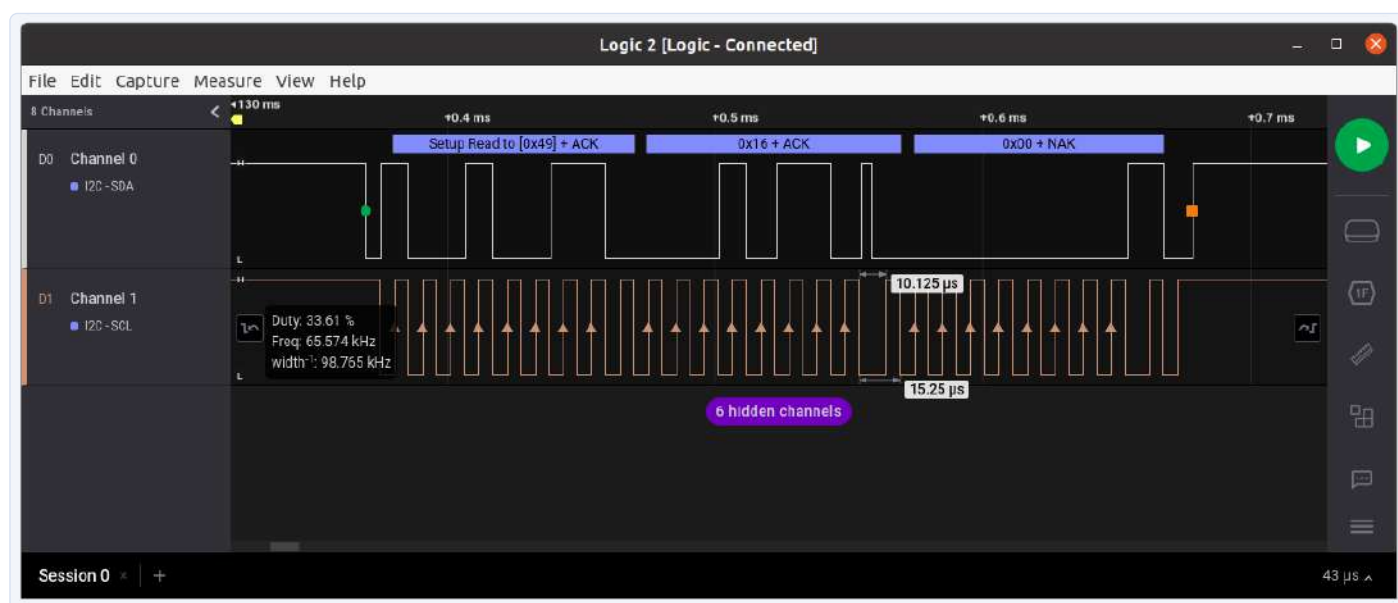


Figure 4. Logic 2 constitue l'interface utilisateur des outils de Saleae. Exceptionnellement facile à utiliser, elle localise très vite les transitions et décode les interfaces série.

des développeurs favorisent l'entraide et le soutien mutuel. Les membres créent aussi des extensions et une série de paquets basés sur Python analysant les données capturées et fournissant par ex. la gigue du signal, ou un 2^e niveau d'analyse des flux de données décodés.

Un labo dans votre cartable

Si le corps enseignant a fait un excellent travail pour tirer parti de la vogue du tout numérique en formant programmeurs et développeurs d'applications embarquées, l'enthousiasme des étudiants pour l'analogique a fortement diminué. C'est ce qu'a déploré Robin Getz, directeur de l'ingénierie des systèmes chez Analog Devices, en discutant avec un professeur du MIT il y a dix ans. À l'époque, seuls 2% des étudiants en ingénierie s'intéressaient à l'analogique, les autres plébiscitaient les logiciels et le numérique. Cette constatation déboucha sur le développement de plateformes de *modules d'apprentissage actif* à faible coût facilitant l'accès aux technologies analogiques et RF.

En entrée de gamme, l'ADALM1000 [6] (surnommé M1K) est un outil autonome permettant aux étudiants d'explorer les relations courant-tension-impédance (fig. 5). Alimenté et configuré par USB, il offre deux voies de génération de signaux et de mesure de tension et courant. Ses oscilloscopes et générateurs de fonctions à 16 bits-100 kéch/s sont plus que suffisants pour l'étude de base et intermédiaire des concepts analogiques. Le logiciel PixelPulse 2 [7], simple d'utilisation et à code source ouvert, fonctionne sous Windows et Mac OSX. Les utilisateurs de Linux peuvent construire l'application eux-mêmes. Le progiciel ALICE [8] fournit une interface utilisateur plus classique.

L'ADALM2000 [9] (de son petit nom M2K) hausse les performances d'un cran (fig. 6). Deux alimentations variables (0 à ± 5 V à 50 mA) secondent deux entrées analogiques (100 Méc/s, 25 MHz) et deux sorties analogiques (150 Méc/s, 30 MHz). Il y a aussi 16 E/S numériques et deux déclencheurs numériques. Cet outil utilise Scopy [10], une IUG instrumentale complète qui fonctionne sous Windows, Mac OSX et Linux (fig. 7). Le logiciel fonctionne aussi sur Android, un adaptateur OTG connectant l'outil à une tablette.

Mesure sur ordinateur portable et tablette

La prise en charge des tablettes Android est voulue, déclare M. Getz : « Aux États-Unis, les étudiants exploitent notre matériel de labo sur leur ordinateur portable tout en utilisant M2K sur leur tablette. À contrario, en Asie, les étudiants n'ont en général qu'une tablette ». Les étudiants disposent d'un vaste matériel pédagogique sur le site du programme universitaire d'ingénierie [11].



Figure 5. L'ADALM1000 (MK1) offre aux étudiants en génie électrique un labo complet en cité universitaire ou à domicile. (Source : Analog Devices)



Figure 6. Désormais outil standard des FAE d'Analog Device, l'ADALM2000 (MK2) rassemble oscilloscope, générateur de fonctions, analyseur logique et générateur de motifs. (Source : Analog Devices)



Figure 7. L'interface graphique est essentielle au succès de tout outil logiciel de mesure. Scopy offre un accès clair aux fonctions et paramètres sur tout système d'exploitation et sur tablette Android.

Au lieu de choisir le programme d'un seul institut d'enseignement, l'équipe a choisi de créer un amalgame de tous les supports de cours utilisés par les instituts pour former les élèves ingénieurs à l'électronique et aux composants de base. Aux États-Unis, les étudiants utilisant les outils d'Analog Devices effectuent généralement le travail de labo à la maison puis discutent des résultats et de toute anomalie avec les enseignants à l'école ou l'université. Ils peuvent aussi utiliser LTspice [12] pour comparer les simulations aux résultats. Cela permet de poursuivre l'apprentissage malgré les restrictions dues à la Covid. Mais la question de savoir quand les élèves apprendront à utiliser un banc de test « approprié » demeure. « Les bancs de test sont toujours nécessaires à un moment donné », déclare M. Getz. « Nous pensons fournir des clés de compréhension des processus de mesure et de test ».

Les étudiants passent aussi plus de temps à étudier le matériel. Ceux qui ont utilisé le M1K et un ensemble de composants fournis par Analog Devices à l'université de Limerick, en Irlande, ont noté que les étudiants s'engageaient plus loin et passaient plus de temps à valider les concepts abordés en cours. Le professeur Hayes, directeur de la section d'ingénierie électronique et informatique, a déclaré que les étudiants devenaient des experts plus vite en « apprenant à recréer leur environnement de laboratoire » pour faire les travaux pratiques [13].

Le test et la mesure ont-ils changé durablement ?

Les instruments de T&M de table ne sont pas près de disparaître. L'industrie a besoin d'équipements standard, étalonnés et commercialisés qui s'intègrent facilement aux outils de programmation courants comme LabVIEW de National Instruments ou MATLAB de MathWorks. Mais, question enseignement, prix et portabilité, les outils proposés par ces acteurs disruptifs offrent un univers de capacités de mesure de qualité à une fraction du coût proposé par les fournisseurs d'instruments de T&M équivalents. Getz, d'Analog Device, souligne que ses ingénieurs d'application sur site (FAE) sont tous équipés de leurs outils. Tant qu'ils restent dans les limites

de l'outil en assistant les clients sur le terrain, ils peuvent relever une multitude de défis de conception. Et, fait-il remarquer, un menuisier n'a pas qu'un marteau et une scie, alors pourquoi les FAE devraient-ils se contenter d'un équipement de test sur banc ?

220201-04 – VF : Yves Georges

Des questions, des commentaires ?

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



PRODUITS

- > **Oscilloscope USB PicoScope 2204A (10 MHz)**
www.elektor.fr/17303
- > **SQ200 - analyseur logique et générateur de signaux de ScanaQuad**
www.elektor.fr/18103



LIENS (tous en anglais)

- [1] Page du Moku:Go : <https://bit.ly/35tKNmz>
- [2] « Multiple-Input Multiple-Output PID Controller », Liquid Instruments : <https://bit.ly/3NF3Zin>
- [3] « Moku Cloud Compile : A getting Started Guide », Liquid Instruments, Sept. 2021 : <https://bit.ly/35tWR7m>
- [4] Page des analyseurs logiques Saleae : <https://bit.ly/3qWyt62>
- [5] Forum des utilisateurs Saleae : <https://bit.ly/376dAyf>
- [6] Page de l'ADALM1000 : <https://bit.ly/3tXoFdE>
- [7] Logiciel Pixelpulse : <https://bit.ly/3NRfdkj>
- [8] ALICE, Active Learning Interface (for) Circuits (and) Electronics Software : <https://bit.ly/3tYFi96>
- [9] Page de l'ADALM2000 : <https://bit.ly/36G6laZ>
- [10] Logiciel Scopy : <https://bit.ly/3Jcj2Nr>
- [11] Programme universitaire d'ingénierie d'Analog Devices : <https://bit.ly/3LE3OCt>
- [12] Page de LTspice : www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html
- [13] « UL and Analog Devices partner on digital learning tool to recreate lab environment at home », Université de Limerick, 12/2020 : <https://bit.ly/3uOZVDB>

15–18 novembre 2022

Driving sustainable progress.

Expérimentez le futur dès aujourd'hui.
Sur le salon electronica 2022.

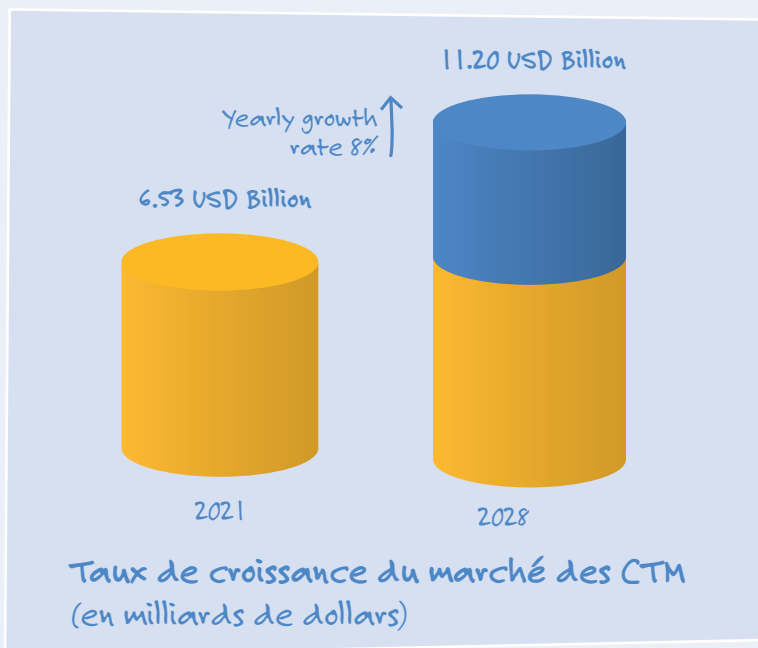
Save the date!



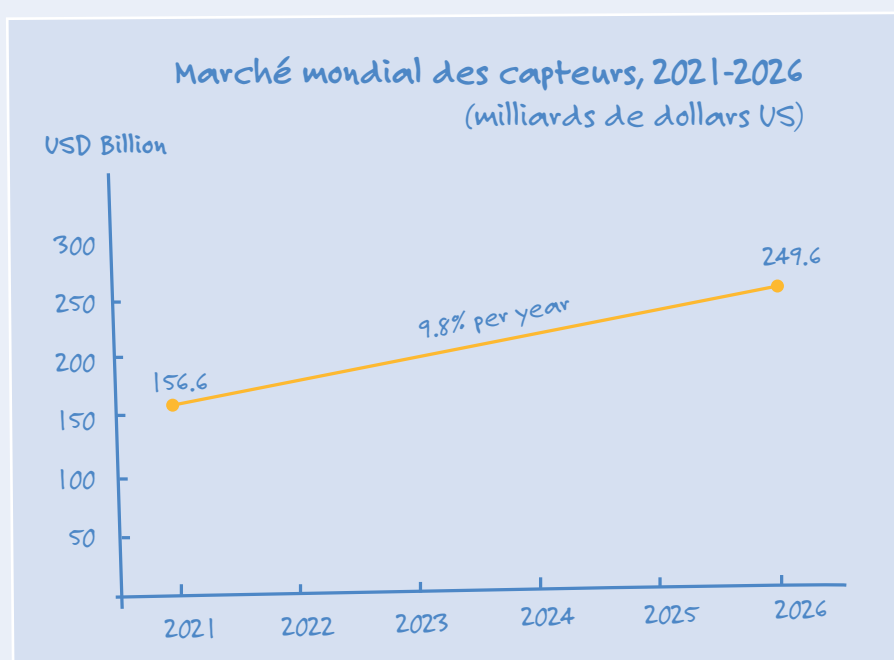
Test et mesure en force dans le domaine des communications

Dans les années à venir, le marché du test et de la mesure dans les communications (*Communications Test and Measurement*) connaîtra une croissance beaucoup plus forte que le marché simplement lié au test et à la mesure (*Test and Measurement*). Ce n'est pas nouveau : en 2020, nous avons annoncé un taux de croissance de 9 % pour le marché des CTM, contre 4% pour les TM « tout court ». Cependant, en raison de la Covid-19, on peut désormais voir un peu moins d'optimisme pour le marché mondial des CTM au cours des prochaines années. Certaines sociétés d'études de marché pensent qu'un taux de croissance de 8% serait plus réaliste, ou veulent même s'en tenir à une estimation de 7%. Allons-y pour 8%, sur la base de diverses recherches effectuées pour la taille du marché et le taux de croissance.

(Sources : Data Bridge Market Research ; MarketsandMarkets ; Research and Markets ; Vantage Market Research)



Capteurs : chaîne d'approvisionnement perturbée



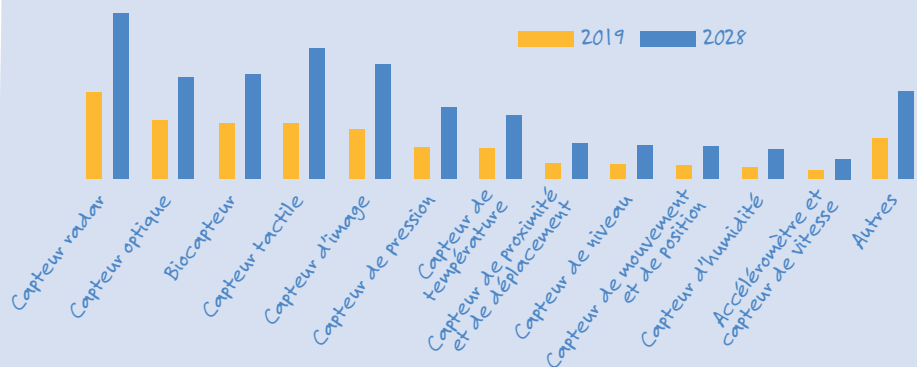
Ce qui s'applique au marché mondial du test et de la mesure dans les communications convient également au marché mondial des capteurs : la demande restera élevée dans les années à venir, mais la Covid-19 a perturbé la chaîne d'approvisionnement. Sachant que les retards d'approvisionnement finiront par prendre fin, c'est la forte demande qui s'imposera, ce qui entraînera une croissance d'environ 10% au cours de la période 2021-2026. Ce taux de croissance élevé est lié au fait qu'il n'y a pas un secteur qui ne s'intéresse pas aux capteurs intelligents (ou pas si intelligents). Les applications vont de la réduction des coûts de maintenance à l'amélioration des niveaux de sécurité dans les transports et les soins de santé.

(Source : Allied Market Research ; BCC Publishing)

Radars, ils sont partout

Quel est et sera l'appareil de mesure le plus prometteur de cette décennie ? Ou, pour le dire un peu différemment : qui aurait pensé que la technologie radar deviendrait si importante ? La technologie radar ne devrait plus être associée uniquement à l'aviation et à la navigation. Que penser

Parts de marché des capteurs, par type, 2019-2028



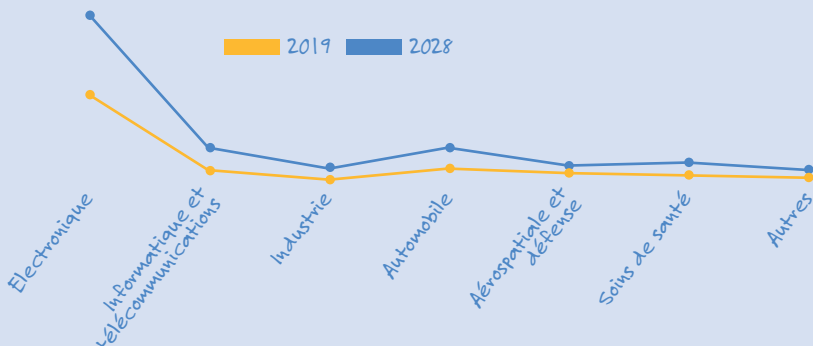
des voitures autonomes ? Les capteurs radar peuvent non seulement détecter un objet, mais aussi déterminer sa forme, sa direction de déplacement et même sa vitesse. Grosso modo, les capteurs radar re-

présentent 20% du marché mondial total des capteurs. Cela représenterait environ 70 milliards (USD) en 2028.

(Sources : Allied Market Research ; Fierce Electronics)

Ils sont parmi nous

Demande de capteurs du marché, par secteur, 2019-2028



Où sont tous ces capteurs ? Quels sont les secteurs qui utilisent le plus tous ces capteurs ? On pourrait penser que l'informatique et les télécommunications représentent le marché le plus important pour les capteurs, étant donné la croissance de la communication à large bande. En toute logique, un autre secteur à forte croissance, l'automobile, viendrait probablement en deuxième position. Oui, l'informatique et les télécommunications, ainsi que l'automobile, sont toujours en plein essor dans le monde entier. Mais c'est l'électronique (grand public) qui représentera la plus grande part du marché des capteurs d'ici à 2028. Des machines à laver aux réfrigérateurs en passant par les consoles de jeux, la liste est infinie et c'est précisément là l'intérêt.

(Source : Allied Market Research)

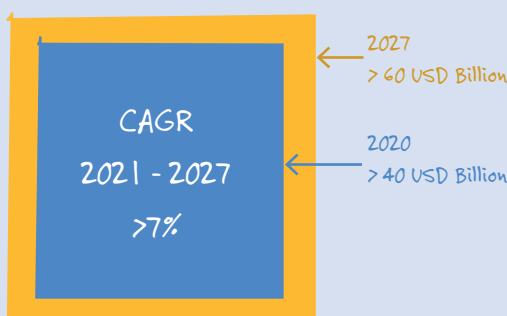


La Covid-19 est un moteur de croissance

Par rapport à il y a deux ans, le cabinet d'études de marché *Global Market Insights* est un peu plus optimiste en ce qui concerne le marché mondial des tests de logiciels. Il y a au moins deux raisons à cela. Les applications logicielles dans le nuage deviennent de plus en plus populaires. Étant donné que ces applications sont mises à jour régulièrement, les tests de logiciels restent au premier plan dans l'esprit de chacun. Une autre raison est liée à la pandémie. La Covid-19 donne un élan supplémentaire à la croissance des applications en nuage. C'est pourquoi *Global Market Insights* pense que le marché des tests de logiciels connaîtra une croissance de plus de 7% entre 2021 et 2027, au lieu des 6% estimés pour 2020-2026.

(Source : Global Market Insights)

Taille du marché des tests de logiciels, 2021-2027 (milliards de dollars US)



L'inspiration, c'est ça qui compte

Entretien avec Walter Arkesteijn,
de l'entreprise InnoFaith Beauty Sciences et lecteur d'Elektor

Jan Buiting (Elektor)

En électronique, les idées – un simple croquis ou une ébauche de schéma de principe – peuvent être plus importantes que des circuits prêts à l'emploi. Walter Arkesteijn nous explique comment il applique cette philosophie dans sa jeune entreprise InnoFaith Beauty Sciences (1).

Jan Buiting : que ce soit dans l'enseignement, la recherche ou l'industrie électronique, on rencontre de nombreux lecteurs – dont certains ont fait carrière – qui s'exclament « Aha ! » en revoyant un ancien numéro d'Elektor. Il en va autrement pour vous, car vous êtes non seulement impliqué dans l'e-business, mais aussi un lecteur actif de notre magazine.

Walter Arkesteijn : je suis en effet toujours un lecteur assidu d'Elektor. Je le feuillette aujourd'hui avec nostalgie, mais lorsque j'étais (beaucoup) plus jeune, je le dévorais littéralement. Cela m'a permis d'acquérir des connaissances et de concrétiser mes rêves de jeunesse. Le magazine invitait aussi à la réflexion quant aux solutions et aux possibilités d'un circuit. Il stimule encore ma créativité, et ça reste intéressant de découvrir les innovations et les projets proposés.

Jan : honnêtement, comment jugeriez-vous le magazine, hier et aujourd'hui ?

Walter : le magazine était une source d'inspiration, surtout lorsque je me suis lancé dans ma passion pour l'électrotechnique, et que je me creusais les méninges pour comprendre les tableaux. J'estime qu'il l'est toujours autant aujourd'hui.

Jan : quelles sont vos compétences techniques, et Elektor vous a-t-il aidé ou gêné pour les acquérir ? Quels étaient vos projets et articles favoris ?

Walter : j'ai obtenu un diplôme d'ingénieur en électrotechnique dans un établissement d'enseignement supérieur des Pays-Bas. C'est un peu grâce à Elektor que j'ai développé une passion pour l'électrotechnique, et c'était aussi un encouragement à poursuivre des études dans ce domaine. J'avais vraiment envie d'en savoir plus, non seulement sur la technique elle-même, mais aussi sur le monde de l'électrotechnique. On m'a encouragé à découvrir les choses par moi-même, et Elektor a été un bon guide.

Je suis surtout fasciné par le processus de conception, comment la fiction peut devenir réalité grâce à la technique. Si je devais citer les réalisations d'Elektor qui m'ont marqué, je dirais les divers projets d'amplificateurs audio. C'est surprenant qu'un montage a priori assez simple puisse faire découvrir tant d'aspects différents de l'électronique. On découvre soudain qu'un circuit prend plusieurs dimensions vu de divers points de vue. C'est réellement très intéressant de découvrir ces aspects conceptuels et techniques.

Jan : vous avez désormais votre propre entreprise, InnoFaith. Pouvez-vous décrire brièvement de quoi il s'agit et quelles étaient vos motivations principales ? J'espère que ce n'était pas « Le tort d'Elektor » !

Walter : j'ai lancé InnoFaith Beauty Sciences par volonté d'entreprendre. J'étais compulsivement attiré par les opportunités du marché de la médecine esthétique. C'est lorsque j'étais adolescent et que j'accompagnais ma mère à une bourse – elle travaille dans le secteur des cosmétiques – que j'ai réalisé qu'il y avait encore pas mal à faire en la matière. Je voulais trouver le moyen d'aider l'industrie à interpréter et traiter les problèmes de peau et de vieillissement de celle-ci. C'est ainsi qu'est née Sylton, la marque sous laquelle nous vendons nos appareils. « Le tort d'Elektor » n'y est certainement pour rien ; le magazine reste pour moi une source inépuisable d'inspiration et de connaissance.

Jan : Elektor se veut en effet plus inspirateur que professeur. Est-ce cela que vous ressentez aussi ? Qu'est-ce qui vous poussait à lire un article ou réaliser un projet particulier ?

Walter : c'est essentiellement comme source d'inspiration que je considérais – et considère toujours – Elektor. Je n'ai pas réalisé beaucoup de projets du magazine, car c'était beaucoup moins amusant de savoir que quelqu'un d'autre y avait pensé. La lecture des articles déclenchait chez moi un certain émerveillement pour ce



que la technologie permettait, et me poussait à réfléchir à d'autres perspectives et à entrevoir d'autres possibilités.

Jan : comment est organisée InnoFaith, et quels sont ses produits ?

Walter : InnoFaith Beauty Sciences compte actuellement 23 collaborateurs. Nous concevons nous-mêmes matériel et logiciel. Notre produit phare, l'Observ 520x, est distribué dans plusieurs pays du monde entier.

Nous avons veillé à ce que le produit soit particulièrement convivial, alors qu'il est techniquement très complexe et avancé. La technologie numérique marie d'une manière stimulante et inspirante nos capacités instinctives et analytiques, afin de porter un regard compréhensif et convaincant sur la beauté.

Jan : quelles sont les techniques dominantes chez InnoFaith ?

Walter : le traitement du signal se retrouve dans plusieurs aspects de notre travail, et est donc important ; la conception du logiciel et le design de notre appareil aussi. Nous essayons toujours d'améliorer le traitement d'image et sa reproduction, et nous travaillons

avec différents modes d'éclairage. L'utilisation d'Observ requiert une appli spécifique, que nous avons réalisée.

Jan : dans le secteur de l'industrie où InnoFaith se trouve, quels sont les opportunités et les défis ?

Walter : InnoFaith Beauty Sciences est dans un secteur très intéressant, où l'utilisateur final n'est pas un technophile. À côté de l'innovation technologique, nous devons donc aussi veiller à ce que le produit reste assez simple d'utilisation.

J'estime que les meilleures opportunités sont dans les systèmes de traitement d'image. Le défi est d'enregistrer et traiter rapidement un grand nombre de données visuelles, collectées sous divers éclairages. Nous voulons établir des analyses les plus détaillées possible de la peau, pour bien comprendre la relation entre perspective et perception visuelle. Et nous souhaitons bien entendu être les meilleurs dans la perception de la beauté, que nous rendons visible et compréhensible à l'aide des techniques numériques.

Jan : parlant de la disponibilité de la technologie, quel a été l'impact de la crise du marché des composants – et particulièrement les circuits intégrés – sur InnoFaith ?

Walter : nous avons subi ce manque de circuits intégrés, de longs délais de livraison et de forte augmentation des prix des composants, sans parler des dérèglements des chaînes d'approvisionnement. Nous avons heureusement limité l'impact de ces déboires en modifiant légèrement quelques circuits, en commandant à temps et en grandes quantités, en établissant un schéma précis de production, et en essayant de dénicher les composants irremplaçables sur le marché public via des intermédiaires spécialisés.

Jan : les Pays-Bas veulent redevenir un pays producteur de produits finis, qu'en pensez-vous ?

Walter : c'est ce que nous avons également constaté, surtout pour des produits techniques industriels en série. Le manque de main d'œuvre est bien entendu un frein à ce développement. Nous avons en conséquence choisi de conserver la production des éléments critiques et à haute valeur technologique chez nous, de même que le contrôle de la qualité. Pour les éléments demandant un travail à la chaîne avec plus de main d'œuvre et de l'espace pour l'assemblage, nous avons conclu un partenariat avec une entreprise slovaque.

Jan : merci pour cet entretien, nous reparlerons bientôt de vous, dans Elektor et sur Elektor TV (2). ◀

220257-04

LIENS

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

[2] Elektor TV: www.youtube.com/elektorim

Minimiser l'interférence CEM des selfs de stockage

Ranjith Bramanpalli, Würth Elektronik

De nombreux régulateurs à découpage stockent l'énergie dans une inductance de puissance. Cependant, si vous souhaitez renforcer leur influence sur le comportement CEM, il y a plusieurs points de départ, notamment l'efficacité du blindage, le début de l'enroulement et les transitoires de commutation.

Les régulateurs à découpage CC/CC sont essentiels dans la gestion de l'énergie, car ils permettent d'augmenter l'efficacité énergétique (rendement) d'une alimentation à découpage. Dans ce contexte, les inductances de stockage sont des composants critiques de ces régulateurs à découpage, même si le processus de développement se concentre souvent uniquement sur les propriétés électriques pures, telles que la R_{DC} , la R_{AC} ou les pertes dans le noyau. En revanche, les propriétés du rayonnement électromagnétique sont souvent négligées. La **figure 1** représente un convertisseur CC/CC à découpage typique avec des commutateurs S_1 et S_2 .

Inductances de puissance dans les alimentations à découpage

Dans les alimentations à découpage, les inductances de puissance peuvent être conçues et assemblées en utilisant de nombreux matériaux de noyau et types d'enroulement. En outre, les inductances de puissance peuvent être classées comme non-blindées, semi-blindées ou blindées. Chaque type de blindage présente des avantages et des inconvénients distincts qui déterminent ses domaines d'application. Le processus de commutation intrinsèque aux alimentations à découpage génère un courant alternatif dans l'inductance. Dans la pratique, l'inductance peut se comporter comme une antenne cadre ; son rayonnement électromagnétique dépend de plusieurs paramètres, tels que le matériau du noyau, le matériau du blindage ainsi que le début de l'enroulement.

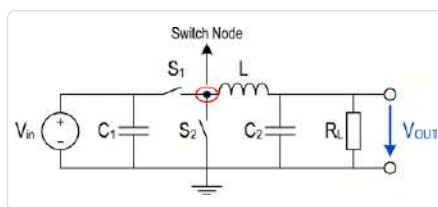


Figure 1. Convertisseur CC/CC à découpage typique avec des commutateurs S_1 et S_2 .

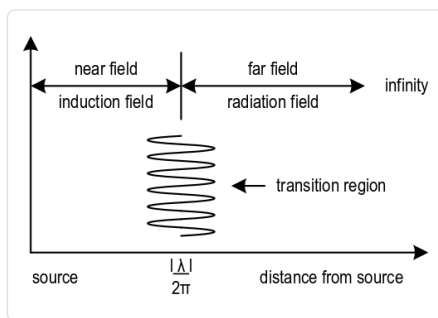


Figure 2. Spectre de propagation en champ proche et lointain avec une transition à $\lambda/2\pi$.

Le rayonnement électromagnétique émis par une inductance de puissance en raison de la fréquence de commutation et de ses ondes harmoniques dans la gamme des basses fréquences de 100 kHz à 30 MHz ne dépend pas seulement du blindage de la bobine, mais aussi des propriétés de l'enroulement. En revanche, la dépendance du rayonnement électromagnétique par rapport à la fréquence dans la gamme supérieure (30 MHz à 1 GHz), où les émissions sont causées par les harmo-

niques et leurs ondes harmoniques, dépend davantage des propriétés de blindage du matériau du noyau, de la fréquence de commutation et de la conception de base.

Effets du champ électromagnétique

Lorsque les inductances de puissance fonctionnent dans les convertisseurs CC/CC, elles produisent des effets secondaires indésirables similaires à ceux d'une antenne cadre. La tension CA et le courant dans l'inducteur génèrent un champ électrique (champ E) et un champ magnétique (champ H). Ces deux champs se propagent à partir de la source à angle droit dans des directions opposées.

Les propriétés des champs E et H à proximité de cette antenne cadre (source) sont dictées par les caractéristiques de la source (fréquence de commutation, transitions, etc.). Cependant, à mesure qu'on s'éloigne de la source le milieu de transition détermine les attributs du champ. Par conséquent, ces phénomènes distincts mais liés peuvent être classés en deux domaines : le champ proche et le champ lointain (**fig. 2**). Le champ proche est défini comme la zone située à moins de $\lambda/2\pi$ de la source, et le champ lointain est défini comme les émissions situées au-delà de cette zone. Les champs E et H doivent être évalués séparément dans le champ proche car leur rapport, appelé impédance caractéristique E/H, n'est pas constant. Cependant, dans le champ lointain, ces champs se combinent pour former une onde plane. Par conséquent, le champ électrique E et le champ

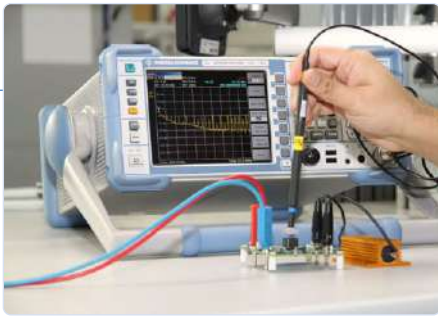


Figure 3. Configuration de test pour la mesure du champ électrique dans un régulateur à découpage CC/CC (DUT).

magnétique H sont décrits uniquement en termes de champ proche. Lorsqu'une source fonctionne avec un courant élevé et une faible tension, le champ magnétique est dominant, tandis que lorsqu'une source fonctionne avec un courant faible et une tension élevée, le champ électrique est dominant.

Lorsqu'une antenne cadre est utilisée, le champ magnétique est très fort à proximité de la source, ce qui entraîne une faible impédance caractéristique dans cette région. Avec l'augmentation de la distance par rapport à la source, le champ magnétique s'affaiblit et génère simultanément un champ électrique perpendiculaire à la direction de propagation du champ H. Lorsqu'on s'éloigne de la source, le champ magnétique s'affaiblit d'un facteur $1/r^3$ et le champ électrique d'un facteur $1/r^2$ (où r (rayon) désigne la distance).

L'impédance caractéristique d'une antenne à fil droit est élevée en raison de l'intensité du champ électrique dans la région de la source. Les propriétés d'atténuation sont l'opposé polaire de celles d'une antenne cadre..

Rayonnement des inductances

Comme indiqué précédemment, le rayonnement du champ électromagnétique provenant des inductances de stockage dans les convertisseurs DC/DC n'est pas négligeable. Cela est particulièrement vrai lorsque le type et l'espacement des composants adjacents sont pris en compte, ainsi que leur susceptibilité au couplage magnétique. Les ingénieurs étant de plus en plus conscients de ce problème potentiel de CEM, les fabricants de composants ont réagi en élargissant leur gamme pour inclure des bobines blindées et semi-blindées en plus des bobines standard non blindées. Les bobines blindées sont fabriquées de telle sorte que l'enroulement est totalement enveloppé dans une pièce moulée entièrement constituée de matériau de blindage

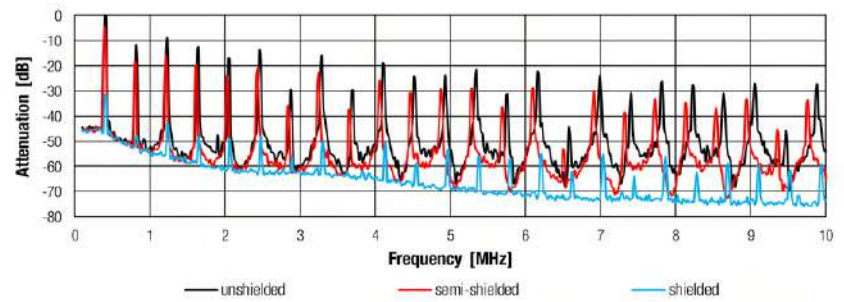


Figure 4. Résultats des mesures du champ H des bobines non blindées, semi-blindées et blindées.

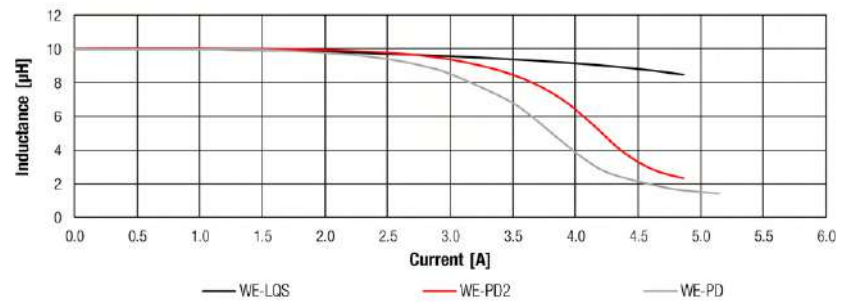


Figure 5. Comparaison du comportement de saturation d'une bobine blindée (gris), semi-blindée (noir) et non blindée (rouge).

magnétique. Dans les bobines non blindées, les enroulements de la bobine sont généralement exposés et il n'y a pas non plus de blindage magnétique. En raison de la propagation illimitée des champs électromagnétiques, ce sont généralement les sources les plus puissantes d'interférences électromagnétiques. Les matériaux magnétiques sont souvent appliqués sur les enroulements exposés des bobines semi-blindées à l'aide de résine époxy. La configuration de test pour mesurer le champ électromagnétique dans un régulateur à découpage DC/DC (DUT) est représentée sur la **figure 3**. Comme indiqué précédemment, chaque type de bobine présente des avantages et des inconvénients. Le principal avantage d'une bobine blindée est que ses émissions électromagnétiques sont relativement faibles par rapport aux bobines semi-blindées et non blindées. La **figure 4** illustre le comportement de base des émissions de ces trois types fondamentaux.

Comme de nombreux ingénieurs électriciens le savent, la conception d'un nouveau circuit est toujours un exercice d'équilibre délicat. L'exacerbation d'une qualité souhaitable peut souvent entraîner l'amplification de caractéristiques indésirables, dont les valeurs maximales sont finalement limitées par les exigences globales du projet. Inévitablement, l'une de ces contraintes est la taille. Les bobines blindées ont une valeur

d'inductance et une saturation magnétique plus faibles, ainsi que des coûts de fabrication plus élevés, par rapport aux exemplaires non blindés de dimensions comparables. De toute évidence, les concepteurs moins expérimentés seront tentés d'utiliser une bobine non blindée en raison de sa taille réduite, de son coût moindre et de ses courants de saturation plus élevés. Cependant, ce choix entraîne une série de problèmes de CEM difficiles à résoudre après la phase de conception.

Würth Elektronik est l'un des rares fabricants à proposer des bobines semi-blindées capables de combler avec succès l'écart entre les exigences d'espace, les propriétés électriques et la CEM. Elles sont particulièrement bien adaptées aux applications pour lesquelles les composants adjacents aux bobines ne sont pas très sensibles aux rayonnements.

Les propriétés de saturation exceptionnelles de l'inductance de stockage semi-blindée WE-LQS, format 8040 (744 040 841 00), sont illustrées sur la **figure 5** en comparaison avec une bobine blindée de la série WE-PD, format 7345 (744 777 10) et une bobine non blindée de la série WE-PD2, format 7850 (744 775 10).

Effet du début de l'enroulement

Une caractéristique essentielle de la CEM, qui est souvent négligée, est l'orientation

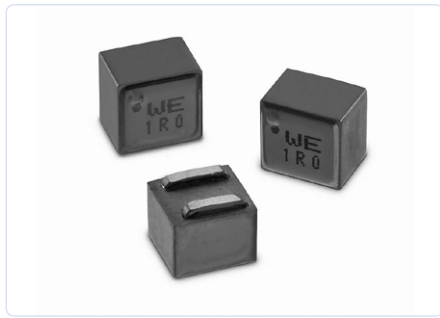


Figure 6. Bobines de type WE-XHMI et WE-PD2 montrant le « point » qui indique le début de l'enroulement.

du début de l'enroulement, qui est indiquée par un « point » sur la bobine (fig. 6). Il est important de connecter le côté de la bobine marqué de ce point aussi près que possible du nœud de commutation, car ce côté a la valeur dU/dt la plus élevée et donc le plus d'interférences. De cette façon, les enroulements extérieurs protègent le flux de courant alternatif du nœud de commutation pendant la commutation. Si l'extrémité non marquée est connectée au nœud du commutateur, les tensions directes du courant alternatif apparaissent au niveau de l'enroulement extérieur. Cela peut entraîner des connexions électriques ou capacitives d'une force inacceptable.

Les bobines à blindage magnétique protègent efficacement du rayonnement où domine le champ H, mais ne sont pas toujours capables de protéger du rayonnement où domine le champ E. L'efficacité du blindage du champ électrique dépend des propriétés du matériau et de la perméabilité magnétique du matériau du noyau : plus le matériau du noyau est résistant et magnétiquement conducteur, plus le blindage du champ électrique de la bobine est efficace. Les émissions de champ E d'une inductance de puissance blindée fabriquée par Würth Elektronik ont été mesurées à titre d'exemple. Le transistor du régulateur découpe à une fréquence de 400 kHz, générant la résonance fondamentale et les harmoniques subséquentes. Le spectre montre clairement que lorsque l'extrémité marquée d'un point de la bobine est connectée au nœud de commutation, les émissions de champ E sont considérablement réduites (fig. 7). L'inductance est donc orientée correctement. En revanche, l'orientation de l'inductance n'a pratique-

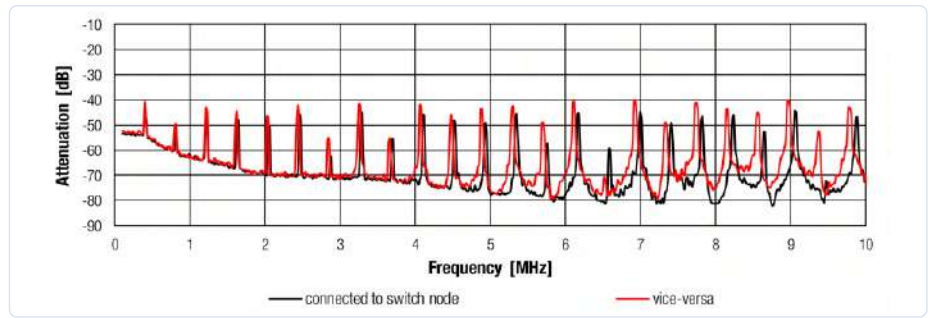


Figure 7. Le champ E du début de l'enroulement est connecté au nœud du commutateur, et vice versa.

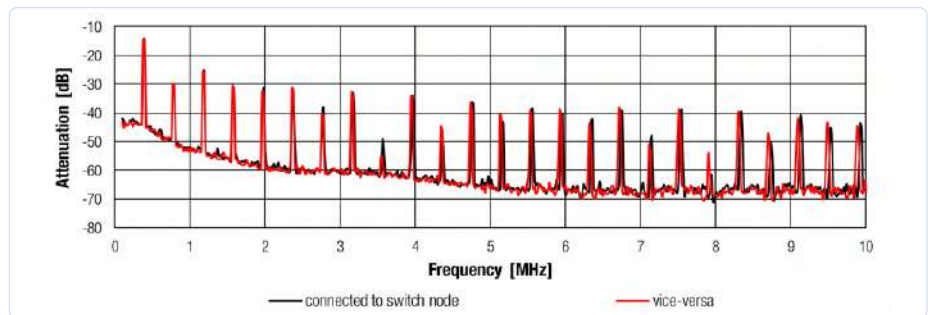


Figure 8. Le champ H du début de l'enroulement est connecté au nœud du commutateur, et vice versa.

ment aucun effet sur les émissions du champ H (fig. 8).

Un examen détaillé des signaux d'interférence électromagnétique causés par les transitions de commutation et l'effet de blindage de divers matériaux dans les champs proches et lointains est fourni dans l'article intitulé « The behavior of electro-

magnetic radiation of power inductors in power management » (Le comportement du rayonnement électromagnétique des inductances de puissance dans la gestion de la puissance) [1].

220295-01

Ranjith Bramanpalli

Ranjith a obtenu deux maîtrises en génie électrique et en informatique de l'université du Massachusetts à Lowell en 2008. Il a depuis travaillé dans le domaine de l'électronique de puissance, en mettant l'accent sur la recherche, le développement et les applications. Il est actuellement employé par Würth Elektronik eiSos en tant qu'ingénieur d'application produit.



LIEN

[1] www.we-online.com/ANP047



Téléchargement gratuit réservé
aux membres d'Elektor : fichier PDF de 60 pages
avec les parties 1 à 10 de cette série. Voir
www.elektormagazine.fr/news/GUI-PDF-Special

5^e partie

Création d'interfaces graphiques en Python avec guizero : jeu de morpion

Contrôlez la logique d'un jeu très simple à l'aide de widgets graphiques.



Laura Sach

Laura dirige l'équipe *A Level* de la Fondation Raspberry Pi chargée des ressources pédagogiques en informatique à destination des étudiants.

@CodeBoom



Martin O'Hanlon

Martin crée des cours, des projets et des ressources en ligne au sein de l'équipe *Learning* de la Fondation Raspberry Pi.

@martinohanlon

Le morpion, *tic-tac-toe* en anglais, est un jeu très simple où chaque joueur tente d'aligner trois symboles avant son adversaire (fig. 1). Vous apprendrez ici à contrôler le déroulement d'une partie à l'aide d'une logique de programmation interagissant en coulisses avec l'interface graphique du jeu.

Créez un nouveau fichier, et ajoutez le code suivant :

```
# Imports -----
from guizero import App

# Functions -----

# Variables -----

# App -----
app = App("Tic tac toe")

app.display()
```

Création du plateau

Nous utiliserons neuf boutons *PushButton* pour représenter les neuf cases composant la grille du jeu. Un clic sur une case déterminera la position choisie par le joueur pour le placement de son symbole. L'objet de *guizero* appelé *Box* va nous servir à créer la grille. Un widget *Box* est un conteneur invisible pouvant contenir d'autres widgets et les regrouper.

Importez donc *Box* en début de code :

```
from guizero import App, Box
```

Ajoutez la ligne suivante avant `app.display()`. Le second paramètre indique la disposition (**layout**) souhaitée des widgets contenus dans *Box*, d'où le **grid** (grille) passé en valeur.

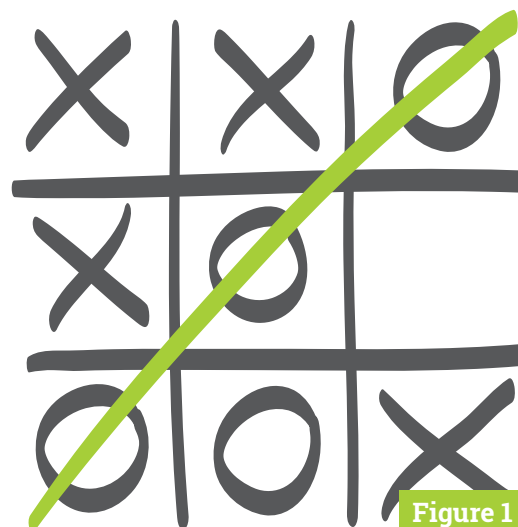


Figure 1

▲ Figure 1 Le jeu du morpion.

```
board = Box(app, layout="grid")
```

Box étant un conteneur invisible, rien ne s'affichera dans la fenêtre **app** si vous lancez le code maintenant. Créons les neuf boutons de l'objet **board** (notre plateau) à l'aide d'une boucle imbriquée. Importez le widget *PushButton*, et ajoutez la boucle **for** ci-dessous, juste après la définition de l'objet **board** :

```
for x in range(3):
    for y in range(3):
        button = PushButton(
            board, text="", grid=[x, y],
            width=3
        )
```



Figure 2

▲ Figure 2 Création d'une grille comprenant neuf boutons.

tictactoe1.py

► Langage : Python 3

TÉLÉCHARGEZ
LE CODE COMPLET :

 magpi.cc/guizerocode

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton
003.
004. # Functions -----
005.
006. # Variables -----
007.
008. # App -----
009. app = App("Tic tac toe")
010.
011. board = Box(app, layout="grid")
012. for x in range(3):
013.     for y in range(3):
014.         button = PushButton(
015.             board, text="", grid=[x, y], width=3)
016. app.display()
```

tictactoe2.py

► Langage : Python 3

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton
003.
004. # Functions -----
005. def clear_board():
006.     new_board = [[None, None, None], [None, None, None], [
007.         None, None, None]]
008.     for x in range(3):
009.         for y in range(3):
010.             button = PushButton(
011.                 board, text="", grid=[x, y], width=3)
012.             new_board[x][y] = button
013.     return new_board
014.
015. # Variables -----
016.
017. # App -----
018. app = App("Tic tac toe")
019. board = Box(app, layout="grid")
020. board_squares = clear_board()
021.
022. app.display()
```

Notez les deux variables de boucle : `x` allant de 0 à 2, et `y` allant aussi de 0 à 2. Un bouton `button` est créé et ajouté au conteneur `board` à chaque itération, et comme chaque bouton prend pour coordonnées les valeurs successives de `x` et de `y`, nous obtenons bien neuf boutons alignés sur une grille de 3 par 3 (fig. 2).

Le code correspondant est reproduit sur le listage `tictactoe1.py`.

Structure de données

Sans doute avez-vous remarqué que la boucle créait neuf boutons, mais que chacun d'entre eux était nommé `button`. Impossible dès lors de les différencier. Pour être à même de les utiliser dans le programme, nous avons besoin d'une structure de données contenant une référence vers chacun de ces boutons. Nous utiliserons à cet effet une liste à deux dimensions, c.-à-d. une liste de listes.

Partons d'une fonction dont le rôle sera d'effacer le plateau de jeu. Mettre ce code d'effacement dans une fonction est une bonne idée, nous pourrions le réutiliser en fin de jeu pour démarrer une nouvelle partie.

Dans la section *Functions*, définissez une fonction appelée `clear_board` :

```
def clear_board():
```

La première étape consiste à déclarer et initialiser la liste qui contiendra les neuf boutons. Comme nous n'avons encore créé aucun bouton, nous initialisons leurs positions à `None` – les éléments de la liste existeront, mais aucune valeur ne leur sera encore assignée. Ajoutez la ligne ci-dessous, indentée, au corps de la fonction :

```
    new_board = [[None, None, None], [None,
None, None], [None, None, None]]
```

Déplacez ensuite la boucle imbriquée précédente sous la définition de la liste, là encore en veillant aux indentations.

Dans la boucle interne (`y`), ajoutez la ligne ci-dessous pour remplir la liste `new_board` avec la référence vers les coordonnées `x` et `y` de chaque bouton..

```
    new_board[x][y] = button
```

Enfin, après la boucle, demandez à la fonction de retourner la liste `new_board` créée. Voici notre

Nouvelle partie

La fonction `clear_code()` définie en début de code semble inutile, mais ce n'est pas sans raison que nous l'avons écrite : comme une partie de morpion ne dure que très peu de temps, il est probable que les joueurs désireront en recommencer une autre aussitôt après.

Voilà pourquoi nous vous invitons à créer un bouton *Reset* s'affichant en fin de partie. Votre bouton devra appeler la fonction `clear_code()`, remettre à 0 la variable `turn`, et réinitialiser le message invitant le joueur X ou O à jouer.

Consultez la documentation de *guizero* pour apprendre à masquer et rendre visible un widget, et appliquez cette technique à votre bouton afin qu'il reste masqué durant la partie.

Indice : créez une nouvelle fonction traitant tout ce qu'il faut pour réinitialiser le jeu, et appelez-la lorsque le joueur clique sur le bouton *Reset*. N'oubliez pas qu'il vous faudra définir certaines de ses variables comme globales.

fonction :

```
def clear_board():
    new_board = [[None, None, None],
                 [None, None, None],
                 [None, None, None]]
    for x in range(3):
        for y in range(3):
            button = PushButton(
                board, text="", grid=[x,
y], width=3
            )
            new_board[x][y] = button
    return new_board
```

Dans la section *App*, initialisez une liste appelée `board_squares` à l'aide de la fonction `clear_board()` :

```
board_squares = clear_board()
```

L'instruction ci-dessus affecte à la variable `board_squares` la valeur retournée par la fonction `clear_board()`, soit un plateau comprenant neuf cases vides (neuf objets `button`). Placez l'instruction après la définition du conteneur `board`, sinon le compilateur se plaindra qu'il ne peut pas ajouter des boutons dans un conteneur qui n'existe pas.

Enregistrez votre code (**tictactoe2.py**) et lancez-le. Le résultat devrait être identique au précédent, mais maintenant nous disposons d'une liste pour

tictactoe3.py

► Langage : Python 3

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton, Text
003.
004. # Functions -----
005. def clear_board():
006.     new_board = [[None, None, None], [None, None, None], [None,
None, None]]
007.     for x in range(3):
008.         for y in range(3):
009.             button = PushButton(board, text="", grid=[x, y],
width=3, command=choose_square, args=[x,y])
010.             new_board[x][y] = button
011.     return new_board
012.
013. def choose_square(x, y):
014.     board_squares[x][y].text = turn
015.     board_squares[x][y].disable()
016.
017. # Variables -----
018. turn = "X"
019.
020. # App -----
021. app = App("Tic tac toe")
022.
023. board = Box(app, layout="grid")
024. board_squares = clear_board()
025. message = Text(app, text="It is your turn, " + turn)
026.
027. app.display()
```

référencer et manipuler les boutons.

Pour voir le contenu de cette liste dans l'interpréteur de commande, ajoutez temporairement `print(new_board[x][y])` à la fin de la boucle imbriquée `y`, ou `print(board_squares)` avant la dernière ligne du code.

Activation des boutons

À ce stade, il ne passe rien si nous cliquons sur une case du plateau. Créons donc une fonction qui affichera un X sur le bouton cliqué s'il s'agit du joueur X, un O s'il s'agit du joueur O.

Définissons d'abord dans la section *Variables* une variable `turn` qui stockera le nom du joueur devant jouer le prochain coup. Nous avons choisi arbitrairement X pour le premier coup à jouer.

```
turn = "X"
```

Le joueur X, lui, ignore bien sûr tout de notre code, aussi devons-nous l'avertir que c'est à son tour de jouer (**fig. 3**). Ajoutez *Text* aux widgets à importer :

```
from guizero import App, Box, PushButton,
Text
```

Dans la section *App*, ajoutez un widget *Text* invitant le joueur X ou O à jouer :

tictactoe4.py

► Langage : Python 3

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton, Text
003.
004. # Functions -----
005. def clear_board():
006.     new_board = [[None, None, None], [None, None, None], [None,
007.         None, None]]
008.     for x in range(3):
009.         for y in range(3):
010.             button = PushButton(board, text="", grid=[x, y],
011.                 width=3, command=choose_square, args=[x,y])
012.             new_board[x][y] = button
013.     return new_board
014.
015. def choose_square(x, y):
016.     board_squares[x][y].text = turn
017.     board_squares[x][y].disable()
018.     toggle_player()
019.
020. def toggle_player():
021.     global turn
022.     if turn == "X":
023.         turn = "O"
024.     else:
025.         turn = "X"
026.     message.value = "It is your turn, " + turn
027.
028. # Variables -----
029. turn = "X"
030.
031. # App -----
032. app = App("Tic tac toe")
033.
034. board = Box(app, layout="grid")
035. board_squares = clear_board()
036. message = Text(app, text="It is your turn, " + turn)
037. app.display()
```

▼ Figure 3 Un widget Text pour appeler le joueur suivant.



Figure 3

```
message = Text(app, text="It is your turn, " + turn)
```

Dans la section *Functions*, définissez une fonction appelée `choose_square` :

```
def choose_square(x, y):
```

Les deux arguments de la fonction sont les coordonnées de la case qui a été cliquée. Ajoutez à cette même fonction les deux instructions ci-dessous (en les indentant) ; la première affecte au texte affiché le symbole du joueur actuel, la seconde désactive le bouton pour qu'il ne puisse plus être cliqué.

```
board_squares[x][y].text = turn
board_squares[x][y].disable()
```

Il nous faut maintenant « connecter » cette fonction au bouton. Dans la fonction `clear_board()`, repérez cette ligne :

```
button = PushButton(board, text="",
grid=[x, y], width=3)
```

Modifiez-la de façon à ce qu'elle devienne :

```
button = PushButton(board, text="",
grid=[x, y], width=3, command=choose_square,
args=[x,y])
```

La première modification attache la commande `choose_square` à `button` de façon à ce que cette fonction soit appelée lorsque le bouton est cliqué. L'autre modification (`args=[x,y]`) fournit à `choose_square()` les arguments `x` et `y` du bouton cliqué (ses coordonnées), ce qui nous permettra de retrouver ce bouton dans la liste.

Enregistrez votre programme (listage **tictactoe3.py**) et exécutez-le. Un X apparaît bien lorsque nous cliquons sur une case, mais pour l'instant c'est toujours à X de jouer !

Chacun son tour

Pour qu'un joueur passe la main au suivant, nous devons changer la valeur de `turn` en conséquence. La fonction ci-dessous met `turn` sur O si elle était sur X, et vice versa.

```
def toggle_player():
    global turn
    if turn == "X":
        turn = "O"
    else:
```

tictactoe5.py

► Langage : Python 3

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton, Text
003.
004. # Functions -----
005. def clear_board():
006.     new_board = [[None, None, None], [None, None,
007.         None], [None, None, None]]
008.     for x in range(3):
009.         for y in range(3):
010.             button = PushButton(board, text="",
011.                 grid=[x, y], width=3, command=choose_square,
012.                 args=[x,y])
013.             new_board[x][y] = button
014.     return new_board
015.
016. def choose_square(x, y):
017.     board_squares[x][y].text = turn
018.     board_squares[x][y].disable()
019.     toggle_player()
020.     check_win()
021.
022. def toggle_player():
023.     global turn
024.     if turn == "X":
025.         turn = "O"
026.     else:
027.         turn = "X"
028.     message.value = "It is your turn, " + turn
029.
030. def check_win():
031.     winner = None
032.
033.     # Vertical lines
034.     if (
035.         board_squares[0][0].text ==
036.         board_squares[0][1].text == board_squares[0][2].text
037.         ) and board_squares[0][2].text in ["X", "O"]:
038.         winner = board_squares[0][0]
039.     elif (
040.         board_squares[1][0].text ==
041.         board_squares[1][1].text == board_squares[1][2].text
042.         ) and board_squares[1][2].text in ["X", "O"]:
043.         winner = board_squares[1][0]
044.     elif (
045.         board_squares[2][0].text ==
046.         board_squares[2][1].text == board_squares[2][2].text
047.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
048.         winner = board_squares[2][0]
049.
050.     # Horizontal lines
051.     elif (
052.         board_squares[0][0].text ==
053.         board_squares[1][0].text == board_squares[2][0].text
054.         ) and board_squares[2][0].text in ["X", "O"]:
055.         winner = board_squares[0][0]
056.     elif (
057.         board_squares[0][1].text ==
058.         board_squares[1][1].text == board_squares[2][1].text
059.         ) and board_squares[2][1].text in ["X", "O"]:
060.         winner = board_squares[0][1]
061.     elif (
062.         board_squares[0][2].text ==
063.         board_squares[1][2].text == board_squares[2][2].text
064.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
065.         winner = board_squares[0][2]
066.
067.     # Diagonals
068.     elif (
069.         board_squares[0][0].text ==
070.         board_squares[1][1].text == board_squares[2][2].text
071.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
072.         winner = board_squares[0][0]
073.     elif (
074.         board_squares[0][2].text ==
075.         board_squares[1][1].text == board_squares[2][0].text
076.         ) and board_squares[0][2].text in ["X", "O"]:
077.         winner = board_squares[0][2]
078.
079.     if winner is not None:
080.         message.value = winner.text + " wins!"
081.
082. # Variables -----
083. turn = "X"
084.
085. # App -----
086. app = App("Tic tac toe")
087.
088. board = Box(app, layout="grid")
089. board_squares = clear_board()
090. message = Text(app, text="It is your turn, " + turn)
091. app.display()
```

```
turn = "X"
```

Ajoutez-la à la section *Functions*. Notez la première ligne : `global turn`. Si nous ne transformions pas ainsi en variable *globale* la variable `turn`, Python créerait et modifierait une variable *locale* appelée `turn`, donc indépendante de la variable `turn` définie et initialisée dans la section *Variables* ; son contenu ne serait de surcroît pas sauvegardé après l'exécution de la fonction.

Il faut également que le widget `Text` mette à jour le nom du joueur suivant. Pour cela ajoutez la ligne suivante après le bloc `if/else` de `toggle_player()` :

```
message.value = "It is your turn, " + turn
```

Il ne nous reste plus qu'à appeler `toggle_player()` depuis la fonction `choose_square()` – après l'affectation de `text` et la désactivation du bouton. Enregistrez votre code (listage `tictactoe4.py`) et exécutez-le : le programme devrait inviter tour à tour X et O à jouer, et les symboles correspondants s'afficher sur les cases cliquées.

Avons-nous un gagnant ?

Il nous faut maintenant écrire une fonction vérifiant si une rangée, colonne ou diagonale contient trois X ou trois O, et si c'est le cas désigner le vainqueur.

Même si elle n'est pas très élégante, la méthode la plus simple consiste à écrire explicitement tous les cas correspondant aux lignes, colonnes et

Variables globales

N'utiliser que des variables globales est une mauvaise idée. Dans un code aussi court que le nôtre, il est facile de retrouver quelles fonctions modifient la valeur d'une variable et à quel moment, mais si un code comprend de nombreuses fonctions il devient vite difficile de suivre toutes les répercussions qu'entraîne la modification d'une variable globale.

Souvenez-vous qu'il est possible de *lire* et *utiliser* la valeur d'une variable globale depuis une fonction sans la déclarer comme globale, mais cette déclaration est nécessaire pour *modifier* sa valeur. Les fonctions de notre jeu de morpion (et la plupart de celles de cette série) modifient les valeurs des widgets de façon globale. Prenons l'exemple d'un joueur gagnant la partie, dans ce cas nous modifions la valeur du widget Text **message** de la façon suivante :

```
message.value = winner.text + " wins!"
```

Comment pouvons-nous modifier la valeur de **message** alors que nous ne l'avons pas déclarée comme variable globale ? L'explication vient de ce que nous utilisons la propriété du widget **message** appelée **value**. L'instruction demande au compilateur : « Hé Python, tu vois ce widget appelé **message** ? Pourrais-tu modifier sa propriété **value**, stp ? ». Python est d'accord, car il permet de modifier les propriétés d'un objet appartenant à l'espace de nommage global. Il interdit en revanche de modifier directement la valeur d'une variable non déclarée comme globale.



Python 3 for Science and Engineering Applications

Si vous maîtrisez les bases de Python et souhaitez explorer le langage plus en profondeur, ce livre (en anglais) est pour vous. Il illustre de nombreux aspects de la programmation au moyen d'exemples numériques et textuels concrets (chaos, modélisation de populations, jeu 2048, palindromes...). Découvrez un extrait sur : www.elektor.fr/python-3-for-science-and-engineering-applications

diagonales contenant trois symboles identiques, et à les comparer avec la partie en cours.

Le code ci-dessous est pour une ligne horizontale, une ligne verticale et une diagonale gagnantes. Sauriez-vous coder les autres cas ?

```
def check_win():
    winner = None

    # Vertical lines
    if (
        board_squares[0][0].text == board_squares[0][1].text == board_squares[0][2].text
    ) and board_squares[0][2].text in ["X", "O"]:
        winner = board_squares[0][0]

    # Horizontal lines
    elif (
        board_squares[0][0].text == board_squares[1][0].text == board_squares[2][0].text
    ) and board_squares[2][0].text in ["X", "O"]:
        winner = board_squares[0][0]

    # Diagonals
    elif (
        board_squares[0][0].text == board_squares[1][1].text == board_squares[2][2].text
    ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
        winner = board_squares[0][0]
```

La fonction débute par la déclaration d'une variable booléenne appelée **winner**. Si après l'exécution des blocs **if/elif** cette variable passe à **True**, c'est qu'un joueur a gagné.

Complétez le code avec le reste des cas possibles, puis ajoutez à la fin de la fonction la ligne ci-dessous modifiant la valeur du texte affiché s'il y a un vainqueur :

```
if winner is not None:
    message.value = winner.text + " wins!"
```

La fonction doit bien sûr être appelée à chaque placement d'un X ou d'un O, c.-à-d. après chaque clic sur un bouton. Ajoutez un appel à **check_win()** à la fin de la fonction **choose_square()**, ce qui vérifiera si la case qui vient d'être cliquée donne une formule gagnante.

Exécutez votre code (listage **tictactoe5.py**) et testez-le pour vérifier que vous avez correctement codé tous les cas gagnants laissés à votre sagacité.

Partie nulle

Notez que même si un des joueurs a gagné, la partie peut être poursuivie tant qu'il reste des cases à cliquer. L'autre point à retenir est que le programme ne détecte pas les cas de parties nulles. Nous pourrions nous dire « C'est comme ça », mais nous préférons la satisfaction d'avoir créé un jeu abouti.

Commençons donc par la détection des parties nulles. Une partie sera considérée comme telle si toutes les cases contiennent un X ou un O et que personne n'a gagné. Dans la section **Functions**, créez une fonction appelée **moves_taken** :

```
def moves_taken():
```

Cette fonction nous servira à compter le nombre de coups (*moves*) joués jusqu'à présent. Définissons et initialisons à 0 une variable stockant ce nombre :

```
def moves_taken():
    moves = 0
```

Comme nous l'avons fait dans la fonction **board_squares()** pour créer les cases du jeu, nous allons reprendre la technique de la boucle imbriquée pour déterminer si chaque case a été remplie avec un symbole ou si elle est vide. Ajoutez au corps de **moves_taken()** les deux lignes ci-dessous parcourant toutes les rangées et colonnes :

```
for row in board_squares:
    for col in row:
```

Vérifions maintenant si la case en cours contient un X ou un O. Si c'est le cas, nous incrémentons la variable **moves** (lui ajoutons 1) :

```
if col.text == "X" or col.text == "O":
    moves = moves + 1
```

06-tictactoe.py

► Langage : Python 3

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton, Text
003.
004. # Functions -----
005. def clear_board():
006.     new_board = [[None, None, None],
007.                  [None, None, None], [None, None, None]]
008.     for x in range(3):
009.         for y in range(3):
010.             button = PushButton(board, text="",
011.                                grid=[x, y], width=3, command=choose_square,
012.                                args=[x,y])
013.             new_board[x][y] = button
014.     return new_board
015.
016. def choose_square(x, y):
017.     board_squares[x][y].text = turn
018.     board_squares[x][y].disable()
019.     toggle_player()
020.     check_win()
021.
022. def toggle_player():
023.     global turn
024.     if turn == "X":
025.         turn = "O"
026.     else:
027.         turn = "X"
028.     message.value = "It is your turn, " + turn
029.
030. def check_win():
031.     winner = None
032.
033.     # Vertical lines
034.     if (
035.         board_squares[0][0].text ==
036.         board_squares[0][1].text == board_squares[0][2].text
037.         ) and board_squares[0][2].text in ["X", "O"]:
038.         winner = board_squares[0][0]
039.     elif (
040.         board_squares[1][0].text ==
041.         board_squares[1][1].text == board_squares[1][2].text
042.         ) and board_squares[1][2].text in ["X", "O"]:
043.         winner = board_squares[1][0]
044.     elif (
045.         board_squares[2][0].text ==
046.         board_squares[2][1].text == board_squares[2][2].text
047.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
048.         winner = board_squares[2][0]
049.
050.     # Horizontal lines
051.     if (
052.         board_squares[0][0].text ==
053.         board_squares[1][0].text == board_squares[2][0].text
054.         ) and board_squares[2][0].text in ["X", "O"]:
055.         winner = board_squares[0][0]
056.     elif (
057.         board_squares[0][1].text ==
058.         board_squares[1][1].text == board_squares[2][1].text
059.         ) and board_squares[2][1].text in ["X", "O"]:
060.         winner = board_squares[0][1]
061.     elif (
062.         board_squares[0][2].text ==
063.         board_squares[1][2].text == board_squares[2][2].text
064.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
065.         winner = board_squares[0][2]
066.
067.     # Diagonals
068.     if (
069.         board_squares[0][0].text ==
070.         board_squares[1][1].text == board_squares[2][2].text
071.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
072.         winner = board_squares[0][0]
073.     elif (
074.         board_squares[2][0].text ==
075.         board_squares[1][1].text == board_squares[0][2].text
076.         ) and board_squares[0][2].text in ["X", "O"]:
077.         winner = board_squares[0][2]
078.
079.     if winner is not None:
080.         message.value = winner.text + " wins!"
081.     elif moves_taken() == 9:
082.         message.value = "It's a draw"
083.
084. def moves_taken():
085.     moves = 0
086.     for row in board_squares:
087.         for col in row:
088.             if col.text == "X" or col.text == "O":
089.                 moves = moves + 1
090.     return moves
091.
092. # Variables -----
093. turn = "X"
094.
095. # App -----
096. app = App("Tic tac toe")
097.
098. board = Box(app, layout="grid")
099. board_squares = clear_board()
100. message = Text(app, text="It is your turn, " + turn)
101.
102. app.display()
```

Une fois la boucle terminée, nous retournons la somme totale contenue dans `moves` à l'aide de l'instruction `return` :

```
return moves
```

Pour vérifier si la partie est nulle, nous appelons cette fonction depuis `check_win()`, de la façon suivante, juste après le code vérifiant s'il y a un gagnant :

```
if winner is not None:
    message.value = winner.text + " wins!"

# Add this code
elif moves_taken() == 9:
    message.value = "It's a draw"
```

Le programme ainsi modifié (listage **06-tictactoe.py**) regarde si neuf coups ont été joués, et si c'est le cas annonce une partie nulle (*It's a draw*). 

(VF : Hervé Moreau)

relais Reed

David Ashton (Australie)

Bien que l'industrie des semi-conducteurs présente de grandes innovations, il est parfois impossible de battre un vrai interrupteur ! Nous nous plongeons ici dans l'univers des relais Reed, des composants qui étaient largement utilisés dans les centraux téléphoniques d'antan.

NO AXIAL FIELD

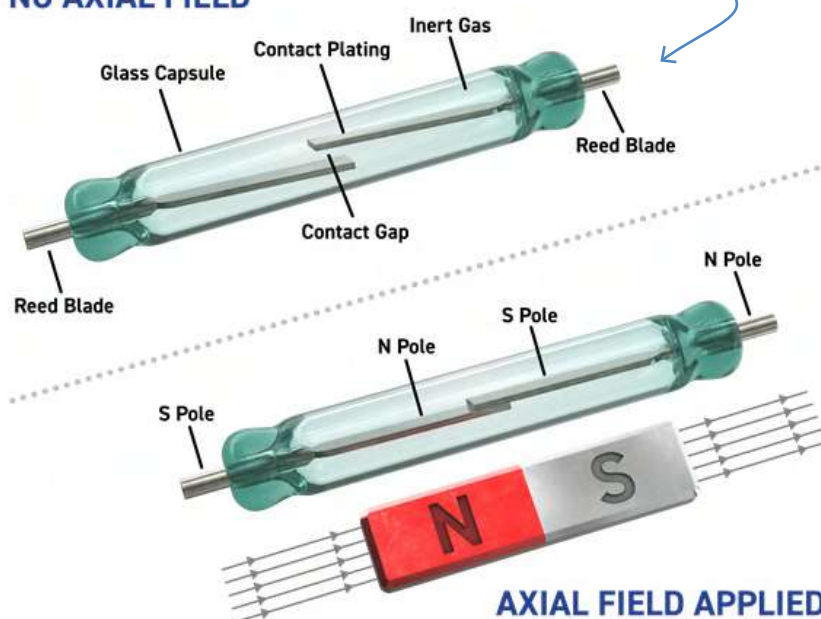


Figure 1. Au cœur d'un relais Reed se trouve un interrupteur Reed qui utilise un champ magnétique pour le faire fonctionner. (Source : Pickering Electronics)

Les relais Reed sont des composants polyvalents qui peuvent être utilisés dans des applications où la véritable isolation offerte par un interrupteur physique est requise. Ils sont basés sur un interrupteur Reed, un dispositif composé de deux lames dans un alliage magnétique, généralement 50% de fer et 50% de nickel. Les contacts sont maintenus dans un tube de verre (le « reed ») de manière à ce qu'ils se touchent presque, et leurs extrémités sont recouvertes d'un matériau de contact. Lorsqu'un champ magnétique est appliqué à proximité du tube, les deux lames de matériau magnétique se magnétisent, leurs extrémités s'attirent et, bingo, elles entrent en contact. Lorsque le champ magnétique est supprimé, elles s'éloignent à nouveau (**fig. 1**). Les relais Reed produisent un champ

magnétique à partir d'une bobine et sont généralement plus rapides à commuter que les relais mécaniques. Bien que leur commutation soit considérée comme exempte de rebond, ils peuvent, dans certaines conditions, souffrir de rebond de contact, notamment si la bobine est alimentée par une tension supérieure à celle spécifiée.

La bobine d'un relais Reed est généralement constituée d'un fil fin enroulé autour du tube. Un tube typique nécessite 50 ampères-tours pour fonctionner. Ainsi, avec 50 tours de fil, le relais sera excité si 1 A passe dans la bobine, tandis qu'avec 5000 tours, il

sera excité avec 10 mA. À de tels niveaux de courant, elles peuvent être construites pour être raisonnablement sensibles.

La bobine et le tube peuvent également être scellés hermétiquement dans un boîtier, ce qui les rend remarquablement robustes. Certains types sont même dotés d'un blindage métallique à l'intérieur du boîtier pour éviter que des champs magnétiques externes n'entraînent un fonctionnement indésirable du composant. Les fabricants disposent également de quelques astuces permettant de construire des relais Reed en tant que composants normalement fermés ou

inverseurs [1]. La **figure 2** montre un assortiment de relais Reed.

Les interrupteurs Reed restent populaires pour toute une série d'applications grâce à leur simplicité de fonctionnement. Les interrupteurs de porte pour systèmes d'alarme comprennent un interrupteur Reed sur le chambranle de la porte et un aimant sur la porte. Lorsque la porte est fermée, l'aimant et l'interrupteur se rapprochent et les lames sont en contact. Lorsque la porte est ouverte, les lames s'écartent et la rupture du circuit qui en résulte déclenche l'alarme. J'ai également eu une fois une alarme de voiture qui utilisait deux reeds fixés sur le pare-brise. Elle utilisait un aimant dans un porte-clés pour entrer un code de base afin de la désarmer. Pour des applications sans contact comme celles-ci, les interrupteurs à lames sont très utiles.

Ils ont également fait partie de nombreux projets Elektor. L'un d'entre eux, datant d'il y

a quelques années, permettait de surveiller le fonctionnement des lampes de votre voiture. Le câblage de la lampe choisie, par exemple celle des freins, a été modifié pour que le courant passe par un fil assez épais enroulé autour d'un interrupteur Reed pour former un relais Reed de fabrication artisanale. L'interrupteur lui-même pilotait une LED synchrone avec l'allumage de la lampe choisie. Si l'une des lampes des feux de freinage grille, seule la moitié du courant circule, ce qui est insuffisant pour exciter le relais Reed. Comme tous les autres anciens projets d'Elektor, il est disponible sur le site web d'Elektor [2].

Aujourd'hui, les relais Reed sont quelque peu concurrencés par les capteurs à effet Hall dans certaines applications, car ils sont physiquement beaucoup plus petits et capables de détecter les champs magnétiques électroniquement plutôt que mécaniquement. Cependant, en matière de simplicité et d'isolement, les relais Reed l'emportent haut la main, ce qui explique pourquoi ils sont encore largement utilisés. Si cela a piqué votre curiosité, des fournisseurs tels que Pickering Electronics proposent d'excellents tutoriels [3] et d'autres ressources [1] pour vous permettre d'en savoir plus. 

220179-04

LIENS

- [1] « Reed RelayMate », Pickering Electronics, 04/2011 : <https://bit.ly/3qhVRKS>
- [2] « Indicateur de défaut d'éclairage », Elektor 09-10/1978 : www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-197809/53942
- [3] « Reed Relay Basics », Pickering Electronics : <https://bit.ly/37AU5hf>



Figure 2. Une sélection de relais Reed. En haut à gauche, un relais inverseur (deux contacts à l'extrémité gauche). En bas à droite, un relais Reed nu. Les autres montrent la grande variété de tailles et de conditionnements disponibles.

ESR-mètre analogique simple et précis à galvanomètre à cadre mobile



George Lydecker (USA)

Vous cherchez un ESR-mètre analogique (qui mesure la RSE) pour détecter les condensateurs défectueux ? Voici une manière d'en construire un.

J'ai toujours été envieux de l'ESR-mètre analogique d'un ami qui lui permet de détecter les condensateurs défectueux in situ. Son appareil n'étant plus disponible, j'ai entrepris des recherches sur leur fonctionnement afin d'en réaliser un de mon cru.

Qu'est-ce que la RSE ?

La RSE est la *résistance série équivalente* d'un condensateur. Elle dépend de la fréquence, de la température et varie avec le vieillissement des composants. On ne saurait sous-estimer l'importance d'une faible RSE chez les condensateurs électrolytiques « humides » à l'aluminium utilisés dans les alimentations.

La méthode de mesure habituelle de la RSE consiste à appliquer au condensateur un courant alternatif connu (I_{cap}) à une fréquence où la réactance capacitive du condensateur est faible par rapport à la RSE. En mesurant la tension alternative aux bornes du condensateur (V_{cap}), la loi d'Ohm donne la RSE :

$$RSE = V_{cap} / I_{cap}$$

La plupart des circuits que j'ai trouvés utilisent le mode de fonctionnement du schéma de la **figure 1**. De gauche à droite, un oscillateur fournit une tension alternative qui est convertie en basse impédance et appliquée au condensateur à travers un circuit détecteur. Le signal détecté est ensuite amplifié, redressé et mis à niveau pour piloter un galvanomètre.

Comme l'ESR-mètre doit fonctionner sur piles, le circuit d'alimentation fournit des tensions symétriques pour les ampli-ops utilisés dans le projet. Dans la plupart des exemples que j'ai examinés, l'oscillateur fonctionne entre 100 et 150 kHz. Le circuit d'attaque utilisé pour réduire l'impédance du signal alternatif peut être un transistor amplificateur de courant, un transformateur ou des portes logiques en parallèle. Le détecteur est généralement constitué de diodes tête-bêche. Le signal alternatif détecté est ensuite amplifié, redressé et envoyé à un ampèremètre à courant continu.

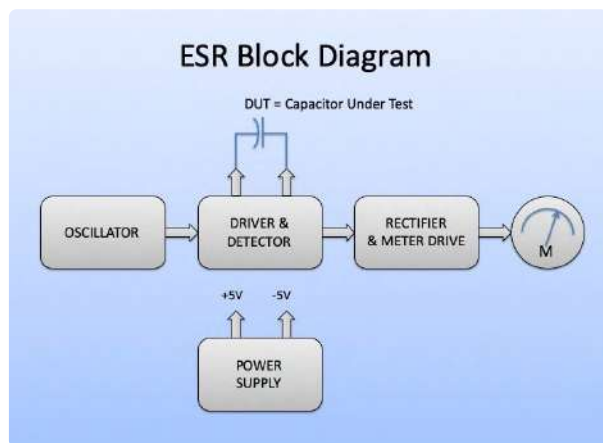


Figure 1. Schéma de principe de l'ESR-mètre.

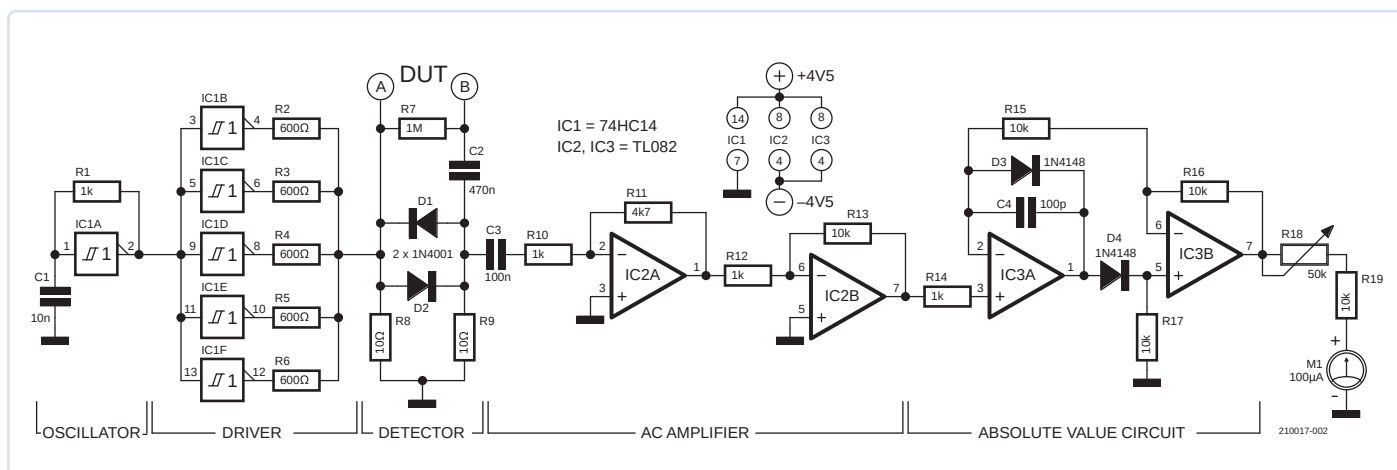


Figure 2. Le schéma de l'ESR-mètre est composé de parties de circuits provenant de diverses réalisations trouvées sur l'internet.

Mon circuit

Dans le circuit que j'ai décidé de construire (**fig. 2**), j'ai repris quelques parties des circuits que j'ai trouvés sur l'internet. Pour l'oscillateur et le convertisseur d'impédance, j'ai utilisé un seul 74HC14 qui comprend six inverseurs avec hystérésis. L'un d'entre eux fonctionne comme un oscillateur de relaxation et les cinq autres servent de convertisseurs d'impédance. Cette partie du circuit provient de Lawrence P. Glaister VE7IT dont le circuit et l'article sont accessibles sous [1].

La partie « détecteur » de mon ESR-mètre est la même que celle de l'appareil commercialisé par Creative Electronics, mais qui n'est malheureusement plus fabriqué.

Les diodes D1 et D2 limitent le haut et le bas du signal alternatif de 100 kHz à une chute de tension dans une jonction au silicium.

Cela permet de tester les condensateurs in situ car aucune autre jonction au silicium ne sera polarisée dans le sens direct par ce signal relativement faible. Le signal alternatif de faible niveau est débarrassé de sa composante continue par C3 et amplifié par deux amplificateurs opérationnels, avec un gain de tension total de 47 (4,7 pour le premier et 10 pour le second).

Le circuit redresseur est tiré de la note d'application Burr-Brown « Precision Absolute Value Circuits » [2]. Il fournit un signal largement suffisant pour le galvanomètre de 100 µA que j'ai utilisé.

Cet ESR-mètre fonctionne avec une seule pile de 9 V. Les tensions symétriques nécessaires aux ampli-ops sont obtenues en utilisant un ampli-op diviseur de tension suivi d'un étage d'amplification, illustré à la **figure 3**.

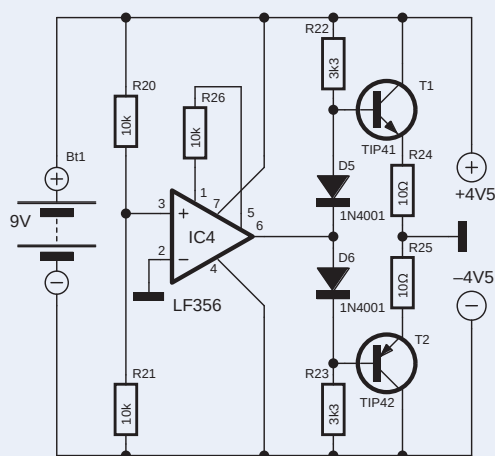


Figure 3. Ce circuit transforme une pile de 9 V en une alimentation symétrique de $\pm 4,5$ V.

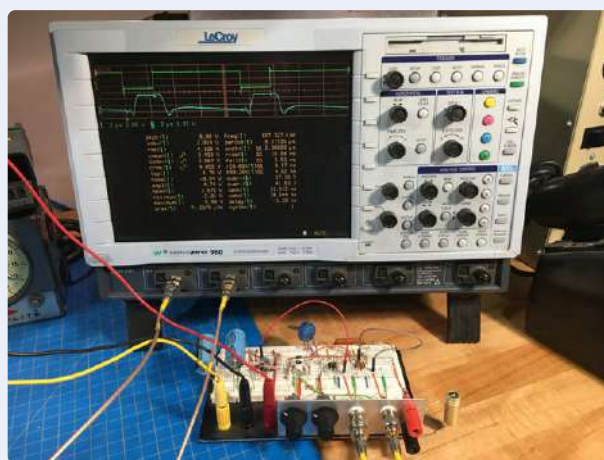


Figure 4. L'oscilloscope montre la sortie de l'oscillateur ainsi que la sortie de l'ESR-mètre pendant le test d'un condensateur électrolytique de 50 µF.

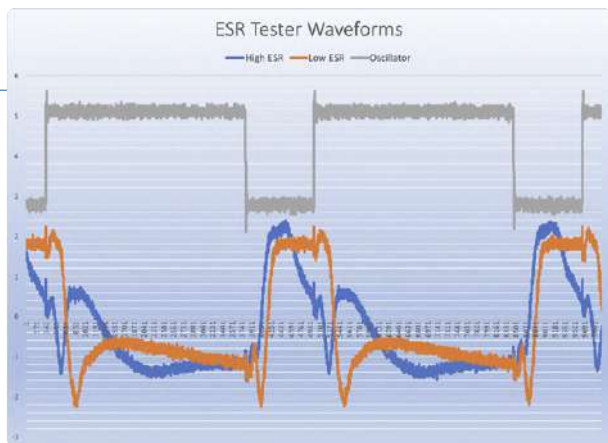


Figure 5. Cette copie d'écran de l'oscilloscope montre la différence entre un condensateur avec une RSE élevée en bleu et un condensateur avec une RSE basse en orange.

Test et fonctionnement

Pour tester le circuit, je l'ai construit sur une plaque d'essai. Les connecteurs BNC permettent de suivre facilement les différentes formes d'onde. Pour les premiers essais, j'ai simplement observé les signaux avec un oscilloscope au lieu du galvanomètre (fig. 4 et 5). Le circuit est câblé sur deux cartes de prototypage à trous (fig. 6). La plus petite carte sur la gauche est le circuit produisant les tensions d'alimentation et la masse pour les ampli-ops. La plus grande carte est le circuit de l'ESR-mètre. Elle est maintenue en place par vissage sur les bornes filetées du galvanomètre.

Avant même d'enfermer l'appareil dans un boîtier, je l'ai utilisé pour dépanner notre climatiseur en localisant un condensateur de moteur défectueux (fig. 7).

L'ESR-mètre terminé est suffisamment portable pour pouvoir être utilisé loin de la paillasse. Un simple étalonnage sur un morceau de Post-it a été réalisé avec une poignée de résistances de $2\ \Omega$ (fig. 8). L'ESR-mètre fonctionne comme un ohmmètre. Avant de mesurer un condensateur, les fils sont court-circuités et le bouton de calibration est réglé pour une déviation à pleine échelle (RSE zéro). Ce bouton comporte un interrupteur qui éteint l'appareil quand le bouton est tourné à fond dans le sens antihoraire. ◀

210017-04 – VF : Helmut Müller

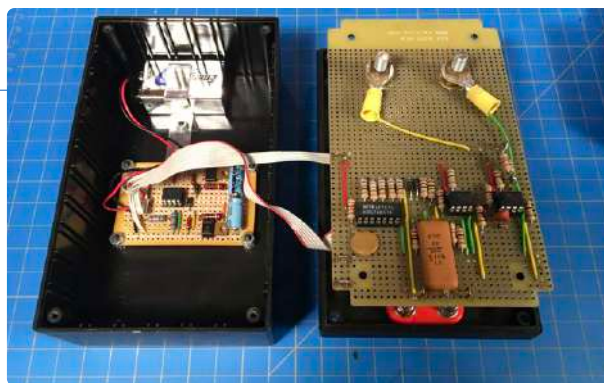


Figure 6. Le circuit est suffisamment simple pour être implanté sur une carte de prototypage.

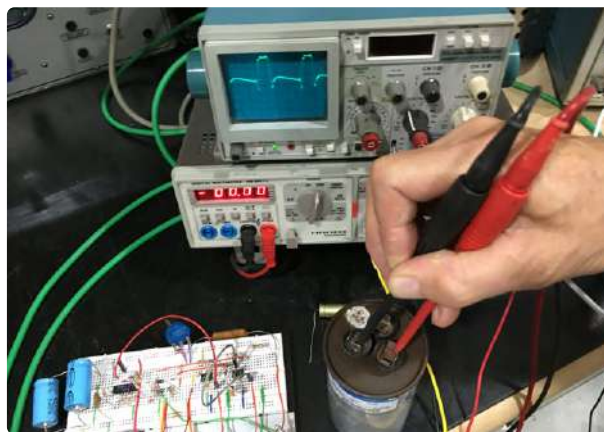


Figure 7. Déjà à l'état de prototype sur plaque d'essai, le circuit s'est avéré utile pour vérifier le condensateur du moteur d'un climatiseur.



Figure 8. L'étalonnage du compteur est facilement réalisé avec quelques résistances de $2\ \Omega$ et un morceau de Post-it.

Des questions, des commentaires ?

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

LIENS

[1] Circuit de Lawrence P. Glaister (VE7IT) : <http://ve7it.cowlug.org/RSEmeter.html>

[2] Note d'application de Burr Brown :

http://glydeck.com/project/content/absolute_value_circuit.pdf



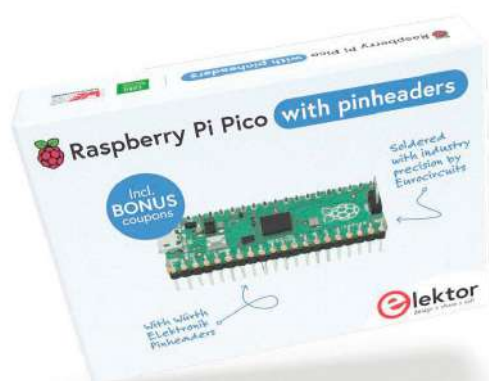
PRODUITS

➤ Kit du LCR-mètre 2 MHz d'Elektor
www.elektor.fr/19883

➤ Analyseur de condensateurs RSE70 Plus de Peak Atlas
www.elektor.fr/17668

ABONNEZ-VOUS ET RECEVEZ

Raspberry Pi + Headers GRATUIT



Souscrivez dès maintenant
un abonnement d'un an
au magazine MagPi, nous
vous offrons :

- Six numéros du magazine MagPi
- Une carte Raspberry avec headers

**TOUS LES 2 MOIS, LES
DERNIÈRES NOUVELLES DU
RASPBERRY PI ET LES
MEILLEURS PROJETS !**

SEULEMENT
54,95 €
PAR AN
(6 NUMÉROS)

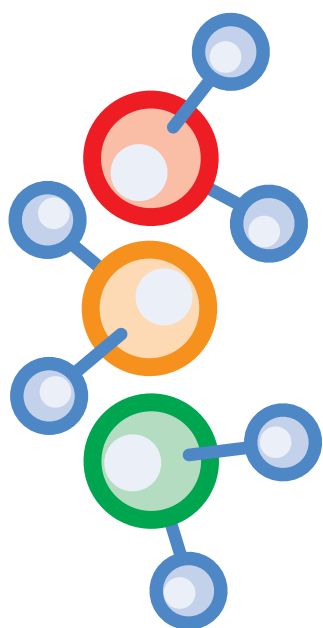


Vos avantages :

- Prix au numéro réduit
- Chaque numéro directement dans votre boîte aux lettres
- Tous les numéros disponibles sous forme numérique (PDF)
- Découverte de chaque nouveau numéro avant sa sortie en kiosque



ABONNEZ-VOUS : WWW.MAGPI.FR



feu tricolore pour CO₂ connecté à Sigfox

Pas besoin de réseau WiFi !

Peter Groppe, Frank Schleking et Bernd vom Berg (Allemagne)

Nous avons déjà présenté plusieurs compteurs de concentration de CO₂ dans Elektor. Presque tous sont dotés d'une interface Wi-Fi qui permet de vérifier les relevés depuis n'importe où dans le monde. Ce feu tricolore pour CO₂ est différent ; il se connecte à l'IdO en utilisant le réseau Sigfox. Cela lui confère une portée nettement plus grande et lui permet de fonctionner sans accès à un réseau Wi-Fi.

Diverses études ont montré que la qualité de l'air diminue dans les espaces publics non ventilés ; une forte concentration de CO₂ est corrélée à une charge virale plus élevée dans l'air que nous respirons. Il est important de maintenir une bonne circulation de l'air afin de réduire le risque de transmission des virus en suspension dans l'air. Il existe de nombreux modules avec capteurs de CO₂ et on peut les utiliser avec un microcontrôleur pour surveiller en permanence l'air que nous respirons. Des avertissements et des messages d'alarme peuvent alors être émis lorsque le niveau de concentration mesuré dépasse un seuil prédéfini.

C'est la tâche d'un système standard de feu tricolore qui mesure le taux de CO₂. Il émet une alarme visuelle et parfois sonore lorsqu'il

faut plus d'air frais. La concentration de CO₂ est affichée sur un afficheur à LED avec un feu tricolore (rouge, jaune ou vert). À l'ère de l'IdO, la plupart de ces systèmes disposent également d'une interface Wi-Fi afin que les mesures puissent être émises vers une plateforme du nuage et affichées sur une page web consultable partout dans le monde.

Le système de feu tricolore pour CO₂ décrit ici se connecte à l'internet en utilisant le réseau radio Sigfox plutôt que le Wi-Fi. Sigfox est particulièrement bien adapté à cette application car nous avons besoin de n'envoyer que de petites quantités de données, et l'excellente couverture radio que procure Sigfox nous donne une flexibilité maximale pour l'emplacement du capteur. Le réseau Sigfox ne nécessite généralement qu'une poignée de

stations de base pour couvrir une ville entière et la couverture est déjà très bonne dans de nombreux pays. Le système de feu tricolore pour CO₂ est ainsi idéal pour fonctionner là où l'accès à un réseau Wi-Fi n'est pas disponible.

Le matériel

Construire le feu tricolore pour CO₂ est assez facile ; on trouve aujourd'hui dans la gamme Arduino de nombreuses cartes à microcontrôleur très puissantes, utilisables pour créer ce feu tricolore pour CO₂. L'une d'elles, qui inclut la fonction de communication Sigfox, est la carte Arduino MKR FOX1200, déjà présentée dans la série d'articles Elektor « l'Internet des Objets et le renard » [5].

Si vous n'avez pas besoin de la connectivité IdO et que vous souhaitez juste afficher les mesures de CO₂ localement, vous pouvez utiliser un Arduino Uno standard qui se branche également sur la carte mère présentée ici. La **figure 1** présente le schéma du circuit avec la connexion à la carte mère de IC3 (Arduino Uno R3) ou IC1 (Arduino MKR FOX1200).

La carte à microcontrôleur enregistre les valeurs mesurées (concentration de CO₂, température et humidité de l'air) par le capteur de CO₂ SCD30 à intervalle régulier (réglable) et les affiche sur un écran OLED de 3,3 cm. Une matrice à LED multicolore NeoPixel constitue l'affichage du feu tricolore.

Le capteur de CO₂ SCD30 [1] utilise un bus I²C (SDA, SCL, +5 V et GND) et se connecte via le bornier à vis à double étage, à empreinte réduite, X1. Si nécessaire, on peut connecter des résistances de rappel de 4,7 kΩ à SDA et à SCL. L'écran OLED [2] se connecte également

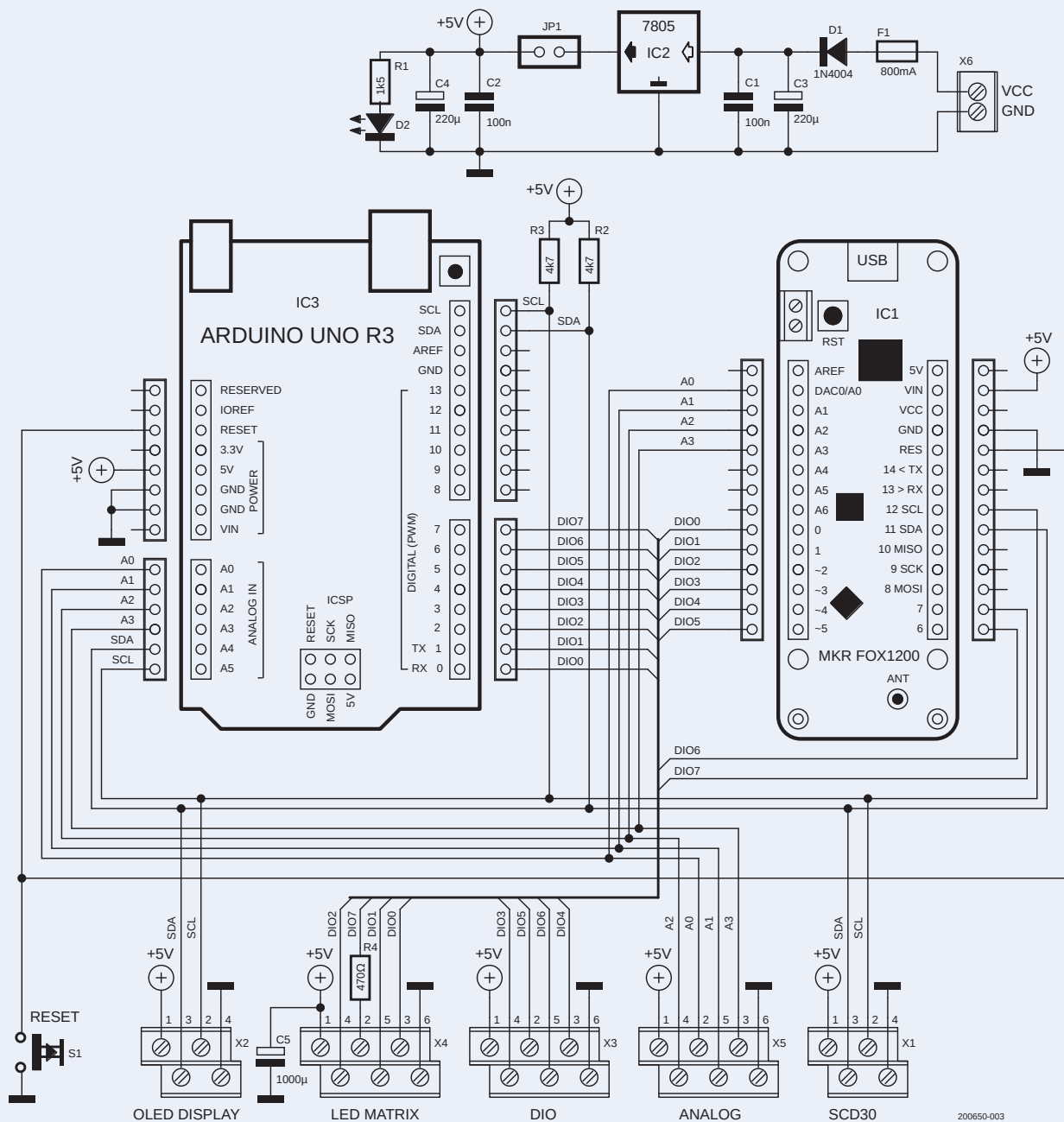


Figure 1. Le schéma du circuit du feu tricolore pour CO₂ montrant le câblage de l'Arduino Uno et de la carte MKR FOX1200.

via le bus I²C au bornier à double étage X2. En plus d'une connexion d'alimentation, l'afficheur matriciel à LED NeoPixel [4] ne nécessite qu'une seule broche numérique pour fonctionner. On utilise ici la broche DIO7 et l'afficheur se connecte via le bornier à double étage X4. Les afficheurs NeoPixel avec différents nombres de LED peuvent être pilotés à partir de cette unique broche. On peut connecter d'autres capteurs/actionneurs aux connexions numériques/analogiques non utilisées X3, X4 et X5. Ces connecteurs peuvent être utilisés pour ajouter une nouvelle fonction au système, par ex. allumer la climatisation ou actionner la ventilation

lorsque les mesures dépassent les seuils. La **figure 2** montre le circuit imprimé assemblé sur lequel se branche (face vers le bas) la carte Arduino MKR FOX1200 ou Arduino Uno dans leurs rangées de connecteurs dédiées. **Il ne faut monter qu'une seule de ces cartes à la fois sur la carte mère. N'essayez pas de monter les deux cartes avec des connecteurs d'extension.** On peut télécharger le tracé de la carte, le plan de montage, la liste de composants et le micrologiciel Arduino sur la page Elektor du projet [3]. L'antenne plate Sigfox peut se fixer à l'aide de ruban adhésif double face. La **figure 3** montre les deux versions assemblées.

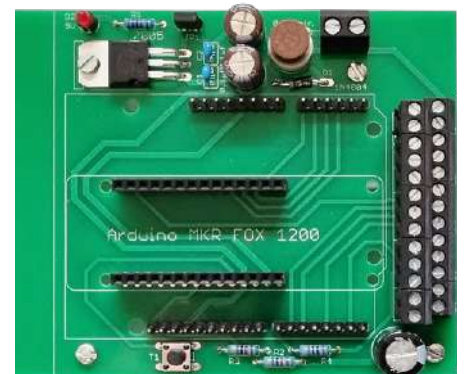


Figure 2. Le circuit imprimé de la carte mère du feu tricolore CO₂ terminé.



Figure 3a. L'Arduino MKR FOX 1200 monté sur la carte mère.



Figure 3b. L'Arduino Uno monté face à la carte mère.

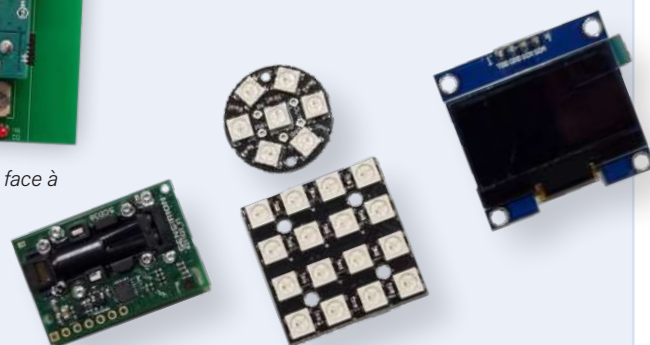


Figure 3c. Le module capteur de CO₂ (à gauche) et divers affichages.

Alimentation

Un **aspect important** de l'utilisation des NeoPixels est leur besoin en énergie. Dans le pire des cas, lorsque les trois LED individuelles d'un NeoPixel sont réglées sur l'intensité maximale avec une valeur de 255 pour produire la lumière blanche la plus brillante, chaque LED consommera 20 mA, soit 60 mA pour un seul NeoPixel. Une matrice composée de 16 NeoPixels nécessitera $16 \times 60 \text{ mA} = 960 \text{ mA}$! C'est plus que ce que peut fournir le régulateur de tension CMS de 5 V (sans dissipateur) de la carte Arduino. L'alimenter à partir de la carte Arduino surchargerait le régulateur qui pourrait s'arrêter ou, dans le pire des cas, libérer sa fumée magique. Dans des conditions normales de fonctionnement, vous ne sollicitez probablement pas autant les NeoPixels, mais comptez sur une consommation moyenne de 25 à 30 mA par NeoPixel, en fonction de la couleur globale affichée. Avec une matrice de 4x4 LED, cela fera entre 400 et 480 mA, ce qui est encore trop pour un régulateur de tension Arduino intégré.

Il convient par conséquent de respecter les points suivants lors de l'utilisation des afficheurs NeoPixel :

- Installez un condensateur tampon électrolytique directement sur les connexions de l'alimentation de l'afficheur NeoPixel pour atténuer les fluctuations de la tension d'alimentation lors de la commutation des LED. Utilisez un condensateur de 470 µF à 1 000 µF pour les afficheurs les plus petits. Valeur utilisée ici (C5) : 1 000 µF.
- Installez une résistance de faible valeur

en série avec la ligne de commande de l'afficheur pour réduire les interférences. Valeur utilisée ici (R4) : 470 Ω.

- Une source d'alimentation externe régulée sera nécessaire, avec un régulateur de tension de haute qualité (et même refroidi) et avec des condensateurs tampons appropriés (ici nous utilisons sur la carte mère un régulateur linéaire 7805 conventionnel, alimenté par un adaptateur secteur 9 V/1 A). Les régulateurs à découpage DC/DC peuvent aussi convenir ; ils offrent un meilleur rendement et ne sont pas beaucoup plus chers.
- Il ne faut en aucun cas utiliser le régulateur de tension CMS intégré non refroidi des cartes Arduino, car des défaillances peuvent rapidement se produire, en particulier si vous utilisez une carte clonée, en raison d'une surchauffe ou de pics de courant de commutation.
- La matrice de l'afficheur à LED NeoPixel ne doit pas être plus grande que nécessaire ni être utilisée à la luminosité maximale. La luminosité de l'afficheur rond à 7 éléments NeoPixel utilisé ici est commandée par le logiciel à l'aide d'une gamme de valeurs allant de 4 à 16 sur 255 niveaux possibles.

Si le système est utilisé sans afficheur NeoPixel à des fins de test ou autres, et si la consommation totale n'est pas trop élevée, l'alimentation peut facilement être fournie par le régulateur de tension CMS intégré de l'Arduino. Dans ce cas, le cavalier JP1 sur la carte mère doit être enlevé afin que le 7805 ne soit pas alimenté à l'envers.

Ajouter quelques bibliothèques à l'EDI Arduino

Le logiciel du feu tricolore pour CO₂ nécessite quelques bibliothèques supplémentaires pour exploiter les composants externes tels que le capteur SCD30 de CO₂, l'écran OLED de 3,3 cm et la matrice de LED NeoPixel. Il faut également deux autres bibliothèques pour le fonctionnement de Sigfox avec la carte MKR FOX1200 et une bibliothèque optionnelle pour la RTC (horloge en temps réel) intégrée du microcontrôleur SAMD21.

Bibliothèque du capteur de CO₂ SCD30

Pour installer la bibliothèque de pilotes SparkFun pour le capteur SCD30, allez dans *Outils* → *Gérer les bibliothèques...* dans l'EDI Arduino, puis cherchez *scd30* dans le coin supérieur droit. Les deux bibliothèques SCD30 les plus courantes seront listées, une d'Adafruit et une de SparkFun. Comme le montre la **figure 4**, nous utiliserons la bibliothèque de SparkFun.

Après l'installation, la bibliothèque est automatiquement intégrée à notre programme dans l'EDI via *Croquis* → *Inclure une bibliothèque* → ... *SparkFun SCD30 Arduino Library*. Vous pouvez obtenir une description détaillée de la bibliothèque en cliquant sur *More info* en bas à gauche (**fig. 4**).

Bibliothèque de l'écran OLED de 3,3 cm

On utilise la bibliothèque *U8g2* extrêmement puissante et complète, élaborée par Oli Kraus pour piloter l'écran OLED de 3,3 cm et 128x64 pixels. Ce logiciel complet se compose en fait de quatre bibliothèques individuelles :

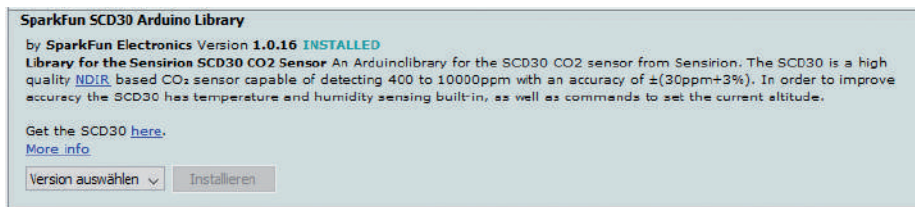


Figure 4. Sélectionnez la bibliothèque SCD30 de SparkFun.

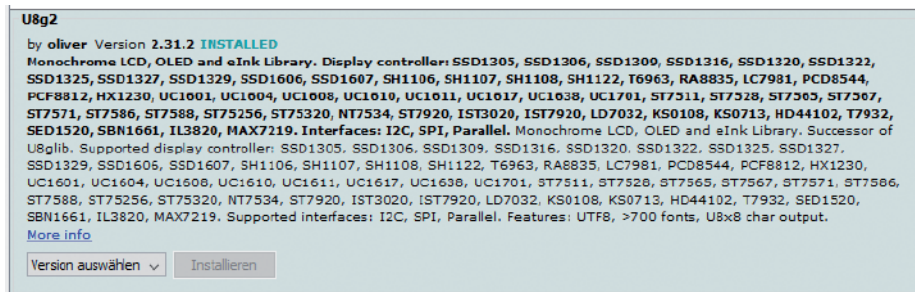


Figure 5. Sélectionnez la bibliothèque U8g2 pour piloter l'écran OLED de 3,3 cm.

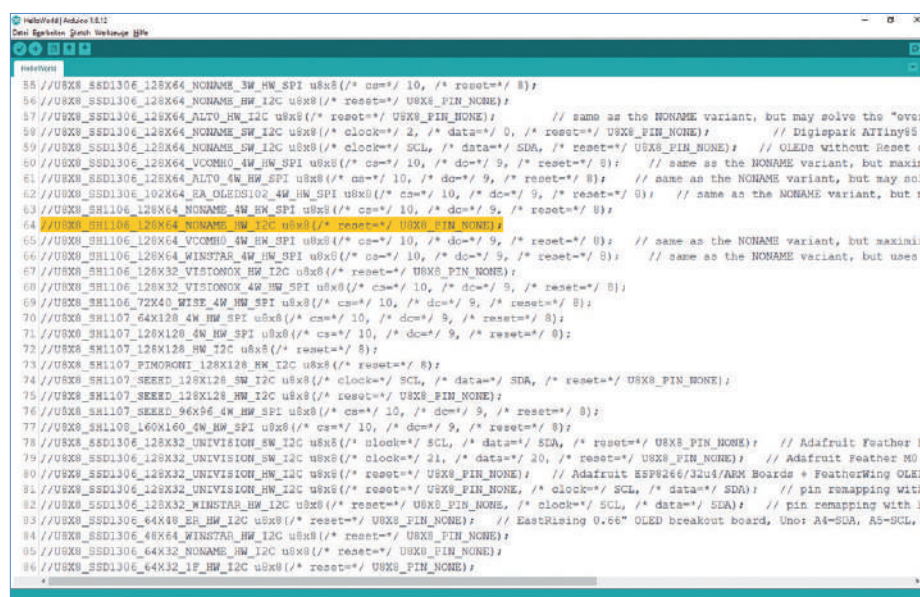


Figure 6. Décommentez le bon parmi la myriade d'affichages supportés par l'U8x8.

- *U8g2* : bibliothèque pour les applications d'affichage graphique qui utilise un grand nombre de fonctions graphiques et de jeux de caractères.
- *U8x8* : bibliothèque pour les applications d'affichage simple, purement textuel, avec une gamme réduite de jeux de caractères.
- *MUIU8g2* : fonctions spéciales pour la réalisation d'interfaces utilisateur monochromes interactives et graphiques (MUI).
- *U8log* : fonctions d'émulation d'un terminal, similaires à la fonction de moniteur série de l'EDI Arduino.

La bibliothèque du pilote U8g2 pour l'écran OLED s'installe aussi dans l'EDI Arduino en utilisant *Outils* → *Gérer les bibliothèques...* ; recherchez ensuite *u8g2* dans le coin supérieur droit (fig. 5).

Après l'installation, les trois bibliothèques de base sont automatiquement intégrées dans notre programme à l'aide de *Croquis* → *Inclure une bibliothèque* → ... *U8g2*.

```
#include <MUIU8g2.h> // supprimer
#include <U8g2lib.h> // supprimer
#include <U8x8lib.h>
```

Nous n'avons besoin que de la bibliothèque textuelle *U8x8lib*, donc les déclarations `#include` faisant référence aux deux autres bibliothèques peuvent être supprimées. L'avantage du pack de bibliothèques U8g est, entre autres, le grand nombre de types d'affichage pris en charge, notamment :

- Écrans à capacité graphique LCD, OLED
- Diverses résolutions de pixels
- Commande par différents bus : I²C/SPI en implémentation matérielle ou logicielle, bus parallèles selon la spécification 8080 et 6800
- Divers pilotes

Même s'il est indéniable que la surabondance d'écrans pris en charge ne nuit pas, veillez à choisir le bon, sinon vous rencontrerez des problèmes. Dans la figure 6, vous pouvez voir en commentaires une partie seulement de la myriade de types d'écrans possibles pris en charge.

Commencez par examiner l'un des exemples complets qui ont été installés avec la bibliothèque dans l'EDI Arduino – comme l'exemple *HelloWorld* qu'on trouve sous *Fichiers*

→ *Exemples* → *U8g2* → *U8x8*. Faites attention à ne sélectionner que des exemples pour la bibliothèque U8x8 !

Dans la longue liste de ce croquis *HelloWorld*, nous devons rechercher l'écran (OLED) utilisé. Vous l'activez en supprimant le délimiteur de commentaire `//`. Nous copions simplement la ligne 64 correspondante (commentée) du constructeur d'écran approprié à la ligne 119 [3] de notre croquis de feu tricolore CO₂ :

```
U8X8_SH1106_128X64_NONAME_HW_I2C
u8x8(/* reset=*/ U8X8_PIN_NONE) ;
```

qui se décompose ainsi :

- Bibliothèque des pilotes : **U8X8**
- Contrôleur d'écran : **SH1106**

- Nombre de pixels d'affichage : **128*64**
- Fabricant de l'écran : **NONAME** (nous utilisons un écran générique sans marque)
- Type d'interface matérielle : **I²C**
- Nom de l'objet créé pour référence dans le programme : **u8x8**
- Expression entre parenthèses : la broche de réinitialisation de l'affichage n'est pas utilisée.

Vous pouvez obtenir une description détaillée de la bibliothèque en cliquant sur *More info* dans le coin inférieur gauche (fig. 5).

Bibliothèque des LED NeoPixel

Le concept de LED NeoPixel développé par Adafruit permet d'assembler plusieurs éléments à LED RVB sous forme de rubans,

cercles et autres motifs. Les éléments à LED sont connectés en cascade et tous commandés par une seule ligne d'entrée/sortie numérique. Le pilote de LED WS2812 peut commander individuellement chacune des trois LED (rouge, vert, bleu) avec une intensité programmable sur 8 bits, ce qui permet de réaliser presque toutes les combinaisons de couleurs.

L'avantage de créer un logiciel pour les applications NeoPixel de toute taille est qu'il existe une bibliothèque Arduino très pratique d'Adafruit pour en assurer le pilotage. Cette bibliothèque est également incluse dans le paquetage du programme Arduino et est installée à l'aide du gestionnaire de bibliothèques que vous connaissez déjà (recherchez *neopixel*), comme le montre la **figure 7**. Après l'installation, la bibliothèque est automatiquement intégrée dans notre programme via *Croquis* → *Inclure une bibliothèque* → *Adafruit NeoPixel*. Ici aussi, vous pouvez trouver une description détaillée de la bibliothèque en cliquant sur le lien *More info*.

Bibliothèque RTC du microcontrôleur SAMD

Le microcontrôleur SAMD21 de la carte MKR FOX1200 possède une horloge en temps réel (RTC) intégrée, utilisable pour des applications d'heure et de date à l'échelle du système. Il faut une batterie de secours pour la carte afin que la RTC ne perde pas l'heure chaque fois que l'alimentation est coupée. Nous avons choisi de ne pas l'inclure dans le feu tricolore pour CO₂, mais un petit circuit de ce type peut être facilement connecté à la carte MKR FOX1200.

Si vous souhaitez utiliser cette RTC, il existe bien sûr une bibliothèque de pilotes adaptée, qui s'installe comme d'habitude via le gestionnaire de bibliothèques (recherchez *rtc*, **fig. 8**). Sa description détaillée se trouve aussi dans la rubrique *More info*. Elle s'intègre en utilisant *Croquis* → *Inclure une bibliothèque* → *RTCZero*.

Bibliothèque Sigfox pour MKR FOX1200

Nous en arrivons maintenant à la connexion du feu tricolore pour CO₂ à l'Internet des Objets à l'aide de la carte à microcontrôleur Arduino MKR FOX1200, qui communique avec le réseau Sigfox. Pour plus d'informations sur Sigfox, jetez un coup d'œil à l'introduction en

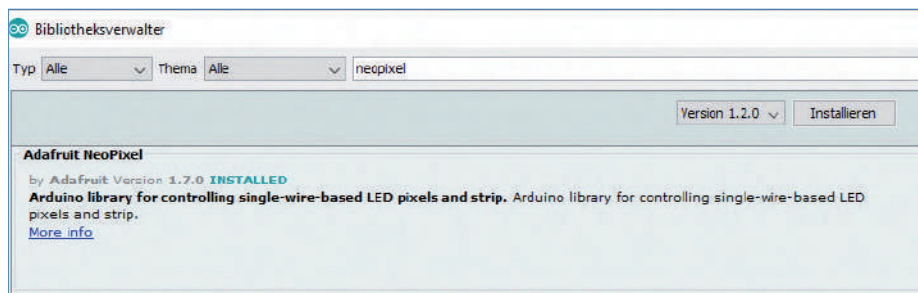


Figure 7. Installez la bibliothèque NeoPixel d'Adafruit.

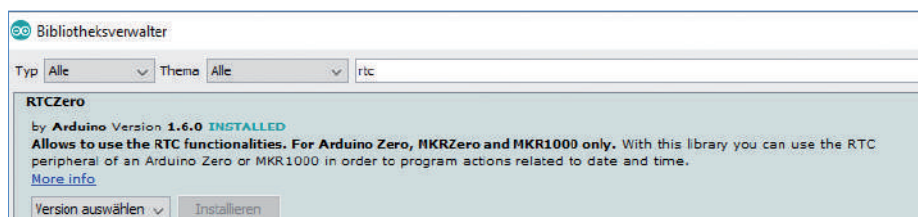


Figure 8. Sélectionnez la bibliothèque RTC pour le microcontrôleur SAMD21.

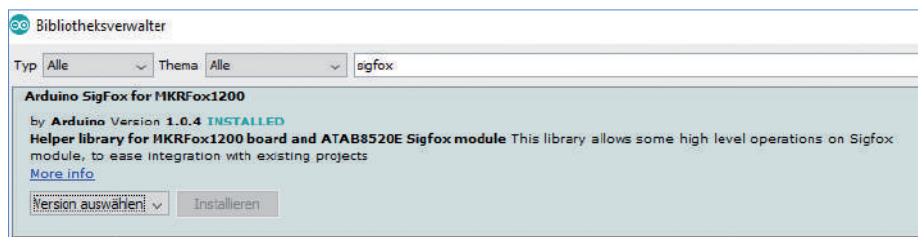


Figure 9. Sélectionnez la bibliothèque Sigfox pour la carte à microcontrôleur MKR FOX1200.

quatre parties dans *Elektor* [5].

Grâce à Sigfox, les valeurs mesurées par le système à feu tricolore pour CO₂ sont transférées sans fil sur l'internet où elles peuvent être consultées et affichées partout dans le monde à l'aide d'un PC, d'un ordinateur portable, d'une tablette ou d'un ordiphone. Ici encore, nous pouvons profiter de toutes les fonctions prêtes à l'emploi de la bibliothèque Sigfox disponible dans le paquetage du programme Arduino. La bibliothèque est installée via le gestionnaire de bibliothèques, comme nous l'avons fait pour les autres (recherchez *sigfox*, **fig. 9**). Installez-la maintenant avec *Croquis* → *Inclure une bibliothèque* → *Arduino Sigfox for MKRFOX1200*. Cliquez sur *More info* pour en savoir plus sur les fonctions Sigfox disponibles.

Des extraits significatifs du programme Arduino annoté (pour la carte MKR FOX1200) sont donnés ici dans le **listage 1**. Le programme complet en allemand et en anglais [3] est documenté en détail et

contient encore quelques routines de sortie série insérées à plusieurs endroits à des fins de débogage (pour le moniteur série dans l'EDI Arduino). Une fois satisfait et que tout fonctionne comme il se doit, ces sections de code peuvent être mises en commentaire ou supprimées.

Vous pouvez attribuer librement des seuils pour les niveaux de concentration de CO₂ mesurés et la couleur de feu tricolore associée. Les seuils que nous suggérons sont les suivants :

- 0 à 1000 ppm : vert saturé
- 1001 à 2000 ppm : jaune
- 2001 à 5000 ppm : orange
- 5001 à 12000 ppm : rouge saturé.

Fonctionnement avec le réseau Sigfox

Dans [5], nous avons montré en détail comment le paramétrage et le fonctionnement du module MKR FOX1200 sont mis en œuvre



Listage 1. Extraits du croquis Arduino

```
void loop()
{
    unsigned char i ;
    char text[15] ;

    // boucle
    while(1)
    {

        /* Le capteur SCD30 mesure automatiquement toutes les 2 s.
           Si les données sont disponibles, alors les lire et les stocker dans les variables*/

        if (AirSensor.dataAvailable())      // Vérifie si de nouvelles données sont disponibles
        {
            // Si oui, alors lire les 3 valeurs mesurées
            co2 = AirSensor.getCO2() ;
            temperatur = AirSensor.getTemperature() ;
            luftfeuchte = AirSensor.getHumidity() ;

            // Incrémenter le compteur
            mess_zae = mess_zae + 1 ;

            // Imprimer les valeurs sur le moniteur série
            Serial.print("N° de mesure : ") ; Serial.print(mess_zae) ; Serial.print(" // ") ;

            // Imprimer l'heure
            print2digits(rtc.getHours()) ;
            Serial.print(" :") ;
            print2digits(rtc.getMinutes()) ;
            Serial.print(" :") ;
            print2digits(rtc.getSeconds()) ;
            Serial.println() ;

            // Imprimer les mesures
            Serial.println("CO2 :      " + String(co2) + " ppm") ;
            Serial.println("Temp : " + String(temperatur-temp_cor) + " °C") ;
            Serial.println("Hum :  " + String(luftfeuchte) + " %rh") ;
            Serial.println() ;

            // Traitement de la valeur de CO2 pour le 'moniteur LED' : afficheur NeoPixel
            switch(co2)
            {
                case 0 ... 1000 : pixels.fill(gruen_satt,0,7) ;
                                pixels.show() ;
                                break ;

                case 1001 ... 2000 : pixels.fill(gelb_1,0,7) ;
                                pixels.show() ;
                                break ;

                case 2001 ... 5000 : pixels.fill(orange_1,0,7) ;
                                pixels.show() ;
                                break ;

                case 5001 ... 12000 : pixels.fill(rot_satt,0,7) ;
                                pixels.show() ;
                                break ;
            }

            // Sortie des valeurs mesurées sur l'écran OLED
            // Sortie : valeur du CO2
            u8x8.setCursor(6,2) ;
            sprintf(text,"%5d",co2) ; // sprintf ne fonctionne qu'avec les entiers
            u8x8.print(text) ;

            // Effacer les fantômes
            u8x8.setCursor(11,2) ;
            u8x8.print(" ppm ") ;
        }
    }
}
```

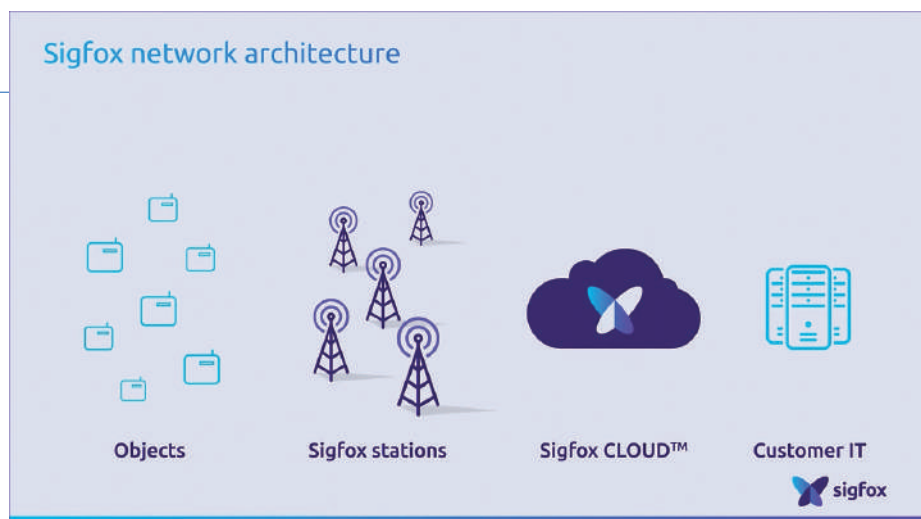


Figure 10. Structure de base du réseau Sigfox (source : Sigfox).

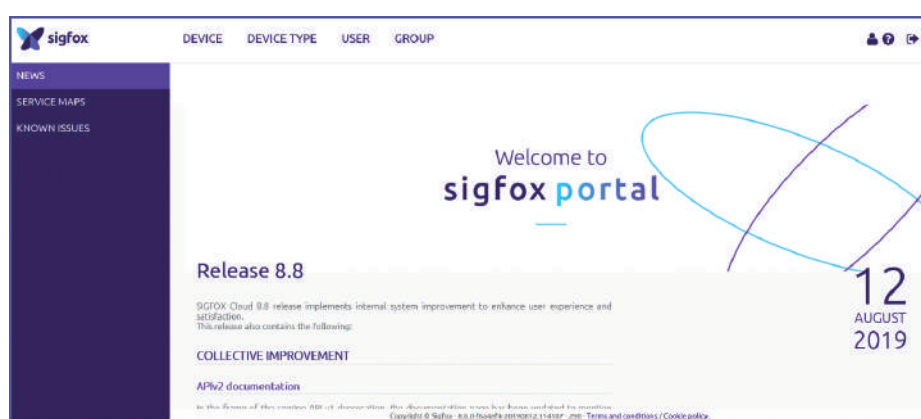


Figure 11. Le portail Sigfox (« Sigfox Backend »).

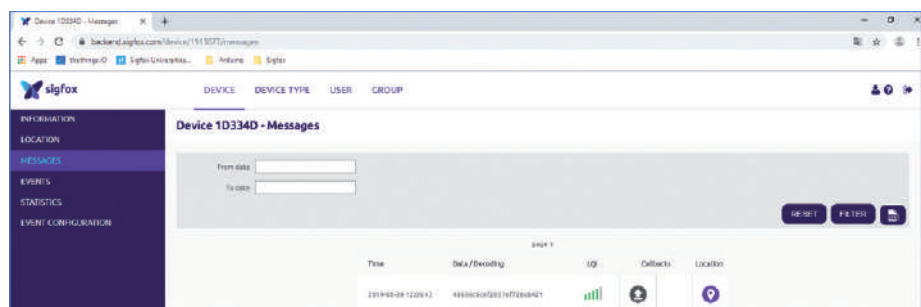


Figure 12. La fenêtre de message du périphérique.

dans le réseau Sigfox. Ici, nous pouvons nous limiter à une brève description du principe et des étapes nécessaires. Commençons par une vue d'ensemble du réseau Sigfox (fig. 10). Les *objets Sigfox*, comme notre appareil de mesure du CO₂ ou toute autre carte avec des capteurs, envoient leurs télégrammes avec une diffusion selon le principe « tire et oublie » sur la bande ISM sans licence 868 MHz. En plus d'une identification (ID de l'expéditeur), chaque télégramme contient un champ de données utilisateur d'une taille maximale de 12 octets, appelé charge utile. À chaque

transmission, un utilisateur peut transmettre un maximum de 12 octets de données de mesure, d'état ou autres. Étant donné que le réseau Sigfox fonctionne dans la bande ISM sans licence, pour rester dans le cadre des réglementations légales, chaque objet n'est autorisé qu'à effectuer un maximum de 140 transmissions par jour. Notre carte MKR FOX1200 est donc autorisée à envoyer un télégramme toutes les onze minutes en moyenne.

En fonction de la couverture, ces transmissions sont ensuite reçues par toutes les

stations de base Sigfox (*Sigfox Stations*) à portée. Ces stations de base transmettent toutes les données reçues via une connexion à l'internet ou GSM au Sigfox Cloud, à partir duquel l'utilisateur peut récupérer ses données et les exploiter dans son application de traitement des données (*Customer IT*).

L'interface de configuration du compte utilisateur est appelée *Sigfox Backend*. C'est ici que les *objets Sigfox* (appareils) sont enregistrés, que les groupes sont assignés et que le transfert de données vers le *Customer IT* (via des fonctions de rappel) est configuré.

Tout d'abord, les identifiants uniques du dispositif Sigfox ID et PAC doivent être lus à partir du dispositif Sigfox en utilisant un petit croquis Arduino [3]. Ces deux paramètres sont nécessaires pour enregistrer le dispositif Sigfox dans le Sigfox Cloud [6].

Pendant le fonctionnement, il est possible d'accéder aux télégrammes depuis le monde entier. Vous vous connectez à *Sigfox Backend* [7] avec votre adresse de courriel et le mot de passe choisi, ce qui vous amène à la page d'accueil du portail (fig. 11). Vous cliquez sur l'onglet *Device* pour faire apparaître une liste des appareils Sigfox actifs. Cliquez ensuite sur le champ *Id* d'un périphérique, pour accéder à la page d'information de ce périphérique. Cliquer sur *MESSAGES* sur le côté gauche active la fenêtre dans laquelle sont listés tous les télégrammes que Sigfox a reçus de ce périphérique (fig. 12).

Création de fonctions de rappel dans Sigfox Backend

Ces données brutes ne sont pas particulièrement significatives. Dès que le MKR FOX1200 envoie des données à *Sigfox Backend*, nous voulons qu'elles soient automatiquement transmises au programme de tableau de bord *Thinger.io*. *Sigfox Backend* propose à cet effet des *Callbacks* (fonctions de rappel).

Une telle fonction n'est rien d'autre qu'un transfert automatique vers le destinataire souhaité, qui se produit immédiatement lorsque *Sigfox Backend* reçoit des données d'un appareil Sigfox – par ex. de notre module MKR FOX1200. La création et la configuration d'une fonction de rappel ont été traitées en détail dans la troisième partie de la série d'articles [5], aussi nous limiterons-nous ici à l'essentiel.

Pour créer une fonction de rappel, cliquez sur l'onglet *Device Type* sur la page principale de



```
// Sortie de la valeur de la température = nombre flottant
oled_float(6,4,temperatur-temp_cor,1) ;

// Sortie de la valeur de l'humidité = nombre flottant
oled_float(6,6,luftfeuchte,1) ;

// Temps d'attente pour l'acquisition des valeurs mesurées et la transmission du télégramme Sigfox
delay(w_zeit * 60000) ; // (w_zeit * 1 minute) attente entre les mesures
min_zae = min_zae + w_zeit ; // Décompte des minutes jusqu'à la prochaine transmission Sigfox
if (min_zae == SF_zyk) // Maintenant : envoyer le télégramme Sigfox
{
    SF_send_data() ;
    min_zae = 0 ; // Remise à zéro du compteur
} } } }

/** Envoyer des données via Sigfox */

void SF_send_data(void)
{
    Serial.print("Sigfox - Start ... \n") ;

    // Ecrire les valeurs mesurées dans la variable de la structure de données
    SF_Ampel.CO2 = co2 ;
    SF_Ampel.Temp = temperatur ;
    SF_Ampel.Feucht = luftfeuchte ;

    // Si nécessaire : sorties de débogage
    /* Serial.println() ;
    Serial.print("CO2 : ") ; Serial.println(SF_Ampel.CO2) ;
    Serial.print("Temp : ") ; Serial.println(SF_Ampel.Temp) ;
    Serial.print("Feucht : ") ; Serial.println(SF_Ampel.Feucht) ;
    Serial.println() ;
    */

    // Activer le modem Sigfox et interroger les erreurs.
    if (!SigFox.begin()) // Initialisation du modem
    {
        Serial.println("Modem Sigfox introuvable ! - Continuer avec RESET !") ;
        while (1) ; // boucle
    }
    else
    {
        Serial.println("Initialisation du modem Sigfox OK !") ;
    }

    // Activer la LED de débogage et désactiver les modes de veille.
    SigFox.debug() ;

    // Effacer toutes les interruptions en attente.
    SigFox.status() ;

    // Envoyer la charge utile via Sigfox
    SigFox.beginPacket() ; // Préparation de l'envoi d'un paquet.

    // Envoyer la variable de structure au Sigfox Backend
    SigFox.write((char*)&SF_Ampel, sizeof(SF_Ampel)) ;

    // Vérification des erreurs - si endPacket() renvoie 'true' : erreur
    SF_error = SigFox.endPacket()
    if(SF_error > 0)
    {
        Serial.println("Erreur Sigfox !!") ;
    }

    // Fin de Sigfox
    SigFox.end() ;

    Serial.println("Sigfox - Fin .... !\n") ;
}
```

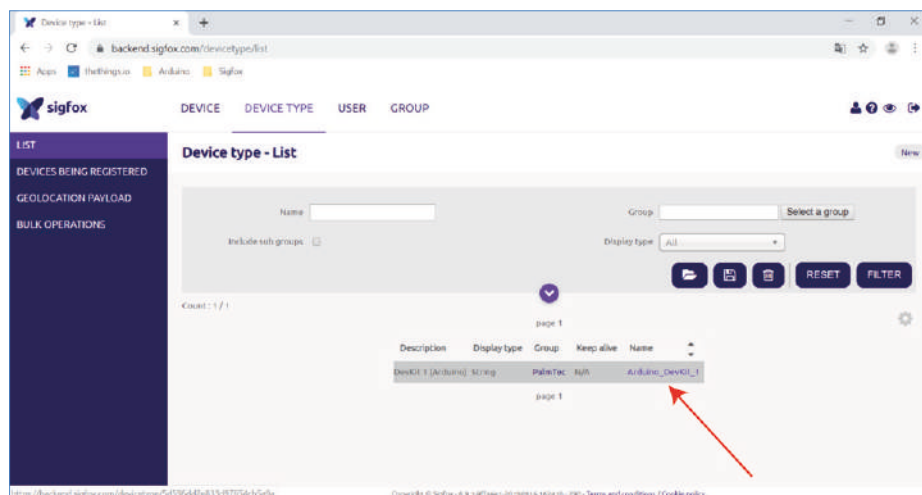


Figure 13. Choisissez le type de dispositif souhaité.

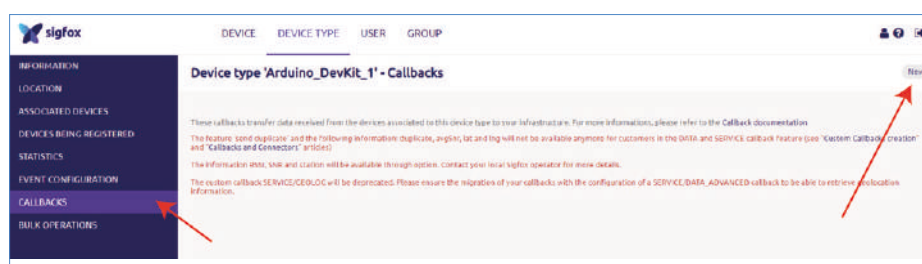


Figure 14. La fenêtre « Callback ».

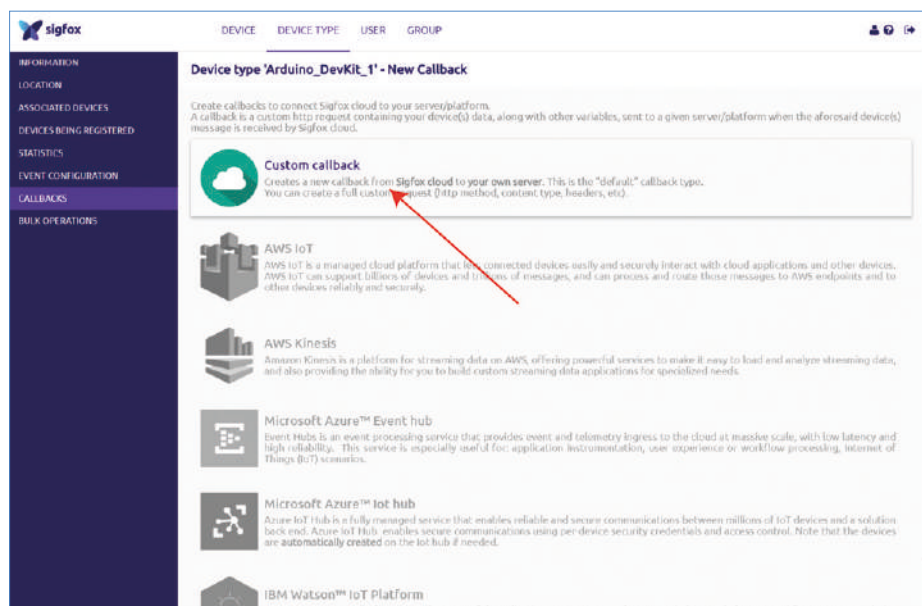


Figure 15. Le large choix de types de fonctions de rappel.

Sigfox Backend et dans la liste qui apparaît (avec une seule entrée) sur le nom du Device Type, dans notre cas *Arduino_DevKit_1* (fig. 13). Dans la page d'aperçu du Device Type, cliquez sur *Callbacks* dans la liste à gauche (fig. 14) et dans cette fenêtre en haut

à droite, cliquez sur le petit bouton *New*. Une liste apparaît avec toutes sortes de rappels possibles pour les types les plus courants de programmes de tableaux de bord ou du nuage (fig. 15). Ici, vous sélectionnez *Custom Callback*.

Dans la fenêtre qui apparaît maintenant (fig. 16), se configure la fonction de rappel pour l'envoi des données de Sigfox Backend à Thinger.io.

Avec cette fonction, Sigfox Backend envoie en permanence au tableau de bord, dès réception du télégramme du feu tricolore CO₂, les variables *Device-ID*, *TeLeGr-Nr*, *CO2*, *Temp* et *Feucht* (humidité) avec leurs valeurs.

Créer un tableau de bord avec Thinger.io

Thinger.io est une plateforme de visualisation *IdO open source* qui permet de créer rapidement et facilement une présentation claire et détaillée des données. Elle est gratuite pour les petits projets. Les valeurs sont visualisées sur un tableau de bord, qui peut aussi être accessible publiquement aux navigateurs web. Il suffit de quelques étapes simples pour développer un *tableau de bord* personnalisé :

- Créez un *compte* utilisateur gratuit sur *thinger.io*.
- Créez un conteneur de données (*Data Bucket*) chez *thinger.io* pour contenir les valeurs mesurées envoyées par le cloud Sigfox.
- Définissez le point d'accès (*Token*) pour le Sigfox Cloud et créez une authentification de réception (*Access Token*) chez *thinger.io*, afin que le Sigfox Cloud reçoive la permission de transmettre des données à *thinger.io*.
- Configurez une fonction de rappel dans le Sigfox Cloud pour transférer les données du Sigfox Cloud vers le *Data Bucket* de *thinger.io* via internet.
- Concevez un tableau de bord soigné sur le site *thinger.io* pour visualiser les données.

Ici aussi, nous vous renvoyons à [5], qui donne une description plus détaillée des différentes étapes. Après avoir créé un compte gratuit sur *thinger.io* [8], vous vous connectez et accédez à l'écran principal, qui est le point de départ de toutes les actions ultérieures (fig. 17).

Pour créer un tableau de bord, cliquez sur *Dashboards* à gauche, puis sur le bouton *Add Dashboard* dans la fenêtre qui s'affiche. Un grand nombre de *widgets* (les composants de l'interface utilisateur) librement configurables sont disponibles pour la conception personnalisée d'un tableau de bord, par ex. des

graphiques montrant les valeurs de mesure dans le temps, des graphiques en anneau, des bargraphes, des affichages analogiques, Google Maps pour montrer la localisation, des images, du texte, des LED et une horloge.

La **figure 18** montre un exemple de tableau de bord conçu avec thinger.io pour notre feu tricolore CO₂. Les valeurs mesurées sont affichées sous la forme d'un diagramme temporel. En plus de ces données, il est possible d'afficher l'heure, le numéro de télégramme et d'autres informations. Un accès mondial au tableau de bord est possible en quelques clics de souris, de sorte que toute personne qui reçoit le lien peut ensuite lire le tableau de bord et vérifier les valeurs courantes. 

200650-04 – VF : Denis Lafourcade

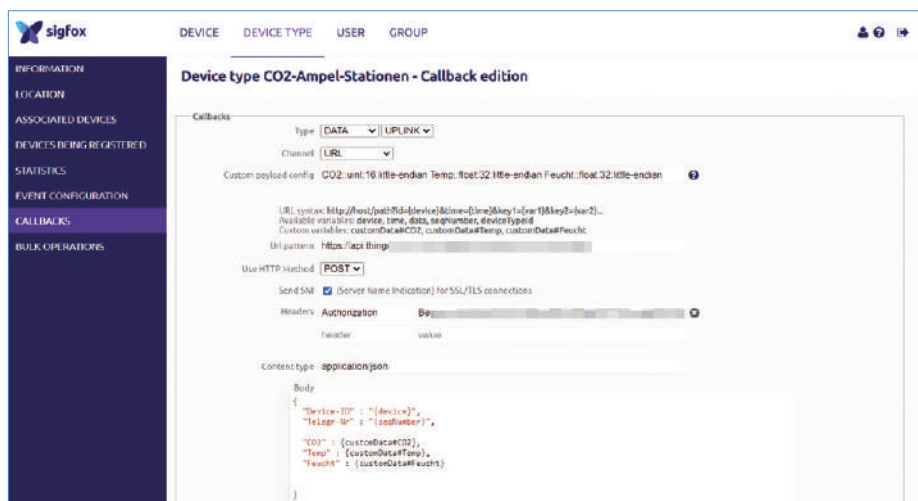


Figure 16. Configuration de la fonction de rappel.

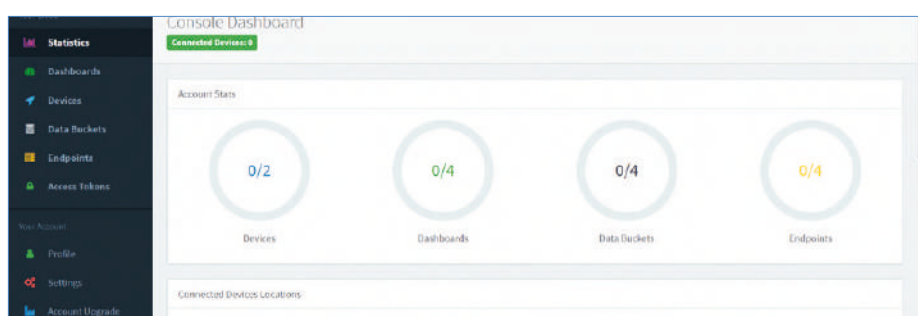


Figure 17. Statistiques du compte sur le tableau de bord de la console.



PRODUITS

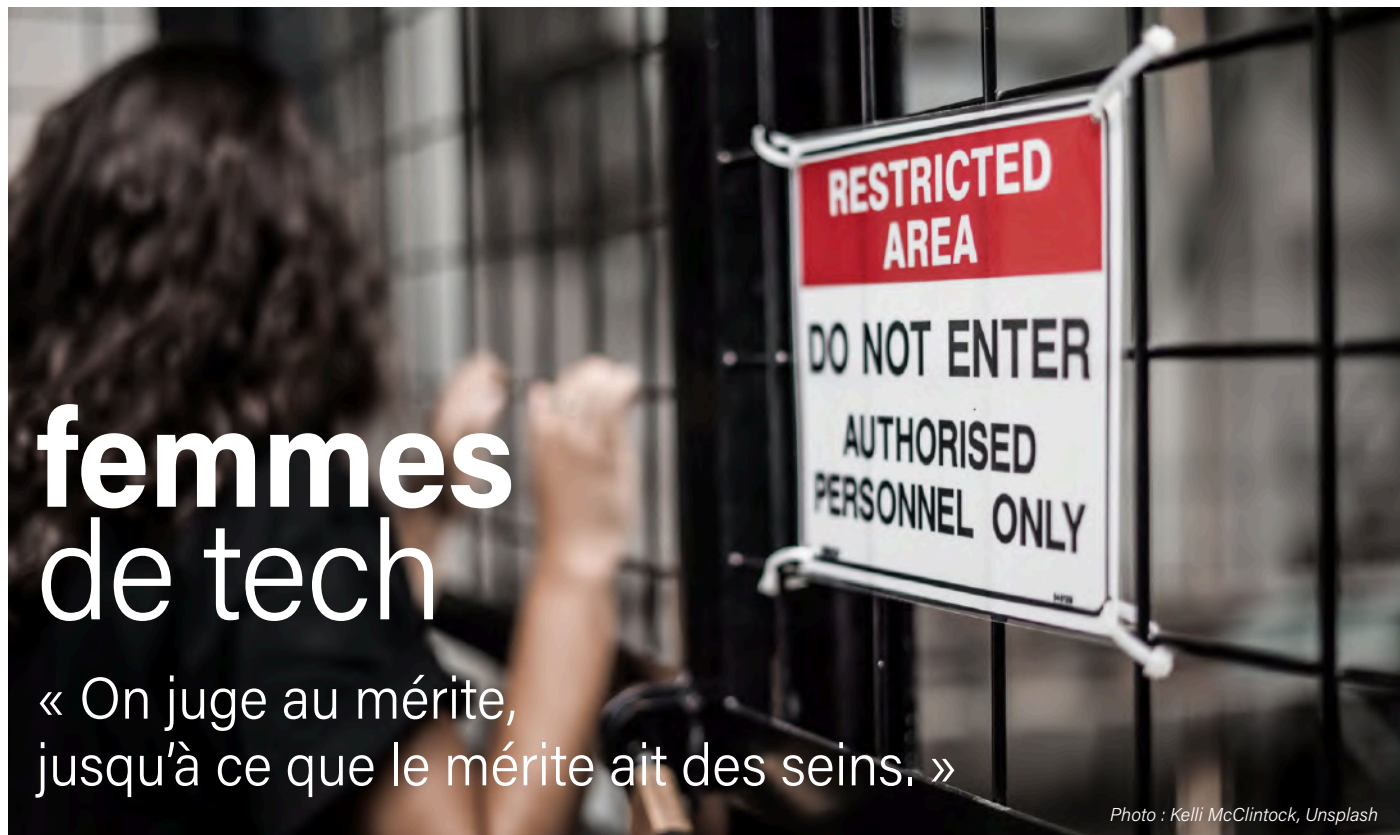
- **Arduino MKR FOX 1200**
www.elektor.fr/19096
- **Arduino Uno Rev3**
www.elektor.fr/15877
- **Seeed Studio Grove SCD30 CO₂, capteur de température et d'humidité pour Arduino**
www.elektor.fr/20012



Figure 18. Le tableau de bord du feu tricolore CO₂.

LIENS

- [1] Capteur de CO₂ SCD30 : <https://bit.ly/34XbL5o>
- [2] Écran OLED de 3,3 cm : <https://bit.ly/3fEP7AX>
- [3] Page Elektor du projet : <https://www.elektormagazine.fr/200650-04>
- [4] Afficheurs à LED NeoPixel (article en allemand) : <https://bit.ly/3qf1Y2k>
- [5] « L'Internet des Objets et le renard (1) - une carte abordable pour accéder au réseau Sigfox » (et articles suivants), Frank Schlekning et Bernd vom Berg, Elektor 11-12/2019 : <http://www.elektormagazine.fr/190281-04>
- [6] Enregistrement d'un dispositif Sigfox dans le Sigfox Cloud : <https://buy.sigfox.com/activate/devkit/FR>
- [7] Page de connexion de Sigfox Backend : <https://backend.sigfox.com/auth/login>
- [8] Tableau de bord sur thinger.io : <http://www.thinger.io>



femmes de tech

« On juge au mérite, jusqu'à ce que le mérite ait des seins. »

Photo : Kelli McClintock, Unsplash

Priscilla Haring-Kuipers (Pays-Bas)

Si vous vous demandez pourquoi en remettre une couche sur la place des femmes dans le monde de la technologie, c'est qu'il y a de fortes chances que vous – cher lecteur – soyez un homme.

Un échafaudage de biais

La distribution des rôles en fonction du sexe commence très tôt. Les vêtements pour les tout-petits sont souvent orientés vers le rose pour les filles, vers le bleu pour les garçons. Là où la littérature jeunesse tente de faire rêver les fillettes avec une princesse prisonnière d'une tour, elle n'hésite pas à stimuler l'imaginaire des garçons avec un ascenseur de verre survolant une chocolaterie. Ces innombrables « petits riens » érigent des barrières systémiques qui laissent peu de chance à une femme de devenir ingénieure (en électronique).

Il existe pourtant des politiques éducatives visant à accroître le faible nombre de filles choisissant les disciplines scientifiques et technologiques au lycée. Ces politiques entendent aussi lutter contre les préjugés sexistes ancrés dans notre culture. Mon prof de maths avait ainsi clairement annoncé à la classe qu'il ne passerait pas son temps à répondre à mes questions, sous prétexte que « Les filles ne comprennent pas les maths », discipline que j'ai donc laissée tomber. Vingt ans plus tard, j'utilise des outils statistiques pour mes recherches, mais le chemin pour en arriver là fut tortueux.

Même si l'écart entre les sexes diminue, la proportion des ingénieures

n'est que de 13 % aux États-Unis et au Royaume-Uni [1]. Si vous l'êtes, forte est la probabilité que vous soyez sous-payée, sous-évaluée et sous-utilisée par rapport à vos collègues masculins. Votre environnement de travail peut aller de non-féminin à dangereux, et pourtant on vous encouragera à « vous affirmer », à « penser comme une reine », ou à vous positionner « au-dessus de votre environnement ». Ce qui revient à demander à une personne déjà désavantagée de surmonter des situations et des problèmes qu'elle n'a pas créés et qu'elle ne peut pas contrôler en adoptant une « meilleure attitude ». Rien d'étonnant à ce que bon nombre de femmes quittent ce milieu.

Votre quote-part

Voilà pourquoi nous avons besoin de quotas pour favoriser l'embauche d'ingénieures compétentes. Nous n'avons pas abordé notre cursus technologique sur un pied d'égalité, et nous ne sommes pas jugées sur notre seul mérite. Il existe des différences biologiques entre hommes et femmes, oui, mais elles n'impliquent pas une aptitude mâle pour les maths et un penchant féminin pour la pâtisserie. La neurobiologie réfute ce genre d'argument. La faible présence des femmes dans

Usine féminine

Les ateliers d'assemblage avec lesquels nous collaborons à Shenzhen et aux Pays-Bas emploient principalement des femmes. Environ 70 % de cette main d'œuvre féminine est dédiée au transport des cartes d'une machine à l'autre, à la soudure de composants traversants, à l'inspection visuelle et au placement des cartes sur les bancs d'essai. À Shenzhen, il s'agit surtout de femmes jeunes, probablement des travailleuses migrantes. Aux Pays-Bas, les employées sont plutôt des femmes dans leur quarantaine. Concrètement, nos produits électroniques sont fabriqués par des femmes.

Photo : Austrian National Library, Unsplash



la tech vient de préjugés acquis, ce qui signifie que nous pouvons nous en défaire. La même observation vaudrait pour tout groupe social sous-représenté dans l'ingénierie.

Tout ce à quoi nous sommes exposés finit par nous sembler normal. D'où l'importance des représentations et des modèles à suivre. Essayez donc, pour œuvrer à cette « normalisation », de fixer un quota d'ingénieures dans votre domaine. Faites en sorte qu'une plus grande partie de vos propositions ou informations vienne d'ingénieures (cet article ne compte que pour moitié, je suis une « femme de tech » mais pas ingénieure). Efforcez-vous d'inclure plus de comptes féminins dans vos réseaux sociaux, et amplifiez les voix intéressantes que vous découvrez. Pour vous motiver, voici trois de mes modèles favorites :

➤ **Jeri Ellsworth** : inventrice polyvalente, codeuse et électronique formidable. Dirige l'équipe R&D de Valve. A participé à l'élaboration de *Tilt Five*, un système de jeux de plateau à réalité augmentée et projection holographique. Après quatre ans d'études, *Tilt Five* est en cours de production et s'apprête à faire florès sur le marché du jeu vidéo.
www.jeriellsworth.com

➤ **Naomi Wu (Sexy Cyborg)** : analyste de la tech et *makeuse* prolifique. Vit à Shenzhen. Offre un regard candide sur ce berceau de la plupart des produits électroniques. A participé à l'élaboration de l'imprimante *Creality 3D Print Mill* à courroie chauffante. A créé le *blinkini*. A fait respecter ses droits de licence par sa seule entrée dans les bureaux d'une usine. A critiqué la sécurité des masques de protection. Défend et sait porter loin ses opinions. La citation « On juge au mérite, jusqu'à ce que le mérite ait des seins » est d'elle.
www.youtube.com/c/SexyCyborg

➤ **Flavia Ferreira (Young Padawan)** : il y a chez nous un groupe de femmes appelées les « Dames soudeuses » qui effectuent de fantastiques travaux d'assemblage et de réparation sur

le matériel audio. Flavia est l'une d'elles. Si vos circuits sont conçus pour produire du son, ce sont ses mains que vous aimeriez embaucher. Elle publie également des conseils de soudure, anime les entretiens de *Let's Talk Nerd* et joue de la musique. Une vraie femme de tech.
www.instagram.com/imyounpadawan

N'hésitez pas à nous faire part d'actrices de la tech que vous recommanderiez de suivre. ➡

220200-04 – VF : Hervé Moreau

**WORLD
ETHICAL
ELECTRONICS
FORUM™**

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 Cozijn (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.elektormagazine.com/weef.

LIEN

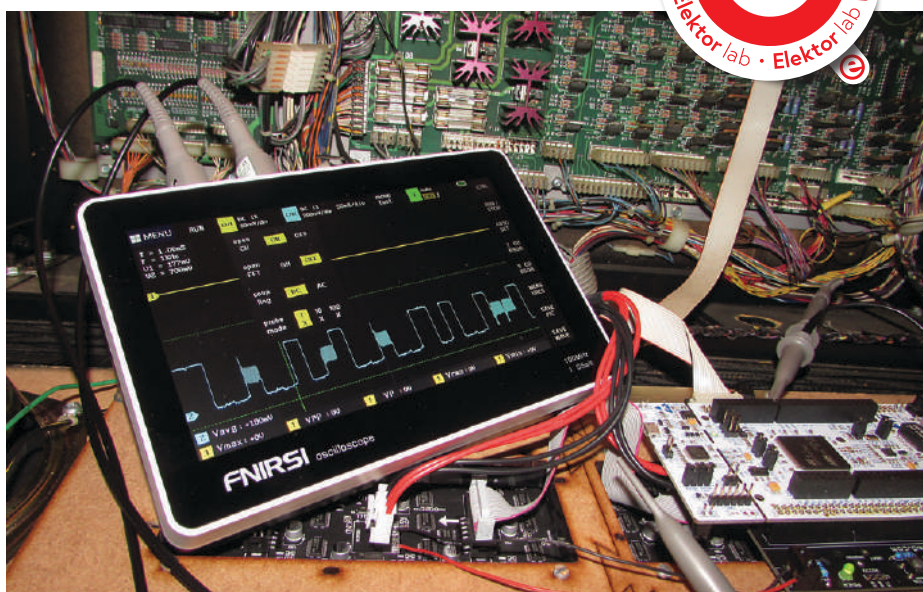
[1] Place des femmes dans l'ingénierie : https://fr.wikipedia.org/wiki/Place_des_femmes_en_ingénierie

oscilloscope tablette ADS1013D à petit prix

Bon rapport qualité/prix ?

Luc Lemmens (Elektor)

L'époque des oscilloscopes 100 MHz à prix d'or est révolue. Mais à 150 € ... est-ce trop peu pour être honnête ? Les revendeurs présentent en général l'ADS1013D comme un « oscilloscope tablette, à 2 voies, BP de 100 MHz et 1 Géch/s ». Voyons ce qu'il en est réellement.



Si vous travaillez avec des oscilloscopes de marques renommées, bien plus chers, il est très difficile de regarder un appareil de prix modique sans préjugés. L'appareil dont je vais parler ici paraît bien, mais, sans être irrespectueux, il fait un peu pacotille. Vous savez d'avance que ses caractéristiques ne peuvent pas rivaliser avec celles des appareils qui coûtent x fois plus que l'ADS1013D. Pour faire des mesures très précises, mieux vaudrait économiser et acheter un oscillo qui tienne la route. Toutefois, beaucoup d'instruments et d'outils s'avèrent utiles, même s'ils ne sont pas très chers. Soyons honnêtes : avons-nous vraiment toujours besoin d'un oscilloscope de haute précision ? Cela dépend bien sûr fortement du travail à effectuer. Par

ex., pour essayer des prototypes et réparer des appareils électroniques, l'exactitude et la précision ne sont pas vraiment primordiales, un rapide coup d'œil au niveau et à la forme du signal testé suffit. Si cela répond à vos besoins, cet appareil abordable peut être suffisant, alors pourquoi dépenser plus que nécessaire ?

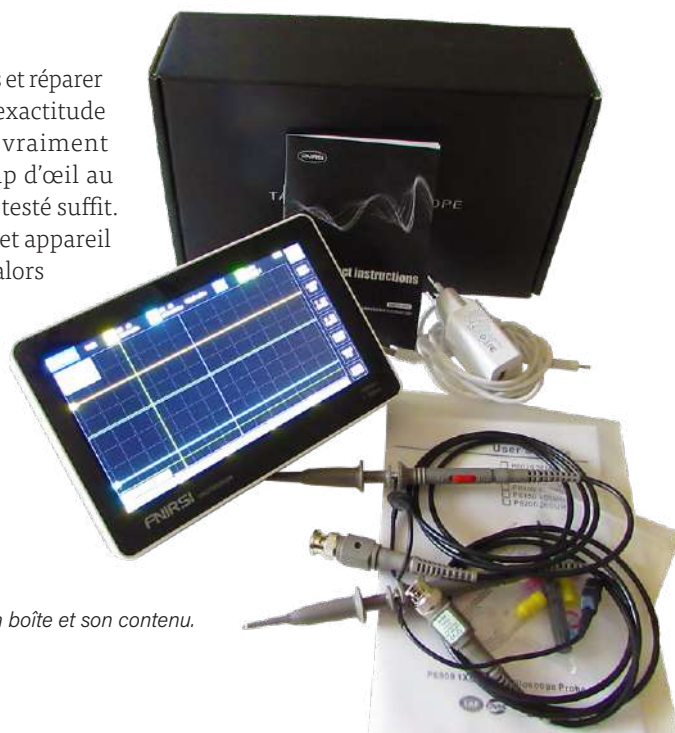


Figure 1. La boîte et son contenu.

Spécifications

- › Bande passante analogique : 100 MHz
- › Nombre de voies : 2
- › Fréquence d'échantillonnage maximale en temps réel : 1 Géch/s
- › Sensibilité verticale : 50 mV/div à 500 V/div
- › Plage de base de temps horizontale : 50 éch/div à 10 nanoéch/div
- › Tension d'essai maximale : 40 V (sonde 1X), 400 V (sonde 10X)
- › Profondeur de stockage : 240 Kbit
- › Résistance d'entrée : 1 MΩ
- › Précision du convertisseur A/N : 8 bits
- › Mode de couplage : CA/CC
- › Mode de déclenchement : Simple, Normal, Auto
- › Front de déclenchement : montant/descendant
- › Tension de déclenchement externe : 0 à 40 V
- › Affichage : 7" TFT – 800×480
- › Fonctionnement : écran tactile capacitif + geste
- › Ports d'extension : exportation d'images par USB
- › Alimentation électrique : 1x batterie au lithium, 6000 mAh

Au départ, le but de ce banc d'essai était de tester un ADS1013D de marque *Daniu*, mais en cherchant à en acheter un, je tombai sur la marque *FNIRSI*, à prix et disponibilité acceptables. Ils vendent un oscillo identique, avec même numéro de type, et il semble que *KKmoon* et *Yeapook* proposent aussi leur ADS1013D. Je ne serais pas surpris de le trouver sous d'autres marques. De nombreuses boutiques en ligne proposent l'ADS1013D, les prix variant d'une centaine d'euros à plus de 300 €, il est certainement utile de bien chercher avant d'acheter. La plupart des vendeurs annoncent l'ADS1013D comme un « oscilloscope tablette, à 2 canaux, avec une bande passante de 100 MHz et 1 Géch/s ». Voyons ce qu'il en est réellement.

Qu'y a-t-il dans la boîte ?

Mon ADS1013D de marque *FNIRSI* est emballé dans une solide boîte en carton avec mousse interne de protection. Elle renferme l'oscilloscope, un chargeur USB 2 A avec câble USB-C d'1,5 m, deux sondes 100 MHz et un petit manuel (**fig. 1**). Commençons par ce dernier (vous savez : ce livret que de toute façon vous ne lirez jamais), ça sera très court : si vous le feuilletez, vous prierez immédiatement pour n'avoir jamais à le lire puisque les caractères sont minuscules, les illustrations vagues et la mise en page très dense. Conseil : utilisez plutôt la documentation en ligne [1]. Le chargeur est un modèle USB de 5 V standard et non un chargeur USB rapide de type C. Batterie bien chargée, l'oscilloscope fonctionne environ quatre heures, c'est honorable !

La boîte contient également deux sondes P6100 100 MHz (commutables 1:1/1:10) de

qualité moyenne, mais elles feront l'affaire. Les crochets des pointes de touche sont un peu trop gros.

Mais entrons dans le vif du sujet : l'oscilloscope.

L'ADS1013D

Je le répète : n'achetez pas un oscilloscope dans cette gamme de prix si vous recherchez un appareil de mesure très précis, d'ailleurs je ne testerai ni ne vérifierai les spécifications de celui-ci (voir encadré). Des critiques sur l'internet ([2]) montrent que ces spécifications sont – pour rester poli – très optimistes ; par ex., elles soulignent que les convertisseurs A/N à 8 bits de chaque voie (AD9288) sont incompatibles avec un échantillonnage en temps réel à 1 Géch/s. Plus significatif encore : la BP de 100 MHz revendiquée pour les deux entrées est irréaliste ; sa valeur réelle est plus proche de 20 MHz [2]. La sensibilité maximale de 50 mV/div des entrées est décevante, et la vitesse minimale de la base de temps de 50 s/div n'aura jamais d'utilité pratique.

Mais au lieu de se plaindre de ce que cet

oscilloscope n'a pas, regardons ce qu'il a à offrir. Tout d'abord, l'écran tactile : 7 pouces, LCD couleur, lumineux, 800 × 480 pixels et bon angle de vue ; rien à redire de ce côté-là. Avec cet écran tactile, hormis un bon vieux interrupteur marche/arrêt, piloter cet instrument ne nécessite ni bouton, ni touche, ni interrupteur. L'interrupteur M/A a l'avantage de maintenir l'oscilloscope sous tension, sans minuterie d'extinction automatique qui l'éteint en cours de mesure. Chaque médaille a son revers : si vous oubliez de l'éteindre sans chargeur branché, la batterie a toutes les chances d'être vide à l'utilisation suivante.

Le haut de l'appareil est évidé pour accueillir l'interrupteur d'alimentation (**fig. 2**), les deux connecteurs BNC des sondes, une sortie de signal carré à 1 kHz pour régler les sondes, deux témoins (un rouge d'alimentation et un vert qui signale la pleine charge de la batterie) et le connecteur USB-C (pour le câble du chargeur ou de transfert de données à un ordinateur). L'arrière du boîtier accueille un pied inclinable escamotable.



Figure 2. Interrupteur d'alimentation, connecteurs et témoins.



Figure 3. Menu des paramètres de la voie 1.

Utilisation de l'ADS1013D

Un très bon point concernant cet ADS1013D est son maniement très intuitif. En haut et à droite de l'écran tactile des boutons ouvrent des menus, déclenchent des fonctions ou basculent des paramètres. Par ex., le bouton jaune CH1 ouvre le menu des réglages de la voie 1 (fig. 3), et dans le coin supérieur droit, CTRL active les boutons de réglage des atténuateurs d'entrée des voies 1 et 2

(fig. 4). Comme les menus ne sont pas imbriqués, vous trouvez vite comment faire fonctionner cet oscilloscope, même en utilisation occasionnelle. Enfin, parfois non : le bouton *System settings* du menu principal (nom que je donne au menu du coin supérieur gauche) a un sous-menu, mais celui-ci ne contient ni options ni fonctions d'usage courant. J'ai eu du mal à trouver le réglage manuel de la base de

temps, il semble qu'il faille tapoter le côté gauche (augmentation) ou le côté droit (diminution) de la zone d'affichage de la forme d'onde. Ce n'est pas très intuitif, à mon avis, mais ça fonctionne bien une fois que vous savez le faire.

La plupart des commandes vont de soi, avec des noms et un fonctionnement classiques d'oscilloscope. Toutefois, deux boutons du coin inférieur droit de l'écran LCD n'étaient pas clairs au départ : les mises en mémoire *Save Picture* et *Save Wave*. Ils enregistrent respectivement une image de l'écran complet et la forme d'onde. La forme d'onde n'est pas une image statique : on peut la traiter comme un signal d'entrée normal, c.-à-d. modifier les réglages (base de temps, atténuation), effectuer des mesures, etc. Pour récupérer les images et formes d'onde sur l'écran, il faut toucher les éléments correspondants du menu principal, dans le coin supérieur gauche.

Quelques éléments sont contrôlés par balayage de l'écran, par ex. la position verticale des formes d'onde, celle du déclencheur et les curseurs de mesure. Cependant, il est parfois difficile de savoir ce qui va se déplacer exactement en balayant l'écran du doigt. En haut, le bouton inverseur marqué *move slow/move fast* contrôle la sensibilité du balayage, afin d'obtenir un mouvement plus précis des formes d'onde et des curseurs. L'utilisation de deux doigts pour effectuer un zoom avant ou arrière (comme vous le feriez sur votre tablette ou votre smartphone) n'est pas prévue.

L'ADS1013D peut calculer des transformées de Fourier rapides (FFT) sur les deux voies, mais – comme sur la majorité des oscilloscopes numériques bon marché – les spectres en fréquence résultants sont peu utiles. L'affichage des figures de Lissajous (mode d'affichage X-Y) est prévu et c'est à peu près tout : aucune fonction arithmétique, même simple comme la somme ou la différence de signaux ne peut être exécutée sur les formes d'onde d'entrée.

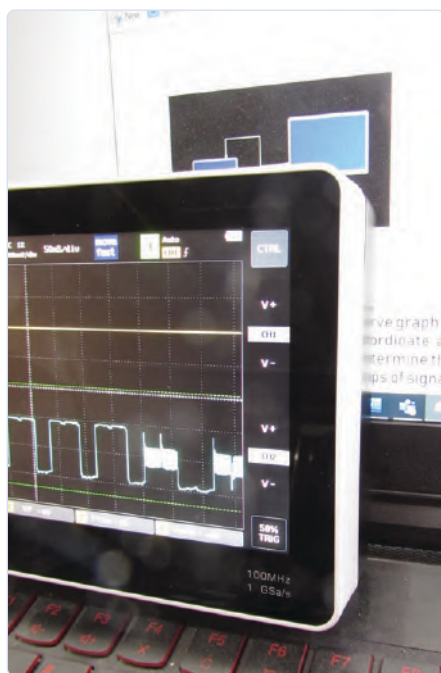


Figure 4. Réglages de l'atténuation.



Figure 5. ADS1013D connecté par USB.

Connexion à un ordinateur

Le câble USB-C sert à recharger la batterie interne, mais également à connecter l'appareil à un ordinateur. Lorsque la connexion USB est sélectionnée dans le menu principal, l'ADS1013D apparaît comme un lecteur USB sur votre ordinateur (voir **fig. 5**). Votre ordinateur peut alors accéder aux images stockées dans l'oscilloscope. Contrairement à d'autres oscilloscopes numériques, celui-ci ne peut pas être commandé par USB, l'interface ne sert qu'au transfert d'images.

Acheter ou ne pas acheter ?

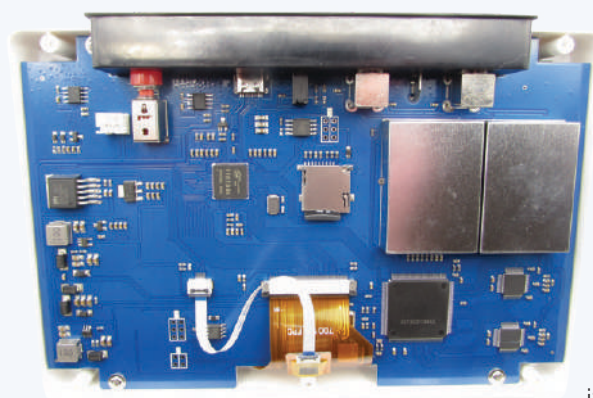
La réponse est dans ce que vous attendez d'un oscilloscope simple et ce que vous voulez en faire. S'il vous faut des mesures exactes, n'achetez pas cet appareil de FNIRSI, ni aucun autre oscilloscope dans cette gamme de prix. S'il ne s'agit que de faire des tests fonctionnels standard à sensibilité et fréquence assez basses et que l'exactitude et la précision des mesures sont d'importance mineure, vous n'avez pas besoin d'acheter un instrument coûteux et cet ADS1013D vous en donnera pour votre argent ! 

200640-04 – VF : Yves Georges

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur
(luc.lemmens@elektor.com).

Entrailles de l'ADS1013D



Le boîtier de l'ADS1013D n'est fermé que par cinq vis Phillips, je n'ai pas pu résister à la tentation de jeter un coup d'œil à l'intérieur. Apparemment, une version précédente de cet oscilloscope n'avait pas de blindage autour des étages d'entrée, et cette lacune a été corrigée sur la version que j'ai. Selon les photos de la version précédente que j'ai vues, le circuit imprimé n'a

guère changé. Impossible de dire si les CA/N des entrées sont les mêmes, ces circuits intégrés ne portent pas de numéros de type.

Tablette ou de table ?

J'ai mentionné qu'il s'agit d'un oscilloscope *tablette*, et je pense que tous, nous savons ou avons une idée de ce qu'est une « tablette » et de ce à quoi cela ressemble. S'il ne s'agit que d'un *appareil parallélépipédique à écran tactile*, nous avons un véritable oscilloscope *tablette*. Sur le carton d'emballage, figure *oscilloscope de table*, et, à mon avis, c'est approprié, mais je suppose qu'il s'agit d'une faute de frappe ou d'une mauvaise traduction. Pour moi, une *tablette* c'est un appareil portable qui peut même être utilisé *sur le terrain* par les techniciens de SAV ou dans l'atelier. L'ADS1013D est assez petit, ne pèse qu'environ 700 g et dispose d'une batterie interne rechargeable ; à tous égards, c'est un appareil portable, mais je ne recommanderais pas de le transporter trop souvent. Même si le boîtier en plastique semble solide, je ne crois pas que l'écran ou l'appareil lui-même survivrait à une chute et aucun étui n'est fourni pour le protéger pendant le transport. Et donc je le garderais sur la *table*, et ne l'utiliserais pas ni ne le traiterais comme une *tablette*.



PRODUITS

- **SDS1102 – oscilloscope numérique à 2 voies (100 MHz) d'OWON**
www.elektor.fr/18782
- **STO1152C Plus – oscilloscope à 2 voies (150 MHz) de Micsig**
www.elektor.fr/19372

LIENS

- [1] Documentation en ligne de FNIRSI : www.fnirsi.cn/productinfo/556152.html
- [2] Test de l'oscilloscope tablette ADS1013D : <https://bit.ly/3Doz6Kv>

dissection de prises intelligentes

Lesquelles peut-on ouvrir ?

Mathias Claußen (Elektor)

Les prises connectées (en Wi-Fi) dites aussi prises intelligentes ou « smart plugs », sont aujourd'hui disponibles pour moins de 15 €. Elles permettent la commande à distance de luminaires et autres appareils (certaines peuvent en enregistrer la consommation électrique). Mais un ingénieur en électronique se pose un tas de questions, par ex. : « quels sont les composants utilisés ? » ou « pourrai-je échanger le micrologiciel et utiliser une plateforme en nuage différente de celle spécifiée par le fabricant ? ». Pour en avoir le cœur net et découvrir lesquelles sont les plus faciles à détourner, je me suis tourné vers ma boîte à outils et en ai ressorti tournevis, scie à métaux, appareil photo et loupe.



Attention à la tension du secteur ! Les circuits électroniques des prises sont portés à la tension crête CC du secteur ! Ne tentez jamais de faire fonctionner un appareil électrique hors de son boîtier, il y a un risque mortel. Des chocs électriques potentiellement mortels seraient inévitables.



Figure 1. SP211 de Gosund.
(Source : <https://bit.ly/3wAWu6g>)



Figure 2. Prise intelligente d'Amazon. (Source : <https://bit.ly/3wCtife>)



Figure 3. Shelly Plug S de Shelly. (Source : <https://bit.ly/3D9TjtQ>)

On trouve aujourd'hui une multitude de prises intelligentes à commande par radio ou Wi-Fi. Quant à leurs fonctions et à la connexion au réseau (généralement Wi-Fi), souvent, seuls le logiciel et le service en nuage associé les distinguent. Les prix sont dans une fourchette plutôt étroite. La manière dont les différents fabricants ont conçu leurs produits suscite notre intérêt.

Tapez « prise intelligente » ou « smart plug » sur Google pour vous rendre compte du large éventail de prises actuellement disponibles (cf. les exemples des **figures 1, 2 et 3**). De l'extérieur, il est presque impossible de savoir de quoi leurs entrailles sont faites. Pour le découvrir, j'ai choisi trois modèles répandus de

prises à sacrifier pour en examiner l'intérieur. Je voulais répondre aux questions suivantes : quels composants sont utilisés ? Comment sont-ils câblés ? La prise peut-elle mesurer la puissance consommée et la tension du secteur, et si oui, comment ? Sont-elles protégées contre les surcharges ?

Le plus intéressant est probablement de déterminer laquelle de ces variantes est la plus facile à ouvrir et si le micrologiciel du fabricant peut être amélioré. Pour répondre à ces questions, j'ai relevé le schéma des circuits de trois prises et tenté d'identifier les composants utilisés. Cela m'a non seulement permis de déterminer les µcontrôleurs installés, mais aussi de découvrir certaines

astuces de conception des circuits permettant de réduire les coûts.

Les prises en question

Pour aller plus loin, j'examinerai à la loupe trois modèles de différents fabricants. La **figure 4** montre l'EU6S d'Aoyococr. La **figure 5** montre la Tapo P100 de TP-Link et la **figure 6** la S26R2 de Sonoff. Outre ces trois prises, j'ai aussi récemment démonté une prise TRÅDFRI d'IKEA (**figures 7 et 8**) dans le but d'utiliser certaines pièces pour un autre projet.

Le **tableau 1** contient les caractéristiques des trois prises examinées de plus près. Les fabricants des EU6S et Tapo P100 ont spécifié un courant de charge maximal de 10 A (2,3 kW



Figure 4. EU6S d'Aoyococr.

(Nota : les photos ne sont pas reproduites à la même échelle. Elles ne reflètent pas la différence de taille entre les prises.)



Figure 5. Tapo P100 de TP-Link.



Figure 6. S26R2 de Sonoff.



Figure 7. TRÅDFRI d'Ikea.



Figure 8. Entrailles de la TRÅDFRI.

à 230 V_{CA}). Pour la S26R2, Sonoff repousse cette limite et propose jusqu'à 16 A (3,6 kW à 230 V_{CA}), ce qui permet de commuter une charge plus élevée, par ex. bouilloire ou chauffage électrique.

Ces prises ne sont pas conçues pour être réparables ; l'intégrité du boîtier est essentielle pour l'isolation électrique vis-à-vis de l'utilisateur. Sans les détruire, je n'ai pu ouvrir (et refermer) que les EU6S et S26R2. Malheureusement, le boîtier de la Tapo P100 de TP-Link est scellé. Pour l'ouvrir, il est impossible de ne pas l'endommager. Par ailleurs, la prise TRÅDFRI d'IKEA a nécessité une scie à métaux : impossible de la réutiliser.

EU6S d'Aoyococr

Quatre vis à empreinte triangulaire (fig. 9) ferment le boîtier de l'EU6S ; l'accès aux

composants internes est donc assez facile. Couvercle retiré, on voit le circuit imprimé maintenu par deux vis vissées dans les broches de phase et de neutre de la fiche, donc en contact avec elles. Pour accéder aux têtes de vis, un tournevis approprié spécifique est proposé dans le kit *iFixit* de la boutique Elektor [1]. La figure 10 montre les filetages servant à fixer la carte (fig. 11) aux broches de la fiche. La figure 12 montre le côté compo-

sants de la carte : tous s'y trouvent à l'exception des contacts d'alimentation. Cette disposition facilite la réingénierie.

J'ai divisé la carte en trois groupes fonctionnels de base. Voir la figure 13 : fonction d'alimentation (jaune), module Wi-Fi/MCU (orange) et relais, câblage compris (magenta). La résistance R7 et le circuit intégré U3 (fig. 14) constituent le capteur de mesure du courant consommé par l'appareil branché sur

Tableau 1. Caractéristiques des trois prises intelligentes.

Nom	Charge maximale	Wi-Fi	BLE	MCU/SoC
Aoyococr EU6S	2,3 kW (10 A @ 230 V _{CA})	2,4 GHz	Non	ESP8266
TP-Link Tapo P100	2,3 kW (10 A @ 230 V _{CA})	2,4 GHz	Oui*	RTL8720CF
Sonoff S26R2	3,6 kW (16 A @ 230 V _{CA})	2,4 GHz	Non	ESP8285

*Utilisé seulement pour configurer le Wi-Fi



Figure 9. Quatre vis ferment le boîtier de l'EU6S.



Figure 10. Les vis du circuit imprimé de l'EU6S sont difficiles d'accès.

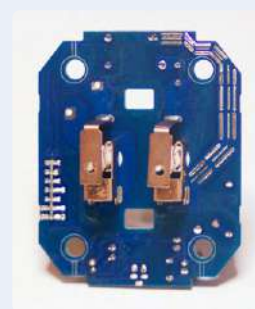


Figure 11. Dessous du circuit imprimé de l'EU6S avec les fixations.



Figure 12. Côté composants du circuit imprimé de l'EU6S.

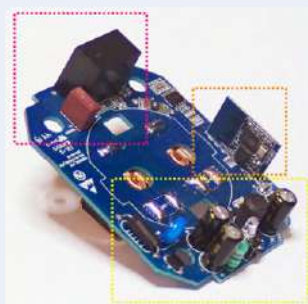


Figure 13. Zones fonctionnelles du circuit imprimé de l'EU6S.

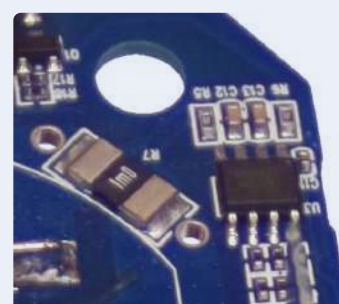


Figure 14. Zoom sur U3 et la résistance shunt.

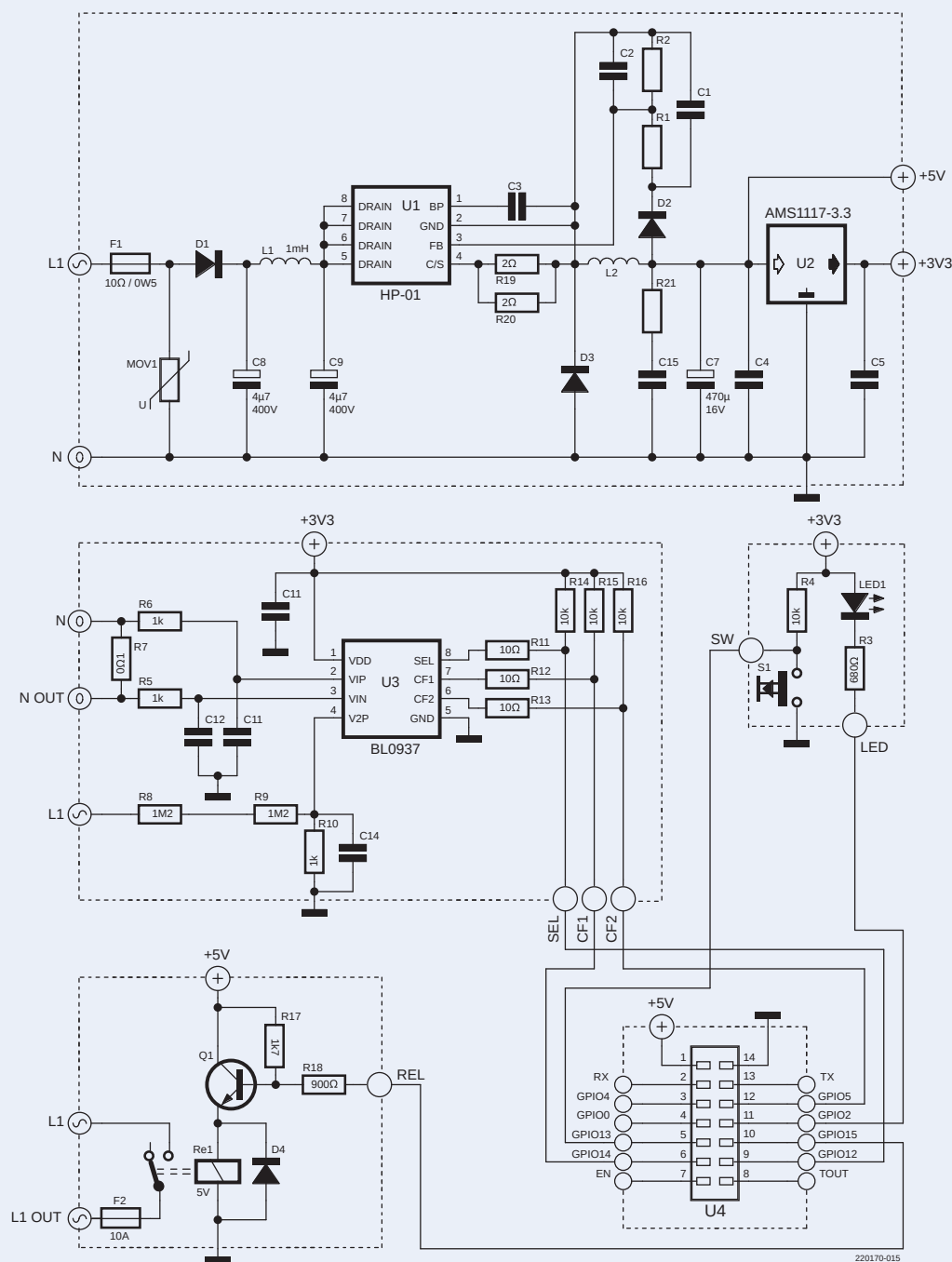


Figure 15. Schéma de la prise connectée EU6S.

la prise. Ce qui manque dans une telle configuration, c'est un transformateur qui assurerait normalement l'isolation galvanique de l'alimentation à découpage. Penchons-nous d'abord sur l'alimentation.

Alimentation

En haut de la **figure 15**, vous pouvez voir le circuit de l'alimentation reposant sur le circuit intégré U1 (HP-01 AL93PH1, **fig. 16**). Malheu-

reusement, la recherche de fiche technique sur ce CI sur l'internet n'a rien donné. Pour déterminer les fonctions des broches, j'ai dessiné le circuit avec tous les composants reliés à cette puce.

À gauche arrive la tension du secteur qui passe par F1, une résistance de 10 Ω d'une puissance de 0,5 W utilisée comme fusible (**fig. 17**). La varistance MOV1 protège contre les surtensions. La diode D1 redresse à bas

coût le secteur en demi-alternance. C8, C9 et L1 forment un filtre en π de lissage du signal résultant. La sortie du filtre est appliquée aux broches 5 à 8 d'U1. Les deux résistances shunt parallèles R19 et R20, la diode D3, la self L2 ainsi que le réseau de rétroaction formé par D2, C1, C2, R1 et R2 indiquent qu'U1 est probablement un régulateur à découpage Buck qui, à partir des 325 V_{CC} sur C9, fournit le 5 V_{CC} lissé par C7. Le circuit a besoin de 5 V pour

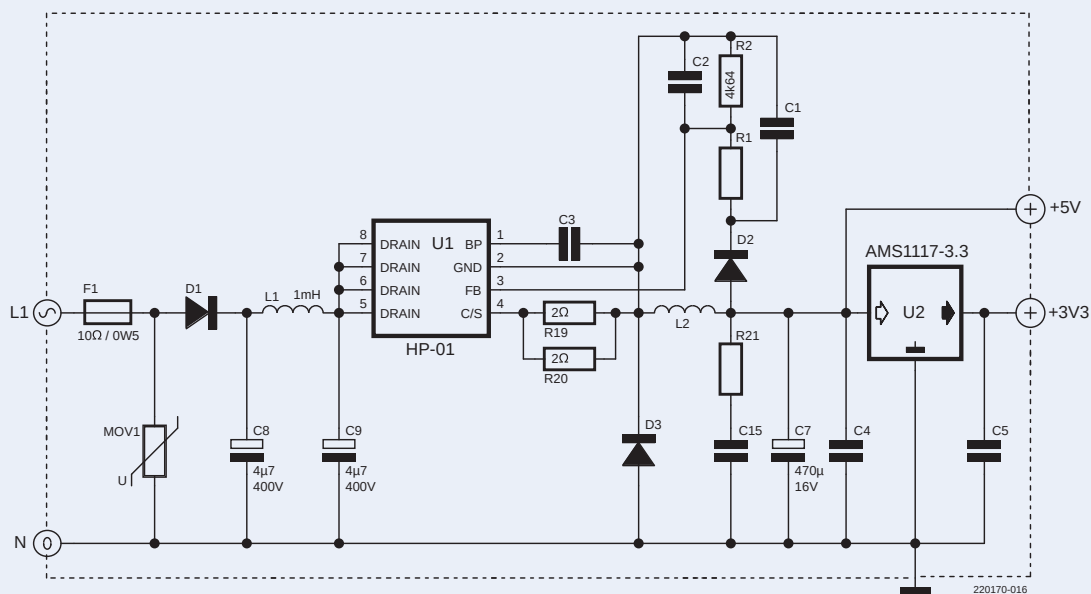


Figure 16. Le marquage du HP-01 AL93PH.1 (U1) est plus lisible en utilisant une fausse coloration.

animer le relais K1 qui commute l'alimentation de l'appareil commandé.

Le CI U2 est le régulateur linéaire à faible chute AMS1117-3.3 bien connu qui convertit le 5 V en 3,3 V stable. Cette tension est requise par le µcontrôleur et le matériel Wi-Fi qui ne

peuvent tolérer 5 V.

J'ai vu des alimentations similaires dans des lampes LED standard alimentées par le secteur avec un culot E14 ou E27. Malgré l'absence de fiche technique pour le circuit intégré (U1), je peux en déduire qu'il fournit une fonction similaire à des circuits tels que MPS MP4050A [2] (fig. 18) ou Power Integration LNK302 [3] (fig. 19) utilisés dans les lampes LED. Leurs fiches techniques nous informent sur l'affectation des broches et le câblage du circuit indiquant leur compatibilité avec la fonction d'U1. La figure 20 montre le schéma-bloc interne du MPS MP4050A. Bien que GND soit la référence pour le signal de commande et le driver de porte, ce n'est pas la référence pour la tension de sortie. Il est raisonnable de penser qu'U1 est utilisé ici de

manière similaire. Le câblage et l'implantation pour une application avec MPS MP4050A sont similaires à la configuration d'U1 dans le circuit de la prise connectée UE6S.

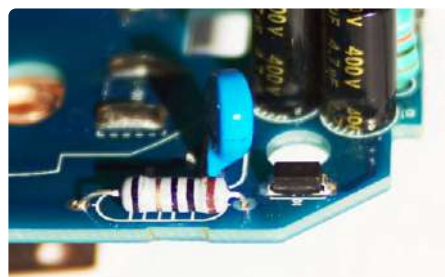


Figure 17. F1 est une résistance de 10 Ω.



Attention ! Ce montage utilise une alimentation non isolée galvaniquement, la masse du circuit imprimé peut donc être au même potentiel que la phase, selon la polarité du câblage de la prise. Tout contact avec la masse du circuit et la quasi-totalité des composants et pastilles du circuit imprimé est potentiellement mortel !

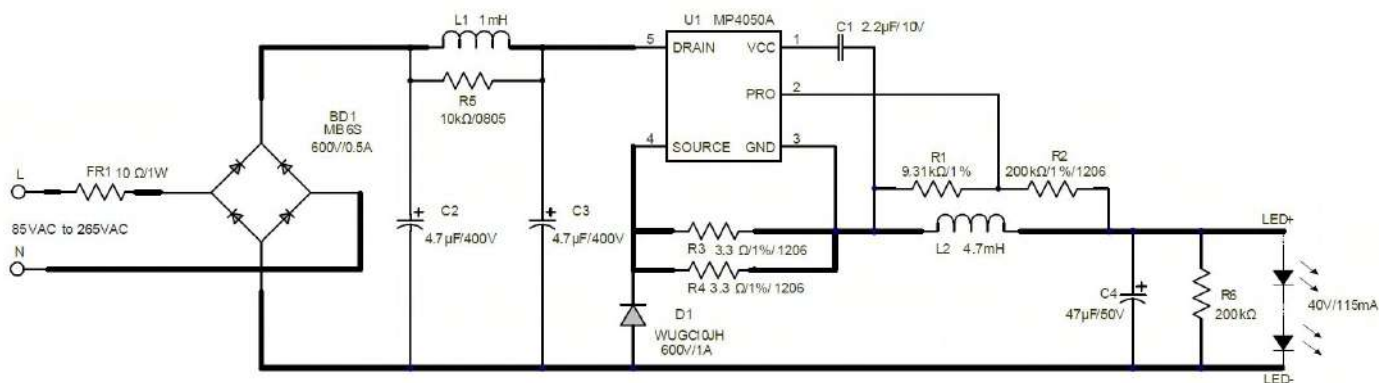


Figure 18. Exemple de circuit d'application du MPS MP4050A. Source : [2].

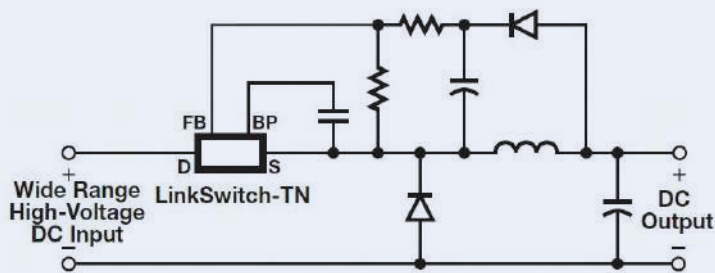


Figure 19. Circuit de base utilisant le LNK302 de Power Integration. Source : [3].

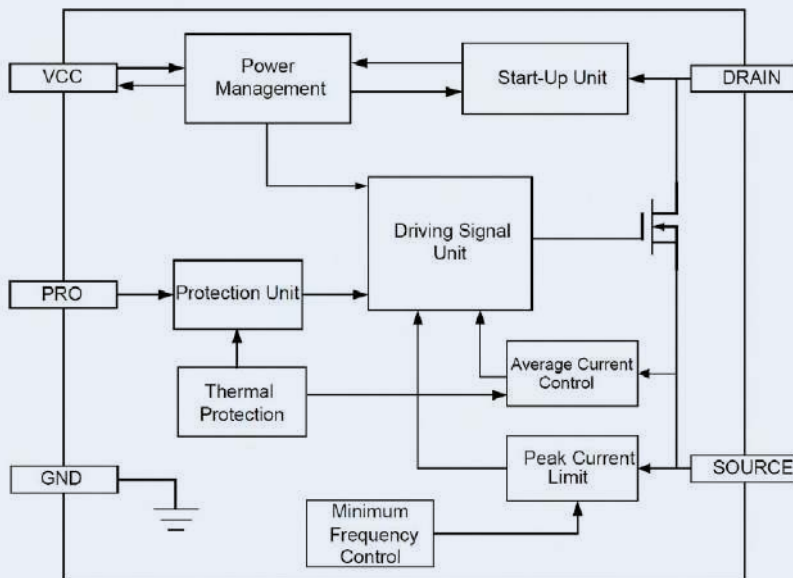


Figure 20. Schéma-bloc interne du MPS MP4050A. Source : [2].

L'utilisation de convertisseurs abaisseurs DC/DC non isolés permet d'alimenter à faible coût l'électronique de ces prises intelligentes et de nombreux autres appareils électriques. Le circuit imprimé, tous les boutons de commande et les LED sont dans un boîtier en plastique fermé. Dans des conditions

normales d'utilisation avec un boîtier intact, il n'y a aucun risque de toucher accidentellement des pièces sous tension. Tout appareil électrique doit porter des marques indiquant qu'il est conforme aux normes de sécurité électrique en vigueur. Les CI à découpage utilisés dans ces appareils offrent une large

plage de tension d'entrée. Ils acceptent souvent de 80 à 250 V_{AC} (à 50 et 60 Hz) pour garantir leur compatibilité avec les normes de tensions secteur du monde entier.

Mesure de puissance

Cette prise connectée est capable d'enregistrer l'intensité du courant, la puissance et donc probablement aussi la tension fournie à la charge. La partie centrale gauche de la **figure 15** (avec la puce U3) est chargée de cette fonction. U3 a un marquage visible sur la **figure 21**. On distingue « HJL-01 » ainsi que d'autres chiffres et lettres, mais impossible de trouver une fiche technique sur l'internet. En creusant, on trouve des CI similaires, compatibles avec les broches, par ex. le BL0937 ou le HLW8012. Puisque U3 est alimenté en 3,3 V, il est probablement plus proche du BL0937, le HLW8012 fonctionne sous 5 V. La question demeure : que fait U3 ?

Le BL0937 est un CI de mesure pour *smart plugs* et autres applications. Il mesure la puissance absorbée en monophasé. La **figure 22** présente l'affectation des broches et le schéma-bloc du BL0937. La broche CF de cette puce sort en continu des impulsions de 38 µs à une fréquence proportionnelle à la puissance active. La broche CF1 émet aussi des impulsions, mais dont la fréquence de répétition est proportionnelle à la valeur efficace du courant actif (si la broche SEL est à 0) ou de la tension active (si la broche SEL est à 1).

En comparant le circuit de U3 de la figure 15 avec le circuit de référence du BL0937 donné dans la fiche technique [4], on remarque que les résistances du diviseur de tension (pour la mesure de tension) sont différentes. U3 utilise un rapport de 2400 au lieu de 1980 pour le BL0937, c'est bon à savoir si un autre micro-

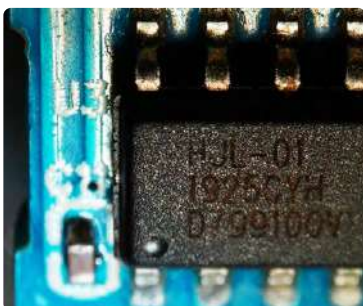


Figure 21. Un CI HJL-01 est utilisé dans l'EU6S.

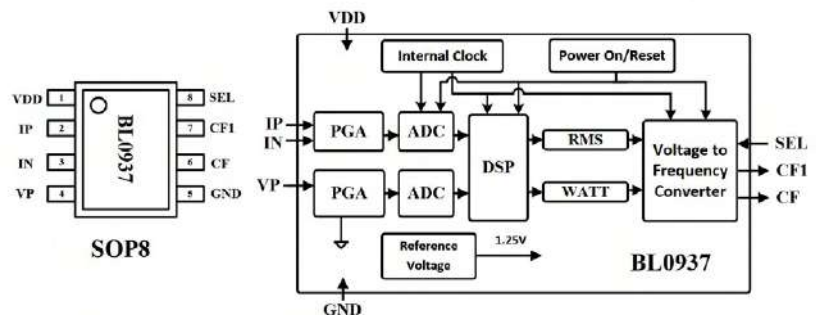


Figure 22. Brochage et schéma fonctionnel du BL0937. Source : [4].

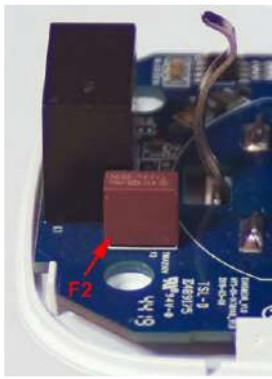


Figure 23. F2, fusible retardé de 10 A, protège l'EU6S d'Aoyococr.



Figure 26. La Tapo P100 de TP-Link forme une unité compacte.

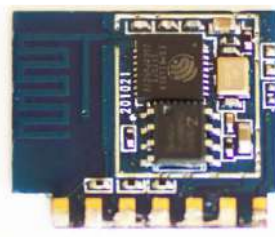


Figure 24. Module ESP8266.



Figure 25. Mémoire flash ZB25VQ80AITG de 8 Mo.



Figure 27. Les broches du milieu sont soudées.

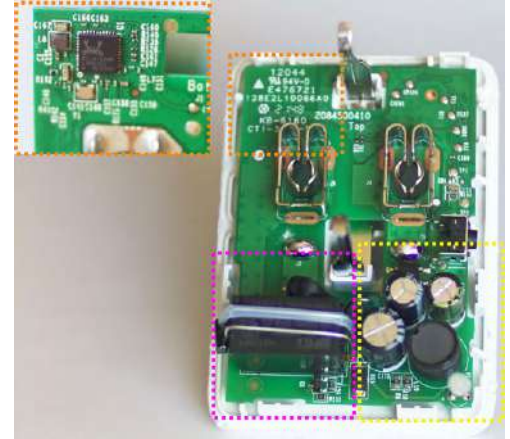


Figure 28. Le circuit imprimé peut être divisé en trois zones principales.

logiciel est envisagé.

La mesure d'intensité résulte de la chute de tension aux bornes d'une résistance d'1 mΩ (R7) insérée dans le neutre (N). La tension aux bornes de R7 est transmise aux broches 2 et 3 d'U3 via R6 et R5. Avec C11 et C12, cela forme un filtre passe-bas d'élimination des interférences véhiculées sur le secteur.

Les broches SEL, CF1 et CF utilisent des résistances série de 10 Ω polarisées au niveau haut par des 10 kΩ. Les signaux sont ensuite transmis tels quels au MCU. L'interface est aussi simple et aussi peu coûteuse que possible. La puce HJL-01 est probablement moins chère qu'une BL0937 disponible pour moins de 60 €. L'alternative HLW8012 est environ 30 % plus chère.

Relais, LED et bouton-poussoir

Les appareils branchés à la prise sont commutés par le relais K1. C'est un NHLC 932-5VCD-SL-AH qui a une capacité de charge max. de 10 A en 250 V_{CA}. Ce genre de relais coûte généralement environ 50 €. La commande est visible en bas à gauche du schéma de la figure 15.

La bobine du relais K1 est connectée au 5 V et commandée par le transistor Q1. Ce transistor, commandé en 3,3 V par le contrôleur, relie au 5 V la bobine de 0,4 W du relais. D4 se charge en toute sécurité de dériver vers le rail d'alimentation la FCEM produite par la commutation de la bobine du relais.

La valeur nominale de 10 A du minifusible retardé F2 (fig. 23) protège le relais et la carte des dommages potentiels d'un excès de consommation de la charge commutée. Au besoin, le remplacement du fusible serait aisé et peu onéreux.

LED1 utilise une résistance série de 680 Ω (fig. 15, à droite à mi-hauteur). Ce faible courant peut être fourni directement par la broche LED du MCU. L'entrée du bouton-poussoir utilise une résistance d'excursion haute de 10 kΩ, R4.

µcontrôleur à liaison sans fil

Le MCU de cette unité est un ESP8266 dont la fonction Wi-Fi intégrée répond à la norme IEEE 802.11 b/g/n. Il se trouve avec quelques autres composants sur une petite carte fille, fixée à la carte principale à angle droit (fig. 24). À part un RESET, aucun autre point test ne figure sur le module. La puce de mémoire flash ZB25VQ80AITG de 8 Mo se trouve à côté du MCU (fig. 25). J'ai dessoudé cette petite carte pour trouver les composants connectés à l'ESP8266. J'ai ensuite pu déterminer l'affectation et les fonctions des broches de ce module. La figure 15 rassemble ces informations.

Le micrologiciel des MCU comme l'ESP8266 peut être changé facilement. Il est possible de faire fonctionner le MCU par ex. avec ESPHome [5] ou Tasmota [6]. Outre la simple commutation de la charge via le relais, il est

possible de mesurer et de lire la consommation d'énergie de l'appareil connecté. Cependant, les mesures d'U3 doivent également être calibrées pour collecter des données fiables. Tous les contacts d'interface de programmation du MCU sont sur la face inférieure de la carte, il faut donc la sortir du boîtier pour flasher ESPHome ou Tasmota sur le MCU. Les vis ne sont pas si faciles à atteindre – et le remontage s'avère plus difficile que le démontage, en revanche, le boîtier a l'avantage de s'ouvrir sans rien endommager.

Tapo P100 de TP-Link

La prise Tapo P100 (fig. 26) de TP-Link est nettement plus étroite que celle d'Aoyococr. Aucune vis n'est visible, car la fermeture du boîtier de la Tapo P100 est assurée par clipsage périphérique interne. Même en faisant attention, l'ouverture du boîtier laissera des traces. Avec les bons outils, l'intérieur de l'appareil est vite accessible. Malheureusement, le circuit imprimé ne peut pas être retiré aisément du boîtier car il est soudé aux contacts des broches du connecteur (voir fig. 27). Je l'ai dessoudé pour jeter un coup d'œil au-dessous du circuit.

Là encore, le circuit peut être grossièrement divisé en trois zones : alimentation, relais et MCU (selon les pointillés de la figure 28). Ce modèle ne comporte pas de CI de mesure du courant (fig. 29).

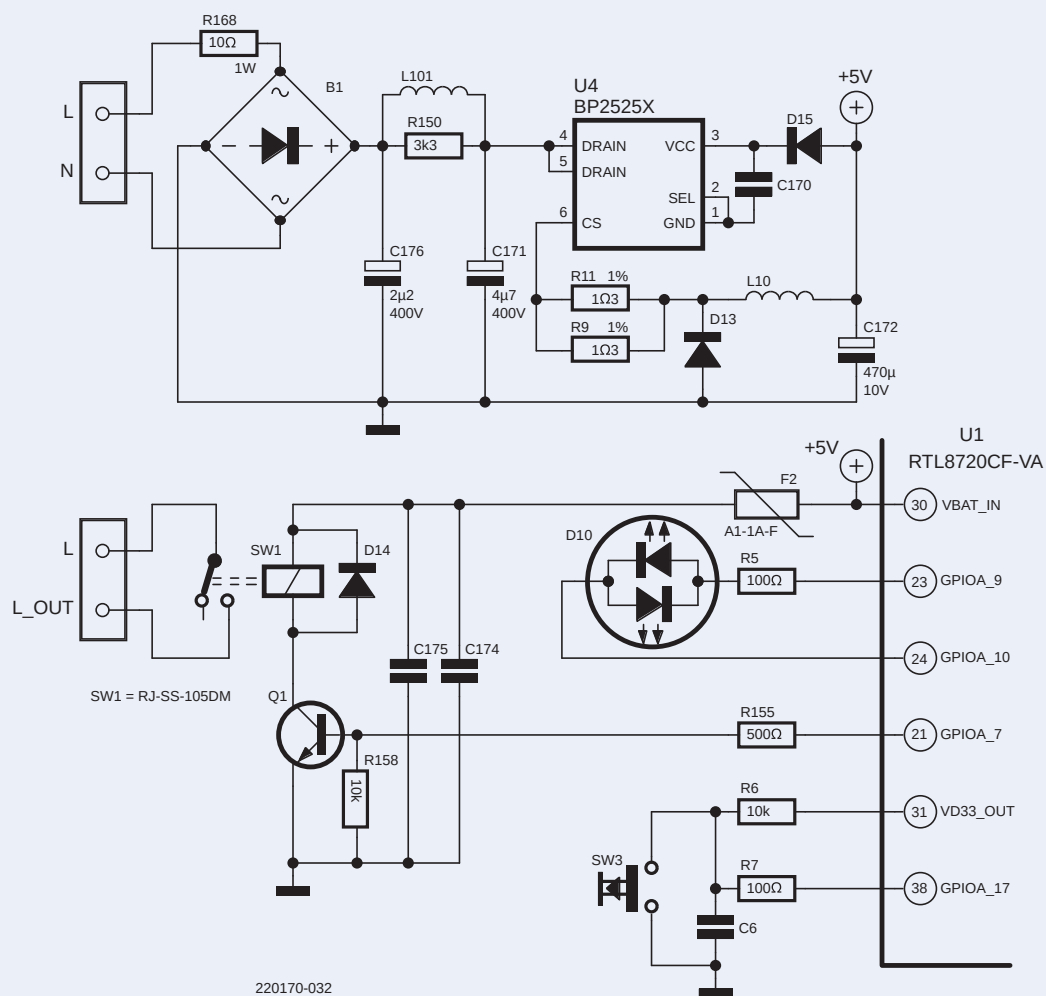


Figure 29. Schéma du circuit de la Tapo P100.



Figure 30. Le BP2525 est monté sous le circuit imprimé.



Figure 31. MCU
RTL8720CF de Realtek.



Figure 32. Le fusible thermique est monté près du boîtier du relais.



Figure 33. S26R2 de Sonoff démontée.

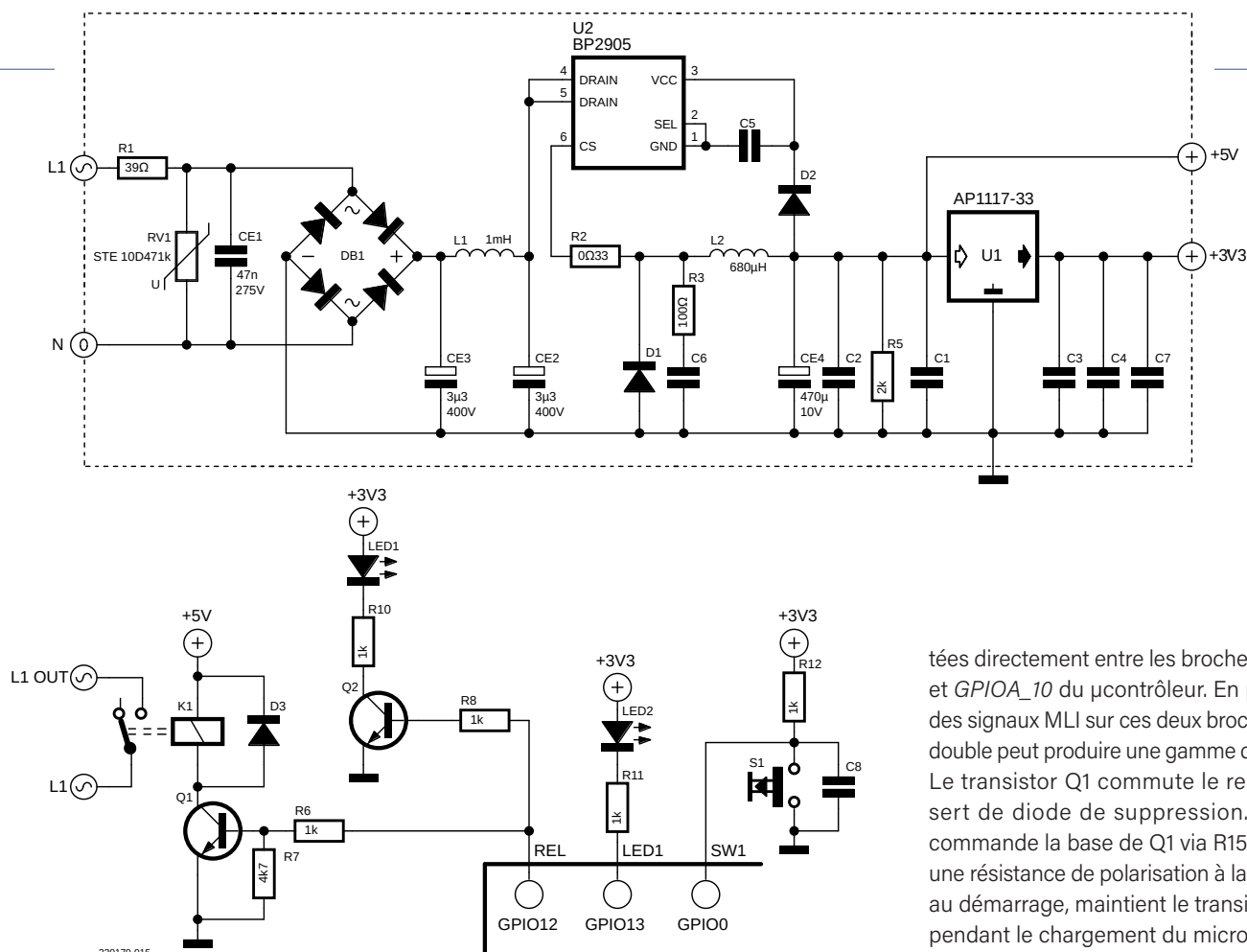


Figure 34. Schéma de la S26R2 de Sonoff.

Alimentation

Le circuit d'alimentation fut facile à relever car le marquage des CI était lisible et les fiches techniques disponibles. L'expérience acquise auparavant sur l'EU6S a été utile : ici aussi, une résistance de 10 Ω (R168) – mais de 2 W cette fois-ci – sert de fusible et limiteur de courant. Le CI principal U4, un BP2525 est un régulateur à découpage [7] (fig. 30). Ici aussi, il y a un convertisseur abaisseur non isolé. Il sort au choix du 5 V ou du 3,3 V à partir de la tension d'entrée (500 V_{CC} max.) fournie par un pont de diodes redressant la tension alternative du secteur et suivi d'un filtre en π composé de C176, L101 et C171.

Le CI U4 fournit jusqu'à 500 mA sous 5 V (selon la version). La fiche technique facilite le relevé du câblage et les composants sont aisés à identifier. Il n'y a que peu de différences avec l'alimentation de l'EU6S. Ce modèle n'a pas d'alimentation 3,3 V. La raison réside dans le MCU utilisé ici (v. ci-après).

RTL8720CF avec Wi-Fi et BLE

Le Tapo P100 n'utilise pas le μ contrôleur omniprésent ESP8266, mais le RTL8720CF de Realtek (fig. 31). La fiche technique [8] spécifie qu'il ne requiert qu'une alimentation de 5 V car un régulateur de 3,3 V y est intégré. Cette alimentation de 3,3 V débite 450 mA max. Le Wi-Fi en 2,4 GHz est pris en charge et le Bluetooth Low Energy 4.2 est également disponible. Le MCU est basé sur un noyau ARM Cortex-M33 (appelé KM4 par Realtek), cadencé jusqu'à 100 MHz. Disposant de 2 Mo de mémoire flash intégrée et de 256 Ko de RAM, ce MCU est un choix intéressant. Son grand frère, le RTL8720DN [9], offre le Wi-Fi en 5 GHz en plus de la bande habituelle des 2,4 GHz.

Bouton-poussoir, LED, relais et fusible

Dans ce circuit, la commande de la LED (fig. 29) semble un peu étrange à première vue : R5 et la LED bicolore D10 sont connectées

tées directement entre les broches GPIOA_9 et GPIOA_10 du μ contrôleur. En produisant des signaux MLI sur ces deux broches, la LED double peut produire une gamme de couleurs. Le transistor Q1 commute le relais et D14 sert de diode de suppression. GPIOA_7 commande la base de Q1 via R155. R158 est une résistance de polarisation à la masse qui, au démarrage, maintient le transistor coupé pendant le chargement du micrologiciel. F2 est une particularité de ce circuit (fig. 32). Ce fusible thermique non réinitialisable (AUPO A1-1A-F [10]) se coupe en cas de surchauffe si le relais est surchargé. Cela interrompt le courant de la bobine et le relais retombe et refroidit mais le fusible ne se réarme pas. L'accès à l'intérieur de la prise est assez ardu, donc toute prise P100 ayant subi ce sort a de fortes chances de rejoindre la montagne croissante des déchets électroniques.

Le bouton intégré est classiquement polarisé à 3,3 V par une résistance de 10 k Ω , un condensateur amortit le rebond des contacts et une résistance de 100 Ω est connectée à GPIOA_17.

S26R2TPF de Sonoff

Avant de démonter la prise de Sonoff, je savais déjà à quoi m'attendre et j'étais juste curieux de voir comment les différentes fonctions avaient été mises en œuvre. Ce modèle S26R2TPF de Sonoff (fig. 33) peut commuter jusqu'à 16 A à 250 V_{CA} ; son schéma est présenté à la figure 34.

Alimentation

La section d'alimentation est construite autour d'U2, un CI régulateur à découpage marqué BP2905 (fig. 35). Malheureusement, la fiche technique est introuvable. Du contour



Figure 35. Le CI BP2905 est compatible avec le BP2525.

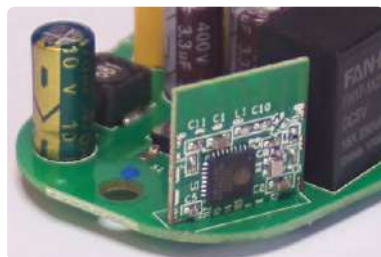


Figure 36. Module ESP8285 installé dans la prise S26R2.

du boîtier, des broches et du câblage des composants externes, j'ai déduit qu'il s'agissait probablement d'un cousin à brochage compatible du BP2525.

De nouveau, une résistance (R1) fait office de fusible. Le pont redresseur DB1 est suivi d'un filtre en π composé de CE2, L1 et CE3. Le BP2905 produit un 5 V stable sur le condensateur réservoir CE4. Comme pour la prise EU6S, un régulateur de tension linéaire est utilisé pour produire 3,3 V pour U1.

Bouton-poussoir, relais et LED

Le câblage simple du bouton S1 n'emploie qu'une résistance de polarisation d'1 k Ω et un condensateur qui amortit le rebond des contacts. Il est connecté directement à l'entrée SW1 du MCU.

L'anode de la LED2 est reliée au +3,3 V tandis que sa cathode est pilotée par la broche GPIO13 du MCU via la résistance série R11. La LED1 indique si la charge est sous tension. Elle est reliée au +3,3 V. Son transistor de commande Q2 et le transistor Q1 de commande du relais partagent la broche GPIO12 du MCU respectivement via R8 et R6. Comme dans les variantes précédentes, le relais est câblé avec une borne de sa bobine au 5 V, et l'autre borne est reliée à la masse via Q1. Ici aussi, une diode (D3) supprime la FCEM produite par la bobine. Comme pour les deux autres prises, une résistance base/émetteur empêche le transistor de commuter le relais inopinément pendant le démarrage.

MCU avec liaison sans fil

Le MCU ESP8285 (U1) est soudé sur sa mini-carte fille, fixée à angle droit sur la carte principale (fig. 36). Grâce à sa mémoire flash intégrée, cette variante de l'ESP8266 ne nécessite aucune puce flash supplémentaire.

Le schéma électronique de la figure 34 donne l'affectation des broches.

Logiciel d'utilisation d'un nuage différent

Si nous nous sommes concentrés sur les aspects matériels des prises intelligentes, il faut considérer l'utilisation de la prise intelligente et sa connectivité à un serveur basé dans le nuage. Le logiciel du fabricant connecte généralement la prise au Wi-Fi domestique et doit ensuite être configuré via une application afin que la prise puisse être utilisée avec un smartphone, Alexa d'Amazon, Home de Google ou HomeKit d'Apple. Souvent les prises connectées exploitent le service en nuage d'un fournisseur (hébergeant ses serveurs quelque part dans la toile) lequel service accède lui-même à ces prises. Cette configuration permet alors de commuter les charges à distance via l'internet. Malheureusement, une telle connexion au nuage n'est pas 100 % fiable car, tout simplement, rien ne garantit qu'un fournisseur de nuage n'arrêtera pas son service un jour [11].

Comme nous l'avons déjà indiqué, l'installation d'un micrologiciel *open source* comme TASMOTA [6] ou ESPHome [5] est possible sur les prises avec un ESP8266. Ce changement de micrologiciel permet ensuite de piloter l'appareil branché depuis votre propre réseau local via MQTT, WebUI, Alexa ou autre protocole.

Si vous êtes intéressé par l'utilisation d'un autre micrologiciel sur ces prises, il y a un site web très utile à ce sujet : Tuya-Convert [12]. Certaines de ces prises intelligentes peuvent même être flashées avec un autre micrologiciel sans nécessiter d'ouvrir physiquement l'unité. Si votre modèle doit être ouvert, la plupart des MCU ESP8266 peuvent être

reflashés en utilisant Tasmotizer [13]. Selon le modèle, il faut effectuer les réglages adéquats. Si vous souhaitez utiliser ESPHome, il peut s'installer sur certaines prises sans ouvrir le boîtier grâce à la programmation OTA (*Over The Air*) par Wi-Fi [14]. Sur certains modèles, il faut cependant recourir à un tournevis et à un fer à souder.



Second avertissement : comme vu ici, toutes les prises examinées utilisent des alimentations non isolées. Des parties du circuit sont donc portées à la tension crête du secteur (près de 400 V en Europe). Si une partie de votre corps entre en contact avec, cela peut être mortel. Pour ces prises connectées, la protection du consommateur repose par conception sur l'intégrité de leurs boîtiers isolés. Toucher un composant interne pendant le fonctionnement met la vie en danger. Ce point est vital : ne jamais travailler sur des circuits sous tension ni enfreindre les règles de sécurité applicables. En outre : après la mise hors tension, les condensateurs du côté secteur de l'alimentation peuvent conserver un moment une charge à haute tension de plusieurs centaines de volts. Avant de travailler sur ces circuits (non alimentés), veillez à les décharger par mesure de sécurité.

ESP8266, ESP8285, RTL8720...

Si vous envisagez d'acheter une prise connectée avec l'idée d'installer un autre micrologiciel, notez qu'actuellement ESPHome et Tasmota ne prennent en charge que la famille ESP de MCU. La documentation du RTL8720CF est aussi abondante, mais cela ne présume en rien de la disponibilité d'un autre micrologiciel.

Au-delà des MCU identifiés ici, vous pourriez rencontrer des Realtek RTL8710, Beken BK7231T ou XradioTech XR809 dans d'autres marques de prises intelligentes. Comme toujours, mieux vaut faire le plus de



recherches possible avant d'acheter. Avec un peu de chance, un développeur spécialisé a déjà fait le gros du travail d'analyse et a ensuite publié ses conclusions sur le web. Autre aspect important : les produits des fabricants d'une gamme donnée seront inévitablement optimisés au fil du temps de sorte que le matériel peut changer, à commencer par le MCU, ce qui les rendra plus difficiles (ou plus intéressants) à modifier.

Partagez vos trouvailles !

Nous avons découvert que les trois prises sont très similaires. Une alimentation non isolée abaisse la tension du secteur pour alimenter un MCU avec Wi-Fi, qui commande un relais. Des variations de mise en œuvre existent, par ex. pour la protection, la méthode de commande des LED ou l'ajout d'un CI de mesure intelligent. Même si la TRÅDFRI d'IKEA ne fait ici qu'une courte apparition, je peux affirmer que sa conception n'a rien de particulier.

La dissection de ces prises a été très instructive pour moi. J'ai désormais une bonne idée des concepts de sécurité utilisés et de la façon dont les « optimisations » réduisent les coûts, un critère essentiel dans la conception de produits « grand public ». Je pourrai mettre à profit ces connaissances pour évaluer d'autres produits et m'inspirer des circuits pour des projets futurs.



PRODUITS

- > **Livre en anglais « Getting Started with ESPHome », Koen Vervloesem, Elektor 2021**
www.elektor.fr/19738
- > **Module CH340G - convertisseur USB/TTL (3,3 V/5,5 V)**
www.elektor.fr/19151
- > **OW18B - multimètre numérique avec Bluetooth de OWON**
www.elektor.fr/18777

Si vous avez déjà tripatouillé des prises intelligentes, partagez vos expériences, bonnes ou mauvaises, avec nous. La découverte d'originalités ou de conceptions inédites sera appréciée et peut aider les autres. 

220170-04 – VF : Yves Georges

Des questions, des commentaires ?

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



LIENS (tous en anglais)

- [1] Trousse à outils d'iFixit : www.elektor.fr/ifixit-pro-tech-toolkit
- [2] MP4050A : www.monolithicpower.com/en/mp4050a.html
- [3] LNK302 de Power Integrations : www.power.com/products/linkswitch/linkswitch-tn/lnk302dg
- [4] BL0937 : <https://bit.ly/37KY7Uo>
- [5] ESPHome : <https://esphome.io/>
- [6] Tasmota : <https://tasmota.github.io/docs/>
- [7] MP2565 : www.monolithicpower.com/en/mp2565.html
- [8] RTL8720CF : <https://bit.ly/3DbrJ8Z>
- [9] RTL872xD : <https://bit.ly/3JESUf2>
- [10] AUPO A1-1A-F : www.tme.eu/en/details/a1-1a-f/thermal-fuses/aupo/
- [11] N. Statt, « Nest is permanently disabling the Revolv smart home hub », The Verge, 04/04/2016 : <https://bit.ly/3ICGi6O>
- [12] Tuya Convert : <https://tasmota.github.io/docs/Tuya-Convert>
- [13] Tasmotizer : <https://github.com/tasmota/tasmotizer>
- [14] Installation OTA d'ESPHome : <https://bit.ly/3Jllps9>

impédance et capacité de la peau

Petites expériences

Burkhard Kainka (Allemagne)

Qu'y a-t-il de commun entre les condensateurs et des fils plongés dans de l'eau ou des doigts effleurant une surface métallique ? Pas mal de choses, c'est ce que l'auteur a découvert avec ses expériences et mesures. Toute une série d'applications intéressantes utilise l'impédance de la peau.

J'ai jadis rencontré des effets étranges avec des fils dans de l'eau ou des doigts effleurant une surface métallique. À l'époque, je voulais mesurer l'humidité du bois en y vissant des électrodes en inox. Malheureusement, les propriétés de ces contacts changeaient vite, et le courant diminuait. Une charge pouvait s'accumuler sur les contacts, et je pouvais même mesurer une tension durant quelques secondes après déconnexion de l'alimentation. Je décidai d'appeler cela une *batterie en bois*. Bien plus tard, je compris qu'une double couche de molécules d'eau formant un condensateur à double couche était en cause. J'ai éclairci ce mystère grâce à d'autres mesures.

Mesure de l'impédance de la peau

Les mesures débutèrent avec la mise au point d'un conductimètre à μ contrôleur pour la peau humaine (**fig. 1**) qui fut finalement utilisé comme détecteur de mensonges. J'ai

mesuré avec un signal alternatif ou, plus exactement, une courte impulsion positive suivie d'une impulsion négative de même durée. Les mesures de conductivité furent étonnamment basses. Un multimètre standard indique une résistance d'environ 1 M Ω entre les deux électrodes de contact, mais l'instrument à μ contrôleur donne autour de 10 k Ω . Une rapide recherche en ligne sur ce sujet vous convaincra que l'impédance de la peau dépend de la fréquence. La conductivité augmente avec la fréquence. De plus, l'impédance diminue si la tension augmente. Il y a plusieurs raisons d'effectuer de telles recherches. Il fut un temps où il s'agissait d'étudier les dangers de l'électricité. Les chercheurs mesurèrent l'intensité du courant pouvant circuler dans le corps humain dans diverses conditions. Cela révéla que l'impédance entre les deux mains du corps ne fait que quelques milliers d'ohms, et que celle de la peau prédomine. Sous une tension alternative élevée, la résistance de contact

devient très faible et l'impédance interne est prépondérante. Les commotions électriques sont donc plus dangereuses que la mesure à l'ohmmètre pourrait le faire croire.

L'autre axe de ces recherches concerne le domaine médical. L'objectif est d'étudier le fonctionnement des électrodes d'ECG ou ce

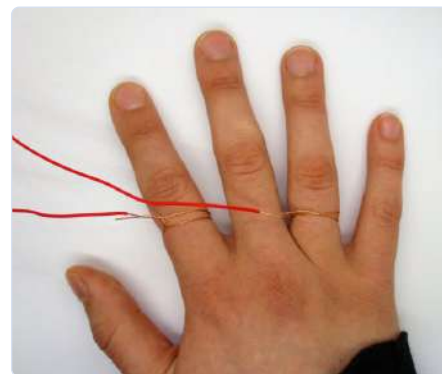


Figure 1. Mesure d'impédance de la peau.

qu'on peut déduire de l'impédance corporelle. Ces investigations montrent que la résistance de contact peut changer au cours de l'expérience et être influencée par une solution saline. Globalement on voit que la peau est un organe très complexe.

Un circuit équivalent à la peau

Ce que l'électronicien, amateur ou non, souhaite en fait, c'est un circuit équivalent utilisable pour les petits signaux. Jusqu'à présent, on admettait qu'une résistance de l'ordre de 100 k Ω à 1 M Ω faisait l'affaire, mais cela ne semble vrai que pour les faibles tensions CC jusqu'à 9 V environ. Le comportement de la peau est différent en CA. Pour l'étudier, j'allumai mon générateur d'ondes sinusoïdales et réalisai un diviseur de tension avec deux doigts de ma main et une résistance fixe de 10 k Ω .

Les mesures sous faible tension autour de 1 V (**fig. 2**) montrent que le courant est une sinusoïde sans distorsion notable (**fig. 3**). La forte dépendance en fréquence est également confirmée. Entre 1 kHz et 10 kHz, l'impédance chute d'un facteur 10 environ. Ma main avec ses deux électrodes en fil se comporte à peu près comme un condensateur. La comparaison avec différents condensateurs de mon stock démontra une capacité équivalente de 3,3 nF.

Le processus de mesure peut être globalement simplifié avec un signal carré (**fig. 4**). À cet effet, j'utilisai le signal de test de l'oscilloscope : 0V/0V2 1kHz. Il ne s'agit pas d'une tension CA, mais d'une tension CC pulsée. Elle fait 0 V pendant 0,5 ms, puis 0,2 V pendant 0,5 ms. Ce signal peut être vu comme une tension continue de 0,1 V à laquelle on superpose un signal carré de 0,1 V d'amplitude crête.

Le résultat est la forme type d'onde d'impulsion d'un filtre passe-haut RC (**fig. 5**). La composante continue du signal de mesure prouve que la conductivité continue est insignifiante, sinon le signal de sortie serait sensiblement décalé dans la région des impulsions. Cela confirme aussi que la peau avec deux électrodes filaires se comporte comme un condensateur de quelques nanofarads. En parallèle, il y a une résistance élevée d'environ 1 M Ω .

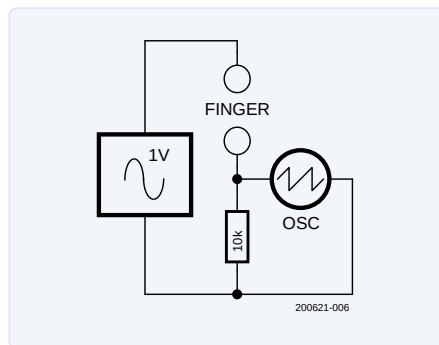


Figure 2. Mesure en signaux CA.

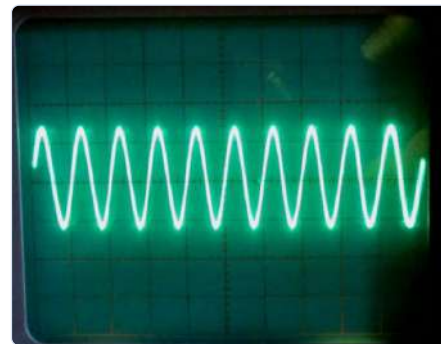


Figure 3. Tension aux bornes de la résistance.

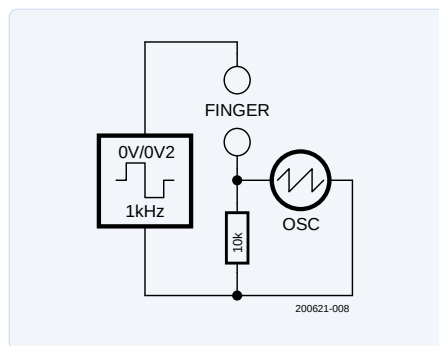


Figure 4. Mesure en signaux carrés.



Figure 5. Forme d'onde identique à celle d'un filtre passe-haut.

Une explication

La capacité de plusieurs nanofarads malgré la très faible surface de contact des fils m'a fait penser que le condensateur réellement formé ici est à double couche. L'humidité de la peau produit un film d'eau sur la surface métallique. Une double couche de molécules d'eau polarisées se forme à l'interface. Le principe serait exactement le même que celui d'un supercondensateur dont le revêtement de graphite fournit une interface particulièrement grande. Deux fils de cuivre dans de l'eau pure peuvent former ce type de condensateur (**fig. 6**). Le circuit de mesure reste le même. Pour obtenir des résultats comparables, les fils ne doivent être immergés que d'environ 1 mm dans l'eau. Les mesures (**fig. 7** et **fig. 8**) montrent que la capacité du verre d'eau à deux électrodes est supérieure à celle de ma main. La forme



Figure 6. Montage expérimental pour un condensateur à double couche.

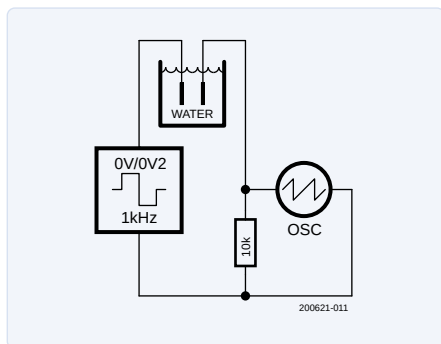


Figure 7. Condensateur à eau avec signal carré appliqué.

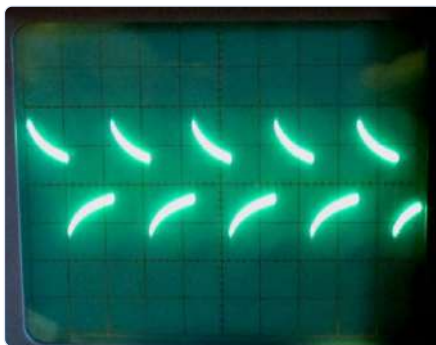


Figure 8. Signal de sortie du réseau RC eau.

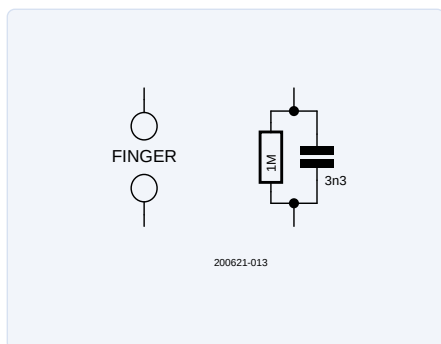


Figure 9. Circuit équivalent simplifié.

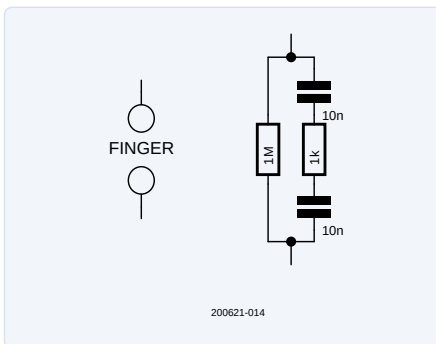


Figure 10. Circuit équivalent plus complet.

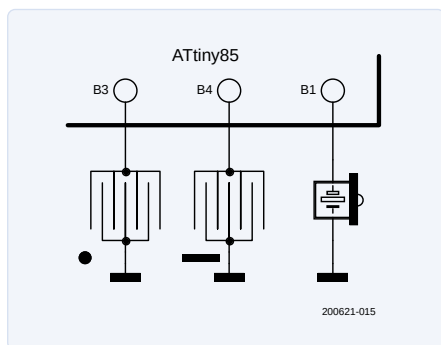


Figure 11. Clé Morse automatique à capteurs tactiles.

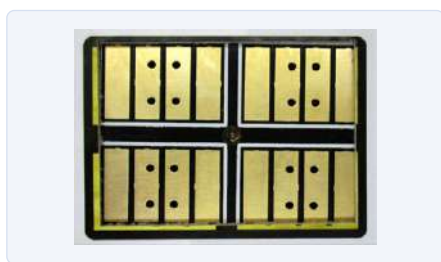


Figure 12. Contacts tactiles.

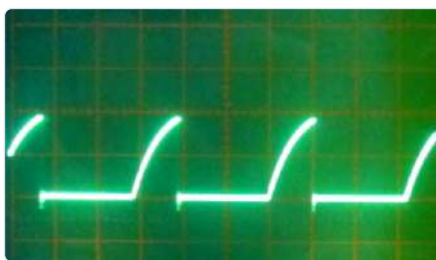


Figure 13. Signal sur le port B3.

sûr directement de la surface de contact, du taux d'humidité instantané de la peau et de la pression de contact.

En examinant de plus près ce condensateur, nous voyons qu'en fait il y en a deux. Le diélectrique de ces condensateurs est la fine couche d'eau entre la peau et l'électrode métallique. À cela s'ajoute l'impédance interne du corps, par ex. celle qui existe entre deux doigts. Au total, le circuit équivalent est donc plus complexe (**fig. 10**). L'impédance interne est difficile à déterminer, et pour des raisons de simplicité, on suppose qu'elle est d'1 kΩ. Quand la fréquence augmente, l'impédance du condensateur de peau diminue. L'impédance interne devient alors prépondérante. Je l'ai appris à mes dépens avec des expériences douloureuses dans le domaine de la radio amateur : toucher accidentellement le connecteur de sortie d'un émetteur à ondes courtes ne produit pas de commotion électrique, mais une brûlure au doigt. Cette brûlure est cependant tout à fait différente de celle causée par le contact avec un fer à souder chaud : il ne se forme pas de cloque, et la sensation est très différente. L'échauffement se produit clairement sous l'épiderme, dans les tissus cutanés plus profonds à conductivité plus élevée, en particulier là où la densité de courant est la plus forte.

Application : capteur tactile

Une clé Morse automatique à capteurs tactiles est une application possible du condensateur de doigt. J'ai utilisé un microcontrôleur ATtiny85 (**fig. 11**) et deux capteurs tactiles d'une radio FM (**fig. 12**). Dans la radio, des transistors amplifiaient le courant des capteurs, c'est donc la résistance de la peau qui était détectée. L'inconvénient est qu'un encrassement peut entraîner des dysfonctionnements.

Une méthode de détection dans laquelle le microcontrôleur mesure le temps de charge du condensateur formé par le doigt est nettement plus fiable (voir le **listage 1**). À cet effet, un port (B3, B4) est d'abord configuré en sortie et commuté à l'état bas pour décharger le condensateur. Ensuite, il est mis à l'état haute impédance et la résistance de polarisation interne (environ 50 kΩ) est activée. Le



Listage 1. Clé Morse.

```

' ELbug avec capteurs tactiles

$regfile = "attiny85.dat"
$crystal = 8000000
$hwstack = 8
$swstack = 4
$framesize = 4
dim n as byte

ddrB = &B00011010
Portb = 0

Do
  DDRB.3 = 0          ' B3 hte impédance
  Portb.3 = 1          ' pullup
  waitus 10
  if PINB.3 = 0 then   ' tjrs bas après 10 µs ?
    portb.3 = 0
    ddrb.3 = 1
    for n = 1 to 50    ' sortir point
      PortB.1 = 1
      waitms 1
      portb.1 = 0
      waitms 1
    next n
  end if
  next n
  waitms 100
end if
portb.3=0              ' décharge B3
ddrb.3 = 1

  DDRB.4 = 0          ' B4 hte impédance
  Portb.4 = 1          ' pullup
  waitus 10
  if PINB.4 = 0 then   ' tjrs bas après 10 µs ?
    portb.4 = 0
    ddrb.4 = 1
    for n = 1 to 150   ' sortir tiret
      PortB.1 = 1
      waitms 1
      portb.1 = 0
      waitms 1
    next n
    waitms 100
  end if
  portb.4=0            ' décharge B4
  ddrb.4 = 1
  waitus 10
Loop
End

```

condensateur du capteur commence alors à se charger. Le point critique est le moment où la tension du port franchit le seuil d'environ $0,5 V_{CC}$. Pour notre tâche, il suffit d'attendre $10 \mu s$, puis de lire l'état du port. Si un état bas est détecté à ce moment-là, la touche est considérée comme enfoncée. Et un signal rectangulaire servant de tonalité de retour est envoyé au haut-parleur piézoélectrique connecté à B0. La **figure 13** illustre le cas d'un effleurement trop léger. Dans ce cas, les impulsions montent à 4 V en $10 \mu s$, on considère donc que la touche n'est pas enfoncée. Dans le numéro hors-série d'*Elektor* qui paraîtra cet été, je présenterai deux applications : le condensateur à doigts et l'orgue à deux doigts. D'ici là, je vous souhaite beaucoup de plaisir avec vos propres expériences ! 

200621-04 - VF : Yves Georges

Des questions, des commentaires ?

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



PRODUITS

- Livre « L'électronique pour les débutants », R. Mallard, Elektor, ISBN 978-2-86661-186-6 www.elektor.fr/15662





sur le vif

Nul n'est prophète en son pays

Ilse Joostens (Belgique)

Quand j'étais adolescente, un de mes passe-temps favoris consistait à construire des amplis audio et autres trucs disco typiques de l'époque. L'occasion pour moi de découvrir les alimentations et instruments de mesure traditionnels. Un chemin somme toute classique. Bien des années plus tard, devenue travailleuse indépendante, je décidai de sortir des sentiers battus et de me concentrer sur des produits de niche à composants vintage, comme les horloges à tubes Nixie (par ailleurs toujours aussi populaires). L'offre était assez limitée et uniquement couverte par quelques revendeurs étrangers. L'occasion pour moi de conquérir le marché belge. Sauf que, comme je le réaliserais plus tard, il n'existait tout simplement pas de marché belge pour ce genre de produits. C'est ainsi que je me suis retrouvé à la tête d'une micro-multinationale belge ayant des clients partout dans le monde, sauf en Belgique.

On attrape plus de mouches avec du miel qu'avec du vinaigre

Parce que la technologie y jouait un rôle central, j'adorais la bande dessinée flamande *Piet Pienter en Bert Bibber*. Son auteur, Jozef Van Hove, alias Pom, connaissait son sujet puisqu'il avait été ingénieur chez le fabricant *Blaupunkt* durant la Seconde Guerre mondiale. Si je me souviens bien, c'est dans cette BD qu'il fait dire à un de ses personnages : « On attrape plus de mouches avec du miel qu'avec du vinaigre. » Comprenez : il est possible de réussir dans un pays étranger pour peu que l'on fasse montre d'un minimum de politesse, d'une attitude professionnelle et d'honnêteté.

En 2012, notre gamme de produits à technologie vintage était bien étoffée et nous figurions parmi les premiers à proposer des boîtiers et des cartes d'extension pour le nano-ordinateur Raspberry Pi. Notre site web était disponible en néerlandais et en anglais, et nos produits pouvaient être achetés depuis notre propre boutique en ligne ou depuis eBay. Pourtant, malgré cela, aucune commande venant de Belgique... Garder à jour un site bilingue représente un travail considérable, aussi avons-nous décidé un jour de n'en garder que l'anglais. Depuis, nous avons vendu nos produits dans plus de 25 pays, certains aussi éloignés que l'Australie, le Japon et Hong Kong. Ces ventes nous ont aussi permis de nouer diverses collaborations et liens d'ami-

tié. Pour ce qui est de la Belgique, l'histoire est hélas tout autre. Nous n'y comptons qu'une vingtaine de clients, principalement des connaissances et de la famille. Pire, toute coopération avec les Belges semble impossible. Pourquoi ? Nous n'avons trouvé aucune réelle explication. Est-ce dû au retard que la Belgique a pris dans de nombreux domaines par rapport à ses voisins ? Les Belges pensent-ils que leurs produits sont moins bons ou plus chers que ceux de l'étranger ? Ont-ils peur de l'inconnu ? Sont-ils envieux ? Technophobes ? Qui sait. Notez que je ne suis pas la seule à me plaindre. Un célèbre chocolatier belge, fournisseur de la Cour royale, a évoqué ce phénomène dans le quotidien *De Tijd* [1]. Le fait est que depuis que nous collaborons avec Elektor, nos produits ont comme par magie trouvé le chemin menant des Pays-Bas à la Belgique. La réaction de surprise d'un de nos rares clients belges vis-à-vis de notre activité est à cet égard typique : il trouvait fascinant que nous concevions des cartes d'extension et des boîtiers pour le Raspberry Pi, mais il ne comprenait pas qu'une entreprise ait eu l'idée de le faire en Belgique. C'était si contraire à sa vision des choses qu'il nous suggéra de déménager à l'étranger pour favoriser notre déploiement.

L'effet pôle Sud

Chaque client est précieux, et qu'il habite Tombouctou ou la maison d'à côté ne devrait en principe faire aucune différence. Cette vision idyllique oublie la réalité, à savoir les services postaux, les douanes et la rigidité de l'administration fiscale. Chez nous les tarifs postaux s'envolent dès qu'une frontière est franchie. Envoyer un petit colis à quelques kilomètres de nos frontières revient presque aussi cher que de l'envoyer aux États-Unis. Les clients sont attentifs aux frais d'envoi, et pour lutter contre la concurrence nous n'avons souvent d'autre choix que de prendre en charge une partie de ces frais – au détri-



Photo : Jeremy Walter, Shutterstock.

ment de notre marge bénéficiaire. Les expéditions hors de l'Europe sont aussi synonymes de formalités douanières, comme le notoire formulaire CN23 et la « facture commerciale ». Même s'il y a pire en matière de complexité administrative (quoique la liste des codes TARIC me frise parfois bien des neurones), toutes ces formalités prennent du temps, un temps que je préférerais occuper à d'autres tâches. Ajoutez à ces tracasseries le refus de l'administration fiscale de prendre en compte nos appels téléphoniques passés à l'international en dehors des heures de bureau. La raison ? Ce ne seraient pas des appels professionnels. Oh mon Dieu, ces gens-là ont-ils déjà franchi un fuseau horaire ?

En Antarctique, où comme en Belgique il n'existe aucun marché local, tout doit être acheté et vendu à l'étranger. C'est ce qu'on appelle l'effet Pôle Sud. Évitez ce genre d'endroit pour le bien de votre business. Oubliez aussi le pôle Nord, il est en train de fondre et de toute façon vous n'y survivriez pas. Ici, la situation n'est pas encore si grave. ◀

220198-04 – VF : Hervé Moreau

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

LIEN

[1] Article « Proud Mary » : www.tijd.be/cultuur/gastronomie/Proud-Mary/9491697

prise en main du Pokit Meter

Couteau suisse pour la mesure



Thomas Scherer

Outil compact, le Pokit Meter cumule les fonctions de multimètre, d'oscilloscope, d'analyseur de spectre et d'enregistreur de données. Il se connecte à un smartphone ou une tablette par Bluetooth pour disposer d'une interface graphique. Le concept est novateur, mais que peut réellement faire cet appareil et avec quelle efficacité ?

Cela faisait un certain temps que je cherchais un appareil d'enregistrement de données assez simple. Lorsque j'ai lu les spécifications du Pokit Meter, j'ai eu l'impression qu'il pouvait faire l'affaire. Le design semblait plutôt original et intéressant. Il n'a donc pas fallu longtemps pour que la petite boîte en carton (**fig. 1**) se retrouve sur la paillasse de mon labo.

Les symboles figurant à l'extérieur de la boîte (**fig. 2**) indiquent les fonctions de l'appareil à l'intérieur. L'image de la **figure 2c** illustre le contenu livré.

Le palet de 48 mm de diamètre et de 18 mm d'épaisseur, représenté sur la **figure 1**, est le

Pokit Meter, dont Elektor a fait état pour la première fois en 2019. Les sondes de préhension de couleur rouge et noire sont à gauche et à droite. En haut à droite se trouve un petit fusible de rechange (**fig. 3**). Ce minuscule composant à montage en surface est en effet un fusible monté sur un circuit imprimé de taille réduite. Certaines versions de l'emballage comprennent



Figure 1. Le Pokit Meter dans son emballage.

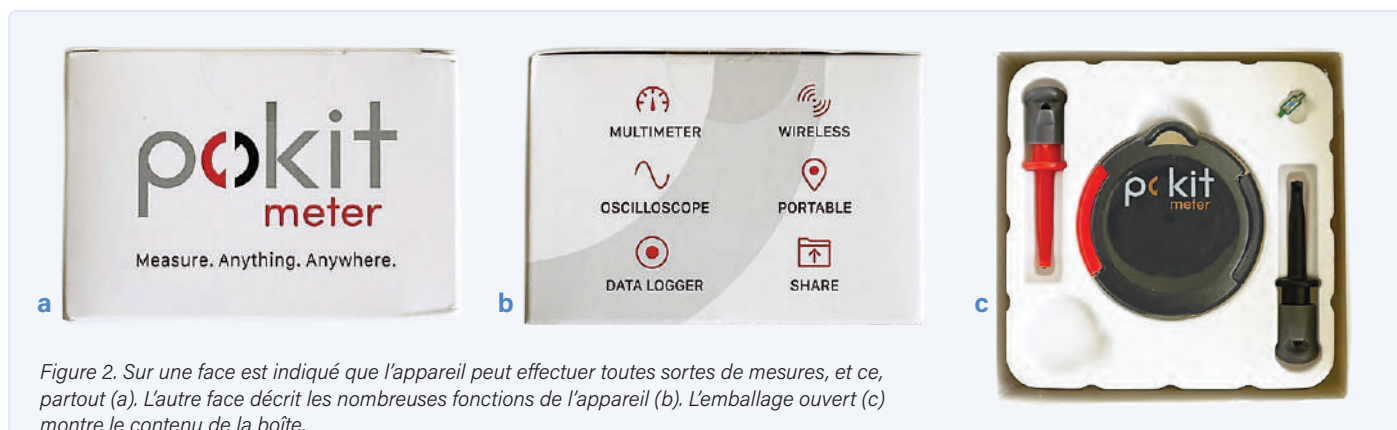


Figure 2. Sur une face est indiqué que l'appareil peut effectuer toutes sortes de mesures, et ce, partout (a). L'autre face décrit les nombreuses fonctions de l'appareil (b). L'emballage ouvert (c) montre le contenu de la boîte.

une section extractible qui maintient le fusible en toute sécurité et permet de le ranger dans un des logements de la pochette de transport. Je l'ai complètement détaché et l'ai collé à la feuille d'instructions pour qu'il ne se perde pas.

Prise en main du Pokit Meter

La **figure 4** montre tous les éléments présentés sur la paillasse. Une pochette de transport zippée permet de ranger le Pokit Meter, le fusible de rechange et les sondes de préhension. La fiche d'informations de 8 × 22 cm énumère les informations techniques de base de l'appareil et nous informe que l'appli correspondante, « pokitMeter », peut être téléchargée pour les smartphones ou tablettes fonctionnant sous Android ou iOS depuis le Play Store

ou l'App Store. Elle donne également des informations sur la batterie et indique que le fusible est placé au-dessous de celle-ci. Un lien vers le fabricant ou un QR code aurait été utile ici. Sur la page d'accueil du fabricant, Pokit Innovations, il n'y a guère d'autres informations, hormis un lien vers un forum. Au moins, je sais maintenant que cet appareil de mesure a été financé par une campagne de financement participatif réussie, que j'ai la version noire parmi les quatre couleurs disponibles et qu'il y aura bientôt une version Pokit Pro et une appli Smartwatch. Les fils rétractables du Pokit meter se terminent par des pointes de sonde en forme d'aiguille, utilisables directement pour sonder un circuit ou se brancher sur l'une des pinces à ressort fournies. Les fils sont extensibles (**fig. 5**) jusqu'à

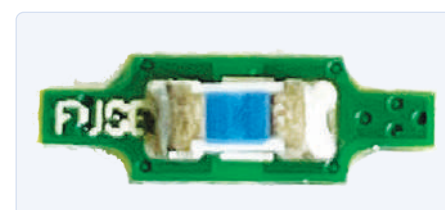


Figure 3. Gardez-le en sécurité. Le minuscule fusible CMS de rechange sur son mini-circuit imprimé.

une portée maximale d'environ 56 cm entre les sondes des pinces. Le bouton situé au bas du palet permet de rétracter les fils, tout comme le cordon d'alimentation de certains aspirateurs. Globalement, la construction de cet appareil a été très bien pensée.



Figure 4. Le contenu est disposé sur la paillasse.



Figure 5. Avec ses deux fils étendus, le Pokit est prêt à effectuer des mesures.

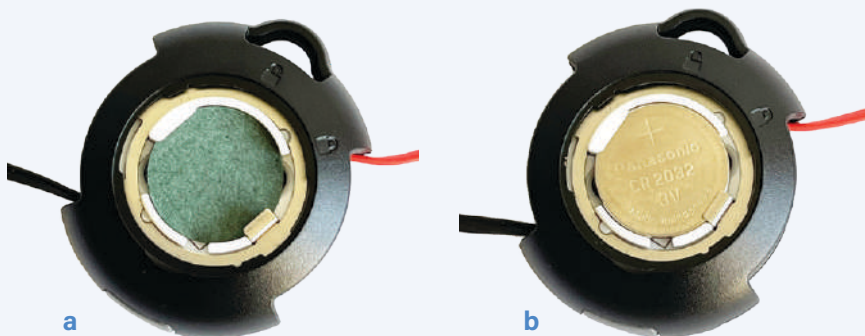
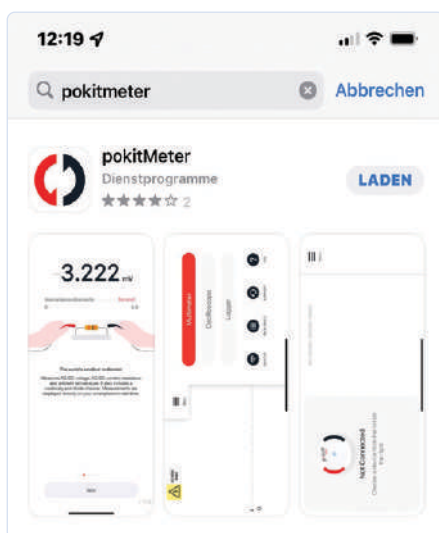


Figure 6. N'oubliez pas de retirer l'isolant vert en papier ciré (a) sous la pile bouton. Et remettez-la en place (b).



Selon la notice d'utilisation, il faut installer une pile bouton au lithium de type CR2032, mais la mienne était déjà installée. Il a suffi de l'extraire et de retirer le mince disque isolant vert en papier ciré sous la pile (fig. 6). Une fois la pile remise en place, nous pouvons aller sur le Play Store ou l'App Store pour trouver et installer l'appli « pokitMeter » (fig. 7) sur notre smartphone. Curieusement, l'image affichée sur la page de l'appli montre un exemple de mesure de « 3,222 mV », mais l'appli n'affiche en fait qu'une mesure avec deux décimales.

Figure 7. L'appli pokitMeter dans l'App Store d'Apple. Ici, les valeurs mesurées affichées ont trois décimales.

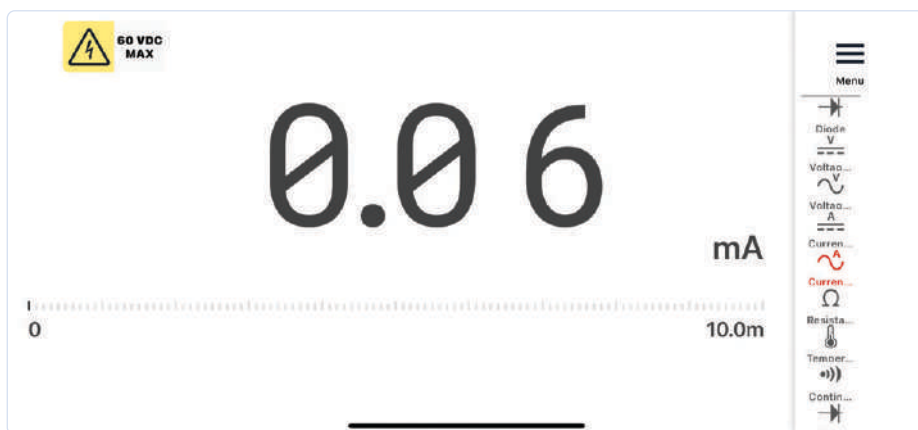


Figure 8. Dans la version 1.2 du micrologiciel, l'affichage ne passe pas à zéro pour le courant alternatif. En haut à gauche, l'avertissement pour les tensions supérieures à 60 V. Erreur d'affichage : à droite, on peut voir que le bord inférieur de toutes les étiquettes de sélection d'échelle est tronqué.

À partir de là, les surprises ont été plus rares. Une fois l'appli lancée, il est possible de se connecter au Pokit Meter et d'interagir avec lui via la liaison Bluetooth. La première chose que j'ai remarquée, c'est que l'écran reste toujours au format paysage, quelle que soit la façon de tourner le téléphone. C'est logique pour l'affichage des formes d'onde, mais pour l'option multimètre au moins, je préférerais le format portrait ; il est plus facile de tenir un téléphone ainsi orienté d'une seule main, et c'est presque universel pour les multimètres classiques.

Le flottement persiste

Lors de la première utilisation, j'ai remarqué que lorsqu'il est utilisé comme multimètre, dans certaines plages de mesure, ni les bornes ouvertes ni les bornes court-circuitées ne produisent une lecture claire du zéro. La figure 8 montre l'écran de mesure de courants alternatifs où l'afficheur indique 60 μA avec des bornes ouvertes. Il semble que le réglage du zéro soit un peu défectueux lorsque l'on change de plage de mesure. L'appareil mesure cependant correctement les autres valeurs. En ce qui concerne les capacités de mesure de cet appareil : le Pokit Meter peut enregistrer la « valeur efficace vraie » des tensions alternatives et des courants alternatifs, ce qui est très appréciable. Après des mesures comparatives avec des multimètres étalonnés, je peux confirmer que cette affirmation est effectivement vraie !

En expérimentant un peu, j'ai constaté qu'en passant du mode « test de continuité » à un autre mode, le signal sonore (lorsque les bornes sont court-circuitées) n'était souvent pas désactivé. Il fallait alors sélectionner l'autre mode une seconde fois, puis le silence se faisait et tout rentrait dans l'ordre. Il ne s'agit donc pas d'un problème majeur, mais simplement d'une négligence ennuyeuse qui se trouve quelque part dans le code.

Le réglage automatique est le paramètre par défaut du mode multimètre, mais vous pouvez également sélectionner manuellement la plage de mesure. En mode oscilloscope, l'interface graphique souffre parfois d'erreurs de redécoupage. La vue de la figure 9 montre que l'indicateur de base de temps sélectionné est parfois difficilement lisible.

Contrairement à un oscilloscope classique, celui du Pokit meter se comporte comme un oscillo de stockage numérique à action

unique, déclenché en appuyant sur le bouton blanc, à droite de l'écran. La trace n'est pas libre et est continuellement réécrite à l'écran (ou ne défile pas horizontalement). Ce mode de fonctionnement serait satisfaisant en tant qu'option, mais c'est le seul. D'où une utilité limitée en tant qu'oscilloscope. La version Pokit Pro, plus chère, est encore en cours de développement, mais pourra fonctionner en mode oscillo classique. Par ailleurs, vous pouvez placer un curseur sur la forme d'onde affichée en touchant l'interface (fig. 10). L'amplitude mesurée s'affiche – de manière intéressante, avec une résolution à trois décimales. Il est également possible de positionner un deuxième curseur. Les deux devraient pouvoir être déplacés horizontalement avec le doigt sur la forme d'onde, mais je n'ai pas réussi à le faire fonctionner. Un autre bogue ?

À ce stade, une demande de mise à jour est apparue. En vérifiant mon unité, j'ai découvert que j'utilisais la version 1.6 du matériel avec la version 1.2 du micrologiciel. La mise à jour proposait la version 1.5 du micrologiciel, que j'ai acceptée. Après la mise à jour, le bogue de redécoupage a disparu et le curseur peut maintenant être déplacé comme prévu. C'était rassurant de savoir que la maintenance du logiciel est en cours. La nouvelle version n'a pas résolu le problème des bips, mais le défaut semble maintenant se produire moins souvent lors du passage d'une gamme à l'autre.

Précision et incohérences des mesures

Le Pokit Meter devrait être capable de mesurer des tensions et des courants avec une précision de 1 % – qu'il s'agisse de niveaux alternatifs ou continus. J'ai pu le confirmer en effectuant des mesures comparatives. Pour 1 V= et 5 V=, l'erreur était $\leq 0,2\%$ dans les deux cas, et pour 12 V=, elle était même inférieure à 0,1 %. Les lectures de courants sont également restées aux alentours de 0,2 % d'erreur. J'ai mesuré la réponse en fréquence aux signaux alternatifs. Dans la gamme jusqu'à 500 Hz, l'erreur était inférieure à 1 %. À 5 kHz, par contre, elle est passée à environ 5 %. Les mesures dans la gamme supérieure de la bande de fréquences audio ne sont pas vraiment fiables, mais ce n'est pas un inconvénient particulier du Pokit Meter. On ne peut s'attendre à des valeurs plus cohérentes qu'avec des appareils de mesure

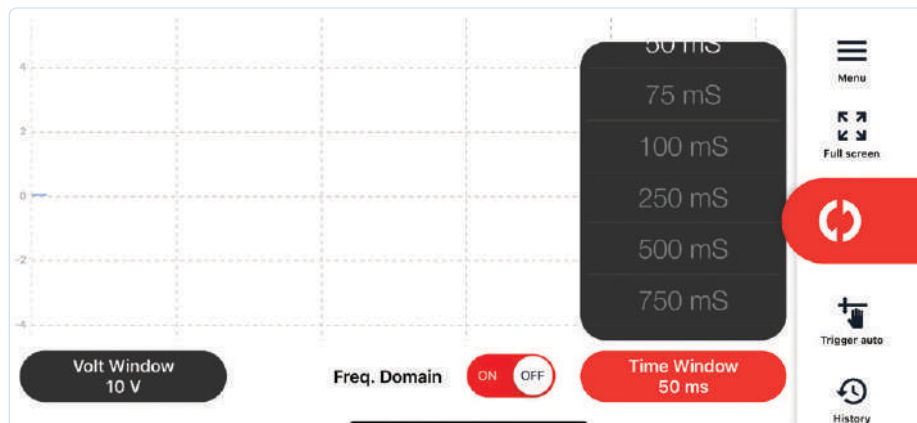


Figure 9. Il se produit parfois des erreurs d'affichage lors de la sélection de la base de temps de l'oscilloscope.

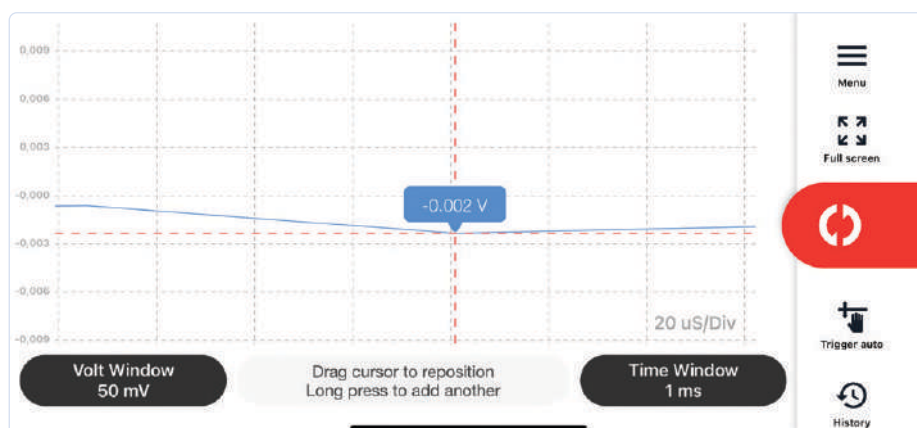


Figure 10. La version 1.5 du micrologiciel permet l'utilisation des curseurs.

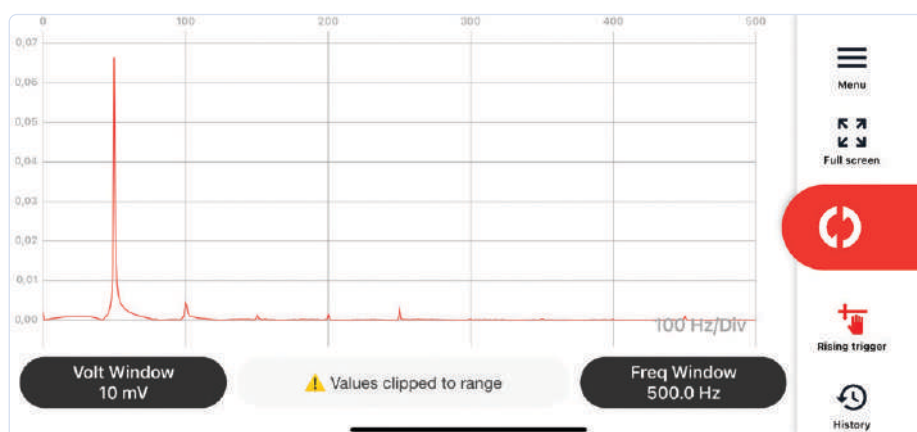


Figure 11. Spectre de ronflement du secteur capté par mon index. On peut voir les harmoniques pour des multiples entiers de 50 Hz. Un avertissement indique qu'une valeur a été écrêtée, mais où ?

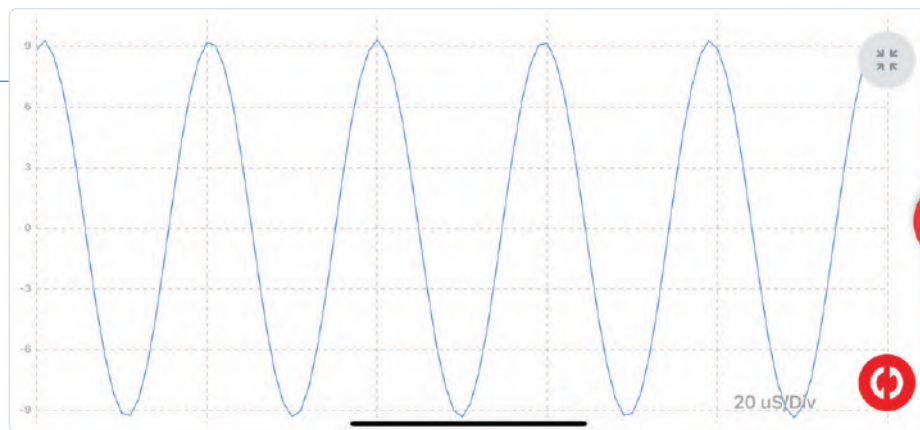


Figure 12. L'affichage d'une onde sinusoïdale de 50 kHz est acceptable à un taux d'échantillonnage de 1 Méc/s. L'affichage est passé en mode plein écran, de sorte qu'aucune des commandes n'est visible.

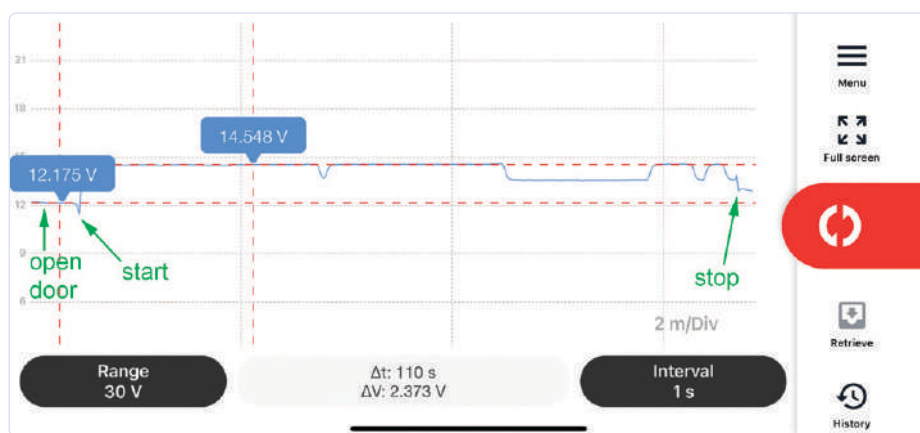


Figure 13. Tracé de l'enregistreur de données. Sept minutes de la vie de la batterie de ma voiture, échantillonnées seconde par seconde.

plus professionnels au-delà de 1.000 €. Dans l'ensemble, j'ai été assez impressionné par la précision des mesures du Pokit Meter. Je peux accepter que l'appareil ne dispose pas des nombreuses fonctions d'un « véritable oscilloscope » qui auraient pu être implémentées dans un logiciel sans coût supplémentaire. On ne peut pas vraiment attendre davantage d'un appareil dans cette gamme de prix. La fonction d'analyseur de spectre (fig. 11) est également assez rudimentaire et constitue un complément. Comme je l'ai mentionné, la fonction qui m'intéresse particulièrement est l'enregistreur de données. Les spécifications techniques du matériel indiquent la possibilité d'enregistrer 8.000 mesures. Cela ne semble pas très généreux, mais les intervalles de mesure peuvent être réglés sur : 1/2/3/4/5/10/30 s et 1/5/10 mn et 1 h. Si l'on analyse les chiffres, cela donne une durée maximale allant de 8.000 s = 2:13:20 h:m:s (à une fréquence d'échantillonnage d'une seconde) à 8.000 h,

soit un peu plus de 333 j (c'est-à-dire environ 11 mois). Les documents du Pokit Meter suggèrent que la durée d'enregistrement avec une fréquence de 1 s est plus courte, c'est-à-dire 103 mn (= 6.180 s), et avec une fréquence de 1 h seulement 8 mois ($\approx$ 5.850 h). Les spécifications techniques du site web indiquent un fonctionnement « jusqu'à 6 mois », ce qui est très probablement le résultat de la durée de vie maximale de 6 mois de la batterie. Une plus grande cohérence dans la documentation inspirerait certainement davantage de confiance. Toujours dans l'e-choppe Elektor, nous avons correctement identifié le convertisseur A/N à 12 bits du Pokit Meter, alors que la page intégrée dans l'appli sous « TECH SPECS » suggère qu'il est à 14 bits – ce qui n'est absolument pas le cas. Cette page contient également quelques autres anomalies comme l'intervalle d'échantillonnage de l'enregistreur de données sélectionnable dans la plage « 1 s – 1 jour » et la durée

maximale d'enregistrement est de « 1 an (à 6 h/échantillon) » – rien de tout cela n'est correct. Quoi qu'il en soit, la durée de vie de six mois de la batterie mettrait certainement un terme au processus.

La capture d'écran de la **figure 12** montre la forme d'une onde sinusoïdale de 50 kHz avec le réglage de base de temps le plus rapide ; vous pouvez voir qu'au moins le taux d'échantillonnage spécifié de 1 Méc/s est correct. Cela signifie que la fonction oscilloscope est satisfaisante pour afficher des signaux dans l'ensemble du spectre audio. S'il s'agissait d'un « véritable oscilloscope », il devrait être au moins 10 fois plus rapide et disposer d'un certain nombre de fonctions de déclenchement supplémentaires ; avec le Pokit Meter, vous avez au moins dans votre poche un mini-oscilloscope enregistreur et vous pouvez surveiller sur le terrain les changements de tension ou de courant dans la gamme sub-HF, loin de toute alimentation électrique. C'est dans cet environnement qu'il excelle vraiment.

Pour le test, je voulais surveiller le niveau de tension de ma Prius, en roulant, directement sur la batterie de 12 V, toutes les secondes. Lors de ma première tentative, le Pokit Meter affichait des valeurs incorrectes (tension de la batterie de 7,5 V). La solution a été d'annuler et de recommencer l'enregistrement. La deuxième tentative a été couronnée de succès. Les valeurs enregistrées n'ont, là encore, pas été affichées en temps réel. Ce n'est qu'à la fin de la période d'enregistrement qu'il est possible de voir une forme d'onde constituée des valeurs enregistrées. Une fois de plus, ce n'est pas optimal et une vue en temps réel serait plus utile.

La **figure 13** montre le niveau de tension de la batterie de la voiture au cours des 7 mn de conduite sur un chemin de campagne. La tension fluctue entre 11,7 V et 14,55 V. Lors de la première connexion du Pokit Meter, la tension à bord était exactement de 12,23 V. Au début, on peut observer une légère baisse à 12,175 V en montant dans la voiture, car la pompe hydraulique se met en marche pour augmenter la pression des freins ; elle consomme jusqu'à 15 A pendant quelques secondes lorsque la porte du conducteur est ouverte. Au démarrage, la tension passe brièvement au-dessous de 12 V lorsque tous les circuits électriques sont activés, puis la batterie se recharge. Lorsque la batterie est

pleine, la charge est terminée et la tension de la batterie chute à près de 13,4 V. Même si la tension de fin de charge est un peu élevée à mon goût, la courbe de la **figure 13** est très instructive. L'enregistreur est parfaitement adapté pour révéler de telles informations et, de loin, assez précis.

Pokit Meter : une solution pratique

Avec quelques réserves sur l'interface graphique, j'ai trouvé que le Pokit Meter était tout à fait utilisable et valait bien son prix – un peu moins de 100 €. Les petites incohérences dans son fonctionnement sont ennuyeuses, mais on peut s'en accommoder. La version 1.5 de l'interface graphique est encore un peu bancal, mais le concept général est bon, et l'activité du fabricant relativement récente. Nous pouvons donc nous attendre à ce que le produit s'améliore au fur et à mesure des mises à jour. Je ne comprends pas pourquoi le bogue du bip n'a pas été résolu, du moins avec la version Apple de l'appli ; il aurait vraiment dû être remarqué. Et pourquoi n'est-il pas possible de régler la base de temps de l'oscilloscope à un minimum de 20 $\mu\text{s}/\text{div}$? Au final, 1 ms par écran = 200 ms/div. Les 20 μs par division horizontale ne peuvent être obtenues qu'en faisant un zoom arrière avec deux doigts. Le matériel en a la capacité, mais il n'est pas possible de configurer ce paramètre dans le micrologiciel.

La disposition physique de cet appareil a fait l'objet d'une grande attention afin de lui conférer une utilisation pratique. Ses dimensions sont juste à la limite de ce que l'on peut considérer comme discret et transportable dans une poche lorsque l'appareil est attaché à un trousseau de clés. Pour moi, la fonction d'enregistreur de données est idéale, et je suis sûr qu'en l'utilisant de plus en plus, j'apprécierai ses

autres capacités. Un peu plus d'espace de stockage serait positif, mais dans l'ensemble, je suis satisfait de ce qu'il peut faire. Je n'ai pas nécessairement besoin de taux d'échantillonnage plus élevés, car cela aurait probablement un impact important sur l'autonomie de la batterie. À mon avis, Pokit Innovations a fait beaucoup de choses satisfaisantes concernant le matériel, mais le micrologiciel me laisse l'impression d'une version bêta.

Est-ce que ce ne serait pas parce que j'attends avec impatience la version Pokit Pro ? Étonnamment, pas outre mesure, même si elle promet une capacité de visualisation en temps réel et le fonctionnement simultané de quatre unités sur un seul smartphone. Pour moi, le concept d'un porte-clés discret qui transforme votre smartphone en appareil de test sophistiqué est très attrayant.

Je suis convaincu que le Pokit Meter trouvera sa place dans ma collection de plus en plus étoffée d'appareils de test pour le laboratoire, et surtout, sur le terrain. Pour les étudiants et

les débutants, ses capacités sont si étendues qu'ils n'auront peut-être pas besoin d'acheter un autre appareil, au début, pour mesurer basses tensions et basses fréquences. 

210615-04

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Contributeurs

Idée, tests et texte : Thomas Scherer

Rédaction : Jens Nickel

Traduction : Pascal Godart

Mise en page : Giel Dols



PRODUITS

- Pokit Meter – multimètre, oscilloscope et enregistreur portable
www.elektor.fr/19854



LIENS

[1] Site de Pokit Innovations : www.pokitinnovations.com

[2] Pokit Meter dans la boutique Elektor : www.elektor.fr/19854

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 !

Mini-oscilloscope Miniware DS213 à 4 canaux (15 MHz)

Prix : 249,00 €

Prix (membres) : 224,10 €

 www.elektor.fr/20206



PiKVM v3 KVM over IP pour Raspberry Pi 4 (pré assemblé)

Prix : 319,00 €

Prix (membres) : 287,10 €

 www.elektor.fr/20199



PicoGo Mobile Robot
pour Raspberry Pi Pico de Waveshare



Prix : 67,95 €

Prix (membres) : 61,16 €

www.elektor.fr/20196

Station de soudage
Ersa i-CON NANO (80 W)

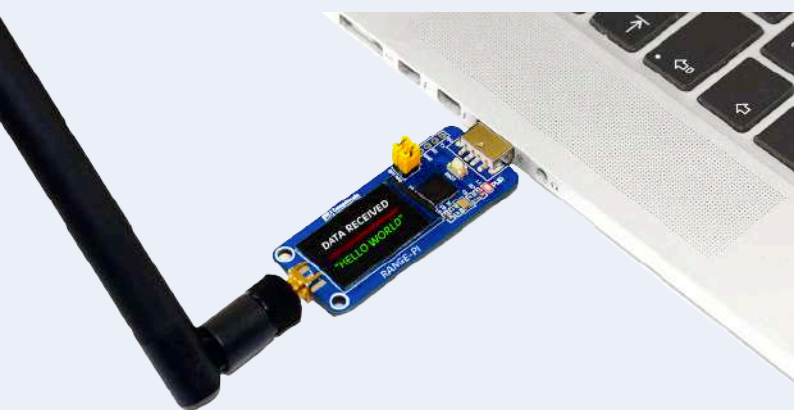


Prix : 329,00 €

Prix (membres) : 296,10 €

www.elektor.fr/20187

RangePi – clé USB LoRa
basée sur RP2040 (EU868)



Prix : 54,95 €

Prix (membres) : 49,46 €

www.elektor.fr/20156

Microscope
numérique portable
avec écran LCD 4"
Andonstar AD203



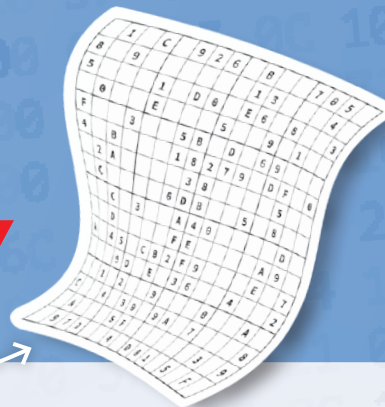
Prix : 69,95 €

Prix (membres) : 62,96 €

www.elektor.fr/20146

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 août 2022** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

LES GAGNANTS

La solution de la grille du numéro de mai/juin 2022 est **oFC3D**.

La liste des gagnants est publiée ici : www.elektormagazine.fr/hexadoku

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

	6			C			E	9		3	0	5			4
8	B								A		5	6		0	E
E	5					D	8					7			A
F						A	0			8				2	
		E					3		4	F		8	B		0
				6				E							3
		5	0	B	C		F			7		9			
		4	8	0		2		C		D		F	7	A	
	4	2	3		B		9		F		6	E	A		
			C		8			0		A	B	3	2		
B							A				4				
D		1	E		3	C		7					4		
	9				2			F	E						6
2			A					3	5					7	9
3	F		1	9		7								E	C
4			6	A	F		C	8			7			B	

C	D	7	9	1	6	3	A	5	F	4	E	B	2	8	0
4	6	A	B	D	5	E	7	0	8	3	2	1	C	F	9
2	5	8	0	F	4	9	C	7	6	B	1	A	D	E	3
E	F	1	3	8	0	2	B	A	9	C	D	7	4	5	6
D	E	B	5	2	7	F	6	4	1	0	8	9	A	3	C
8	0	3	A	E	9	1	5	6	2	F	C	D	B	4	7
1	2	C	4	A	8	B	0	D	3	7	9	F	5	6	E
F	7	9	6	3	C	4	D	B	A	E	5	8	0	1	2
3	1	D	E	4	A	7	2	8	5	9	B	0	6	C	F
0	4	F	C	5	D	6	8	2	7	A	3	E	1	9	B
A	B	2	8	9	E	0	1	C	D	6	F	5	3	7	4
5	9	6	7	B	F	C	3	E	0	1	4	2	8	D	A
6	8	E	2	0	1	A	4	F	C	D	7	3	9	B	5
7	A	0	F	C	3	D	9	1	B	5	6	4	E	2	8
9	C	5	D	7	B	8	E	3	4	2	A	6	F	0	1
B	3	4	1	6	2	5	F	9	E	8	0	C	7	A	D

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 les électroniciens de la communauté Elektor

Devenez membre



maintenant !



- ✓ accès à l'archive numérique depuis 1978 !
- ✓ 6x magazine imprimé Elektor
- ✓ 9x magazine numérique (PDF) dont Elektor Industry (EN)
- ✓ 10 % de remise dans l'e-choppe et des offres exclusives pour les membres
- ✓ le DVD annuel d'Elektor
- ✓ accès à plus de 1000 fichiers Gerber, collaboration avec les milliers d'électroniciens d'Elektor LAB, et une ligne directe avec nos experts !
- ✓ possibilité de voir votre projet publié ou vendu par notre boutique en ligne

Également disponible

abonnement



sans papier !

- ✓ accès à l'archive numérique d'Elektor
- ✓ 10 % de remise dans l'e-choppe
- ✓ 6x magazine Elektor (PDF)
- ✓ offres exclusives
- ✓ accès à plus de 1000 fichiers Gerber



www.elektormagazine.fr/membres

electronica fast forward is back!



New Logo, New Concept

Do you want to see the best of
the best start-ups and scale-ups
within the electronics scene?

Visit us at booth
B4.440 to get to
know them.