

nouvelle formule !

novembre/décembre 2017 | n° 468

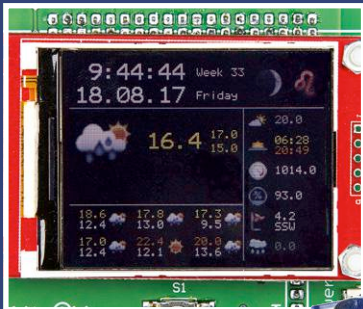
www.elektormagazine.fr

elektor

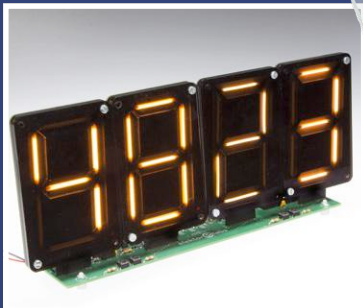
DÉCOUVRIR

CRÉER

PARTAGER



station météo Nucleo
affichage actualisé de
données météo
sur écran LCD



**tableau de score
à LEDitron**
afficheurs à sept segments
pour le sport et le jeu



balance de cuisine :
la recette
jusqu'à 49,05 kg · m/s²
avec Arduino

micro-bobine Tesla imprimée



l'USB fait des étincelles

Dans cette édition :
9 projets de labo
7 projets de lecteur
accus, ESP8266, HDC1080,
LM2677, Raspberry Pi,
TMP36...

UniLab 2, alim à découpage compacte (0-30 V / 3 A)
• coulombmètre à mercure • **gyropode, gyroskate...**
comment ça marche ? • Q & R : connecteurs
vidéo, HF et appareils de mesure • **charger ses accus :**
types d'accus et stratégies de recharge • Rétronique :
fabriqué en Belgique • **carte DSP à FPGA pour SDR à bande
étroite (3^e partie)** • banc d'essai : mini-oscilloscopes • **lampes et autres objets
flottants** • hors-circuits de R. Lacoste : X7R, Y5V, NP0, quesaco ? • **moniteur
de chaudière à ESP8266** • indicateur de fusible grillé • **commande de volume
pour le CN/A audio** • Temi, pantin météorologique • **cellule MC** • HangTux n°2
• **radio Internet avec Raspberry Pi**

ISSN 0181-7450

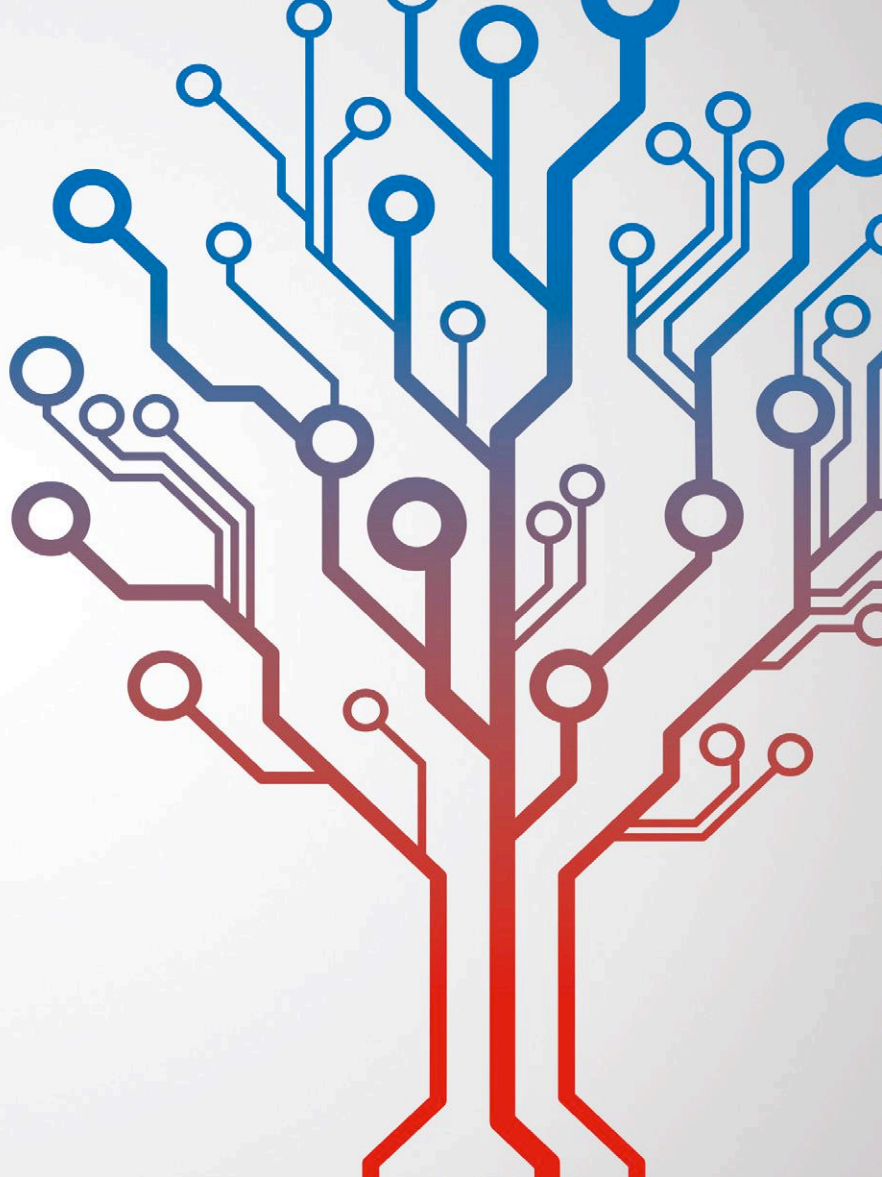
(B) 16,50 € • (CH) 29,00 FS • (CAN) 20,99 \$ca • (And) 15,50 €
DOM surface 16,50 € • DOM avion 16,90 € • N Cal/S 2000 cfp

L 19624 - 468 - F: 15,50 € - RD



Microcontrôleurs PIC® et AVR®

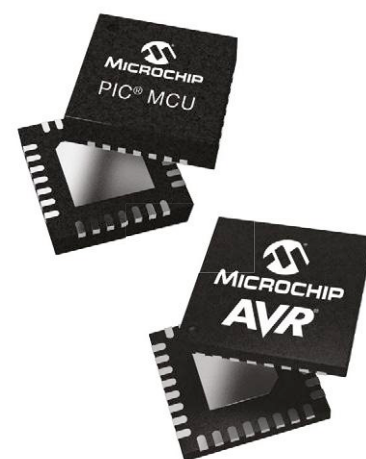
Œuvrer ensemble pour
des possibilités illimitées



Vous voulez rendre la technologie plus intelligente, plus efficace et accessible à tous. Microchip a la passion pour le développement de produits et outils qui vous permettent de résoudre plus facilement vos problèmes de conception et de vous adapter à des besoins évolutifs. Le portefeuille de Microchip, qui compte plus de 1 200 microcontrôleurs PIC® et AVR®, n'est pas seulement le plus vaste du marché, il incorpore également les toutes dernières technologies permettant d'améliorer les performances système tout en réduisant la consommation et le temps de développement. Fort de 45 ans d'expérience à développer des microcontrôleurs commercialement viables et au bon rapport coût/efficacité, Microchip constitue un fournisseur de choix grâce à un fort héritage ayant marqué le domaine de l'innovation.

Principales caractéristiques

- ▶ Périphériques autonomes
- ▶ Faible consommation
- ▶ Robustesse inégalée
- ▶ Facilité de développement



microchip
DIRECT
www.microchipdirect.com

 **MICROCHIP**

www.microchip.com/8bitEU

Elektor est édité par :
PUBLITRONIC SARL
c/o Regus Roissy CDG
1, rue de la Haye
BP 12910
FR - 95731 Roissy CDG Cedex

@ : service@elektor.fr

Tél. : (+33) 01.49.19.26.19
du lundi au vendredi de 10h à 13h

Fax : (+33) 01.49.19.22.37

www.elektor.fr | www.elektormagazine.fr

Banque ABN AMRO : Paris
IBAN : FR76 1873 9000 0100 2007 9702 603
BIC : ABNAFRPP

Publicité :

Murielle Lacomblet
Tél. : +33 (0) 616 35 48 92
murielle.lacomblet@eimworld.com

DROITS D'AUTEUR :

© 2017 Elektor International Media B.V.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente publication, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 11 mars 1957 -art. 40 et 41 et Code Pénal art. 425).

Certains circuits, dispositifs, composants, etc. décrits dans cette revue peuvent bénéficier de droits propres aux brevets; la Société éditrice n'accepte aucune responsabilité du fait de l'absence de mention à ce sujet. Conformément à l'art. 30 de la Loi sur les Brevets, les circuits et schémas publiés dans Elektor ne peuvent être réalisés que dans des buts privés ou scientifiques et non commerciaux. L'utilisation des schémas n'implique aucune responsabilité de la part de la Société éditrice. La Société éditrice n'est pas tenue de renvoyer des articles qui lui parviennent sans demande de sa part et qu'elle n'accepte pas pour publication. Si la Société éditrice accepte pour publication un article qui lui est envoyé, elle est en droit de l'amender et/ou de le faire amender à ses frais; la Société éditrice est de même en droit de traduire et/ou de faire traduire un article et de l'utiliser pour ses autres éditions et activités, contre la rémunération en usage chez elle.

Imprimé aux Pays-Bas
par Senefelder Misset – Doetinchem
Distribué en France par M.L.P.
et en Belgique par A.M.P.



Prendre un enfant par la main

L'an dernier, à cette époque, les objets connectés étaient déjà mon sujet de raillerie favori (cf. éditio de déc. 2016). Aujourd'hui votre téléphone doit déborder d'applications variées pour surveiller et commander l'éclairage, la musique, le chauffage, la ventilation, le congélateur, les rideaux, la cuisson, le portail et j'en passe.

C'est devenu si compliqué que vous avez peut-être adopté un assistant virtuel. Vous en êtes même au stade de regarder, depuis votre canapé, un robot tondre votre pelouse pendant qu'un robot-aspirateur fait le ménage à l'étage, avec bien sûr sa caméra de surveillance. Mais oui, ça existe !

Plus de raison de quitter son divan où on passe des heures à lire des messages qui nous intimement de bouger ! Des heures à comparer les mérites des gadgets qui pistent nos activités pour quantifier et analyser nos déplacements. Des heures à comparer leur prix dans les boutiques en ligne, campé sur une chaise.

Si vous avez échappé aux objets connectés, vous avez peut-être craqué pour un autre sport en plein essor et qui lui aussi se pratique assis : l'impression 3D. Alors je vous invite à fabriquer une main et à l'offrir. L'association e-Nable France*, qui procure des mains imprimées en 3D à des enfants nés sans doigts, recherche des fabricants bénévoles. Mon collègue Clemens Valens, chef du labo d'Elektor, a exprimé plusieurs fois ses doutes sur l'utilité de l'impression 3D. En général, je partage son scepticisme, mais cet usage-ci m'a séduit.

Mariline Thiebaut-Brodier

* Plus d'info sur <https://e-nable.fr/>

Notre équipe

Rédactrice en chef :	Mariline Thiebaut-Brodier (redaction@elektor.fr)
Rédaction internationale :	Thijs Beckers, Jan Buiting, Jens Nickel
Laboratoire :	Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens (responsable), Jan Visser
Coordination :	Hedwig Hennekens
Ont coopéré à ce numéro :	Yves Georges, Robert Grignard, Denis Lafourcade, Jean-Louis Mehren, Denis Meyer, Helmut Müller, Kévin Petit, Xavier Pfaff, Guy Raedersdorf
Service de la clientèle :	Cindy Tijssen
Graphistes :	Giel Dols, Mart Schroijen, Patrick Wielders
Elektor en ligne :	Daniëlle Mertens

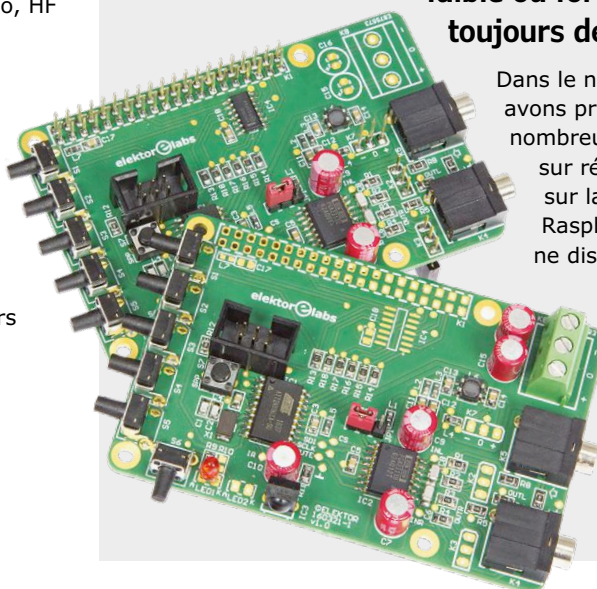


- 5 bientôt dans Elektor
- 12 Elektor : guide de connexion(s)
- 13 coulombmètre à mercure
drôle de composant n°33
- 65 vol tous azimuts
pilote par Clemens Valens
- 79 concours de vidéoclips Elektor
attrapez votre camera maintenant !
- 101 Q & R
(presque) tout ce que vous avez toujours
voulu savoir sur... les connecteurs vidéo, HF
et pour les appareils de mesure
- 108 agenda
novembre-décembre 2017
- 120 Rétronique
fabriqué en Belgique - bilingue, bien
entendu
- 126 questions d'éthique
pourquoi nous avons besoin des hackers
- 128 l'e-choppe d'Elektor
- 130 hexadoku
casse-tête pour elektorniciens

commande de volume pour le CN/A audio

38

faible ou fort, mais
toujours de qualité



Dans le numéro précédent, nous avons présenté – à la satisfaction de nombreux lecteurs – un lecteur audio sur réseau de très bonne qualité, sur la base d'une combinaison Raspberry Pi/Volumio. Ce lecteur ne dispose cependant pas d'une véritable commande de volume, quoique Volumio (un nom mal choisi ?) le permette par logiciel, mais au détriment de la qualité ! Nous avons donc décidé de réaliser une commande de volume pour le lecteur audio.

en coulisse

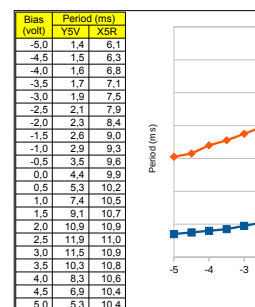
- 6 charger correctement ses accus
types d'accus et stratégies de recharge
- 52 mini-oscilloscopes
affichage de signaux à vil prix
- 104 gyropode, gyroskate...
comment ça marche ?
- 109 hors-circuits de R. Lacoste
X7R, Y5V, NP0, quesaco ? pourquoi les
condensateurs en céramique ne se valent-ils pas tous ?

sur la scène : les projets

- 14 UniLab 2
alimentation à découpage compacte,
0 à 30 V / 3 A
- 20 carte DSP à FPGA
pour SDR à bande étroite
3^e partie : carte de commande
- 28 indicateur de fusible grillé
- 30 lampes et autres objets flottants
guide d'expérimentation

109

**X7R, Y5V, NP0,
quesaco ?**





station météo Nucleo

affichage actualisé de données météo sur un écran LCD

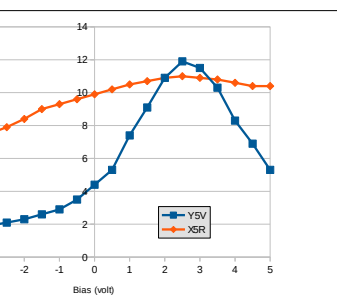
balance de cuisine : la recette

pesez jusqu'à 49,05 kg · m/s² avec Arduino

Cet article a été inspiré par un projet posté sur la page du labo d'Elektor. Il s'agissait de construire une balance de cuisine à partir d'un microcontrôleur ATmega328, un capteur de force, une carte d'interface pour ce dernier, un afficheur à cristaux liquides, le tout saupoudré d'une pincée de logiciel. Il a fallu couper et percer un peu de bois et de métal pour rendre la balance utilisable.



94



**pourquoi les condensateurs
en céramique ne se
valent-ils pas tous ?**

**38 commande de volume
pour le CN/A audio**
faible ou fort, mais toujours de qualité

48 Temi
pantin météorologique
(température et humidité)

56 micro-bobine Tesla imprimée
l'USB fait des étincelles

68 sa cellule MC
elle l'a faite toute seule !

72 moniteur de chaudière à ESP8266
domotique pour la transition énergétique

80 HangTux n°2
pendu sur le Raspberry Pi

82 radio Internet avec Raspberry Pi
l'embarras du choix affranchi du PC

84 thermostat malin
allume ou éteint des appareils

86 station météo Nucleo
affichage actualisé de données météo
sur un écran LCD

94 balance de cuisine : la recette
pesez jusqu'à 49,05 kg · m/s² avec Arduino

98 détecteur de caméra
la réflexion au service du contre-espionnage

114 tableau de score à LEDtron
afficheurs à sept segments
pour le sport et le jeu

 **bientôt sur ces pages**

Extrait du sommaire du prochain numéro :

- Adaptateur ESP8266-ESP12
- Arduino Nano dans un wattmètre
- Biolumière
- Débogage du bus CAN
- Écrans OLED
- Horloge de sable en version laser
- Mini-bobine Tesla musicale
- Station météo avec anémomètre
- Systèmes 4-20 mA
- Thermostat chaud/froid
- Etc.

Sous réserve de modification.
Le numéro de janvier-février 2018
paraîtra le 27 décembre 2017

charger correctement ses accus

types d'accus et stratégies de recharge

Thomas Scherer (Allemagne)

Les accus et la meilleure façon de les charger sont l'objet de toutes sortes de semi-vérités, même chez les techniciens qui passent généralement pour des êtres rationnels. C'est encore pire pour les non-techniciens, où mythes, hypothèses curieuses et suppositions étranges sont légion. Et ceci même si les accus sont désormais présents dans tous les domaines de notre quotidien et que nous disposons de « l'internet » comme source potentielle de connaissances. Voici donc ci-après un résumé des faits à savoir.





Figure 1. Accu au plomb, 12 V et 4,5 Ah. De tels accus sont utilisés par ex. dans des lampes de signalisation pour sécuriser les chantiers.



Figure 2. La batterie hybride ouverte de mon ancienne Prius II : 28 modules, avec chacun six cellules NiCd prismatiques de Panasonic de 1,2 V et 6,5 Ah. En série, ils produisent 201,6 V pour une valeur énergétique de 1,3 kW et un poids de 39 kg.

Il y a 50 ans, le sujet était loin d'être aussi important qu'il ne l'est aujourd'hui. Par « accu », on comprenait alors surtout la « batterie automobile », en effet le véhicule à quatre roues avec moteur à explosion est équipé d'un moteur électrique en guise de démarreur, actionné par l'énergie électrique emmagasinée. À part cela, il n'y avait pour ainsi dire aucun autre appareil électrique de la vie quotidienne alimenté par des cellules rechargeables (ou dites « secondaires » pour les distinguer de leurs cousines primaires, les piles utilisables une seule fois). Pour les radios à transistors et les lampes de poche – il y avait peu d'autres appareils portables à l'époque – on disposait de cellules primaires, principalement des piles au zinc-carbone, puis plus tard des piles alcalines au manganèse plus stables.

Les choses se sont ensuite accélérées : dès les années 80, les piles rechargeables au cadmium-nickel devinrent populaires grâce à leur boîtier compatible avec les cellules primaires (surtout le format AA = mignon) puis comme il fallait s'y attendre, il y eut foison de circuits et instructions de montage de chargeurs NiCd, ce qui a permis de remplacer les cellules primaires jetables et de faire de substantielles économies. Dans les années 90, les accus NiCd furent peu à peu remplacés par des accus NiMh (nickel-hydrure

métallique) plus pratiques. Les cellules NiCd sont même « bannies » depuis 2017 en Europe, donc interdites à la vente sauf indication spéciale.

L'électronique est devenue de plus en plus portable : le lecteur MP3 remplace le Walkman de SONY (pour les jeunes générations : un lecteur de cassettes portable), l'ordinateur portable détrône le PC de bureau, le téléphone est maintenant nomade, tout comme les ordinateurs avec l'émergence des ordiphones. Aujourd'hui les vélos – et de plus en plus d'autos – sont à propulsion électrique. Tous ces types d'appareils et bien d'autres encore ont besoin d'accus. Les types d'accus et leurs caractéristiques sont aussi variés que le sont leurs applications.

Les types d'accus

La minute terminologique : le terme *batterie* vient du français militaire et désignait d'abord une rangée de pièces d'artillerie. En anglais, ce terme était utilisé dès lors que plusieurs choses étaient montées en série, il a donc été appliqué à des cellules primaires reliées entre elles. Aujourd'hui, en anglais, « batterie » désigne tout ce qui produit une tension continue à partir d'un processus chimique, que ce soit des piles à usage unique ou des cellules rechargeables. En français, une batterie désigne généralement l'association de plusieurs cellules rechargeables (ou accumulateurs). Intéressons-nous aux types actuels d'accus.

À plus de 160 ans, la **batterie au plomb** (fig. 1) est assurément le type de batterie le plus ancien. Elle offre une tension typique de 2 V par cellule ; elle était déjà utilisée en 1900 pour la propulsion automobile. Par ailleurs, la première version hybride de la très acclamée Lohner-Porsche [1] apparut la même année – rien de nouveau chez Toyota ! Une autre application précoce fut l'alimentation des bureaux de télégraphie et de téléphonie. La batterie au plomb est encore et toujours d'actualité, robuste et à un coût défiant toute concurrence, de sorte que malgré son poids élevé et ses faiblesses inhérentes, elle continue à être utilisée comme source d'énergie de choix pour le démarreur de moteur à combustion.

À plus de 100 ans, l'**accu NiCd** (voir la batterie hybride de la fig. 2) affiche lui aussi un âge respectable. Dans les années 1980, ces petites cellules furent les plus populaires pour l'alimentation des appareils grand public, malgré leur tension nominale de seulement 1,2 V. Grâce à leur robustesse aux courants élevés, elles ont été jusqu'il y a peu un choix de prédilection, du tournevis électrique aux modèles radiocommandés. Même Toyota a retenu cette technologie d'accu pour sa propulsion hybride jusqu'à la Prius III. Ses inconvénients majeurs sont la faible compatibilité environnementale (cadmium) et l'effet de mémoire.

Le meilleur est l'ennemi du bien : les **accus NiMh** bon marché (fig. 3), fabri-

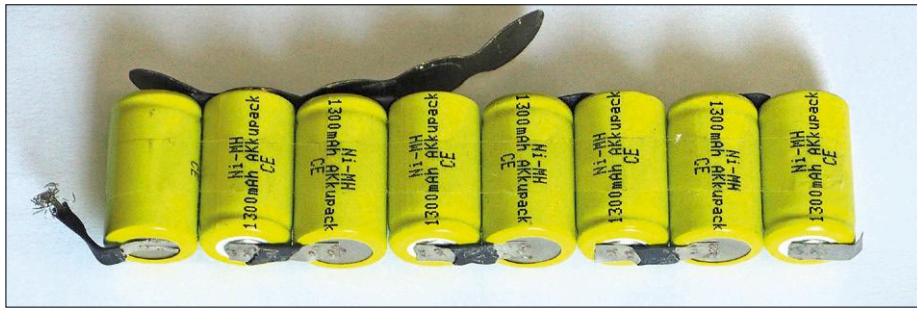


Figure 3. Jeu d'accus NiMH défectueux provenant de mon aspirateur à main. Les cellules soudées ont livré 9,6 V et 1,3 Ah.



Figure 4. Batterie lithium-polymère 5s1p à 18,5 V et 5 Ah, et un courant de pointe de 15 C = 75 A pour modèles radiocommandés. Le petit connecteur à six broches est utilisé pour raccorder un équilibreur.



Figure 5. L'accu au lithium classique au format 18650 s'appuie sur la chimie LiCoO_2 et est de plus en plus utilisé dans des lampes de poche ou de bonnes lampes solaires pour le jardin par exemple. La tension nominale indiquée ici est de 3,7 V au lieu de 3,6 V.



Figure 6. Le pack 45 V LiFePO_4 de mon clone de Segway : 14 cellules au format 38120 à 9 Ah et 10 C avec équilibreur (au premier plan).

qués industriellement seulement depuis 35 ans, ont remplacé les accus NiCd dans les appareils grand public. Avec la même tension nominale de 1,2 V, ils sont le substitut idéal aux accus NiCd. Ils sont par ailleurs plus respectueux de l'environnement, n'ont aucun effet de mémoire, ont une densité d'énergie acceptable et sont peu coûteux. Ils sont en revanche un peu plus difficiles à charger. Depuis une dizaine d'années, il existe des accus NiMH avec un courant d'autodécharge particulièrement faible.

Une nouvelle technologie d'accus s'appuie sur l'élément chimique **lithium**. Elle permet la production d'accus à densité de puissance particulièrement élevée et de faible poids : points importants aussi bien pour les appareils nomades (ordinateurs portables, tablettes et ordinateurs) que pour l'électromobilité. Les trois types d'accus sont les suivants : les accus **LiPo** ou lithium polymère (**fig. 4**) pour appareils mobiles en raison de leur encombrement, les cellules **LiCoO_2** (**fig. 5**) et les types **LiFePO_4** (**fig. 6**) pour la traction électrique. Elles se distinguent particulièrement des autres types en raison de leurs tensions nominales respectives de 3,7 V (LiPo), 3,6 V (LiCoO_2) et 3,2 V (LiFePO_4). Ces accus ne sont pas sujets à l'effet de mémoire et offrent un taux d'autodécharge particulièrement bas. Ils sont en revanche sensibles à bon nombre de conditions environnementales ; leur stockage et leur utilisation sont strictement réglementés. Outre les diverses cellules rondes, les accus au lithium sont proposés pour les appareils mobiles sous des formes conformes aux besoins du client, ou en boîtiers prismatiques pour des capacités plus élevées. Petite anecdote : on trouve encore dans les voitures électriques Tesla une « batterie » composée de plusieurs milliers de cellules rondes de type 18650...

L'**accu RAM** (cellule AA de la **fig. 7**) représente assurément le dernier cri sur le marché des accus. RAM est l'acronyme anglais de **Rechargeable Alkali Manganese**. Ces cellules alcalines secondaires (donc rechargeables) peuvent se substituer directement aux cellules primaires au zinc-carbone ou aux cellules alcalines primaires au manganèse en raison de leur tension nominale de 1,5 V. En revanche, elles ne conviennent qu'à des applications à faible courant de décharge, ne doivent en aucun cas être complète-

ment déchargées, et requièrent un chargeur spécial ; un chargeur pour NiCd ou NiMH ne convient absolument pas !

Le **tableau 1** est une liste de types d'accus avec des données supplémentaires telles que le nombre de cycles (jusqu'à ce que la capacité tombe à 80% ou 75%) et le rapport poids/puissance pour des applications spécifiques. Ne sont pas détaillés ci-après les accus ne convenant pas à un usage normal quotidien, les accus encore en phase de développement, ainsi que les systèmes à très fortes capacités telles que les batteries à flux.

Stratégies de charge

À propos des conditions d'utilisation (surtout du courant maximal de décharge) et du respect du courant maximal de charge : il est conseillé non seulement de faire confiance aux données du fabricant, mais de les suivre scrupuleusement. Il existe néanmoins des caractéristiques propres à chaque type d'accu telles que la stratégie optimale de charge. Les aspects les plus importants sont la robustesse en matière de décharge complète ou de surcharge, ainsi que le courant maximal de charge et la stratégie de charge (plus des aspects spécifiques tels le maintien de la charge ou l'effet de mémoire).

Accu au plomb : il faut veiller à ne pas surcharger ces accus au risque de dégagement gazeux, que ce soient les batteries scellées au plomb-gel ou les batteries de démarrage dites « sans entretien ». En effet ce dégagement gazeux conduit à une perte d'électrolyte difficile, voire impossible, à remplacer, ce qui est préjudiciable à la durée de vie et la capacité. Ce n'est pas aussi grave pour les batteries au plomb « ouvertes » des chariots éléva-



Figure 7. Cellules RAM sur une base chimique alcaline-manganèse au format classique AA. Ces accus ne devraient jamais être déchargés complètement et requièrent un chargeur spécial.

teurs par ex., car il est facile de rajouter de l'eau distillée. Les batteries au plomb ne devraient pas être déchargées complètement : la tension d'une cellule ne devrait pas descendre en dessous de 1,75 V. Une autodécharge de 2% ou plus par mois a un impact significatif sur le stockage, par ex. pour les batteries de démarrage des tondeuses à gazon qui ne passent pas l'hiver sans une recharge intermédiaire. La méthode typique de charge commence par un courant constant. On commute en tension constante dès qu'une tension de cellule de 2,35 V est atteinte, jusqu'à obtention d'un courant minimal. Sauf indication contraire, le courant de charge maximal est de 0,1 C (10% de la capacité en Ah). La charge est interrompue pour un courant $\leq 0,01$ C. Pour une batterie de 12 V standard à 60 Ah, cela signifie que le courant maximal de charge est de 6 A ; puis la tension est maintenue constante dès que la tension de la batterie atteint 14,1 V. La charge s'achève dès que le courant est inférieur à 0,6 A. Le chargeur peut rester connecté sans problème, ce qui est utile pour maintenir la charge. La **figure 8** montre une courbe de charge typique d'une telle batterie selon la **stratégie**

CC/CV (Constant Current/Constant Voltage).

Une particularité des batteries au plomb est que leur capacité peut diminuer prématurément à cause de l'effet de sulfatation. Pour éviter cela, des chargeurs spéciaux sont proposés : en plus du faible courant de maintien, ils produisent des impulsions de courant fort > 100 A à intervalles réguliers pour contrecarrer la formation de cristaux, voire l'inverser. Elektor a publié plusieurs circuits de ce type.

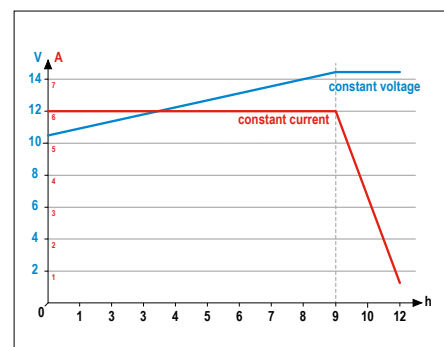


Figure 8. Courbe idéalisée de la charge CC/CV d'une batterie de voiture de 12 V et 60 Ah. Les courbes des accus au lithium sont très similaires.

Tableau 1. Types d'accus.

Type d'accu	Tension nominale	Nombre de cycles	Densité de puissance	Application
LiCoO ₂	3,6 V	500 – 1.000	180 Wh/kg	Traction, courants forts
LiPo	3,7 V	300 – 500	150 Wh/kg	Appareils mobiles
LiFePO ₄	3,2 V	1.000 – 5.000	100 Wh/kg	Traction, courants forts
NiCd	1,2 V	600 – 1.500	50 Wh/kg	Usage général, courants forts
NiMH	1,2 V	300 – 600	75 Wh/kg	Usage général
Plomb	2,0 V	300 – 500	35 Wh/kg	Alimentation de secours, démarreur
RAM	1,5 V	50 – 500	50 Wh/kg	Usage général, courants faibles

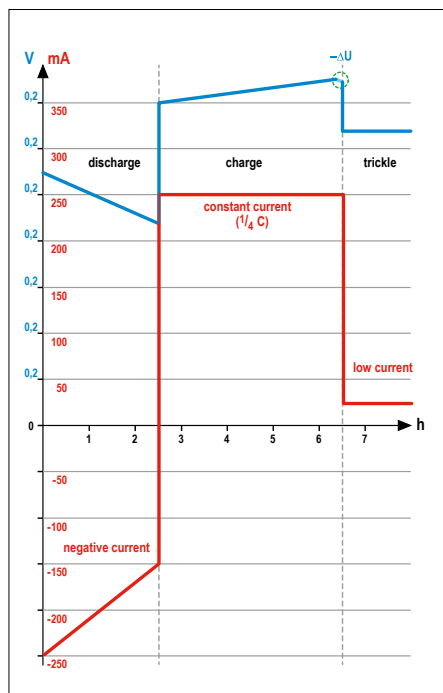


Figure 9. Courbe idéalisée de la charge $-\Delta U$ d'une cellule NiCd chargée à 0,25 C. Chaque charge commence par une décharge préalable pour éviter l'effet de mémoire.

Accus NiCd : longtemps les chargeurs simples furent monnaie courante, ils ne chargeaient qu'à l'aide d'un faible courant constant. Les chargeurs sur secteur d'appareils tels que moulin à poivre électrique ou aspirateur à main ne font souvent rien d'autre que de charger les cellules de 1 Ah au format AA à environ 0,1 C puis à courant permanent d'environ 50 mA. La chimie NiCd supporte cette surcharge sur une longue durée, mais finit quand même par se détériorer. C'est pour cette raison et pour des durées de charge plus courtes, qu'une technique de charge appelée $-\Delta U$ s'est établie. On exploite le fait qu'un accus chargé transforme l'énergie électrique supplémentaire en chaleur, et que l'augmentation de la température occasionne une dépression dans la courbe de charge (fig. 9). Le circuit de charge détecte simplement le point à partir duquel la tension

commence à diminuer.

De tels chargeurs sont en outre capables de charge rapide. Une charge à 0,5 C ou plus en moins de trois heures n'est pas un problème avec des cellules appropriées. De même, les cellules NiCd n'apprécient pas les décharges complètes et devraient être rechargées dès 0,9 V par cellule.

Une particularité de la technologie NiCd est l'**effet de mémoire** déjà mentionné. Lorsque de manière régulière, un accus NiCd est rechargé après avoir atteint un certain seuil de décharge, il semble se souvenir de ce seuil et refuse de délivrer de l'énergie au-delà de ce seuil ; il perd donc en capacité utile. La raison technique est la formation de microcristaux de cadmium. Il est possible d'y remédier avec plusieurs décharges jusqu'à 0,9 V par cellule. Les « chargeurs à microprocesseur », les meilleurs, en tiennent compte et démarrent un cycle de charge après une décharge complète préalable.

Accus NiMh : en principe tout ce qui a été dit sur l'accu NiCd reste valable pour son successeur NiMh. On peut aussi le charger avec la méthode $-\Delta U$, mais la petite dépression apparaît moins prononcée avec des courants de charge faibles. C'est pourquoi on charge avec des courants plus élevés. Cela fonctionne bien car la résistance interne des accus NiMh est plus faible, par conséquent la durée de charge est plus courte : jusqu'à 1 C est rendu possible. Pour des raisons de sécurité, les chargeurs rapides disposent également d'une surveillance de la température, au cas où la chute de tension de l'accu chargé ne serait pas détectée. Réjouissant : la technique NiMh n'ayant pas d'effet de mémoire, il n'est pas nécessaire de démarrer un cycle de charge par une décharge préalable. Les chargeurs compatibles NiMh ne proposent donc une décharge préalable que sur demande. Avec les nouvelles cellules NiMh à faible autodécharge, on peut même se passer complètement de la phase de maintien de la charge

à faible courant en fin de cycle. Ainsi à la **figure 9**, on peut ignorer tout simplement les zones à gauche et droite des verticales en pointillés. La **figure 11** montre un chargeur rapide NiCd/NiMh universel pour quatre cellules AAA ou AA.

Accus au lithium : comme pour les batteries au plomb, la méthode de charge CC/CV est généralement utilisée pour les trois sous-types. Il faut se représenter différemment les tensions de la figure 8 ; en outre le maintien de la charge n'est plus nécessaire en raison de la très faible autodécharge (<1% par mois). Selon l'application, les courants de charge peuvent être considérablement plus élevés qu'avec d'autres types d'accus. Comme Tesla nous l'a appris, il est possible avec les cellules LiCoO₂ à courant fort d'atteindre 80% de la capacité en 20 min, ce qui correspond à un courant de charge de 2,7 C. En revanche, la dernière phase à tension constante prend plus de temps, et la batterie est complètement chargée après 40 min ou plus. Le chargeur USB de la **figure 10** fournit tranquillement 0,5 A = 0,2 C à un accus 18650 de 2,4 Ah. Attention : des cellules complètement déchargées devraient d'abord être chargées avec un maximum de $\leq 0,5$ C jusqu'à un certain seuil.

Effet de mémoire et autres désagréments sont inconnus aux types lithium. On veillera néanmoins à ne pas les décharger complètement. Il existe des variantes des cellules LiCoO₂ au format 18650 (18 mm de diamètre pour 65 mm de long) avec une électronique de protection (fig. 12) contre les décharges complètes, les surcharges et les courts-circuits. C'est une excellente solution pour lampes de poche, etc., mais au prix d'une résistance interne légèrement plus élevée.

Sachant que les trois sous-types se distinguent principalement par leurs tensions, le **tableau 2** répertorie les valeurs applicables. Sauf indication contraire du fabricant, on peut partir de l'hypothèse

Tableau 2. Valeurs utiles des accus au lithium.					
Type d'accu	Tension nominale	Tension de fin de charge	Seuil à 0,5 C	Fin de décharge	Décharge complète
LiCoO ₂	3,6 V	>4,1 V	2,9 V	3,0 V	<2,5 V
LiPo	3,7 V	>4,2 V	3,0 V	3,2 V	<2,6 V
LiFePO ₄	3,2 V	>3,7 V	2,4 V	2,5 V	<2,0 V

d'un courant de charge maximal de 0,5 C et d'un passage à la phase « tension constante » à un courant de 0,05 C. Ensuite il est conseillé d'arrêter la charge car les accus au lithium ne doivent pas être exposés longtemps à la tension maximale.

La charge des cellules au lithium ne pose aucun problème, dès lors où l'on charge des cellules individuelles. La connexion en série de plusieurs cellules requiert impérativement un équilibreur qui veille à ce que la cellule avec la plus petite capacité ne soit pas surchargée et donc endommagée. L'accu LiPo de la figure 4 dispose à cet effet de son propre connecteur, et on aperçoit à la figure 6 un accu LiFePO₄ de fabrication personnelle muni d'un équilibreur particulièrement puissant, capable de délivrer des courants élevés. Techniques et circuits d'équilibrage sont en fait un chapitre technique à part entière plutôt complexe.

Accu RAM : les chargeurs de ces accus utilisent une stratégie spéciale. On commence par une charge à courant constant relativement faible (de l'ordre de 0,1 C), périodiquement interrompue pour quelques ms afin de mesurer la tension à vide de la cellule. Si cette valeur dépasse 1,73 V, alors on attend que la tension retombe à 1,69 V, puis on reprend la charge. Il est important que la cellule ne soit pas surchargée, et surtout pas complètement déchargée. La limite de la cellule est déjà atteinte à 1,42 V. C'est pourquoi ce type d'accu ne sera probablement pas largement diffusé, à moins qu'il n'y ait prochainement des exemplaires équipés d'une électronique de protection.

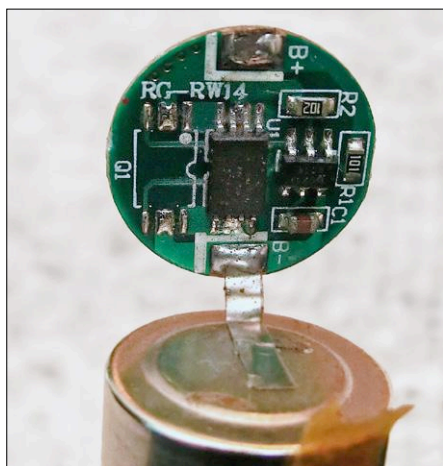


Figure 12. L'électronique intégrée d'une cellule LiCoO₂ au format 18650 protège contre les décharges complètes et les surcharges.



Figure 10. Petit chargeur bon marché pour cellules LiCoO₂ au format 18650 avec connecteur USB et affichage à LED organiques.

En général

Depuis l'avènement des microcontrôleurs, on peut aisément réaliser des chargeurs avec des stratégies de charge complexes. Les informations données ici suffisent en principe pour concevoir soi-même un circuit adapté à l'un des types d'accu décrits. Un chargeur fait maison devrait en plus disposer d'une minuterie d'arrêt programmable. Si quelque chose doit mal tourner et qu'une fin de charge ne peut pas être détectée en raison d'un accu défectueux, il est préférable (indispensable) de couper le chargeur au bout d'un certain temps, surtout avec des cellules au lithium, sans quoi l'énergie électrique sera convertie en énergie thermique et des accus LiPo peuvent prendre feu. Vous vous souvenez certainement des problèmes de surchauffe des batteries du Dreamliner 787 de Boeing. Une marge de 25% par rapport au temps de charge calculé est une valeur réaliste. Les chargeurs haut de gamme de batterie au plomb disposent d'un capteur de température ambiante grâce auquel on peut appliquer une compensation d'environ 3 mV/K à la tension de fin de charge. La construction d'un chargeur vaut la



Figure 11. Chargeur rapide intelligent pour quatre cellules NiCd ou NiMh au formats AA et AAA jusqu'à 0,8 C, qui détecte même les cellules défectueuses. Une pression sur la touche bleue lance une décharge préalable.

peine pour des jeux d'accus spéciaux ou fait maison. En revanche pour des accus au format AA, AAA ou 18650, il est plus économique d'utiliser des appareils standard produits en grande série. ◀

(160526 – version française : Xavier Pfaff)

Lien

- [1] Lohner-Porsche :
<http://press.porsche.com/news/release.php?id=642>

À propos de l'auteur

Thomas Scherer est électronicien et psychologue diplômé. Il travaille pour Elektor depuis plus de 30 ans. Ses spécialités sont l'électronique analogique, les microcontrôleurs et la recherche psychophysique. Il dispose d'un vaste laboratoire d'électronique et presque quotidiennement il en profite pour visser, souder ou tester quelque chose.

la communauté d'Elektor

DÉCOUVRIR CRÉER PARTAGER

82

pays

248153

membres actifs

1040

experts & auteurs

489

publications

235332

visiteurs (par mois)

Elektor, c'est bien plus qu'un simple magazine. C'est une communauté d'électroniciens, du débutant au professionnel, désireux d'apprendre, de concevoir et de partager une électronique qui étonne.



Boutique en ligne d'Elektor : la caverne d'Ali Baba des électroniciens ! 10 % de remise permanente pour les membres GREEN et GOLD.
www.elektor.fr



Magazine Elektor : six numéros par an d'électronique inédite (projets, bancs d'essais, cours, trucs et astuces, actualité...)
www.elektormagazine.fr



Elektor PCB Service : gravure à la demande de vos circuits imprimés, en un ou plusieurs exemplaires. www.elektorpcbservice.com



Elektor GRATUIT, version numérique : lettre d'information à l'affût des nouveautés. C'est gratuit : www.elektor.fr/inscription



Elektor Academy : l'apprentissage par la pratique au travers de webinaires, séminaires, ateliers, DVD... www.elektor.fr



Livres & DVD Elektor : Arduino, Raspberry Pi, microcontrôleurs, Linux et bien d'autres. 10 % de remise pour les membres !
www.elektor.fr



Elektor TV : présentations, comptes-rendus, déballage et évaluation de produits. Pour y voir plus clair.
www.youtube.com/user/ElektorIM



Elektor Labs : l'incubateur où partager ses projets et participer à ceux des autres. Nous faisons grandir vos idées !
www.elektormagazine.fr/labs

connectez-vous à notre communauté

formule

GREEN 92,50 € par an

- ✓ accès à l'archive d'Elektor
- ✓ 10% de remise dans l'e-shoppe
- ✗ 6x magazine imprimé
- ✓ 6x magazine numérique
- ✓ des offres exclusives
- ✓ accès à plus de 1 000 fichiers Gerber
- ✗ le DVD annuel d'Elektor

connectez-vous

www.elektor.fr/formule-greencard

formule

GOLD 127,50 € par an

- ✓ accès à l'archive d'Elektor
- ✓ 10% de remise dans l'e-shoppe
- ✓ 6x magazine imprimé
- ✓ 6x magazine numérique
- ✓ des offres exclusives
- ✓ accès à plus de 1 000 fichiers Gerber
- ✓ le DVD annuel d'Elektor

connectez-vous

www.elektor.fr/formule-goldcard

formule

GRATUITE

- ✗ accès à l'archive d'Elektor
- ✗ 10% de remise dans l'e-shoppe
- ✗ 6x magazine imprimé
- ✗ 6x magazine numérique
- ✓ des offres exclusives
- ✗ accès à plus de 1 000 fichiers Gerber
- ✗ le DVD annuel d'Elektor

connectez-vous

www.elektor.fr/inscription



facebook.com/ElektorFR



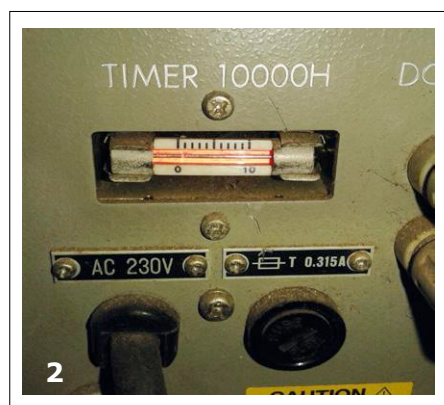
twitter.com/Elektor

coulombmètre à mercure

drôle de composant n°31

Neil Gruending (Canada)

Les coulombmètres sont presque partout ; ils comptent discrètement les coulombs qui entrent et sortent de nos batteries, et estiment la capacité restante. Comme beaucoup de solutions modernes, ce sont des circuits intégrés. C'est pourquoi j'ai été intrigué par un fil de discussion de TekScopes à propos d'un coulombmètre à mercure qui compte les heures de mise sous tension d'un appareil de test. Sans ouvrir l'appareil, nul ne se douterait de sa présence ; jetons un œil à ce composant impressionnant.



pareil, nul ne se douterait de sa présence ; jetons un œil à ce composant impressionnant.

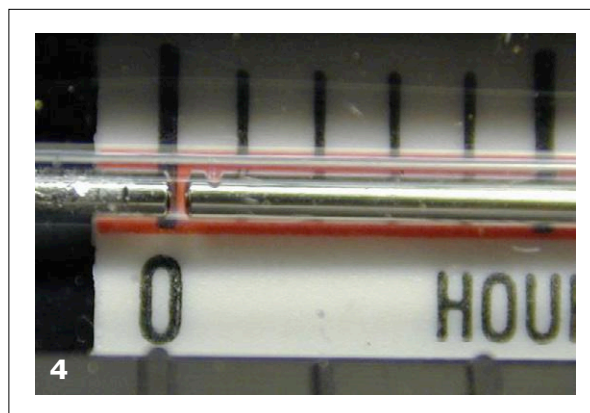
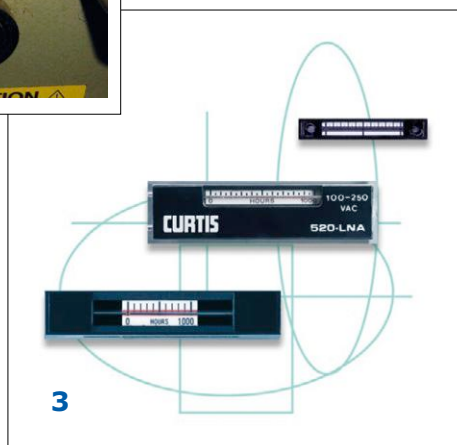
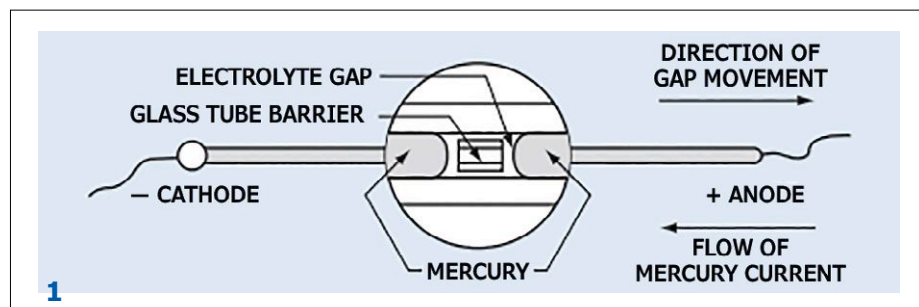
Les coulombmètres à mercure ont été à l'origine conçus et fabriqués par Curtis Instruments en 1961 et produits jusqu'en 2011. Ils sont constitués d'un tube capillaire en verre rempli de mercure liquide à ses deux extrémités, avec entre les deux une faible quantité d'une solution d'électrolyte qui sert d'indicateur (fig. 1). Des électrodes sont reliées aux extrémités du tube afin qu'un courant puisse circuler lorsqu'une tension est appliquée. Le courant entraîne un transfert électrochimique du mercure de l'anode vers la cathode à travers l'électrolyte. L'indicateur, formé par l'électrolyte, se déplace alors vers l'anode. Si l'on change le sens du courant, il se déplace dans l'autre

sens. La vitesse du mouvement est proportionnelle à la quantité de courant et la distance parcourue donne une indication de durée. C'est ce comportement qui permet au composant de mesurer les coulombs et qui en fait aussi un bon compteur horaire (habituellement plusieurs milliers).

Sa conception simple lui confère une grande flexibilité, une grande légè-

empêche le composant de fonctionner correctement, surtout s'il y a une fuite de mercure. Un autre problème est que la solution d'électrolyte, quand elle atteint l'extrémité du tube, peut dissoudre l'électrode et provoquer une fuite.

Aujourd'hui, plus personne ne fabrique de coulombmètre à mercure en Amérique du Nord. C'est difficile d'en dénicher un, à moins que vous ne mettiez la main sur



reté ainsi qu'une bonne résistance aux chocs. Ce sont ces caractéristiques qui ont permis aux coulombmètres à mercure d'être utilisés dans des applications intéressantes, comme compteur dans le module d'alunissage Apollo par exemple. En fait, il en reste même une vingtaine sur la lune, dans le module de descente.

Les coulombmètres à mercure ne sont toutefois pas dépourvus d'inconvénients. Le plus évident est qu'un choc violent peut endommager le tube capillaire ou perturber la solution électrolytique ce qui

un appareil qui en contient (fig. 2, 3, 4). Que les curieux se rassurent cependant : on voit des modèles russes apparaître de temps à autre sur eBay et, avec un peu de chance, vous pourrez en trouver un. Soyez très prudent avec le mercure !

(160178 - version française : Kévin Petit)

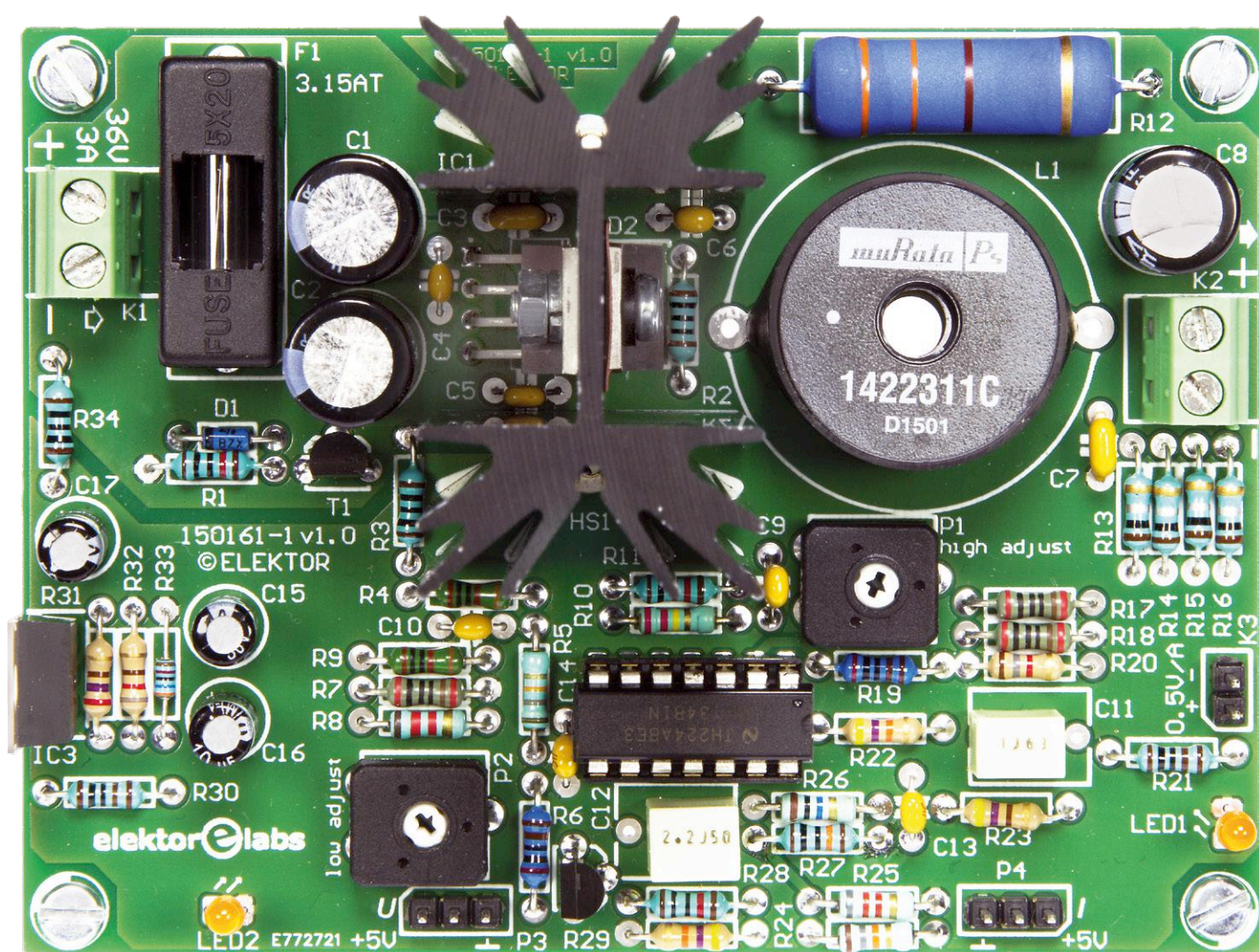
Source des images

- (1) globalepower
- (2) AskElectronics
- (3) Octopart
- (4) 4hv.

UniLab 2

alimentation à découpage compacte, 0 à 30 V / 3 A

Les projets d'alimentation réglable ont toujours beaucoup de succès, et Elektor a déjà publié des centaines de schémas d'alimentations de laboratoire en tout genre. Un des projets les plus populaires de ces dernières années est celui d'UniLab, une alimentation compacte et fiable, publié en 2010. Au bout de sept ans, il nous a paru utile de revisiter le projet, avec les mêmes caractéristiques : voici UniLab 2 !



Caractéristiques

- Tension de sortie : 0 à 30 V
- Courant de sortie max. : 3 A (limitation de tension à 3,2 A)
- Variation de la tension de sortie (0 à 3 A) : 0,17 V
- Fréquence de découpage : 260 kHz
- Ondulation maximale (260 kHz) : 120 mVcc
- Tension d'entrée nominale : 36 à 38 V
- Désactivation automatique de la sortie si $U_{in} < 34,2 \text{ V}$
- Rendement à 30 V et 3 A : 93%
- Rendement à 5 V et 3,1 A : 80%
- Circuit imprimé de dimensions réduites

En avril 2010, nous avons décrit une alimentation répondant au nom d'UniLab [1], avec un circuit relativement simple qui peut délivrer 30 V et 3 A. Ce projet a connu un franc succès, et de nombreux électroniciens ont construit cette alimentation. En juin et novembre de la même année, nous avons complété le projet avec un afficheur tension-courant et une double alimentation [2, 3].

Ce projet-ci est le successeur d'UniLab : la tension de sortie maximale est de 30 V, et le courant peut dépasser 3 A (jusque 5 A avec quelques limitations). Nous avons choisi le LM2677-ADJ comme cœur du circuit, un convertisseur *Buck* abaisseur, dont la fréquence de découpage est de 260 kHz. C'est plus élevé que pour le LM2576T-ADJ utilisé précédemment (52 kHz), ce qui permet de réduire la taille du filtre de sortie. Le schéma fonctionnel du LM2677 (**fig. 1**) est aussi tout à fait différent de celui du LM2576.

Le circuit

L'idée de départ est la même que pour l'ancienne UniLab. Nous avons dès lors choisi un régulateur à découpage, pour réduire au maximum les dimensions. Ce circuit a en outre un gros avantage par rapport à un régulateur linéaire : le rendement est élevé, même pour des tensions de sortie faibles, et le dissipateur thermique sera relativement petit.

Le circuit standard bâti autour du LM2677-ADJ (**fig. 2**) ne nécessite que quelques composants : une diode, une bobine, quelques condensateurs, et deux résistances pour déterminer la tension de sortie. L'inconvénient de cette configuration est que la tension de sortie minimale est de 1,21 V (amplitude de la référence de tension interne), problème que nous avons déjà rencontré en 2010. Pour une alimentation de laboratoire universelle, il est souhaitable de pouvoir descendre jusqu'à 0 V. Pour l'ancienne UniLab, nous avons utilisé une tension négative pour résoudre le problème, mais ici nous avons adopté une approche différente. Le schéma de la **figure 3** semble compliqué au premier abord, mais cette impression disparaît après quelques explications. Le circuit est bâti autour du convertisseur *Buck* IC1, de l'inductance L1, et de la diode de roue libre D2. La tension de sortie est réglée par P3 via IC2B, relié

à l'entrée de contre-réaction d'IC1. Cet amplificateur opérationnel permet de régler la tension de sortie jusqu'à 0 V, nous en reparlons plus loin. Les résistances en parallèle R13 à R16, insérées dans la ligne négative de l'alimentation, permettent la mesure du courant de sortie. L'ampli-op IC2A amplifie la tension aux bornes des résistances, tension qui est ensuite comparée par IC2D à la tension fixée par P4. Ce potentiomètre détermine le courant de sortie maximal ; si le courant de sortie mesuré est supérieur à ce courant, alors IC2D réduira la tension de sortie via T2, en diminuant la tension fixée par P3.

IC2 est un LM3164, un ampli-op quadruple rapide (10 MHz), à très faible tension de déchet en entrée et sortie (*rail-to-rail I/O*), et alimenté entre 1,8 et 24 V. Nous avons opté pour une ali-

mentation séparée de 5 V, fournie par un LM317. Cette tension est également utilisée comme référence pour P3 et P4. Le LM317 accepte 40 V entre entrée et sortie, il n'y aura donc pas de problème avec la tension d'entrée choisie d'environ 36 V. R34 et C17 filtrent les éventuelles perturbations de la tension d'entrée, et LED2 indique la mise en service.

Afin d'éviter certains effets bizarres lors de l'extinction de l'alimentation, le circuit constitué de D1, T1 et R1 désactive IC1 lorsque la tension d'entrée descend sous 34 V. Cela fonctionne comme suit : lorsque la tension entre grille et source de T1 – un JFET canal P – est nulle ou très faible, celui-ci conduit ; IC1 est désactivé via sa broche 7, et le reste tant que la tension est inférieure à 0,8 V (la broche 7 est pourvue en interne d'un drain de courant de 20 μ A, voir **figure 1**).

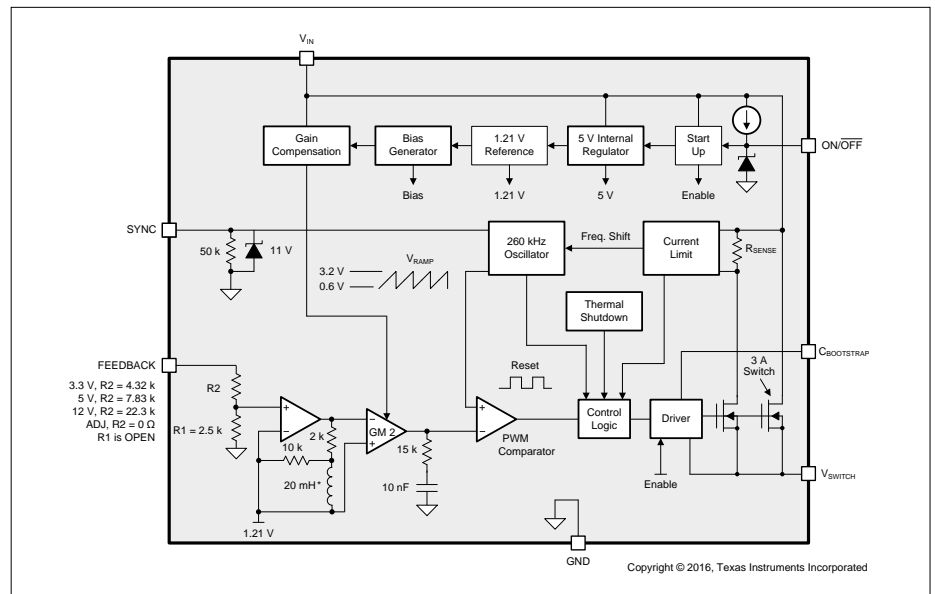


Figure 1. Schéma fonctionnel du LM2677, de la série *Simple Switcher*. (Source : Texas Instruments)

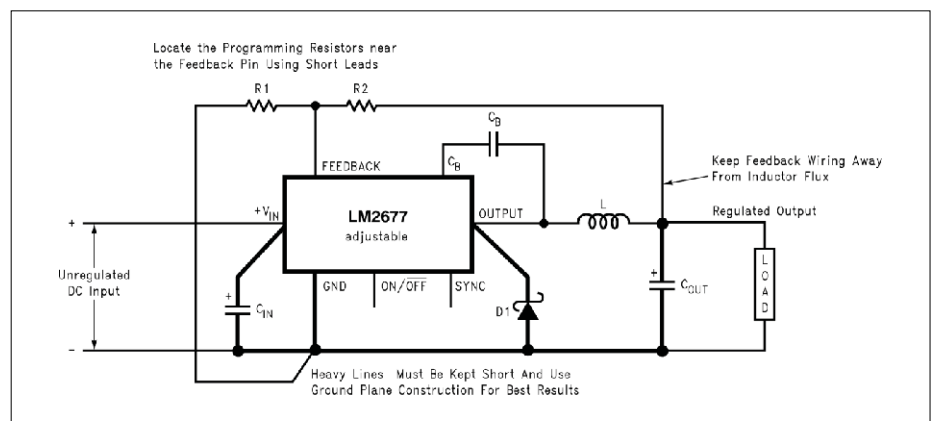


Figure 2. Une application standard, extraite de la feuille de caractéristiques, ne demande que quelques composants. Les résistances R1 et R2 déterminent la tension de sortie. (Source : Texas Instruments)

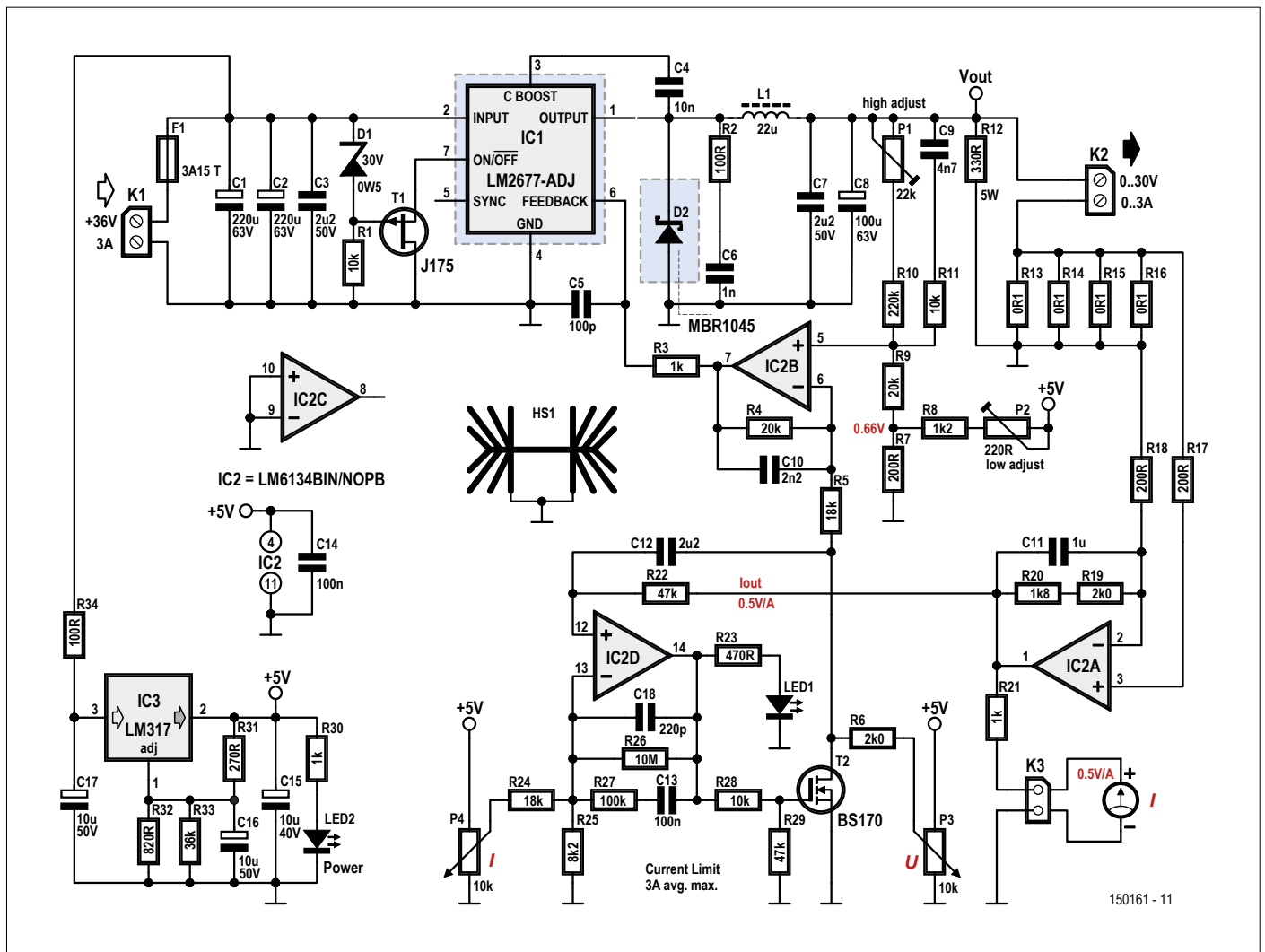


Figure 3. Schéma de la nouvelle UniLab. Une tension négative n'est pas nécessaire pour réguler la tension jusqu'à 0 V, grâce à une contre-réaction active astucieuse.

3 ou 5 A ?

Pourquoi avoir limité le courant à 3 A, alors que le circuit intégré peut en délivrer 5 ? Lors du test de notre premier prototype, nous avons décelé un phénomène étrange (voir « convertisseur Buck tête » dans *Elektor* de novembre 2015 et mars 2016), ce qui nous a amenés à limiter le courant de sortie. Lorsque nous connectons à la sortie de l'alimentation une charge commutée à la fréquence de résonance (3,36 kHz) du filtre de sortie (L1, C7, C8), le courant qui parcourt la bobine est 1,5 fois supérieur à celui dans la charge ; pour des impulsions de 3 A dans celle-ci, le circuit doit donc fournir près de 5 A. Pour éviter que la limitation de courant interne du LM2677 n'agisse, nous avons limité le courant de sortie à 3 A ; cette limite est déterminée par R24 et R25. Si vous voulez tout de même un courant de sortie de 5 A, fixez la valeur des deux résistances à 10 k Ω ; vous devrez aussi remplacer le fusible par un modèle supportant 5 A. Il faudra bien entendu être prudent avec des charges commutées, car la tension de sortie risque de devenir instable, ou de s'effondrer.

Lorsque la tension d'entrée atteint 30 V, la diode Zener D1 commence à conduire ; et pour quelques volts de plus, la tension grille-source de T1 (la tension aux bornes de R1) augmente suffisamment (entre 3 et 6 V) pour bloquer le transistor, et activer IC1.

Ce qui différencie surtout ce circuit par rapport à l'ancienne UniLab, c'est la boucle de contre-réaction construite autour d'IC1. Pour pouvoir réguler la tension jusque 0 V, la tension sur la broche de contre-réaction (broche 6) doit le rester aussi en approchant la tension de référence de 1,21 V. Nous utilisons donc un amplificateur pour le continu, IC2B. La combinaison de cet amplificateur et d'IC1 peut en fait être considérée comme un ampli-op de puissance, les broches 6 et 5 d'IC2B en sont les entrées positive et négative. Une tension régulée de 0 à 5 V, venant de P3, arrive sur l'entrée inverseuse d'IC2B (l'entrée positive de notre « ampli-op de puissance »). La tension de sortie d'IC1 est réinjectée, après L1 et via un diviseur de tension, vers l'entrée non-inverseuse d'IC2B. Le signal sur cette entrée est amplifié deux fois, alors que le gain inverseur d'IC2B est de -1. Ceci nous permet de dimensionner le diviseur de tension constitué de P1, R10 et R9 : pour une tension de sortie de 30 V, nous devons avoir 2,5 V sur la broche 5 d'IC2B ; la valeur de la somme de P1 et R10 doit être d'environ onze fois celle de R9.

Le signal de contre-réaction doit être juste supérieur à 1,21 V pour une régulation vers 0 V, c'est le rôle du diviseur de tension constitué de P2, R8 et R7. Celui-ci délivre une tension d'environ 0,66 V sur la broche 5 d'IC2B, soit 1,21 V après amplification ($\times 2$), tension égale à la référence. Les valeurs de P2, R8 et R7 sont relativement faibles par rapport à celle de R9, de telle manière qu'une variation du courant dans cette dernière ait peu d'influence sur la tension aux bornes de R7. Avec une tension élevée en sortie, la tension aux bornes de R7 est négligeable ; les tensions de sortie minimale et maximale peuvent donc être ajustées respectivement par P2 et P1. Le *shunt* de mesure du courant est constitué de quatre résistances de 0,1 Ω



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances :

(5% / 0,25 W, sauf mention contraire)

R1, R11, R28 = 10 k Ω
 R2, R34 = 100 Ω
 R3, R21, R30 = 1 k Ω
 R4, R9 = 20 k Ω , 1%
 R5, R24 = 18 k Ω
 R6, R19 = 2 k Ω , 1%
 R7, R17, R18 = 200 Ω , 1%
 R8 = 1,2 k Ω
 R10 = 220 k Ω
 R12 = 330 Ω , 5%, 5 W
 R13-16 = 0,1 Ω , 5%, 0,5 W
 R20 = 1,8 k Ω
 R22, R29 = 47 k Ω
 R23 = 470 Ω
 R25 = 8,2 k Ω
 R26 = 10 M Ω
 R27 = 100 k Ω
 R31 = 270 Ω
 R32 = 820 Ω
 R33 = 36 k Ω , 1%
 P1 = ajustable horizontal 22 k Ω
 P2 = ajustable horizontal 220 Ω
 P3, P4 = potentiomètre linéaire 10 k Ω

Condensateurs :

C1, C2 = 220 μ F / 63 V, radial, pas de 5 mm, \varnothing 10 mm
 C3, C7 = 2,2 μ F / 50 V, céramique Y5V, pas de 5,08 mm
 C4 = 10 nF / 100 V, céramique X7R, pas de 5,08 mm
 C5 = 100 pF / 100 V, céramique COG/NPO, pas de 5,08 mm
 C6 = 1 nF / 100 V, céramique X7R, pas de 5,08 mm
 C8 = 100 μ F / 63 V, radial, pas de 5 mm, \varnothing 10 mm
 C9 = 4,7 nF / 50 V, céramique X7R, pas de 5,08 mm

C10 = 2,2 nF / 100 V, céramique X7R, pas de 5,08 mm
 C11 = 1 μ F / 63 V, 5%, MKT, pas de 5 ou 7,5 mm
 C12 = 2,2 μ F / 50 V, 5%, MKT, pas de 5 ou 7,5 mm
 C13, C14 = 100 nF / 50 V, céramique X7R, pas de 5 mm
 C15-17 = 10 μ F / 50 V, radial, pas de 2 mm, \varnothing 5 ou 6,3 mm
 C18 = 220 pF / 200 V, céramique COG/NPO, pas de 5,08 mm

Bobine :

L1 = 22 μ H, 15%, 11 A, 0,014 Ω , pas de 23,9 ou 29,3 mm (par ex. Murata 1422311C)

Semi-conducteurs :

D1 = BZX55C30, diode Zener 30 V / 0,5 W
 D2 = MBR1045, diode Schottky, TO-220AC
 LED1, LED2 = LED verte, 3 mm
 T1 = J175_D26Z, JFET canal P, TO-92
 T2 = BS170, MOSFET, TO-92
 IC1 = LM2677T-ADJ, régulateur CC-CC, TO-220-7
 IC2 = LM6134BIN/NOPB, quadruple ampli-op, MDIP-14
 IC3 = LM317, régulateur de tension, TO-220-3

Divers :

K1, K2 = bornier à vis, à 2 broches, pas de 5,08 mm
 K3 = barrette mâle droite, à 2 picots, pas de 2,54 mm
 P3, P4 = barrette mâle droite, à 3 picots, pas de 2,54 mm
 F1 = porte-fusible pour circuit imprimé, 20 \times 5 mm, 500 V, avec fusible temporisé 3,15 A et couvercle
 HS1 = dissipateur thermique pour circuit imprimé, 2,6 $^{\circ}$ C/W (par ex. Aavid 530002B02500G)
 Kit d'isolation pour D2, plaquette et canon isolant (par ex. Multicomp MK3306/S)
 Circuit imprimé réf. 150161-1

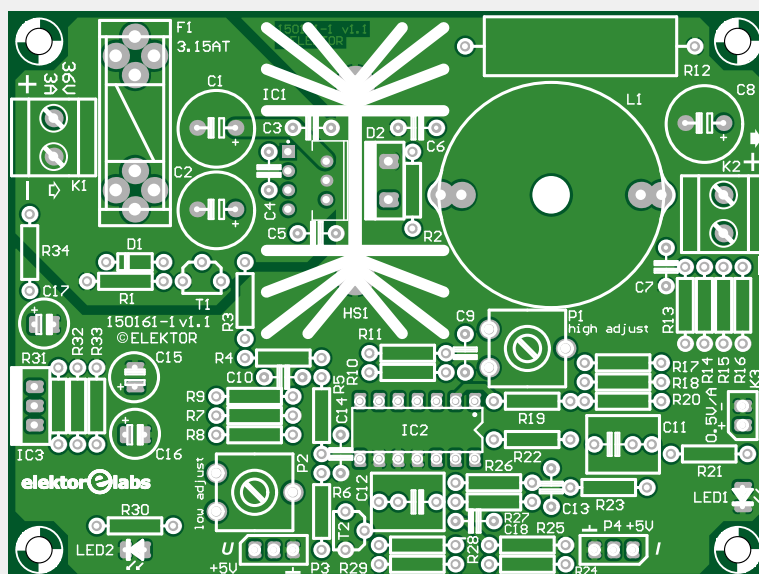


Figure 4. Le circuit imprimé à double face est de dimensions modestes, et le montage est facilité par l'emploi de composants à fils.

en parallèle (R13 à R16), cela réduit le coût. La tolérance de ces résistances est de 5%, ce qui peut avoir une conséquence sur la valeur de la tension de sortie, qui peut dévier de quelques pour cent. Ceci pourrait éventuellement être compensé en utilisant un voltmètre plus sensible, avec un diviseur de tension adapté. La tension aux bornes du *shunt* est amplifiée ($\times 20$) par IC2A, dont la sortie a suffisamment de marge pour des courants de sortie bien supérieurs à 3 A : la sortie d'IC2A n'est que de 1,5 V pour un courant de sortie de 3 A.

IC2D compare la tension fixée par P4 (pour la limitation de courant) avec la tension de sortie d'IC2A. La tension sur le curseur de P4 est encore divisée par R24/R25, pour ne pas dépasser 1,5 V (limitation du courant à 3 A au maximum). Le circuit autour d'IC2D constitue une combinaison d'un amplificateur à grand gain (déterminé par R26) et d'un comparateur (un trop grand gain risquerait de rendre la boucle de limitation du courant instable). Lorsque le courant maximal est atteint, IC2D limite via T2 la tension provenant du curseur de P3 (via R6, afin d'éviter un court-circuit de la sortie du LM317 lorsque P3 est au maximum). La valeur de la somme de R5 et R6 est égale à la valeur de R4, de telle manière que le gain inverseur d'IC2B soit bien de -1 . La LED1 s'illumine en cas de limitation de courant.

Encore quelques détails : R12 est une résistance *ballast*, qui prévient un emballement de la tension de sortie en l'absence d'une charge minimale ; elle favorise en outre la stabilité du régulateur, mais fait baisser le rende-

ment (consommation de 2,7 W à 30 V). Les résistances R11, R22 et R27, et les condensateurs C5, C9, C10, C11, C12, C13 et C18 ont été ajoutés pour améliorer la stabilité de la boucle de régulation des tension et courant. Leur valeur a été déterminée de façon empirique, en observant le comportement de l'alimentation pour différentes tensions de sortie, et avec une charge variable, commutée à diverses fréquences ; il y a donc une certaine latitude pour l'amélioration.

R3 est connectée entre la sortie d'IC2B et la broche de contre-réaction d'IC1, car nous avons estimé qu'il était recommandé d'attaquer cette broche directement avec la sortie d'un ampli-op. En outre cela a permis d'ajouter C5 pour améliorer la stabilité. Enfin, R2 et C6 atténuent les impulsions parasites produites lors des commutations.

La tension d'entrée doit se situer entre 36 et 38 V. Une alimentation à découpage du commerce (par ex. de marque Mean Well) convient : c'est moins cher et en général moins encombrant qu'un transformateur avec son redresseur en pont et ses condensateurs de filtrage ; l'ondulation résiduelle sera sans doute aussi plus faible.

Montage et mise au point

Les dimensions du circuit imprimé d'UniLab 2 (**fig. 4**) restent modestes. Ce circuit est disponible dans la boutique d'Elektor, mais si vous souhaitez le réaliser, le dessin se trouve sur le site du magazine [4]. Tous les composants sont à fils, le montage est donc relativement aisé.

Le régulateur IC1 et la diode D2 sont montés sur le même radiateur, lui-même installé sur le circuit imprimé. La diode D2 est isolée par une plaquette et un canon isolant (voir liste des composants).

La languette

métallique d'IC1 et la plaquette d'isolation de D2 devront être enduites de pâte thermo-conductrice ; pas de trop, sinon l'effet est délétère. IC1 et D2 seront fixés au radiateur par un boulon M3 de 10 mm de long, avec rondelle de fixation et écrou. R12 sera montée à une certaine distance du circuit imprimé. Le régulateur IC3 ne doit pas être refroidi. Contrairement à la première version d'UniLab, les deux potentiomètres de réglage de tension et de courant ne sont pas montés sur le circuit imprimé, mais y sont reliés par des morceaux de fil souple, pas plus longs que nécessaire. Ça laisse plus de liberté pour le boîtier de l'alimentation.

Lors de la mise en boîtier, veillez à ce que la languette métallique du LM317 (IC3) ne soit pas en contact avec des parties métalliques, elle est connectée en interne à la broche de sortie, +5 V dans le cas présent.

Comme signalé plus haut, une alimentation à découpage peut servir à alimenter le circuit. Pour notre prototype, nous avons utilisé un modèle de 200 W de Mean Well, le RSP-200-36. Cette alimentation peut fournir 5,56 A, elle est donc parfaite si vous voulez modifier le circuit pour qu'il puisse débiter 5 A (voir l'encadré « 3 ou 5 A ? »).

Pour l'indication de la tension et du courant, vous pouvez opter pour deux modules de voltmètre numérique ; on utilisera éventuellement des diviseurs de tension pour une indication correcte. Les tensions minimale et maximale doivent encore être ajustées, mais c'est très simple. On règle P3 au minimum et P4 au maximum, et on connecte à la sortie une résistance de 12 Ω /5 W. On augmente alors lentement la valeur de P2 jusqu'à ce que la tension de sortie commence à augmenter ; on aura ainsi environ 10 mV en sortie. On déconnecte la résistance, la tension de sortie « grimpe » à plus ou moins 0,3 V. On met ensuite P4 au minimum, et on ajuste la tension de sortie à 30 V avec P1. Voilà, c'est prêt !

Beaucoup de plaisir avec votre nouvelle alimentation de laboratoire universelle ! ◀

(150161 – version française : Jean-Louis Mehren)

Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/090786
- [2] www.elektormagazine.fr/100529
- [3] www.elektormagazine.fr/100166
- [4] www.elektormagazine.fr/150161

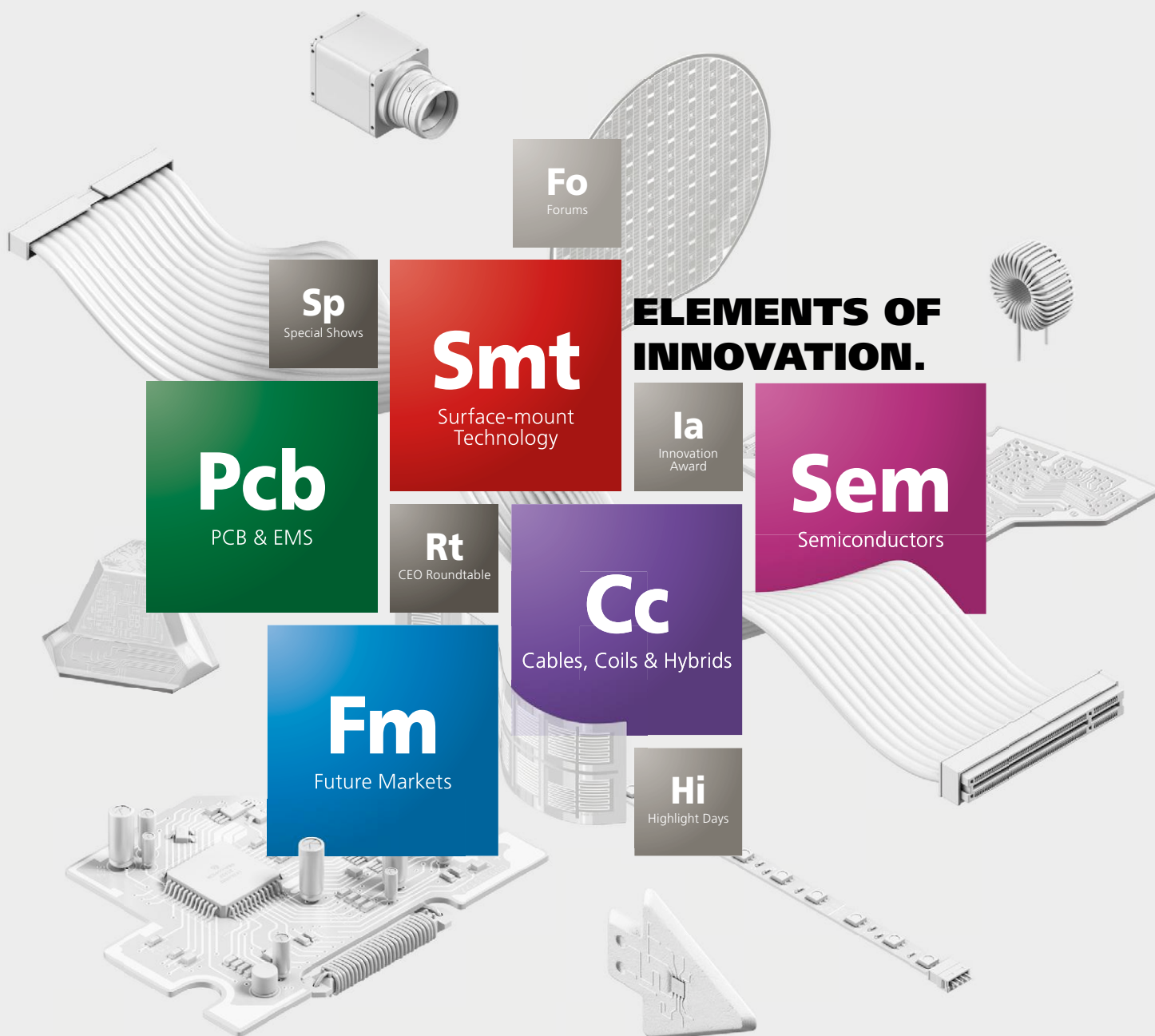




Messe München

Connecting Global Competence

→ Achetez vos billets maintenant !



Salon leader mondial du développement
et de la production électronique
14.-17. novembre 2017
Messe München
productronica.com



Co-located event



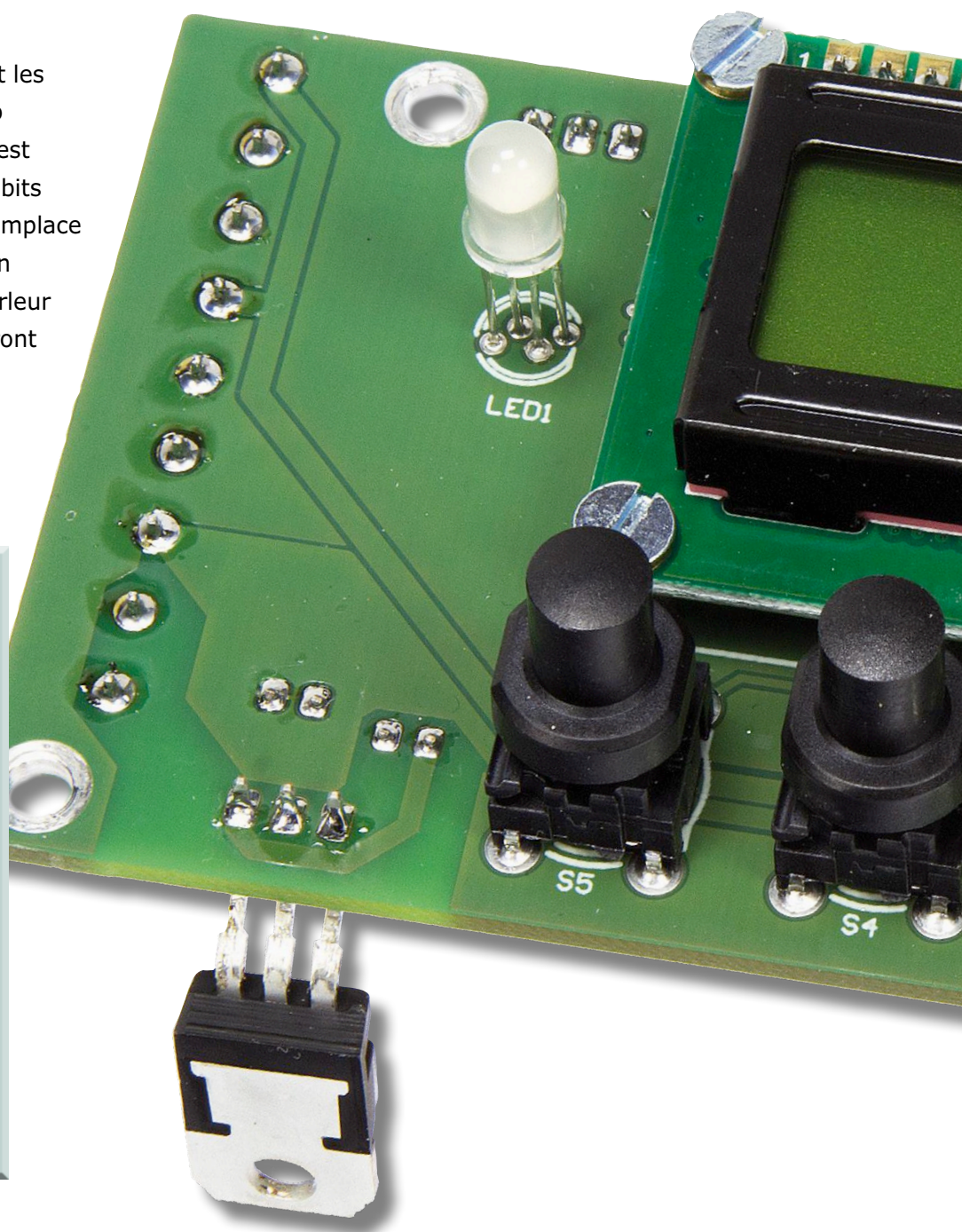
productronica 2017
innovation all along the line

carte DSP à FPGA pour SDR à bande étroite

3^e partie : carte de commande

Daniel Uppström (SM6VFZ, Suède) et Ton Giesberts (labo d'Elektor)

Voici enfin le cadran avec écran et les organes de commande de la radio DSP à FPGA. La carte d'interface est équipée d'un microcontrôleur à 8 bits ATmega128A de Microchip, elle remplace le Raspberry Pi utilisé jusqu'ici. Un amplificateur audio et un haut-parleur y sont joints, ils vous débarrasseront du casque d'écoute.



INFOS SUR LE PROJET



FPGA DSP SDR
radio radio amateur RF
microcontrôleur



débutant
connaissseur
→ expert



env. 4 h



poste de soudage CMS,
perceuse à colonne,
outils de travail du métal



env. 100 €

Caractéristiques techniques

- LCD à 2×16 caractères + LED RGB
- 2 codeurs rotatifs, 5 boutons-poussoirs
- Commande de netteté
- Silencieux
- Polyvalent
- Ampli audio embarqué

Il manquait à la radio SDR les commodités habituelles d'un poste normal pour remplacer l'encombrant contrôleur à Raspberry Pi avec moniteur, clavier et souris. Cette carte-ci dispose d'un LCD à 2×16 caractères, de trois boutons-poussoirs, de deux codeurs rotatifs (avec

poussoir), d'un ampli audio de 2 W, d'un régulateur de tension de 5 V et de tout le nécessaire pour réaliser une radio indépendante. La **figure 1** donne un aperçu partiel de la carte. La polyvalence de cette carte à microcontrôleur (μ C) lui permet de servir à de nombreuses autres applications. Son schéma complet est représenté à la **figure 2**.

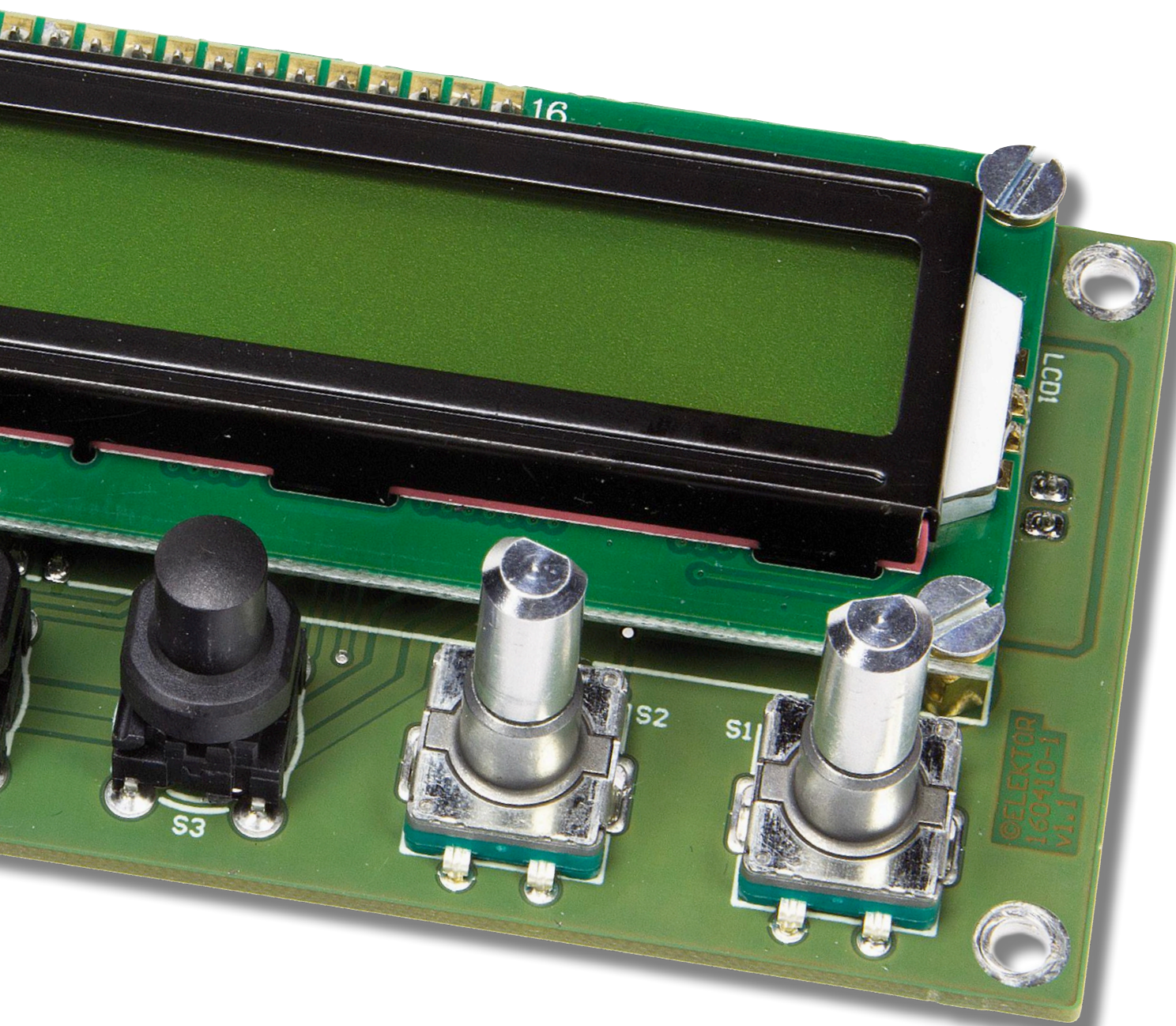
I²C

La carte à μ C et celle de la radio logicielle (DSP) communiquent par bus I²C, accessible sur K3. Quand le contrôleur démarre, il envoie des paramètres au FPGA pour définir sa tâche de base. L'utilisateur règle lui-même la fréquence, le volume et le mode de fonctionnement (AM, SSB, CW, etc.). Le contrôleur suit en permanence l'état du FPGA. Les don-

nées concernent entre autres la force du signal (RSSI) et le sens de la transmission (RX ou TX).

Le bus I²C est simple, n'a besoin que de peu de lignes et permet d'ajouter d'autres nœuds. Les lignes SDA et SCL sont à collecteur ou drain ouvert et les résistances R2 et R3 les ramènent au 5 V. On pourrait croire que c'est incompatible avec les E/S sous 3,3 V du FPGA, mais les résistances ne laissent passer qu'un faible courant et les diodes de protection du FPGA empêchent les tensions résiduelles de l'endommager.

Les résistances R4 et R5 avec les deux perles de ferrite L4 et L5 atténuent le bruit RF (radiofréquence) sur l'interface. Le cavalier à souder JP1 sur la carte DSP à FPGA doit rester ouvert pour sélectionner le mode I²C au lieu du mode UART.



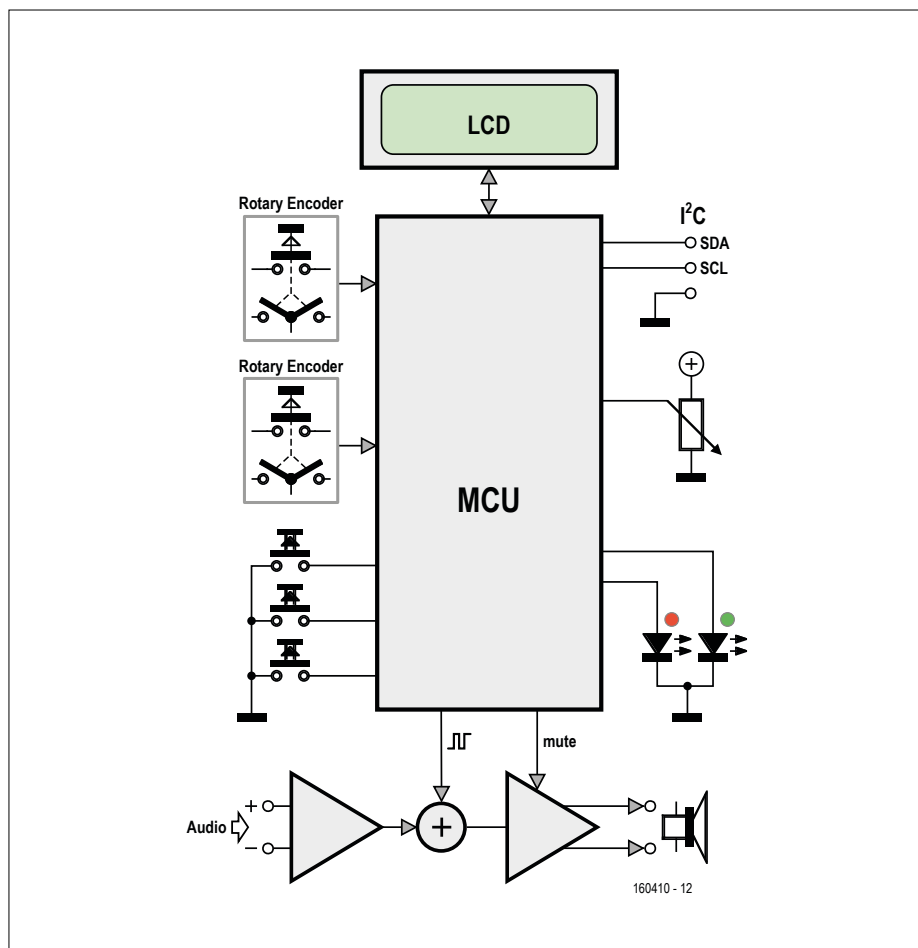


Figure 1. Même si ce diagramme ne montre que les commandes principales et les périphériques de la carte à μ C, il va de soi qu'elle serait à sa place dans de nombreuses autres applications.

Boutons-poussoirs et codeurs

Les boutons-poussoirs S3, S4 et S5, de concert avec les codeurs S1 et S2 ainsi que le LCD constituent l'interface utilisateur de la radio. Le codeur rotatif S1 sert au réglage de la fréquence de travail de la radio.

L'autre codeur, S2, règle le volume. Poussez et tournez pour fixer le niveau de silencieux. Il coupe la sortie audio quand la force du signal tombe sous un certain niveau.

Le bouton-poussoir S5 permet de sauter vite d'une bande de fréquence à une autre, tandis que S4 fait basculer entre les modes AM, LSB, USB, CW et CWN (filtre étroit CW). Le poussoir S3 donnera accès au menu de configuration, qui n'est pas encore implémenté dans le micrologiciel.

L'afficheur LCD1 montre les réglages actuels. C'est un LCD compatible avec le standard HD44780 alphanumérique sur deux lignes de 16 caractères. Le contraste se règle par l'ajustable P2. Le LCD est câblé en mode complet de 8 bits

pour en tirer le maximum.

Gros bouton de syntonisation

Un vrai radioamateur effectue de nombreux changements de fréquence vers le haut et le bas de la bande, un codeur mécanique bon marché comme S1 ne tiendrait pas le coup longtemps. Il est bien plus confortable d'installer un bon codeur optique, plus cher, mais avec un beau gros bouton, on obtient le même toucher que sur les transceivers ondes courtes de haut de gamme. Ce codeur-là tourne mieux, mais en plus, nous lui avons implémenté un accélérateur qui permet de couvrir plus vite un spectre large lors de rotations plus rapides. Le codeur optique Bourns ENA1J-B28-L00128L en est un bon exemple, son prix est raisonnable et il est compatible avec le micrologiciel de la carte. On le connecte à K1.

Commande de netteté

Quand on utilise la radio en émission, il est souvent souhaitable de réaliser un

réglage fin de la fréquence du récepteur sans modifier celle de l'émetteur. C'est ce qu'on appelle faire la netteté (*clarifying*) et on l'obtient avec le potentiomètre P1. Quand il dévie de la position médiane, s'ajoute à la fréquence de réception un décalage indiqué sur l'afficheur par un signe plus ou moins.

LED RVB

On ne peut plus se passer de LED RVB, donc il y en a une sur la carte aussi, c'est LED1. Mais il ne s'agit pas ici d'une babiole chatoyante, mais juste d'un témoin des modes opératoires principaux :

1. émission (rouge)
2. réception (vert)
3. éteint (bleu)
4. silencieux (noir)

Quelle idée de considérer le mode « éteint » comme une opération ? En fait, la LED1 s'allume en bleu quand la radio est éteinte par S6, alors que l'alim de 5 V reste disponible, une sorte de mode de veille. Quand la radio est en marche, la LED est verte en mode récepteur, sinon rouge. Si le silencieux est actif et que le signal audio est muet, la LED ne s'allume pas du tout.

Alimentation

Si vous disposez d'une source capable de fournir au moins 7 V, montez le régulateur IC5 pour donner au reste de la carte le 5 V auquel elle aspire. Dans ce cas, il faut prévoir la dissipation de chaleur de ce régulateur. On peut commuter la source branchée sur K7 au moyen de S6 dont on a déjà parlé, à condition qu'il soit bipolaire.

Les connecteurs K5 et K6 peuvent servir à fournir le 5 V à la carte ou à le distribuer à d'autres cartes. Notez que K5 précède S6 et que K6 est derrière lui, donc que ce dernier est directement connecté au reste du circuit.

Son et musique

La carte DSP à FPGA est dotée d'un CODEC audio avec une sortie HP en classe AB qui ne peut donner que 250 mW dans une charge de 8 Ω . Comme les petits HP n'ont d'habitude qu'un faible rendement, les 250 mW ne suffisent souvent qu'à un casque d'écoute. Aussi, on a ajouté un petit amplificateur à la carte à μ C pour lui donner plus de puissance. Le choix s'est

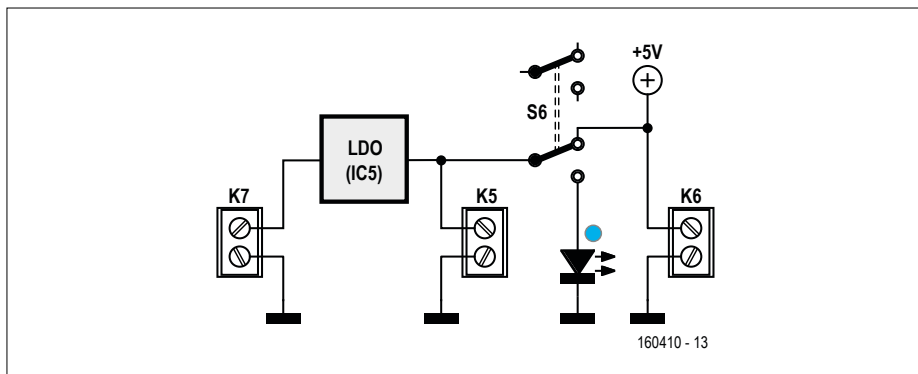


Figure 3. Gros plan sur les connexions de puissance. K7 est une entrée, K5 peut être une entrée 5 V ou se muer en sortie si K6 est une sortie 5 V commutée. Le second circuit de S6 est disponible pour commuter d'autres appareils, comme une source branchée sur K7.



Figure 4. Coup d'œil dans le prototype terminé. Remarquez la manière dont le câble d'antenne est enroulé pour faire oublier qu'il est trop long.

porté sur un ampli en classe AB plutôt qu'en classe D pour éviter le bruit RF. C'est un ampli audio MAX9711 (IC4) qui l'anime. Il a un étage de sortie différentiel et peut donner près de 2 W sur 4 Ω avec une alim simple de 5 V. Son entrée est asymétrique, alors que la sortie son de la carte à FPGA est symétrique. Raison pour laquelle IC2 rend le signal asymétrique pour l'envoyer à IC4, mais fait aussi office de filtre passe-bas avec une fréquence de coupure de 8,6 kHz, définie par C9 à C12 plus C16. Cette largeur de bande est plus que suffisante pour la voix ; on peut l'élargir en réduisant les valeurs de ces condensateurs. Les

résistances et condensateurs à l'entrée de IC2 devraient respecter une tolérance de 1 % ou mieux pour assurer la meilleure atténuation du mode commun. La puce IC3, une référence de 2,5 V, élève l'entrée non-inverseuse de IC2 à la moitié de la tension d'alimentation. La rétroaction sur le MAX9711 en fait un inverseur, ce qui permet de l'utiliser aisément pour additionner différents signaux d'entrée. On peut ainsi fournir au processeur le moyen de produire des bips et des cris qui attireront l'attention de l'utilisateur et cela avec un simple filtre passe-bande ajouté à cet effet, composé de R23/C22 et R22/C21.

Le processeur peut aussi rendre muet l'ampli audio, puisque sa ligne de port PE2 est reliée à l'entrée de silencieux de IC4.

Prudence en branchant le haut-parleur, les deux broches de sortie conduisent un signal. En mettre un à la masse par mégarde peut provoquer un court-circuit fatal au MAX9711 (nous n'avons pas essayé pour voir).

L'interconnexion entre K4 et la sortie K2 de la carte à FPGA se fait sur trois fils qu'il convient de tresser. Le point de masse du côté de la carte DSP à FPGA n'est pas connecté.

Vous trouverez sur [4] une description détaillée de l'amplificateur audio.

Et pour finir, le processeur...

Alors que la majorité du circuit a été décrite à présent, il n'y a presque plus rien à dire sur le microcontrôleur, qui est pourtant le centre névralgique de la carte.

S'il faut une horloge très stable, il y a l'option du quartz X1 flanqué des condensateurs C5 et C6, mais pour le micrologiciel actuel, l'oscillateur RC suffira à cadencer sans frais l'ATmega128A. Cela produit d'ailleurs moins de rayonnement sans signal d'horloge à l'extérieur du processeur.

On programme le microcontrôleur au moyen d'un adaptateur AVR ISP branché sur K2. Il reste des lignes de port GPIO disponibles sur K8 pour l'expérimentation et des extensions.

Et le logiciel, dans tout cela ?

À source ouverte, le micrologiciel pour la carte à μ C est disponible sur la page du projet [1] [4] ; vérifiez-en sur [6] la dernière version. D'origine, le logiciel est configuré pour servir à un radioamatteur en ondes courtes avec la carte radio simple proposée précédemment, mais on peut l'adapter facilement à d'autres gammes de fréquence ou à un autre usage.

Pilote du LCD excepté, tout est dans le fichier *main.c* et certains paramètres de configuration sont disponibles dans le fichier *build_settings.h*. Le code est linéaire et bien lisible.

Deux temporisateurs simplifient la vie de l'utilisateur. Ils tiennent à jour toutes les 100 ms l'état des boutons de bande (S5) et de mode (S4), la position de la commande de netteté P1 et la valeur du RSSI.

Les codeurs rotatifs provoquent des

interruptions quand on les manœuvre et une routine traite alors leur déplacement. Un temporisateur à 10 ms contrôle leur vitesse maximale et assure l'antirebond des contacts. Le codeur de syntonisation S1 (ROT1 dans le logiciel) travaille en parallèle avec le codeur optique optionnel branché sur K1 (ROT2 dans le logiciel). Comme celui-ci n'a pas de contacts mécaniques, il n'a pas besoin d'antirebond, ce qui le rend beaucoup plus prompt. Le système peut alors détecter quand on fait virevolter le bouton, ce qui se traduit par des sauts de fréquence plus larges.

Mettons tout ensemble

Le propos était bien d'arriver à construire une radio indépendante, voyons l'aspect mécanique et le moyen de tout rassembler.

Nous avons trouvé chez Conrad Electronics sous la référence GSS03 un boîtier convenable et assez peu onéreux pour y installer la radio DSP à FPGA. Ses dimensions : 200×150×70 mm. Il est de conception simple, avec deux coquilles identiques pour le haut et le bas, fait d'acier robuste de 1,5 mm avec quelques fentes de ventilation. Le haut et le bas sont vissés avec des vis autotaraudeuses sur deux plaques identiques d'aluminium de 1 mm d'épaisseur qui forment les faces avant et arrière. Il ne faut aucun autre support pour les cartes, elles se logent facilement dans ce boîtier. Il en existe une version plus grande pour prévoir de futures extensions. Les dimensions du modèle GSS04 sont de 250×200×70 mm, pour pouvoir installer le haut-parleur en face avant.

Câblage

Bien qu'il soit un peu trop long, on trouve dans le commerce un câble SMA mâle à mâle RG405 pour connecter la carte RF aux sorties du CN/A de la carte DSP, ce qui ne requiert aucun outil spécial pour fixer les connecteurs SMA aux câbles blindés. On en trouve en ligne sur eBay, par exemple.

Comme entrée d'antenne, nous utilisons pour la carte RF un câble SMA RG316 BNC femelle à femelle. Comme ce câble est aussi plus long que nécessaire, nous en faisons une boucle à l'arrière du boîtier (**fig. 4**). On peut ainsi brancher une antenne extérieure par câble BNC. On monte la carte à μ C sur la face avant en la positionnant assez loin vers la droite pour laisser place à l'interrupteur d'alimentation.

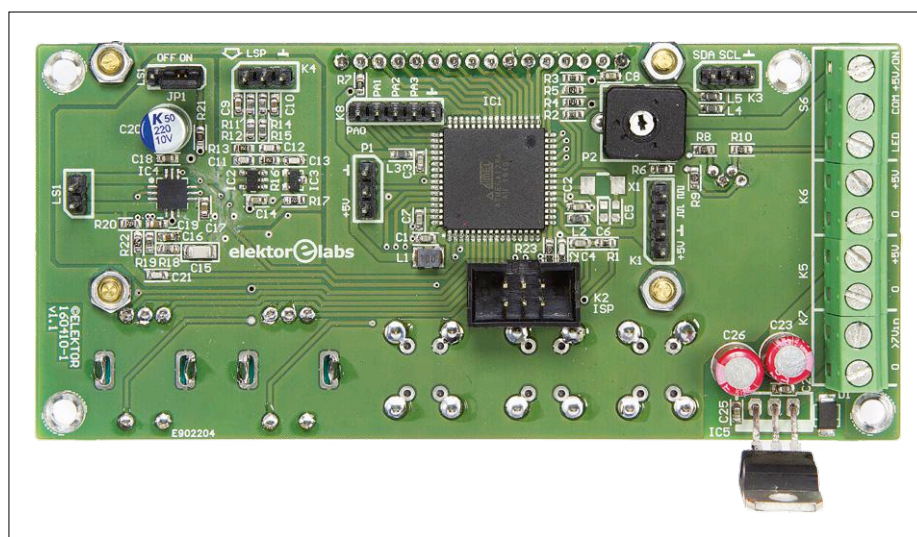


Figure 5. Les broches du régulateur de tension IC5 ont été pliées pour qu'il puisse facilement s'adosser sur le fond du boîtier.

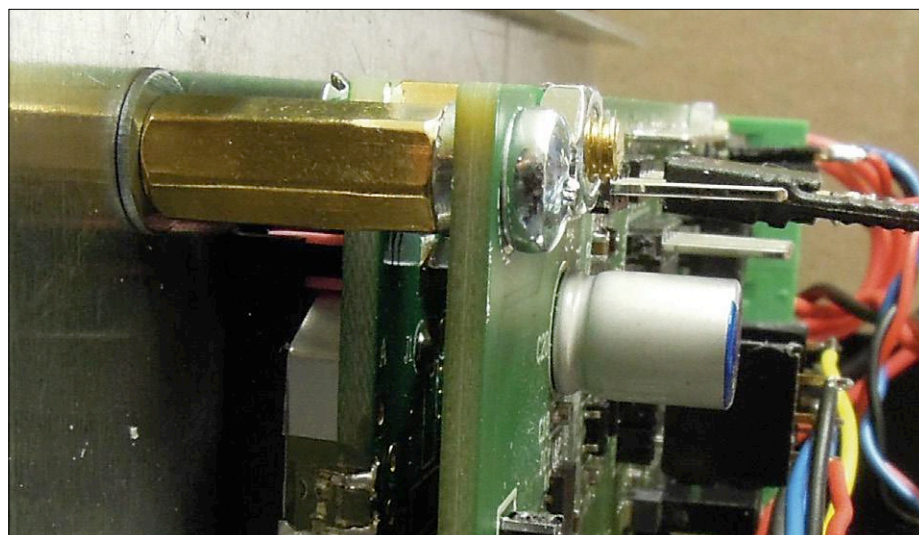


Figure 6. Entretoises et rondelles permettent de placer la carte à μ C avec précision derrière la face avant du boîtier pour créer un ajustement serré de l'afficheur LCD.

mentation. Le potentiomètre P1 s'installe à côté du codeur rotatif optique, à la même distance que celle qui sépare S1 de S2.

Utilisez des embases à picots et de fins fils multibrins pour relier le potentiomètre et le codeur optique aux embases à picots correspondantes sur la carte à μ C (P1 et K1). Faites attention à la polarité lors du câblage du codeur optique, une inversion risque de le rendre inutilisable. Si le codeur semble tourner dans le mauvais sens, inversez les lignes de données.

Les connexions au bus I²C (K3 et K4 de la carte à μ C) et au haut-parleur (K7 et

K2 de la carte DSP), celles de la sortie de la carte RF (K4) vers l'entrée de la carte DSP (K1) se font sur des supports au moyen de fins fils multibrins. Torsadez ou tressez-les tous. L'usage de supports pour les connexions facilitera plus tard d'éventuels changements ou extensions, mais n'hésitez pas à souder tous les fils directement sur les embases à picots.

Alimentation, 2^e partie

Sur notre prototype, il y a un régulateur de 5 V, IC5, sur la carte à μ C (**fig. 5**) fixé sur le fond du boîtier avec un canon et une plaque d'isolation. Le fond du boîtier est en acier, il conduit mal la chaleur,



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances :

sauf indication contraire : 1 %, 0,1 W, 0603

R1 = 100 k Ω

R2, R3, R6, R12, R15, R19 = 10 k Ω

R4, R5 = 120 Ω

R7 = 15 Ω

R8, R9, R10, R17 = 2,2 k Ω

R11, R14, R18 = 1 k Ω

R13, R16 = 11 k Ω

R20 = 22 k Ω

R21 = 0,22 Ω

R22 = 220 k Ω

R23 = 47 k Ω

P1 = 10 k Ω , potentiomètre linéaire avec cosses à souder

P2 = 10 k Ω , potentiomètre d'ajust. horizontal

Condensateurs :

sauf indication contraire : 0603

C1, C2, C3, C4, C7, C8, C14, C24, C25 = 100 nF

C5, C6 = 33 pF (en option)

C9, C10 = 10 nF, 1 %, U2J

C11, C12 = 1 nF, 1 %

C13, C21, C22 = 1 nF

C15 = 100 nF, 1206

C16 = 10 nF

C17, C18, C19 = 1 μ F

C20 = 220 μ F, 10 V, \varnothing = 6,3 mm,

au pas de 2 ou 2,5 mm

C23, C26 = 10 μ F, 35 V, \varnothing = 6,3 mm,

au pas de 2 ou 2,5 mm

Inductances :

L1 = 10 μ H, 250 mA, 0,2 Ω , 1210

L2, L3, L4, L5 = perle de ferrite,

1 k Ω @ 100 MHz, 200 mA, 0,6 Ω , 0603

Semi-conducteurs :

D1 = PMEG3050EP

LED1 = RVB, 5 mm, cathode commune

IC1 = ATmega128A-AU, programmé

IC2 = TLV314IDBVT

IC3 = NCP431AVSNT1G

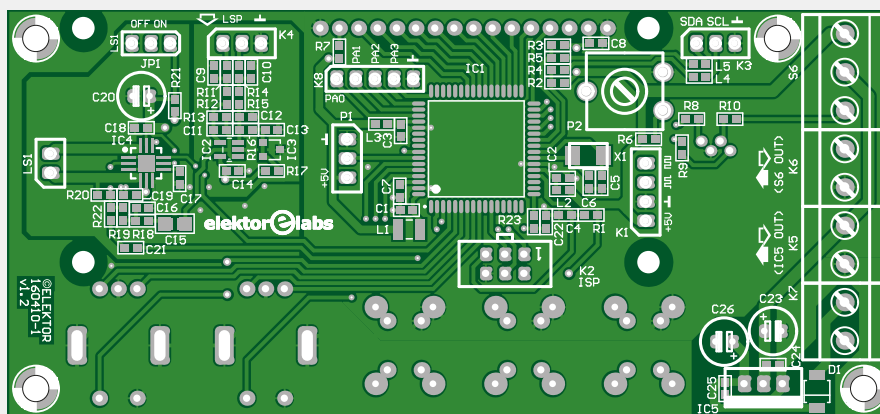
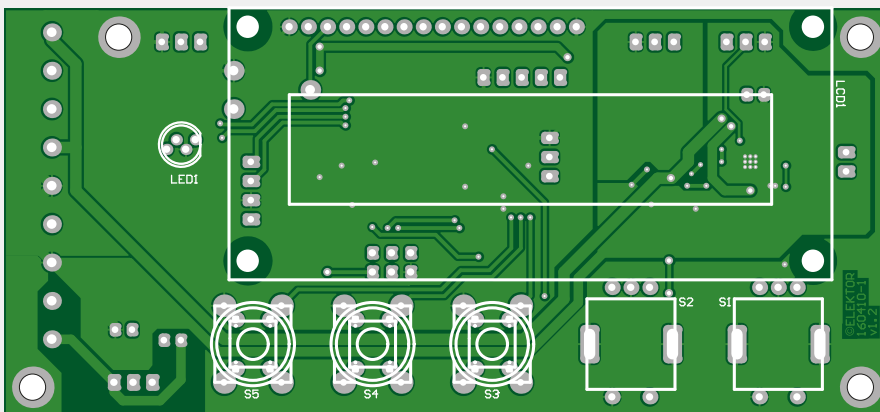
IC4 = MAX9711ETC+

IC5 = LD1085V50, TO-220

Divers :

K1 = embase SIL à 4 picots, verticale, au pas de 2,54 mm

K2 = embase à 6 picots (2x3), verticale,



au pas de 2,54 mm

K3, K4, JP1 = embase SIL à 3 picots, verticale,

au pas de 2,54 mm

K5, K6, K7 = bornier à 2 vis 630 V,

au pas de 5,08 mm

K8 = embase SIL à 5 picots, verticale,

au pas de 2,54 mm

LCD1 = LCD compatible HD44780, 2x16 caractères

LS1 = mini haut-parleur, 4 W, 4 Ω

S1, S2 = codeur rotatif + bouton-poussoir, Alps EC11E183440C

S3, S4, S5 = bouton-poussoir, Multimec RA3FTH9

S6 = inverseur à levier, DPDT, 28 VDC, 5 A

X1 = quartz 8 MHz, 18 pF, 5x3,2 mm (en option)

Divers :

pour IC5 : kit d'isolation, isolateur thermique TO-220 + canon TO-220

pour IC5 : 2x vis et écrou M3 + rondelle

pour JP1 : cavalier *shunt*, au pas de 2,54 mm

pour K1 : barrette femelle SIL à 4 contacts,

verticale, au pas de 2,54 mm

pour K3, K4, P1 : barrette femelle à 3 contacts, verticale, au pas de 2,54 mm

pour K8 : barrette femelle SIL à 5 contacts, verticale, au pas de 2,54 mm

pour LCD1 : embase SIL à 16 picots, verticale, au pas de 2,54 mm

pour LS1 : embase à 2 picots, verticale, au pas de 2,54 mm

pour LS1 : barrette femelle à 2 contacts, verticale, au pas de 2,54 mm

pour P1 : embase à 3 picots, verticale, au pas de 2,54 mm

pour S1, S2, P1 : bouton rond, 12 mm, axe de 6 mm

pour S3, S4, S5 : capuchon noir 19 mm, Multimec 1S09-19.0

pour S6 : bornier à 3 vis, encartable, 630 V, au pas de 5,08 mm

circuit imprimé réf. 160410-1 dans l'e-choppe

moins bien que l'aluminium. La dissipation de puissance par IC5 est d'autant plus forte que sa tension d'entrée est élevée. Si celle-ci est supérieure à 8 V, mieux vaut utiliser un vrai radiateur. L'alimentation de puissance en CC passe par la prise pour jack sur la face

arrière, connectée à K7 de la carte à μ C par de gros fils multibrins, d'au moins 0,75 mm². Le même type de fil sert à toutes les connexions de puissance. La sortie de l'alimentation commutée de 5 V sur K6 de la carte à μ C est connectée à K10 de la carte DSP qui la relaie vers

K6 de la carte RF. Sur toutes les cartes, l'alimentation de puissance passe par des borniers à vis pour des connexions robustes et sûres.

Si vous utilisez une alim externe de 5 V, vous êtes dispensé d'installer sur la carte le régulateur de tension, la diode D1 et

C23 à C26 (cf. figure 3). L'entrée se fait sur K5, mais il n'y a là aucune protection de polarité. Le 5 V sur K5 est commuté par S6. Si vous ne le souhaitez pas, utilisez K6 comme entrée pour l'alim de 5 V. C'est moins pratique, puisque K6 était supposé servir de point de distribution de la tension d'alimentation pour les autres cartes.

Audio

Le haut-parleur miniature se trouve sur la face arrière, il est relié par deux fils au connecteur LS1 de la carte à µC. On peut aussi l'installer sur l'une des coquilles, au choix. S'il n'est pas prévu de déposer quelque chose sur le boîtier, c'est la meilleure place pour obtenir un son plus direct. Le petit HP choisi (ABS-230-RC) est compact et facile à installer. Mais sa réponse dans le grave n'est pas reluisante, dès 300 Hz, on remarque la

baisse de pression sonore. Rien n'empêche d'en utiliser un plus gros de 4 Ω et d'au moins 2 W.

Il reste de la place en face avant pour ajouter un jack stéréo pour casque, de 3,5 mm ou même de 6,35 mm. S'il est équipé d'un interrupteur, utilisez-le pour couper le haut-parleur. Insérez aussi une résistance en série (environ 100 Ω) avec les écouteurs pour limiter la puissance de crête et découpler toute charge capacitive du câble.

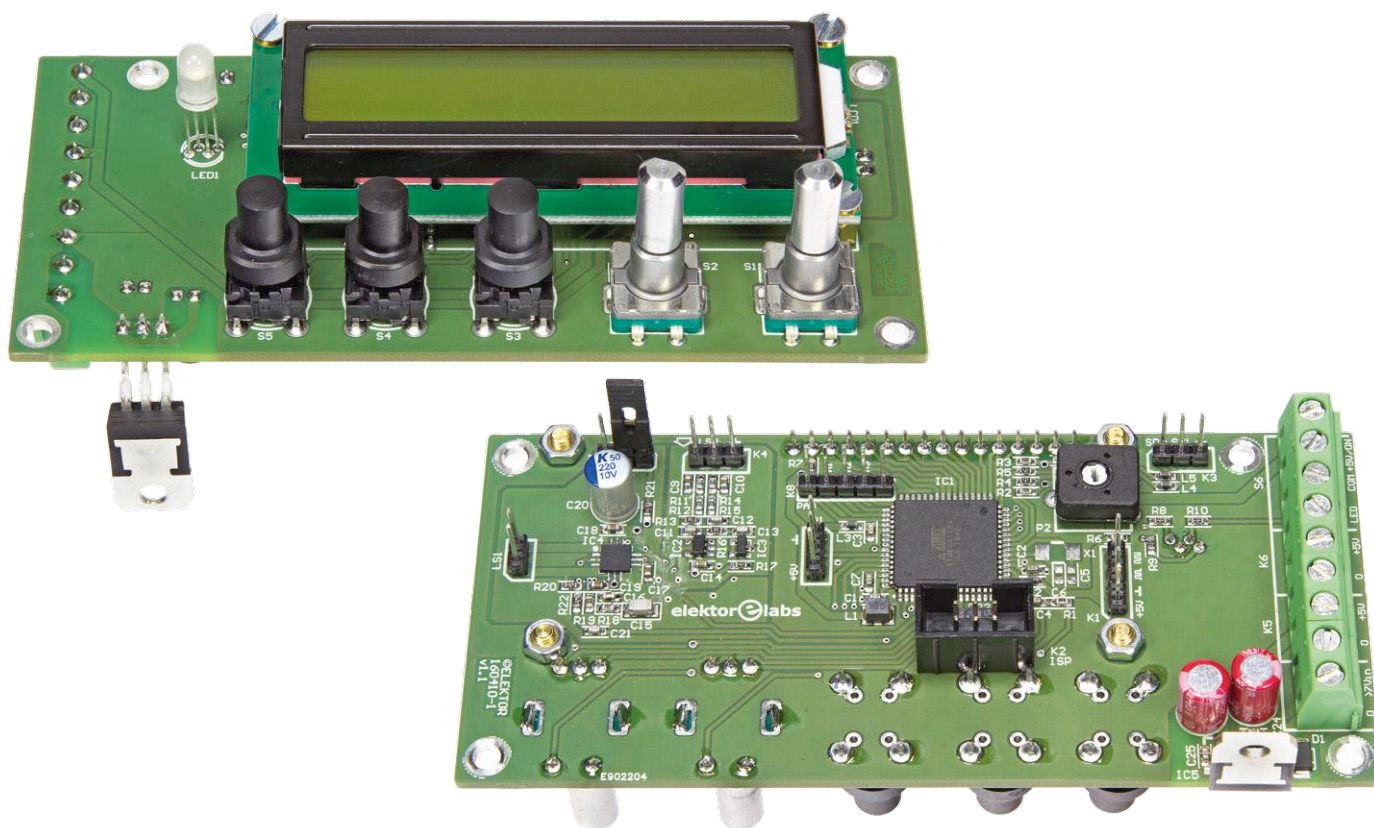
Installation du LCD

Utilisez une copie en grandeur nature de la face inférieure du circuit imprimé de la carte à µC comme patron pour le forage. Attention, les impressions laser ne respectent pas toujours l'échelle 1:1. La surface d'écran du LCD est aussi imprimée dans la sérigraphie de la face inférieure,

mais elle correspond au module standard de notre e-choppe (120061-74). Ceux d'autres fabricants peuvent différer en dimension d'écran. Consultez la fiche technique pour repérer sa position et ses dimensions et vérifiez si le brochage correspond.

La carte à µC est montée sur quatre entretoises de 12 mm à filetage intérieur de M3, avec rondelle M3 et rondelle éventail (**fig. 6**). Ensemble, elles l'écartent d'exactement 13,4 mm derrière la face avant pour laisser juste la place au module LCD, 5 mm au-dessus de la carte. De nouveau, si votre module est différent, il faudra ajuster cette distance. Le LCD lui-même se fixe à la carte à µC au moyen de quatre entretoises de 5 mm mâles/femelles et quatre courtes vis de 4 mm. ◀

(160410 – version française : Robert Grignard)



Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/160410
- [2] www.elektormagazine.fr/150177
- [3] www.elektormagazine.fr/160160
- [4] <https://www.elektormagazine.fr/labs/microcontroller-board-for-fpga-dsp-radio-160410>
- [5] blog de l'auteur : sm6vfz.wordpress.com
- [6] micrologiciel le plus récent : <https://github.com/danupp/radiocontrol-mega128>



DANS L'E-CHOPPE

→ 160410-1

circuit imprimé nu
pour carte à µC

→ 120061-74

afficheur alphanumérique
de 2×16 caractères

indicateur de fusible grillé

Hans-Norbert Gerbig (Allemagne)



Vous mettez sous tension un circuit, et vous entendez un boum ou un léger pfff, voire rien du tout. Vous avez tous vécu cette expérience. Dans ce cas, le suspect tout désigné est le fusible. La réparation express habituelle consiste à le remplacer, même si cela n'est pas

recommandé tant qu'on n'a pas identifié la cause exacte de la panne. Mais en voyage ou en haute mer, bien loin du labo d'électronique, que faire d'autre ? Le fusible est-il vraiment mort ? S'il y en a plusieurs, lequel est coupable ? Difficile de le savoir sans instrument de mesure, d'où l'intérêt de l'indicateur de fusible grillé...

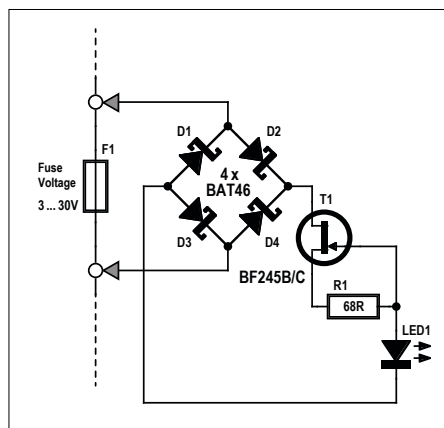


Figure 1. Le circuit de l'indicateur de fusible grillé se contente de sept composants.

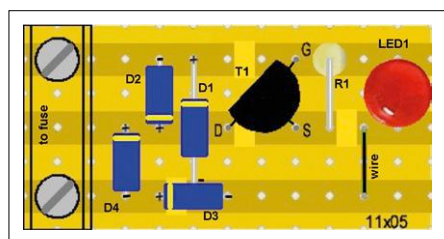


Figure 2. Voici à quoi peut ressembler une plaque d'essai à trous avec le montage de la figure 1.

Quand à la mise sous tension, il y a une détonation ou un grésillement, ou qu'il ne se passe tout simplement rien, on peut raisonnablement suspecter qu'un ou plusieurs fusibles ont rendu l'âme. Du moins si l'appareil est bien branché, si le disjoncteur général n'a pas sauté et s'il n'y a pas de coupure de courant – c'est-à-dire si d'autres appareils alimentés par le même réseau fonctionnent normalement.

Certains petits fusibles sont remplis de sable de quartz qui permet d'éteindre rapidement l'arc électrique qui naît de la fusion du conducteur du fusible (un fil fin), et donc de couper le courant le plus vite possible en cas de court-circuit. C'est parfait pour l'appareil à protéger, mais cela présente un inconvénient majeur : on peut difficilement évaluer l'état du fusible par un examen visuel. Comme le fusible de certains appareils grille régulièrement, un indicateur optique serait le bienvenu. C'est simple avec le secteur : on branche une petite lampe en parallèle avec le fusible. Pour les basses tensions, l'indicateur présenté ci-dessous allume une LED en cas de fusion du fusible surveillé.

Indicateur de défaut

Un indicateur de défaut devrait être simple, bon marché, fiable et de petite taille. En conséquence, il devrait aussi comporter un nombre limité de composants. Le circuit de la **figure 1** remplit ces critères. Son fonctionnement est ultra simple : moyennant une petite adaptation, une LED se retrouve branchée en parallèle sur le fusible. Dans l'état normal, la LED est court-circuitée par le fusible intact et reste éteinte. En cas de fusion du fusible, la tension d'alimentation apparaît à ses bornes à travers la charge. La LED en parallèle est alors alimentée et s'allume.

L'électronique nécessaire peut rester fort simple. La première considération est que l'indicateur doit fonctionner indépendamment de la polarité et aussi en courant alternatif. Il faut donc brancher la LED et son limiteur de courant à la sortie d'un redresseur en pont. Pour qu'il n'y ait pas trop de perte de tension et que l'indicateur fonctionne même avec des basses tensions d'alimentation, on utilise des diodes Schottky pour D1 à D4.

Il faut encore s'assurer que le courant à travers la LED soit non seulement limité, mais qu'il reste constant sur une

large plage de tension. Le mieux est une source de courant constant, dont la variante la plus simple est un transistor à effet de champ (FET) à canal N avec une résistance entre la grille G et la source S. Le courant dépend essentiellement de la pente du FET, c'est-à-dire de sa tension GS pour un courant donné ainsi que de la résistance. Il faut toutefois prendre garde à la tension maximale DS (drain-source) ainsi qu'à la puissance dissipée maximale. Avec un FET BF245, on arrive à 30 V. On peut donc utiliser l'indicateur avec des tensions de fusible de 3 à 30 V. Pour ce qui est de la puissance : selon sa feuille de caractéristiques [1] et à une température ambiante jusqu'à 75 °C, le BF245 peut dissiper jusqu'à 300 mW, mais il s'échauffe alors considérablement. Il vaut mieux ne pas dépasser la moitié de cette valeur. Pour $R_1 = 0 \Omega$, la variante BF245A débite un courant de 4 mA, suffisant pour qu'une LED s'illumine nettement. La puissance dissipée reste alors dans le domaine des 100 mW, même pour 30 V. Pour le BF245B, on arrive à 10 mA environ et enfin pour le BF245C à 18 mA, ce qui augmente la luminosité d'autant. Avec R_1 , on peut réduire le courant à travers la LED à volonté. Pour le BF245B, on obtient un courant d'environ 7 mA pour la valeur indiquée de 68 Ω pour R_1 .

Montage

Le schéma est tellement simple qu'on peut se contenter de monter les sept composants sur une plaque d'essai à trous, comme suggéré par le plan d'implantation de la **figure 2**. Un bornier à vis tripolaire au pas de 5 mm

facilitera le raccordement en parallèle du fusible. Dernier conseil : pour des petites tensions, utilisez une LED rouge qui présente la plus faible chute de tension. Si vous voulez un indicateur qui se remarque vraiment, optez pour une LED clignotante (LED1). ◀

(160449)

Lien

[1] www.nxp.com/documents/data_sheet/BF245A-B-C.pdf



L'auteur

Hans-Norbert Gerbig a enseigné au lycée franciscain Kreutzborg de Großkrotzenburg. Il était responsable de groupes d'étudiants en électronique. Il était déjà passionné par radio-électronique pendant ses études. À présent à la retraite, il peut se consacrer pleinement à son loisir technique.

THE BEST VALUE IN ELECTRONIC TEST & MEASUREMENT

SIGLENT®



359€ HT

SDS1202X-E Oscilloscope Super-Phosphore

- Bande passante 200 MHz, 14 Mpts de profondeur mémoire
- 2 voies analogiques, échantillonnage 1 GSa/s
- Décodage de bus en standard (IIC, SPI, CAN, LIN, UART)
- FFT 1 million de points Taux de capture maximum des signaux 100,000 wfms/s



soit 1449€ HT

SSA3000X Spectrum Analyzer

- 9 kHz to 2.1 GHz (SSA3021X), 9 kHz to 3,2 GHz (SSA3032X)
- min. -161 dBm/Hz DANL (plancher de bruit)
- Opt. EMI/ AMK/ Reflection Measurement Module
- Promotion:**
- min. 1 Hz RBW
- Option générateur suiveur gratuit
- SSA3032X: 2259€ HT (soit 740€ de remise)

SIGLENT TECHNOLOGIES EUROPE GmbH
Liebigstrasse 2-20, Gebaeude 14, 22113 Hamburg Deutschland

Tel.: +49(0)4081995946
E-mail: info-eu@siglent.com

www.siglenteu.com

lampes et autres objets flottants

guide d'expérimentation

Martin Oßmann (Allemagne)



Comment peut-on faire flotter quelque chose dans l'air apparemment sans effort ? L'électronicien pense immédiatement à un dispositif constitué d'(électro)aimants qui se repoussent mutuellement. Malheureusement il n'est pas si simple de concevoir un circuit qui rende possible une lévitation stable et permanente. Les quelques expériences et circuits décrits ici permettent de réaliser un projet de ce genre. Nous montrons également comment transmettre de l'énergie par induction pour allumer les LED de l'objet flottant.

Il a quelque temps, l'auteur a découvert un compte-rendu sur une « lampe flottante » (Flyte, **fig. 1** [1]). Cela a piqué sa curiosité, et il en a commandé deux exemplaires, l'un pour l'exposer et l'autre à des fins de rétro-ingénierie. Avant que les lampes n'arrivent, il a passé un peu de temps à

se renseigner sur le fonctionnement probable de celles-ci [2]. Les mots-clés pour une recherche sur Google sont « repulsive magnetic levitation ». Le résultat est une série de photos et de vidéos, en revanche l'auteur n'a pas trouvé d'explications vraiment détaillées.



Figure 1. La lampe flottante Flyte.

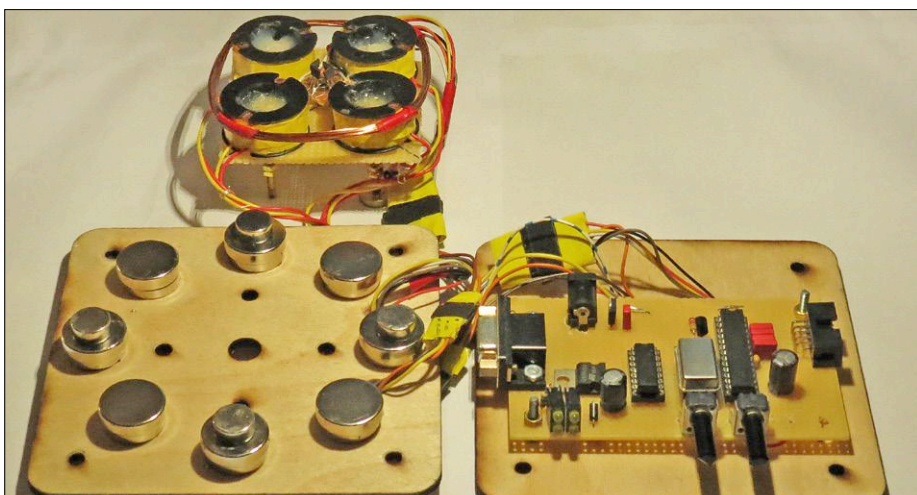


Figure 2. Les éléments de notre soucoupe volante.

C'est l'objet de cet article : nous décrivons ici par le menu comment cela fonctionne. Nous donnerons toutes les indications pour que le lecteur puisse lui-même reconstruire un tel système. De plus nous examinerons d'un peu plus près la lampe Flyte.

Comment ça marche ?

Ces montages ont un point commun : un aimant annulaire crée une force de répulsion sur l'aimant qui flotte dans l'air. Si vous vous procurez un aimant annulaire et que vous tenez par ex. une bille magnétique dans la région au-dessus du centre, vous ressentirez immédiatement l'effet répulsif. Cependant l'aimant flottant a tendance à s'échapper du champ latéralement.

Pour éviter cela, on utilise une régulation électronique afin de stabiliser l'objet flottant sur le plan x-y. En général il s'agit de quatre électroaimants, deux pour l'axe x et deux pour l'axe y. Ils sont connectés par paires, en antiparallèle ou anti-série. Ainsi on peut exercer des forces sur l'aimant flottant dans les directions x et y ; en général, sa position est mesurée par deux ou quatre capteurs à effet Hall.

Selon une source, une carte Arduino suffirait aisément pour la régulation de position, l'auteur a donc tenté sa chance avec un AVR d'Atmel. La mise en œuvre d'une régulation est l'une des possibilités pour échapper au théorème d'Earnshaw [3] qui stipule qu'il n'est pas possible de réaliser une lévitation uniquement avec des aimants permanents. La **figure 2** montre les composants typiques : une carte avec un anneau constitué d'aimants permanents, une carte d'électroaimants et l'électronique de régulation. La construction mécanique est représentée schématiquement sur la **figure 3**. Il s'est avéré judicieux de monter les aimants permanents et les électroaimants sur des cartes séparées (P1 et P2) ; leur écartement d peut être ajusté à l'aide de vis. On peut ainsi combiner de manière optimale l'effet des deux types d'aimants.

Premiers dispositifs de test

Si vous souhaitez faire flotter des aimants, vous devrez vous constituer une belle collection de différents aimants (par ex. chez www.supermagnete.de/fre). Vous devrez aussi tenir compte des pertes possibles : en effet deux aimants en néodyme qui entrent violemment en collision peuvent aisément conduire à la destruction de l'un d'eux en raison de leur fragilité. Comme il faut placer les électroaimants à l'intérieur de l'aimant annulaire, ce dernier sera d'un diamètre intérieur relativement grand, donc difficile à trouver. C'est pourquoi l'auteur a utilisé un agencement circulaire de quatre ou huit petits aimants ronds à la place d'un aimant annulaire. Ces aimants à trou central sont fixés sur une carte à l'aide de vis (fig. 2), renforcés par des aimants discoïdes fixés sur ceux-ci. Il devient alors possible d'effectuer de manière simple un ajustage fin du champ magnétique grâce aux aimants discoïdes additionnels.

Le diamètre intérieur de l'anneau d'aimants est compris entre 80 et 100 mm. On peut déjà en tirer des forces répulsives considérables. Avec cette carte magnétique, le premier composant de notre dispositif est réalisé, la répulsion sur l'axe z est assurée.

Un peu de théorie

D'aucuns se seront peut-être déjà demandé pourquoi un aimant annulaire est utilisé pour produire la force de répulsion, et non pas un aimant discoïde. C'est pourquoi nous allons faire une incursion dans la théorie de la répulsion et de l'attraction magnétiques. Il est facile de calculer le champ magnétique

d'un aimant circulaire (par ex. avec le logiciel FEMM), voir la **figure 4**.

Les rectangles rouge/vert sont les sections transversales de l'aimant annulaire. L'axe de rotation se trouve au centre, à la verticale. Le cercle rouge/vert symbolise une bille magnétique (flottante), la zone blanche définit la zone de stabilisation de sa position.

Le problème est maintenant que cette image du champ n'est pas très pertinente pour représenter les forces exercées sur nos aimants de test. En effet le champ magnétique en soi n'indique pas la force sur un dipôle de test (= aimant), mais le moment de rotation. En l'absence d'autres moments, le dipôle se tourne selon le champ magnétique.

Le gradient (soit la direction et l'intensité du plus grand changement) est représentatif de la force sur un dipôle, alors que la position de l'aimant de test joue aussi un rôle. Dans le cas d'un aimant discoïde, l'aimant de test tourne toujours dans une position telle qu'il est attiré en direction du disque. C'est différent pour un aimant annulaire : il existe une zone dans laquelle l'aimant de test tourne dans une position où il est en fait repoussé.

Autrement dit, la position dans l'espace (rotation autour des axes), y compris la rotation autour de l'axe z, est automatiquement stable. Nos électroaimants gèrent la position horizontale x-y, et l'aimant annulaire en conjonction avec la gravité, la position verticale z. L'objet flottant peut tourner selon l'axe z, ce degré de liberté n'est pas fixé.

Un dispositif expérimental (**fig. 5**) illustre parfaitement ce qui vient d'être dit. Nous utilisons à cet effet un aimant annulaire et une bille magnétique. La bille magnétique peut tourner librement dans un tube au centre de l'aimant annulaire. Le tube détermine ainsi la position de la bille sur le plan horizontal x-y. La force répulsive de l'aimant annulaire assure alors un flottement sur l'axe z, lorsque la bille magnétique tourne dans une position pour laquelle la répulsion devient maximale. Par ailleurs il est intéressant d'observer ce qui se passe

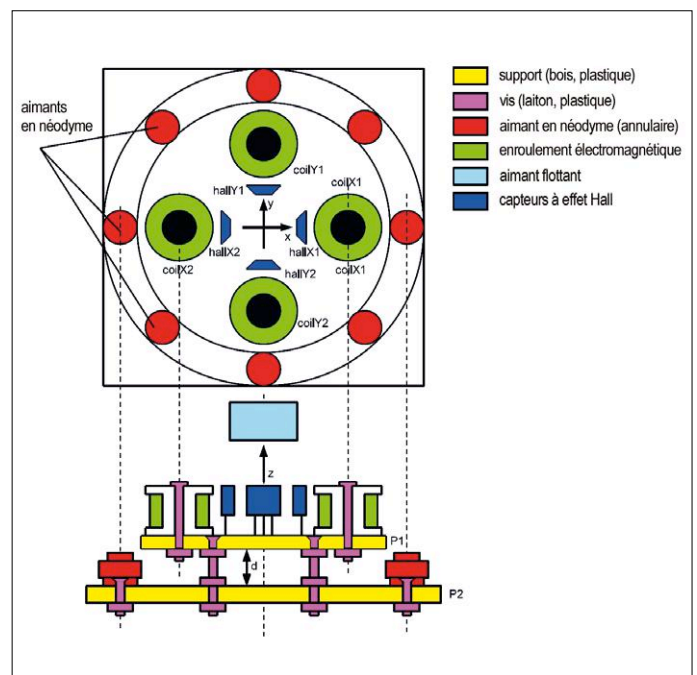


Figure 3. Schéma de la construction mécanique.

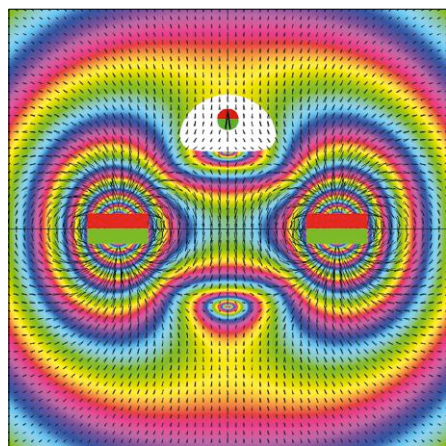


Figure 4. Champ magnétique de l'aimant annulaire.

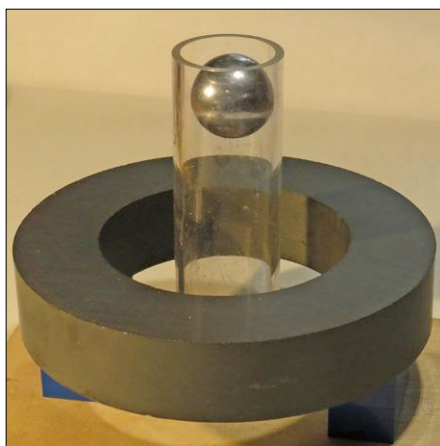


Figure 5. La bille magnétique flotte au-dessus de l'aimant annulaire.

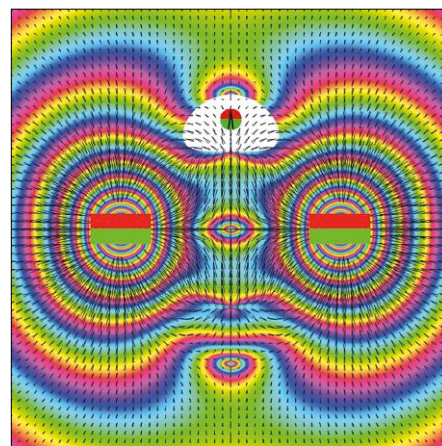


Figure 6. Champ de forces de l'aimant annulaire.

lorsque le dispositif de la fig. 5 est placé « tête en bas ». En raison de la force de répulsion, on pourrait penser que la bille tombe du tube en plexiglas sur le sol. Mais au lieu de cela, la bille ne s'éloigne que très peu de l'aimant annulaire et reste dans le tube, car elle reste attirée par l'aimant annulaire malgré un écart de position plus grand. La bille se stabilise alors juste au-dessus de la zone blanche comme indiqué sur la fig. 4. Si l'on remplace l'aimant annulaire par un aimant discoïde, invariablement la bille magnétique frappe violemment ce dernier, car elle se positionne dans l'espace de sorte que l'attraction devienne maximale. Ce phénomène rendu plausible à l'instant peut aussi être représenté par une « pseudo image de champ » (**fig. 6**). On y voit la force exercée lorsque le dipôle de test s'est placé dans une position dans l'espace telle qu'aucun autre moment de rotation n'agit sur lui. On discerne bien sur la figure 6 qu'une zone de répulsion pas trop grande (marquée en blanc) se situe au milieu, au-dessus de l'anneau. C'est dans cette petite zone que l'aimant flottant se tiendra plus tard.

En raison de ces relations, la hauteur de flottement est donc déjà largement définie par l'aimant annulaire et l'aimant flottant. Une fois la carte magnétique réalisée, on pourra par ex. à l'aide d'une bille magnétique se faire déjà une idée relativement précise de la hauteur à laquelle la bille flottera. En fait la dimension de la zone blanche ne dépend pas de la puis-

sance de l'aimant annulaire, mais de son diamètre. Pour augmenter la hauteur de flottement, il faut un anneau d'aimants plus grand. Un aimant plus puissant ne permettra d'accroître la hauteur qu'à l'intérieur de la zone blanche.

Aimants x-y

Intéressons-nous maintenant aux électroaimants responsables de la stabilisation x-y. L'auteur a utilisé quatre ou huit électroaimants, bobinés en fil de cuivre de 0,25 mm. Comme armature pour la bobine, vous pouvez choisir soit une armature P36/22 (1 200 spires), soit une armature imprimée en 3D, faite maison, composée des pièces conformes aux **figures 7** et **8** (1 600 spires).

Ces bobines peuvent être alimentées avec une tension entre 12 et 15 V. On montera les quatre bobines sur une carte séparée, par ex. en époxy, ou une plaque à trous.

Capteurs à effet Hall

Des capteurs à effet Hall de type SS496A ou SS495A servent à détecter la position de l'aimant flottant. Vous pouvez travailler avec deux ou quatre capteurs ; il faut les monter au centre soit horizontalement, soit verticalement. L'auteur a fait ses meilleures expériences avec quatre capteurs à effet Hall montés verticalement ; le logiciel les exploite par paire sous forme de pont.

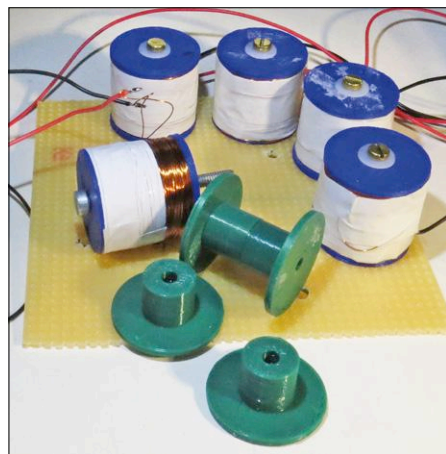


Figure 7. Armatures de bobine réalisées avec une imprimante 3D.

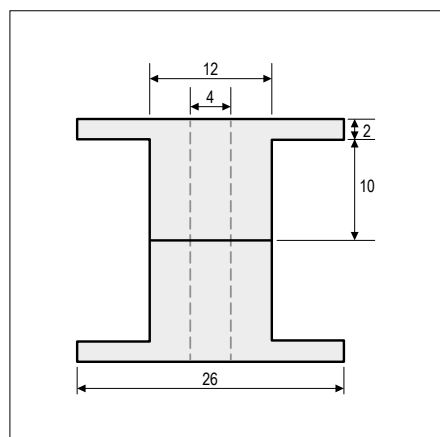


Figure 8. Dimensions de l'armature

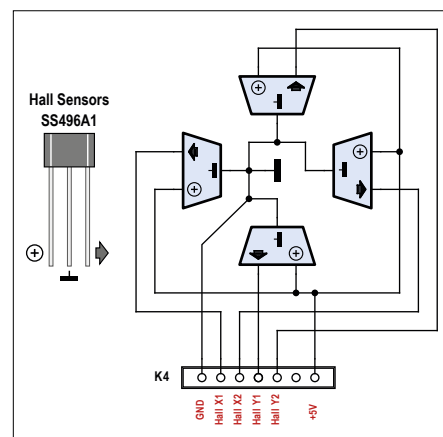


Figure 9. Câblage des capteurs à effet Hall.

Les capteurs sont montés sur le bord supérieur des électroaimants. Ils sont connectés selon la **figure 9** et reliés à l'électronique de commande par le biais du connecteur (à six broches) représenté. Une fois que les électroaimants et les capteurs sont assemblés, il est possible de faire les premiers tests du circuit de régulation.

Électronique de régulation

Le circuit électronique est réalisé conformément à la **figure 10**. Un microcontrôleur ATmega produit deux paires de signaux à MLI qui attaquent le circuit de commande de moteur IC3 de type L293D. Ce double circuit de commande en pont complet fournit alors le courant aux deux paires de bobines. On peut contrôler la direction effective du courant dans les bobines à l'aide de LED connectées tête-bêche. Si l'on tient fermement l'aimant flottant et qu'on le déplace au-dessus des capteurs à effet Hall, l'illumi-

nation des LED change selon la polarité des aimants.

Quatre entrées A/N permettent d'analyser les capteurs à effet Hall, deux autres entrées A/N numérisent la tension des potentiomètres R1 et R2 avec lesquels on peut ajuster les deux paramètres de régulation Kp (constante proportionnelle) et Kd (constante différentielle). Le transistor T1 et le condensateur C13 entrent en jeu lors de la transmission d'énergie sans fil. Leur fonction sera détaillée plus tard.

Le logiciel comprend deux régulateurs PD indépendants, un pour chacun des axes x et y. Il est possible d'observer en coulisse le fonctionnement du logiciel de régulation à l'aide d'une interface RS232 à 115 200 bits/s. Les grandeurs suivantes sont accessibles : les paramètres de régulation Kp et Kd, les positions x et y, les grandeurs réglantes x et y. Ce gratuiciel pour l'ATmega est disponible en téléchargement pour tout lecteur intéressé [4].

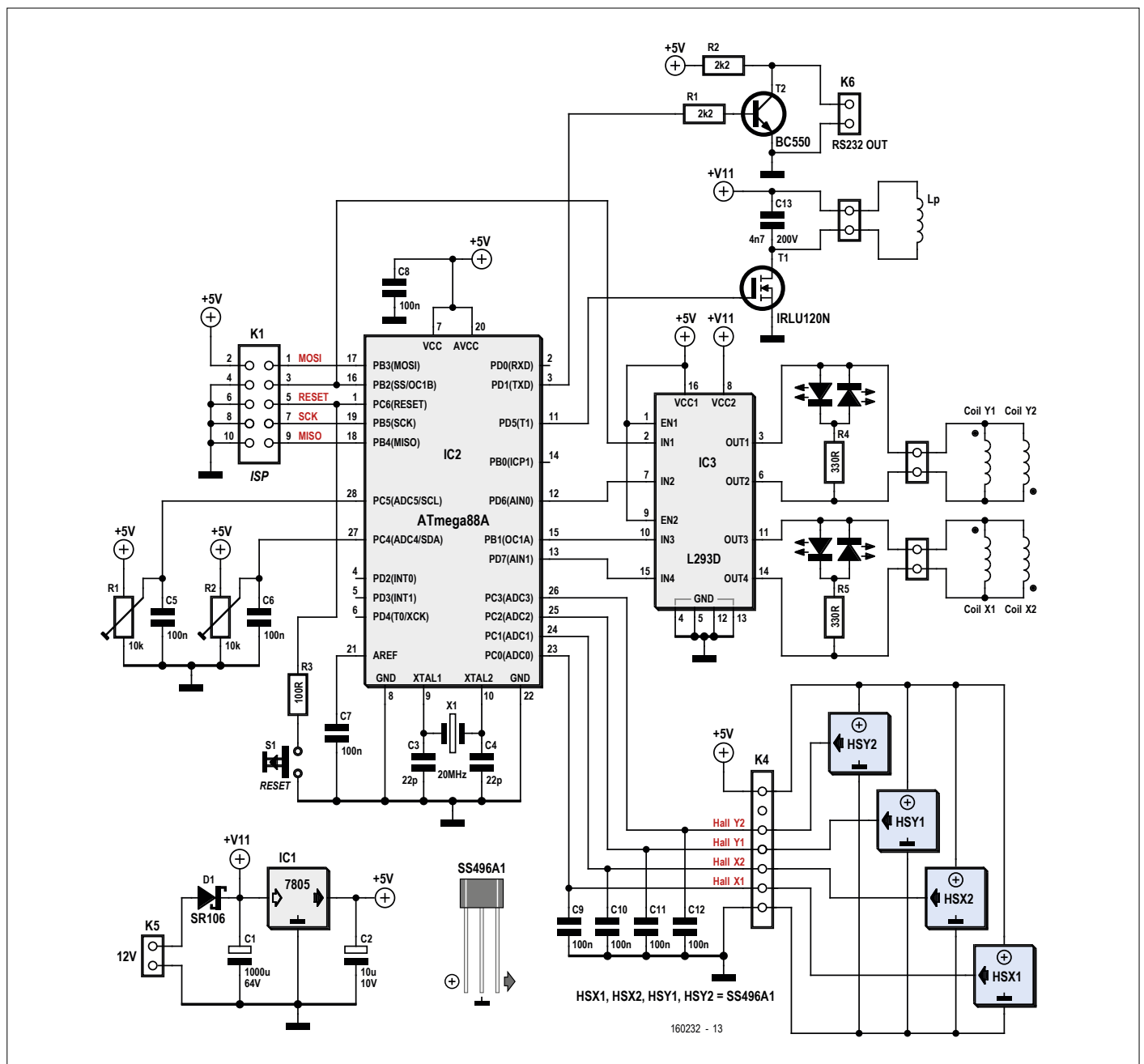


Figure 10. Schéma de l'électronique de régulation.

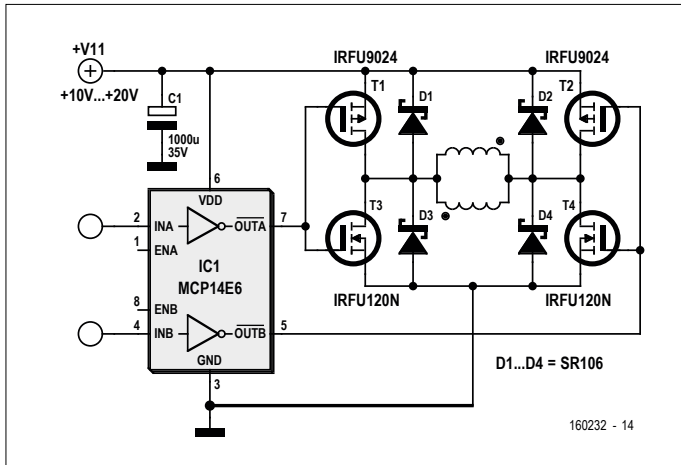


Figure 11. Pont de puissance à MOSFET.

En déplaçant l'aimant flottant à la main et en observant ces grandeurs, il est facile de vérifier que les capteurs fonctionnent correctement, et que le régulateur produit les signaux de consigne adéquats en cas de déviation par rapport au centre. Dans la première phase de test, la quantité de courant requise par les électroaimants n'était pas encore connue. À cet effet deux ponts complets en composants discrets ont été utilisés (schéma de la **figure 11**) en lieu et place du contrôleur L293D. Il est possible avec ce schéma d'injecter plusieurs ampères dans les bobines. Pour des essais avec des courants plus intenses, il est préférable de remplacer le L293 par ce circuit (deux fois).

Test de la carte des électroaimants

Le premier test est effectué sans la carte des aimants permanents, de sorte que seuls les électroaimants produisent un champ (**fig. 12**). On teste d'abord la régulation x, à cet effet on connecte à la carte de régulation uniquement les bobines x et les quatre capteurs. Le potentiomètre Kp est réglé à mi-course, le potentiomètre Kd reste en butée antihoraire (côté masse). Il est possible de vérifier l'effet de la régulation en introduisant prudemment un aimant discoïde, par ex. de 20 mm de diamètre, au centre au-dessus des aimants, sur l'axe x. Si les bobines sont connectées correctement, on doit ressentir en dehors de la position centrale une faible force de répulsion visant à recentrer l'aimant flottant dans sa position initiale



Figure 12. Carte des électroaimants de la soucoupe volante.

(l'aimant étant à la bonne hauteur). En cas de mauvaise polarité, l'aimant se trouve éjecté de sa position centrale par la régulation, ce qui bien entendu n'est pas le but recherché. On vérifie de la même manière la polarité correcte des bobines y. Quand les deux jeux de bobines sont connectés, on observe que la régulation maintient l'aimant flottant en position centrale. Certains concepteurs placent les capteurs à effet Hall à plat sur les bobines comme le montre la **figure 13**. Ce choix n'a pas donné de bons résultats chez l'auteur, car la force du champ magnétique sur l'axe z amenait les capteurs proches de la saturation.

Assemblage et mise en œuvre

L'écart entre la carte de l'aimant annulaire et la carte des électroaimants est crucial lors de l'assemblage (distance d de la figure 3). L'écart doit être ajusté de telle sorte que l'aimant en lévitation flotte sur l'axe z exactement à la position où les électroaimants offrent la meilleure réaction sur le plan horizontal x-y. Si nécessaire il faut tester plusieurs écarts. Si la régulation n'a aucun effet, c'est qu'il y a une erreur. Venons-en à la mise en œuvre proprement dite avec les réglages des paramètres de régulation Kp et Kd. Nous démarrons avec Kp = 0 (butée antihoraire) et Kd = 0 (butée antihoraire). À présent on maintient l'aimant flottant au centre, au-dessus des



Figure 13. Capteurs à effet Hall montés à plat.

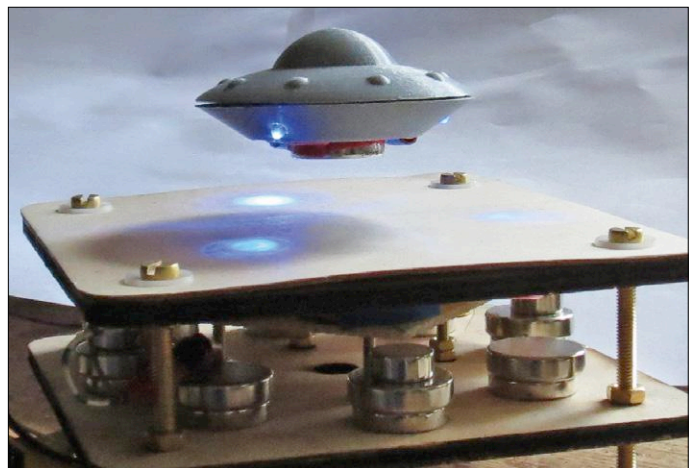


Figure 14. La soucoupe volante.

électroaimants, à l'endroit où celui-ci semble vouloir flotter. Les directions x et y sont ainsi grossièrement définies. Ensuite on tourne lentement le potentiomètre Kp. On remarque alors que la régulation intervient et cherche à maintenir l'aimant au centre. On tourne alors Kp jusqu'au moment où on constate clairement un effet de stabilisation. Mais si l'on relâche l'aimant flottant, celui-ci commencera à osciller puis à entrer en collision avec l'aimant annulaire. Afin d'éviter cela, nous allons introduire la composante différentielle du régulateur.

Nous tournons donc Kd jusqu'à suppression des oscillations. Si cela échoue, on doit le cas échéant retoucher Kp, ou aussi réajuster l'écart entre les cartes de l'aimant annulaire et celle des électroaimants. Les premiers essais sont naturellement les plus difficiles, avec le temps vous acquérez une certaine expérience.

Le **listage 1** donne l'algorithme de la régulation proportionnelle-différentielle. On peut parfaitement effectuer les calculs en nombres entiers, une fréquence d'échantillonnage de 1 kHz est alors possible.

À l'aide d'une imprimante 3D, l'auteur a réalisé une « soucoupe volante » dotée de trois LED en guise de phares. La **figure 14** montre la soucoupe qui flotte à environ 15 mm des électroaimants.

Grand écart

Pour augmenter la hauteur de lévitation, on a construit un exemplaire avec un diamètre de l'aimant annulaire plus grand et huit électroaimants, ainsi que huit aimants permanents (**fig. 15**). Une altitude de flottement de 30 mm a ainsi été atteinte.

Transfert d'énergie par induction

Afin de transmettre de l'énergie par induction, on utilise souvent des circuits où on fait entrer en résonance une bobine primaire et une bobine secondaire munies respectivement de condensateurs adéquats. Les signaux de tension et de courant sont alors sinusoïdaux. L'auteur a été d'autant plus surpris que la tension aux bornes de la bobine primaire de la lampe Flyte arrivée entretemps (et mesurée à l'aide d'une bobine) ressemble à celle de la **figure 16**. Il s'agissait plutôt d'une suite de demi-ondes sinusoïdales. L'auteur a dû fouiller profondément dans sa mémoire jusqu'à parvenir à une interprétation convaincante, en l'occurrence un convertisseur de classe E [5]. Le convertisseur de classe E est souvent utilisé en électronique de puissance à très hautes fréquences. Il est construit selon le schéma de la **figure 17**. La valeur de l'inductance L1 est très grande et induit un courant presque constant. Lr et Cr forment un réseau résonant qui relie la charge R au circuit. Il est nécessaire d'ajouter un pont de redressement au cas où l'on souhaite alimenter une charge en continu.

Le condensateur Cp parallèle au transistor de commutation S (MOSFET) est très inhabituel. Normalement un tel condensateur serait une énorme source de perturbation dans un circuit électronique de puissance, car il est court-circuité lorsque l'interrupteur est fermé (transistor en conduction) et gaspille ainsi l'énergie qu'il a emmagasinée.

Le convertisseur de classe E fait de nécessité vertu. Nous démarrons le circuit avec S fermé et Cp déchargé. Dans l'interprétation classique du circuit, un courant positif (provenant de L1) circule alors à travers l'interrupteur. À présent, ouvrons l'interrupteur S. Comme le condensateur est au début

Listage 1. Algorithme de régulation Proportionnelle/Différentielle.

```
// Calcul de l'erreur sur l'axe x :
errorX=refValueX-HallX;
// Différence nouvelle erreur - ancienne erreur :
dErrorX=errorX-prevErrX;
// Calcul de la valeur réglante :
ctrlX=(errorX*Kp+dErrorX*Kd)/4096 ;
// Envoi de la valeur vers la bobine :
setCoilX(ctrlX);
// nouvelle ancienne valeur = nouvelle valeur :
prevErrX=errorX;
```

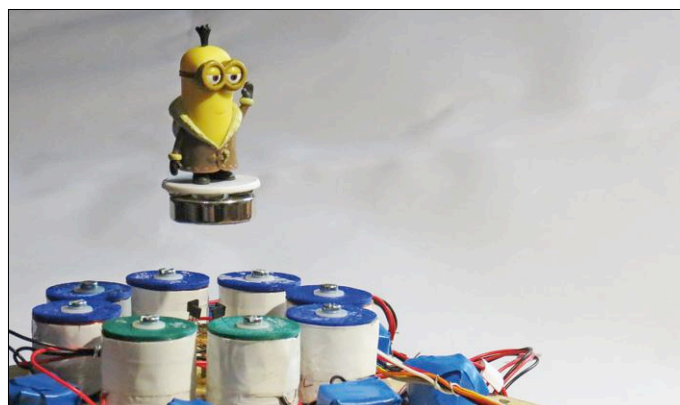


Figure 15. À une « altitude » de 30 mm.

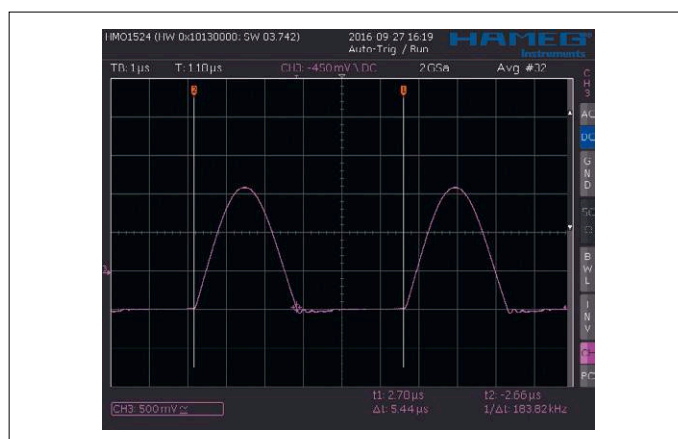


Figure 16. Tension induite pour la lampe Flyte.

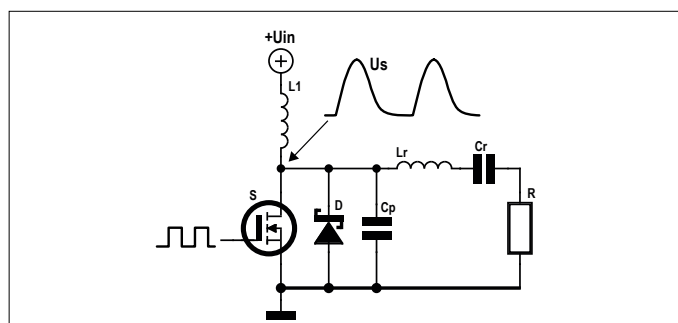


Figure 17. Schéma du convertisseur de classe E.

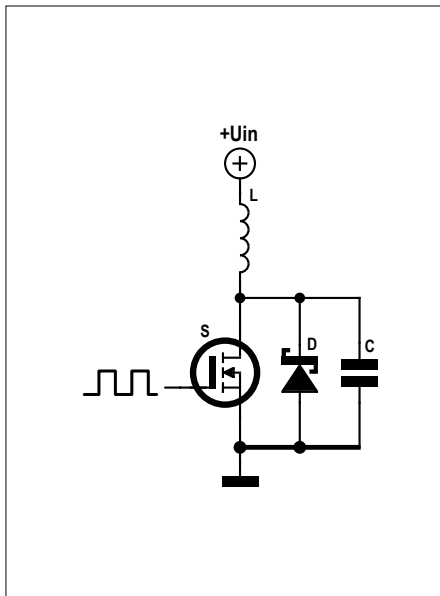


Figure 18. Schéma simplifié du convertisseur de classe E.

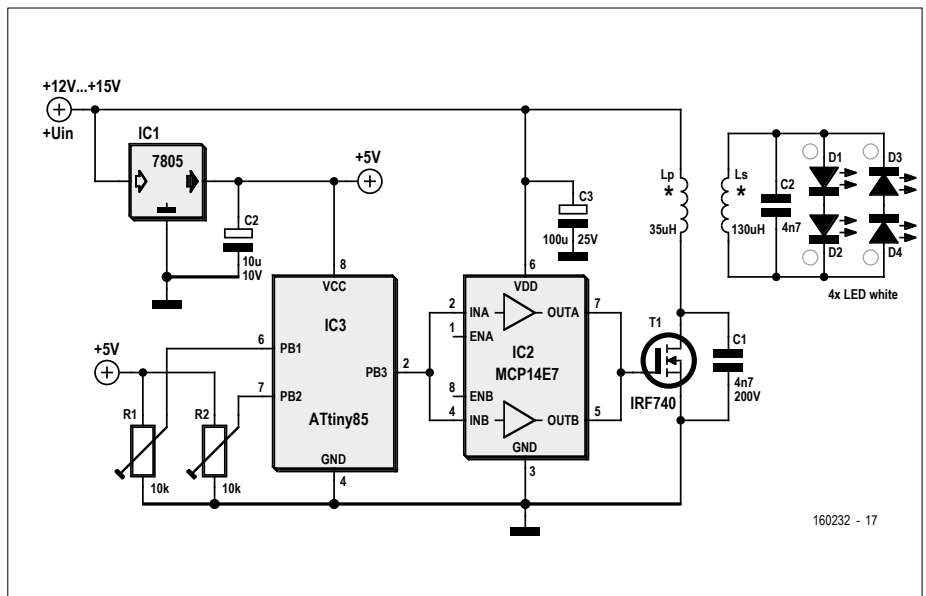


Figure 19. Circuit de test du convertisseur de classe E.

déchargé, la tension aux bornes de l'interrupteur croît « lentement », il s'agit alors d'une « commutation au passage par zéro de la tension ».

Le réseau résonant sert à faire naître une tension demi-sinusoïdale sur l'interrupteur S. Lorsque la tension veut devenir négative, la diode D devient conductrice et la tension aux bornes du condensateur Cp est à nouveau nulle. Cela dure un certain laps de temps durant lequel on ferme à nouveau l'interrupteur S. On a ainsi une « commutation au passage par zéro de la tension » à l'enclenchement, et le cycle recommence. La documentation [5] fournit des détails supplémentaires.

On peut désormais simplifier le convertisseur de classe E et le réaliser comme indiqué à la **figure 18**. La bobine L et le condensateur C forment un circuit résonant excité par le transistor S pour produire la forme d'onde de la figure 16. On obtient ainsi sur le drain du transistor de commutation une tension multiple de la tension d'alimentation. On trouve ce type de circuit dans les plaques de cuisson à induction.

Un circuit de la **figure 19** a été câblé à des fins de test. L'ATtiny sert de générateur MLI flexible. Le signal MLI attaque le

transistor de commutation T1 à travers un pilote de grille. Les enroulements primaires et secondaires ont les valeurs suivantes : $L_p = 15$ enroulements en Cu de 0,4 mm, $\varnothing = 80$ mm, $L_s = 50$ enroulements en Cu de 0,2 mm, $\varnothing = 30$ mm. Le facteur de couplage K a été estimé par mesure à environ 0,08.

La **figure 20** montre le circuit de test réalisé conformément au schéma de la figure 19, celui-ci peut aisément illuminer quatre LED blanches à une distance d'environ 20 mm. Ce même dimensionnement a été repris pour notre soucoupe volante. Comme le convertisseur de classe E atteint la « commutation au passage par zéro de la tension » à la conduction ou au blocage du transistor, cela autorise une fréquence de commutation relativement basse. On peut ainsi renoncer au pilote de grille et attaquer directement le MOSFET avec le microcontrôleur. Dans le circuit à microcontrôleur (fig. 10), L_p et C13 forment un circuit résonant commuté par T1. La diode interne du MOSFET est utilisée comme diode D du schéma de la figure 17. La fréquence se situe à 250 kHz.

Le comportement du convertisseur a été simulé avec LTspice

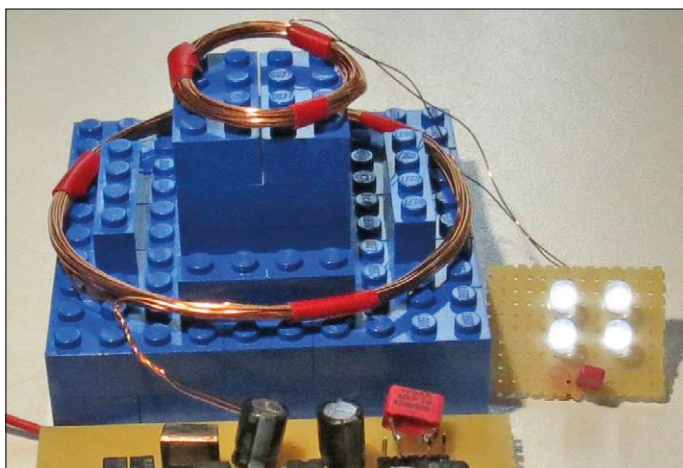


Figure 20. Test de transmission d'énergie par induction.

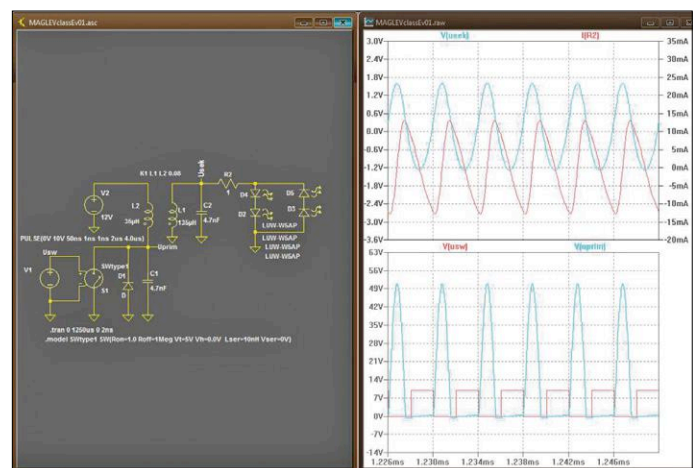


Figure 21. Simulation avec LTspice.

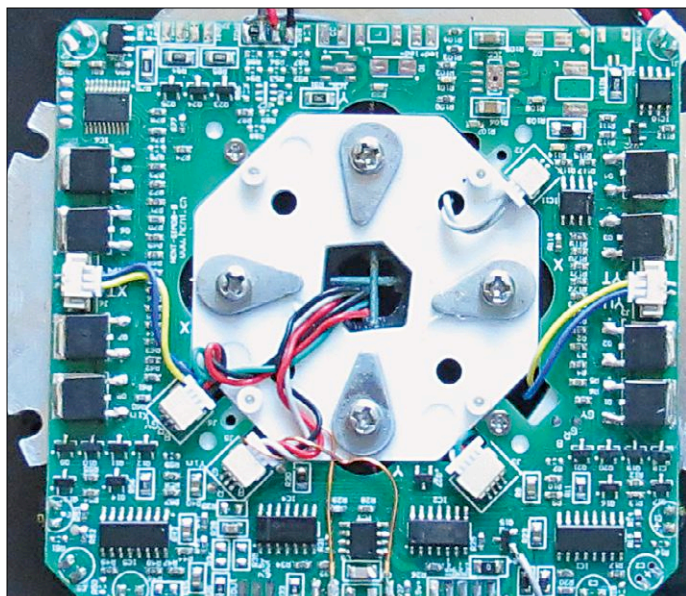


Figure 22. Carte de la Flyte, côté CMS.

avant sa construction. Le circuit et les signaux produits sont représentés sur la **figure 21**.

Analyse de la lampe Flyte

La lampe est facile à démonter, il suffit de dévisser quatre vis. La **figure 22** montre la carte inférieure équipée de CMS. Les deux fois quatre « gros » transistors constituent les deux ponts complets qui commandent des deux paires de bobines des électroaimants. Un circuit intégré estampillé XKT-510 se charge du transfert d'énergie sans fil [6]. L'agencement de la bobine émettrice suggère l'utilisation d'un convertisseur de classe E. On trouve sur la carte une paire de circuits intégrés non identifiés et un microcontrôleur ST. La **figure 21** dévoile la face supérieure de la carte.

La carte comprend l'aimant annulaire et les quatre électroaimants. Ceux-ci ont un noyau ferrique apparemment réglable (vraisemblablement pour optimiser la position de l'aimant flottant). Deux capteurs à effet Hall semblent installés au centre pour la mesure de la position. On voit clairement aussi la bobine avec un grand diamètre et relativement peu d'enroulements,

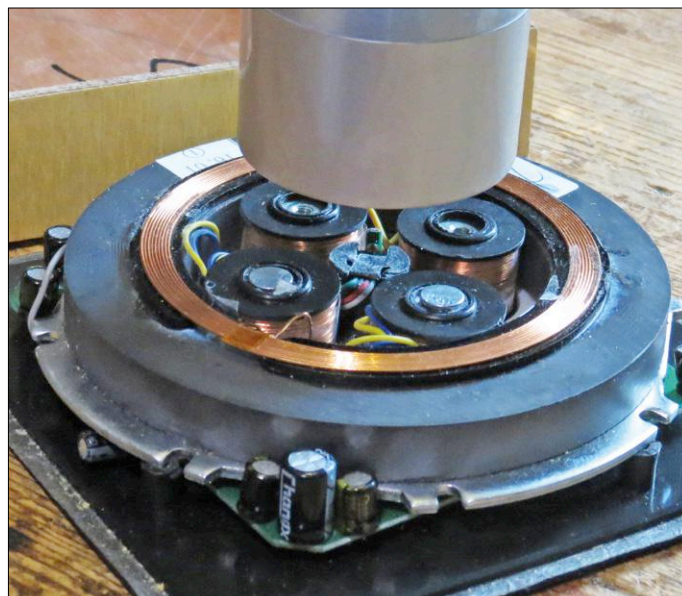


Figure 23. L'électronique de la Flyte vue de dessus, avec les électroaimants.

utilisée pour le transfert d'énergie par induction. Le circuit est alimenté en 15 V. L'analyse de la lampe Flyte ne nous apporte finalement plus de surprises après nos instructions pour la construction de la « soucoupe flottante ». Un brevet a été déposé pour cette lampe, voir [2].

L'auteur a cherché en vain le sigle CE. On peut légitimement se demander si les normes de CEM sont respectées avec un tel convertisseur de classe E. En tous cas la carte n'est équipée d'aucun composant de filtrage pour la CEM. ◀

(160232 – version française : Xavier Pfaff)

Liens

- [1] Lampe Flyte : <https://flyte.se>
- [2] Brevet de Eberhard Waffenschmidt et Peter Visser : Floating lamp, WO 2010150207 A1 : www.google.com/patents/WO2010150207A1?cl=de
- [3] Earnshaw, S., *On the nature of the molecular forces which regulate the constitution of the luminiferous ether*, Trans. Camb. Phil. Soc., 7, pp 97-112 (1842) : www.mit.edu/~kardar/research/seminars/Casimir2010/pdf/EarnshawPaper.pdf
- [4] Logiciel pour l'ATmega : www.elektormagazine.fr/160232
- [5] *A high-efficiency Class E inverter – computer model, laboratory measurements and SPICE simulation*, Z. Kaczmarczyk : [http://bulletin.pan.pl/\(55-4\)411.pdf](http://bulletin.pan.pl/(55-4)411.pdf)
- [6] Circuit intégré XKT-510 : <http://elec Freaks.com/store/download/XKT-510.pdf>
- [7] Vidéo ufo : <https://youtu.be/RE9qDVLKxS4>

commande de volume pour le CN/A audio

faible ou fort, mais
toujours de qualité

Ton Giesberts (labo d'Elektor)

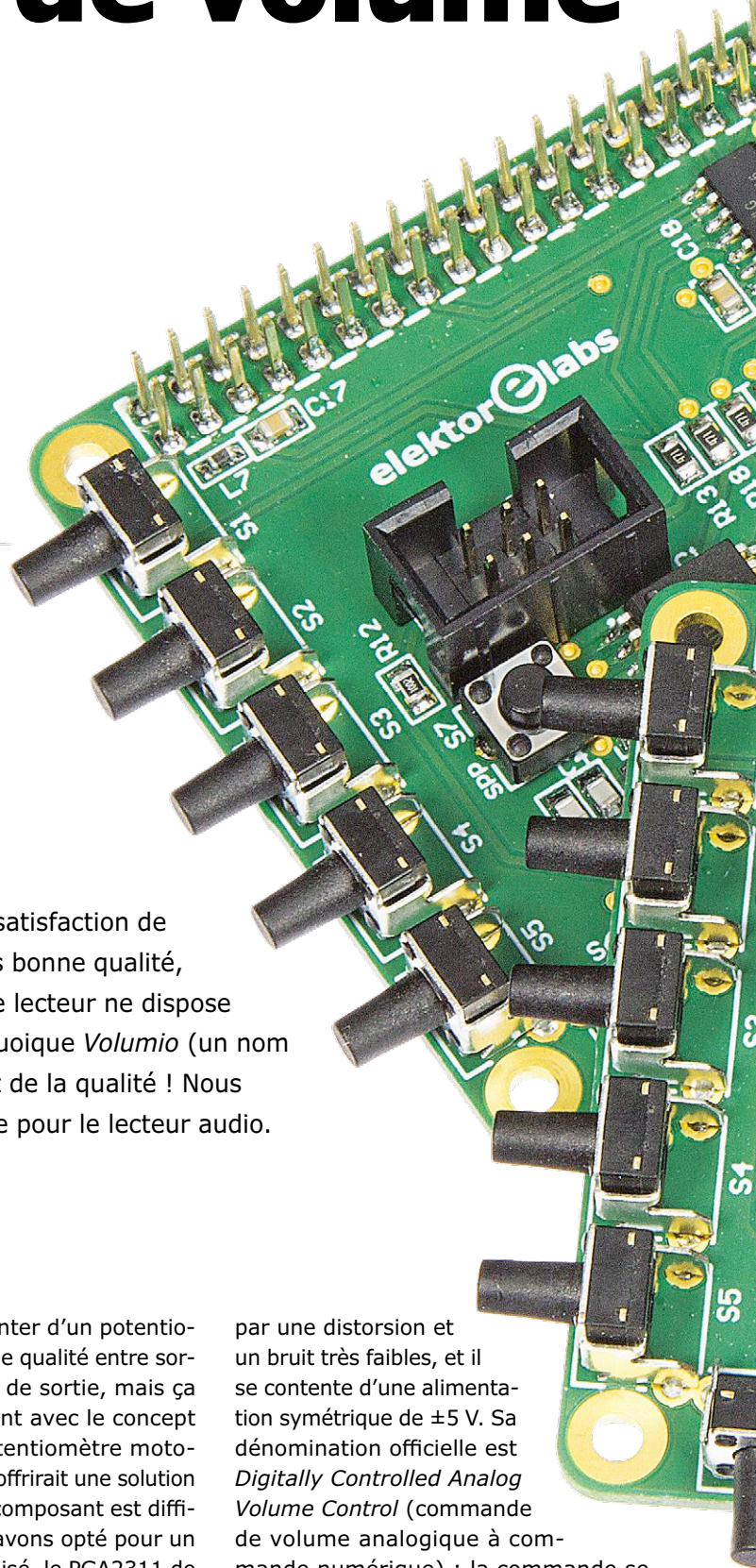
Dans le numéro précédent, nous avons présenté – à la satisfaction de nombreux lecteurs – un lecteur audio sur réseau de très bonne qualité, sur la base d'une combinaison Raspberry Pi/*Volumio*. Ce lecteur ne dispose cependant pas d'une véritable commande de volume, quoique *Volumio* (un nom mal choisi ?) le permette par logiciel, mais au détriment de la qualité ! Nous avons donc décidé de réaliser une commande de volume pour le lecteur audio.

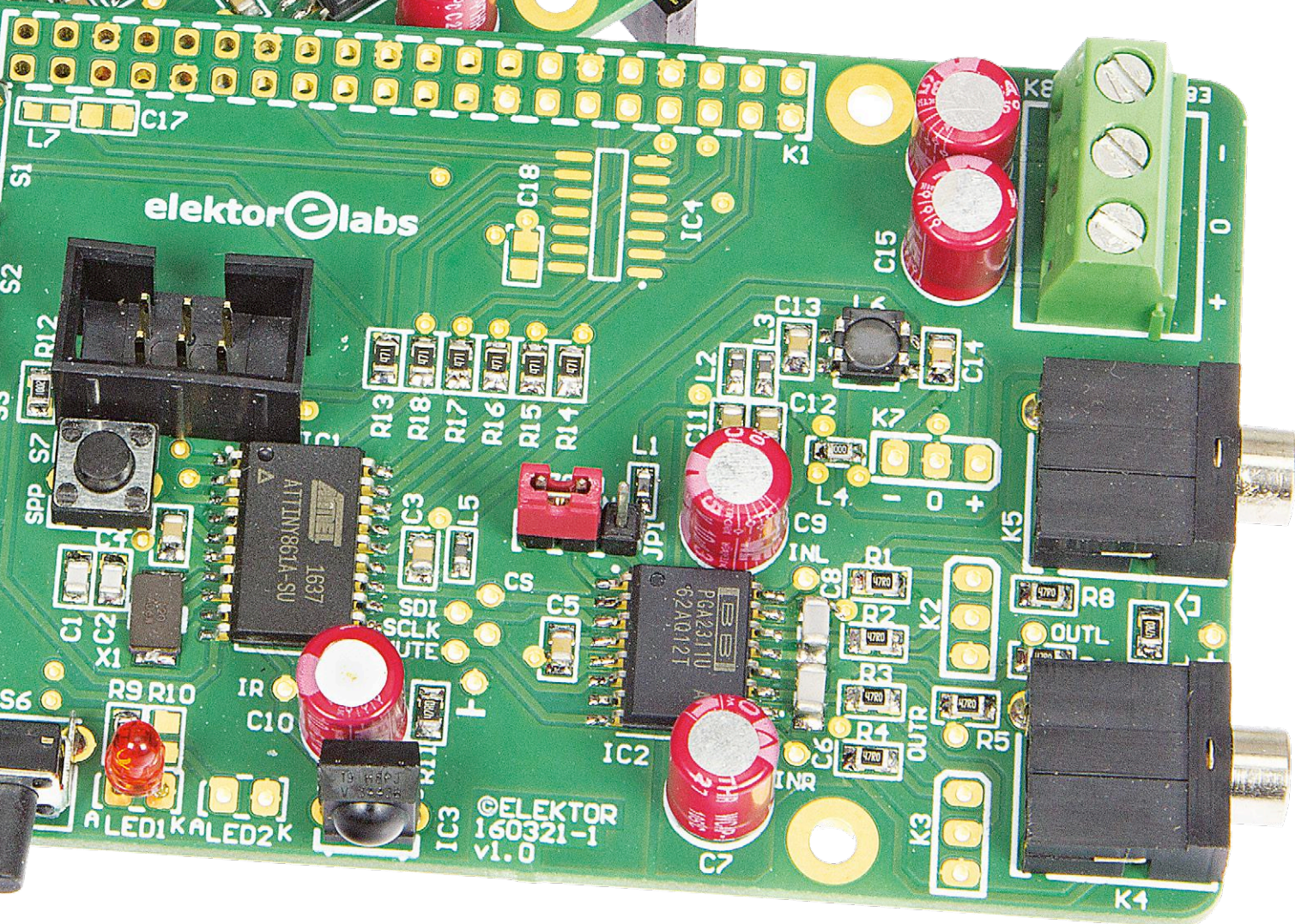
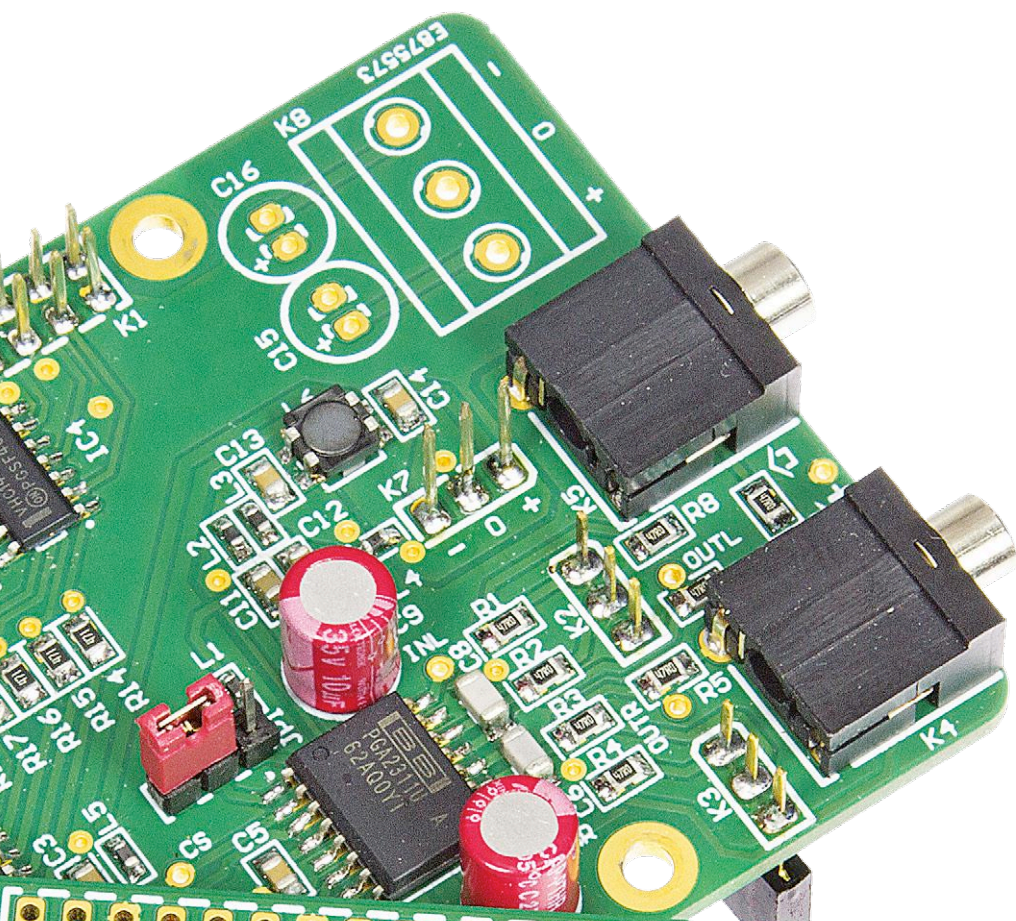
Caractéristiques

- Commande de volume d'excellente qualité
- Adapté au duo RPi + CN/A audio
- Construction en sandwich compacte
- Utilisation d'une télécommande RC5
- Possibilité d'utilisation autonome

On pourrait se contenter d'un potentiomètre stéréo de bonne qualité entre sortie du CN/A et ampli de sortie, mais ça ne cadre pas vraiment avec le concept de l'appareil. Un potentiomètre motorisé à télécommande offrirait une solution acceptable, mais ce composant est difficile à trouver. Nous avons opté pour un circuit intégré spécialisé, le PGA2311 de *Texas Instruments*. Ce circuit se distingue

par une distorsion et un bruit très faibles, et il se contente d'une alimentation symétrique de ± 5 V. Sa dénomination officielle est *Digitally Controlled Analog Volume Control* (commande de volume analogique à commande numérique) ; la commande se fait via une interface série, nous avons





INFOS SUR LE PROJET



commande de volume
commande RC5 qualité
CN/A audio autonome



débutant
→ **connaisseur**
expert



env. 5 h



Soudage des connecteurs,
adaptateur AVR ISP



env. 70 €

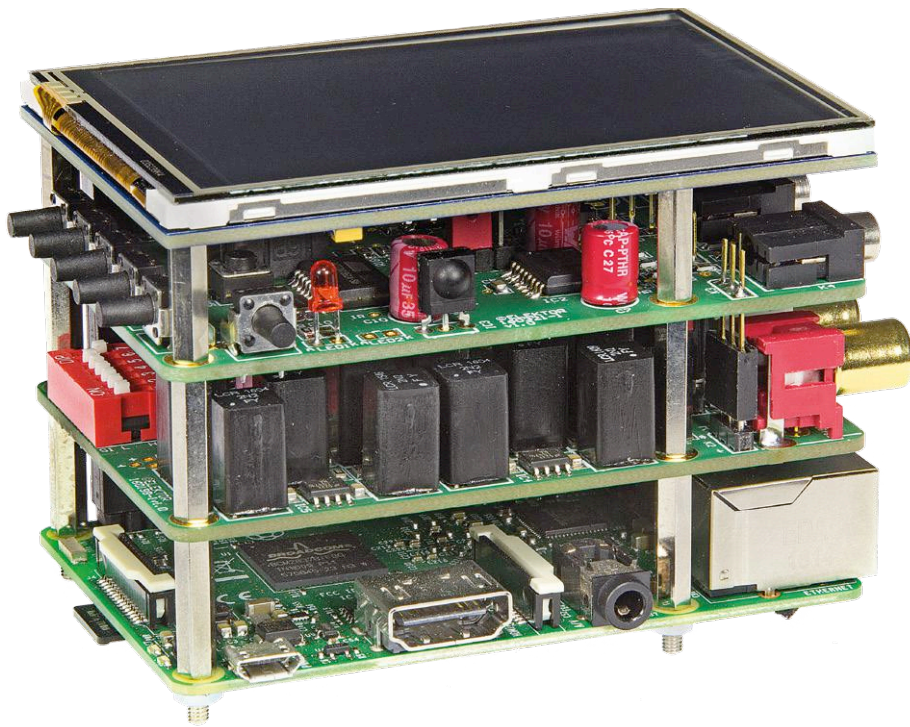


Figure 1. Le Big DAC dans toute sa splendeur.

choisi un microcontrôleur *ATtiny* d'Atmel pour la supervision. Le circuit détecte aussi le passage par zéro et possède une fonction de mise en sourdine.

Généralités

Cette commande de volume a été conçue pour le CN/A audio pour Raspberry Pi décrit dans le numéro précédent, et le circuit imprimé dessiné en conséquence : il peut être enfiché directement sur la carte du CN/A audio. Nous

obtenons alors un gros sandwich, avec le Raspberry Pi, le CN/A audio, la commande de volume et l'écran ; le résultat est visible en **figure 1**. Sans beaucoup d'imagination, nous l'avons appelé *Big DAC*, par analogie à la marque commerciale d'une chaîne de restauration rapide bien connue.

Volumio – et/ou une autre application qui tourne sur le RPi – est commandé par six boutons-poussoirs, un septième sert au réglage du volume préférentiel.

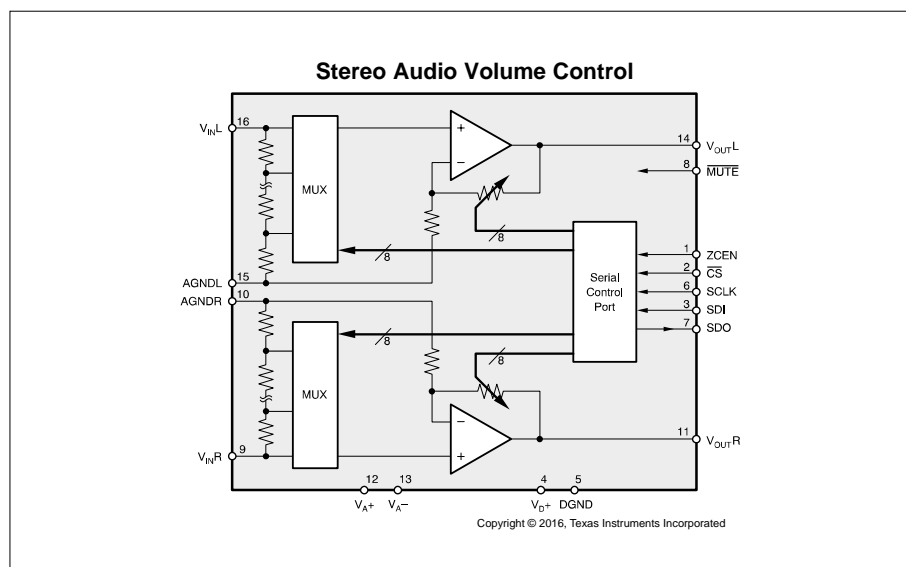


Figure 3. Le volume est commandé par des amplificateurs à gain variable.

Nous avons également prévu une télécommande infrarouge (protocole RC5). Autre bonne nouvelle, pour ceux qui voudraient une commande de volume autonome, sans RPi ni CN/A audio : c'est tout à fait possible avec notre projet, et on économise même quelques composants !

Schéma

Nous n'avons pas jugé utile d'inclure un schéma de principe ; le schéma de la commande de volume, repris en **figure 2**, peut sembler compliqué à un lecteur non averti, mais les apparences sont parfois trompeuses.

Nous allons décrire les éléments du circuit pas à pas, en commençant par l'indispensable : l'alimentation. Sans elle, le plus beau circuit au monde ne serait qu'inutile...

Alimentation

Si la commande de volume est utilisée avec le CN/A audio, aucune alimentation séparée n'est nécessaire. Les tensions pour le circuit intégré de commande de volume (+4,74 V et -4,81 V, notés +4V7_A et -4V8_A sur le schéma), et pour le microcontrôleur (+4,7 V, noté +4V7_D) proviennent du circuit imprimé du CN/A audio via le connecteur K7. Ce connecteur est soudé sur la face inférieure et s'enfiche sur le connecteur K6 du CN/A audio. La tension de +3,3 V nécessaire pour les inverseurs d'IC4, qui commandent les lignes GPIO du connecteur d'extension, provient du RPi (broche 1 du connecteur d'extension).

Les tensions d'alimentation du PGA2311 sont filtrées par la bobine en mode commun L6 et les bobines L2, L3 et L4. La bobine L5 filtre la tension d'alimentation du microcontrôleur, et L7 la tension de 3,3 V. L1 veille à un bon isolement entre les tensions numérique et analogiques du PGA2311. Le rôle de L4 est très important et un peu particulier : cette bobine prévient le risque de formation d'une boucle de masse HF ; c'est nécessaire puisque la masse des alimentations (K7) et les connexions de masse de K2 et K3 sont déjà reliées entre elles sur le circuit imprimé du CN/A audio.

Si on utilise cette carte de commande de volume avec le CN/A audio, il **ne faut pas** monter le connecteur K8, ni les condensateurs C15 et C16.

Si la commande de volume est employée seule, ce sont IC4, C17, C18, L7, K2, K3 et K7 qui **ne** doivent **pas** être montés.

Il est aussi conseillé de remplacer L4 par une résistance de 0 Ω . N'oubliez pas qu'une alimentation symétrique séparée de ± 5 V est requise pour une utilisation de manière autonome.

PGA2311

Le schéma fonctionnel interne du PGA2311 est repris en **figure 3**. Nous avons deux amplificateurs (stéréo oblige), dont le gain est fixé par une série

d'entrées de commande ($/CS$, $SCLK$, SDI et $/MUTE$), gérées par le microcontrôleur IC1.

Le PGA2311 dispose d'un détecteur de passage par zéro, pour minimiser le

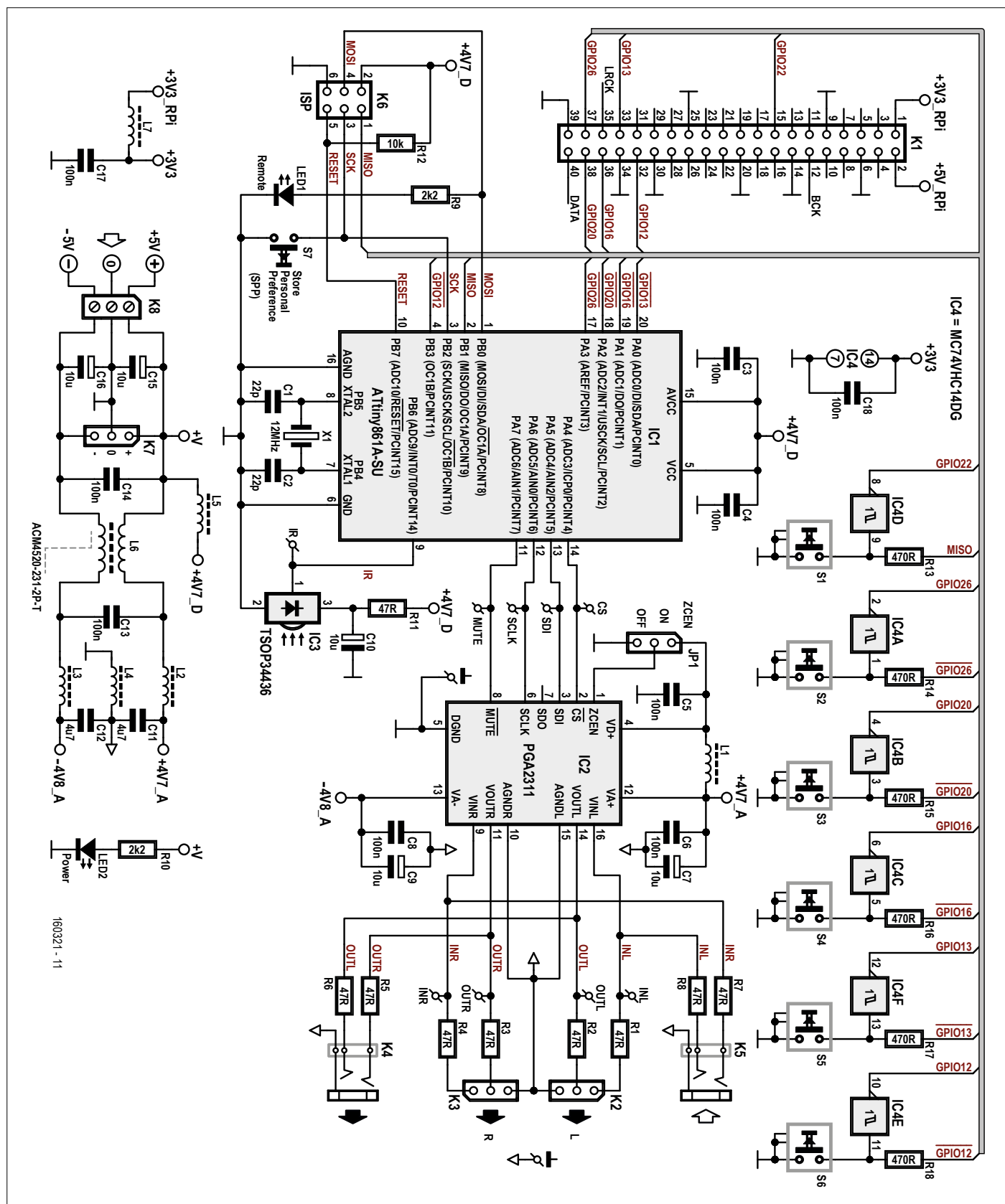


Figure 2. Le cœur du montage est – comment pourrait-il en être autrement ? – un microcontrôleur.

bruit lors d'un changement de volume. Lorsque la fonction est activée (*ZCEN* – *Zero Crossing Enable*, relié au +4,7 V), le changement ne se produit qu'après le prochain passage par zéro dans le sens positif du signal d'entrée. La fonction

peut être désactivée en reliant *ZCEN* à la masse (cavalier JP1). Pour des explications plus détaillées concernant le fonctionnement du PGA2311, reportez-vous à la fiche de caractéristiques du circuit [1].

Des points de test des entrées de commande *CS*, *SCLK*, *SDI* et *MUTE* sont prévus sur le circuit imprimé, entre PGA2311 et microcontrôleur.

Les entrées et sorties analogiques sont reliées à deux connecteurs différents via



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

R1-R8, R11 = 47 Ω , 1/4 W, 1%, CMS 0805
R9, R10 = 2,2 k Ω , 100 mW, 5%, CMS 0805
R12 = 10 k Ω , 100 mW, 5%, CMS 0805
R13-R18 = 470 Ω , 100 mW, 5%, CMS 0805

Condensateurs

C1, C2 = 22 pF, 50 V, 5%, COG/NP0, CMS 0805
C3-C5, C13, C14, C17, C18 = 100 nF, 50 V, 10%, X7R, CMS 0805
C6, C8 = 100 nF, 25 V, 5%, COG/NP0, CMS 1206
C7, C9, C10, C15, C16 = 10 μ F, 35 V, 0,04 Ω , diam. 6,3 mm max., pas de 2/2,5 mm, Würth Elektronik 870055673001 (série WCAP-PTHR)
C11, C12 = 4,7 μ F, 25 V, 20%, X5R, CMS 0805

Bobines

L1-L5, L7 = 600 Ω à 100 MHz, 0,15 Ω , 1,3 A, CMS 0603, Murata BLM18KG601SN1D
L6 = ACM4520-231-2P-T (TDK), 2 x 0,05 Ω , 230 Ω à 100 MHz, 2,6 A, CMS

Semi-conducteurs

LED1 = LED rouge, T-1, 3 mm
LED2 = LED verte, low-power, CMS 0805
IC1 = ATtiny861A-SU, SOIC-20, avec micrologiciel 160321-11 (ou 160321-12)
IC2 = PGA2311UA, SOIC-16
IC3 = TSOP34436, boîtier époxy à 3 broches
IC4 = M74VHC14DG, CMS SOIC-14 (ON Semiconductor)

Divers

K1 = connecteur GPIO à 40 broches, 2x20, femelle, extra haut
K2, K3, K7 = embase femelle à 3 contacts, verticale, au pas de 2,54 mm (soudage sur la face inférieure du circuit imprimé), avec longues broches traversantes
K4, K5 = connecteur pour jack audio stéréo de 3,5 mm, pour circuit imprimé, KLBR 4 Lumberg
K6 = connecteur HE10 mâle à 2 x 3 contacts, vertical, au pas de 2,54 mm
K8 = bornier à vis à 3 contacts, au pas de 5,08 mm, 630 V

JP1 = barrette mâle à 3 contacts, au pas de 2,54 mm
LED1 = barrette mâle à 2 contacts, au pas de 2,54 mm
JP1 = cavalier, au pas de 2,54 mm
S1-S6 = bouton-poussoir, SPST, FSMRA4JH TE Connectivity
S7 = bouton-poussoir, SPST, FSM4JRT TE Connectivity
X1 = quartz à 12 MHz, miniature, 5 x 3,2 mm, CMS, C_{last} = 18 pF
4 x entretoise M2,5 de 17 mm (05.12.173 Ettinger)
4 x vis M2,5 de 6 mm
4 x écrou M2,5
Circuit imprimé, réf. 160321-1

En option

Pour soutenir l'écran LCD : 4 x entretoise M2,5 de 14 mm (05.12.143 Ettinger), au lieu des 4 vis

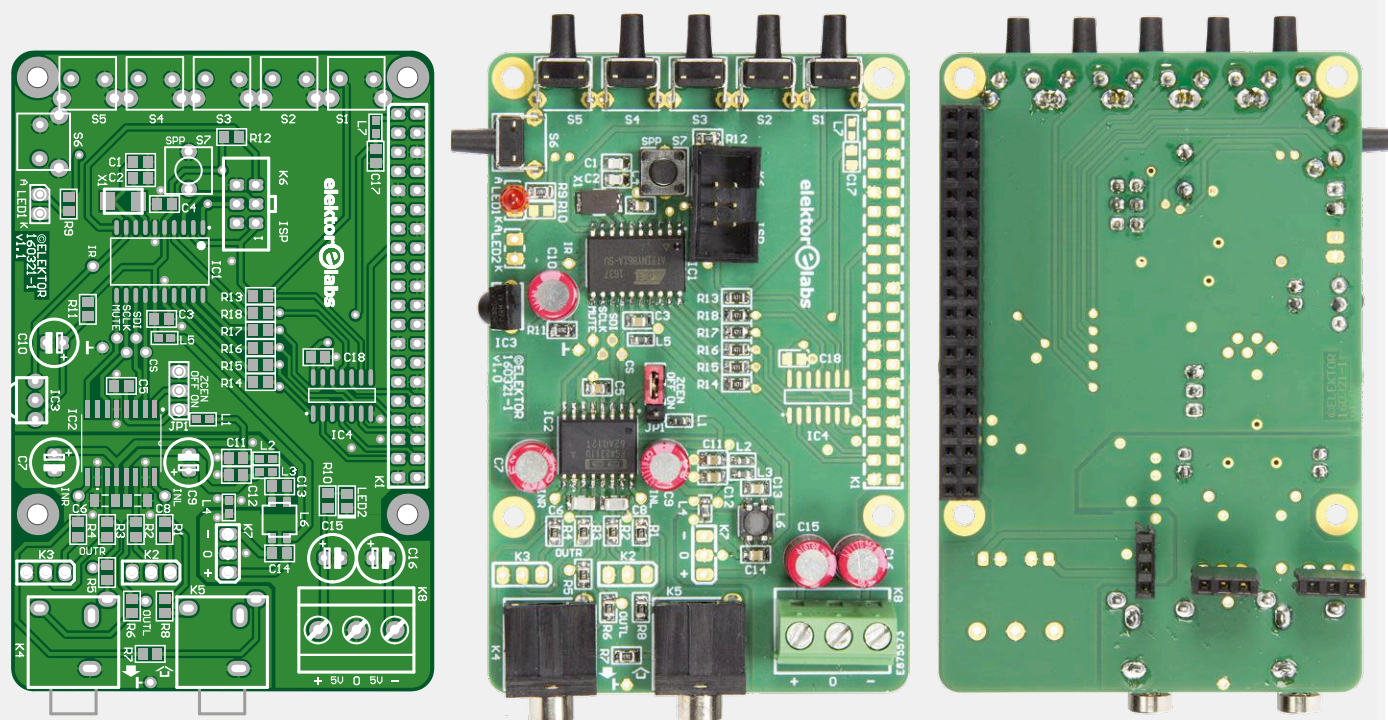


Figure 4. Le circuit imprimé s'adapte parfaitement à celui du CN/A audio.

des résistances de 47 Ω (R1-R8). Les connecteurs femelles à trois contacts que l'on peut imbriquer (*stack through*), K2 et K3, relient les entrées et sorties du CN/A audio (K3 et K4) et la commande de volume.

Les entrées et sorties d'IC2 sont en outre connectées à des jacks de 3,5 mm, présents sur le circuit imprimé (K4 et K5). Le signal de sortie original du CN/A peut donc être prélevé sur K5 ou bien sur les deux connecteurs audio RCA du CN/A audio. Le signal de sortie de la commande de volume se retrouve sur K4. En mode autonome, l'entrée du PGA2311 se fait via K5, la sortie sur K4. Les résistances de 47 Ω protègent les sorties d'IC2 contre les effets d'une charge capacitive, et isolent les divers connecteurs entre eux.

Montage

Comme nous l'avons déjà dit, les dimensions du circuit imprimé sont identiques à celles du RPi et du CN/A audio (**fig. 4**). On peut donc constituer un sandwich, avec l'écran sur le dessus ; la **figure 5** montre le résultat d'ensemble.

Attention : les picots des connecteurs femelles de type *stack through* K2, K3 et K7 doivent être suffisamment longs pour que les connecteurs puissent être montés à une certaine distance du circuit imprimé (côté soudures), afin qu'ils s'enfichent correctement sur les connecteurs correspondants du CN/A audio. Il faudra bien entendu veiller à ce qu'ils restent bien parallèles au circuit imprimé.

Le même principe est valable pour le connecteur d'extension GPIO (K1), monté également côté soudures.

Les circuits imprimés et l'écran sont solidement fixés les uns aux autres, séparés par des entretoises.

Le microcontrôleur

Pour commander le PGA2311, un microcontrôleur s'impose ; celui-ci enverra les bonnes données à l'interface série d'IC2. Nous avons choisi l'ATtiny861A d'Atmel, un circuit intégré à 20 broches, qui possède juste assez de lignes d'E/S pour l'interface série, les sept boutons-poussoirs, le récepteur infrarouge pour la télécommande, et une LED. Cette dernière est un modèle traversant ; avec un petit connecteur et du fil électrique, elle pourra être placée à un endroit au choix de l'utilisateur.

Les lignes de programmation in situ (*In-System Programming* – ISP) sont



Figure 5. Le fameux sandwich !

► Une commande de volume d'excellente qualité sur une surface réduite

aussi toutes utilisées, sauf *Reset*. Lorsque l'on programme le microcontrôleur, via K6, il faut veiller à ne pas toucher les boutons-poussoirs.

Le récepteur IR (IC3) est un modèle standard de Vishay, un TSOP34436. La sortie est également un point de test. Le protocole utilisé pour la télécommande est le RC5, pour lequel une commande bien pratique existe en BASCOM (le langage dans lequel le logiciel a été écrit) :

`Getrc5(Address, Command)`

Deux versions du logiciel sont disponibles, en fonction de la version de *Volumio* ; elles peuvent être téléchargées sur la page du projet [3]. Nous les passons en revue ci-dessous.

Micrologiciel 160321-12

Cette version du logiciel a été écrite pour *Volumio 2* [2], qui dispose d'un module

d'extension permettant d'attribuer une des fonctions ci-après à la plupart des broches GPIO (**fig. 6**) : *play/pause*, *volume +/-*, *previous*, *next* et *shutdown*. Comme notre CN/A audio ne dispose pas de son propre réglage de volume, nous pouvons utiliser quatre fonctions pour commander *Volumio* ; pour d'autres CN/A avec commande de volume intégrée, nous avons aussi ajouté les fonctions *volume +* et *volume -*. Ces fonctions peuvent être attribuées à la plupart des broches GPIO, tant qu'elles ne sont pas utilisées pour l'I²S ou l'écran LCD tactile (rappelons encore que la version de *Volumio* utilisée, 2.041 du 12 décembre 2016, ne supporte pas encore notre écran LCD). Les broches GPIO – dont la fonction est rappelée dans le **tableau 1** – sont pourvues de résistances de rappel.

Nous utilisons les commandes RC5 du **tableau 2**.

Tableau 1 : connecteur d'extension du Raspberry Pi				
K1	RPI (v3)	160321-12	I ² S	LCD 3,5"
1	3,3 V	3,3 V		3,3 V
2	5 V			5 V
3	GPIO2 (SDA1)			NC
4	5 V			5 V
5	GPIO3 (SCL1)			NC
6	GND	GND	GND	GND
7	GPIO4 (GPIO_GCLK)			NC
8	GPIO14 (TXD0)			NC
9	GND	GND	GND	GND
10	GPIO15 (RXD0)			NC
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)			TP_IRQ
12	GPIO18 (GPIO_GEN1)		BCK	NC
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)			NC
14	GND	GND	GND	GND
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)	S1/Play/Pause		NC
16	GPIO23 (GPIO_GEN4)			NC
17	3,3 V			3,3 V
18	GPIO24 (GPIO_GEN5)			LCD_RS
19	GPIO10 (SPI_MOSI)			LCD_SI/TP_SCK
20	GND	GND	GND	GND
21	GPIO9 (SPI_MISO)			TP_SO
22	GPIO25 (GPIO_GEN6)			RST
23	GPIO11 (SPI_SCLK)			LCD_SCK/TP_SCK
24	GPIO8 (SPI_CE0_N)			LCD_CS
25	GND	GND	GND	GND
26	GPIO7 (SPI_CE1_N)			TP_CS
27	ID_SD			
28	ID_SC			
29	GPIO5			
30	GND	GND	GND	
31	GPIO6			
32	GPIO12	S6/Shutdown		
33	GPIO13	S5/Volume up		
34	GND	GND	GND	
35	GPIO19		LRCK	
36	GPIO16	S4/Volume down		
37	GPIO26	S2/Previous track		
38	GPIO20	S3/Next track		
39	GND	GND	GND	
40	GPIO21		DATA	

Tableau 2 : commandes RC5	
Play/pause	RC5 command 1 (Digit entry)
Previous track	RC5 command 2 (Digit entry)
Next track	RC5 command 3 (Digit entry)
Shutdown	RC5 command 12 (Standby)
Mute/de-mute	RC5 command 13
Personal preference settings	RC5 command 14
Increase sound volume	RC5 command 16
Decrease sound volume	RC5 command 17
Shift sound balance to the right	RC5 command 26
Shift sound balance to the left	RC5 command 27

Sur le bus GPIO, un niveau logique haut induit une tension de 3,3 V. Nous devons donc adapter le niveau, ce que nous faisons avec un sextuple inverseur à bascule de Schmitt, un MC74VHC14DG d'ON Semiconductor. Les entrées de ce circuit sont protégées contre les surtensions jusqu'à 7 V, ce qui est parfait pour nos besoins.

Les lignes d'E/S correspondantes du microcontrôleur doivent être à l'état haut au repos (inactives) ; c'est le cas des quatre lignes utilisées comme sortie (PA2, PA3, PB1 et PB3). Les résistances de rappel pour deux lignes qui sont utilisées comme entrée pour la commande de volume (PA0 et PA1) doivent être activées.

Les boutons-poussoirs S1 à S6 sont connectés au microcontrôleur via des résistances de 470 Ω ; celles-ci empêchent le court-circuitage des sorties du microcontrôleur lorsqu'un bouton-poussoir est pressé, ce qui met à la masse l'entrée de l'inverseur correspondant. La valeur des résistances est suffisamment basse pour que les sorties soient à l'état bas.

Lorsqu'on appuie sur S7, le volume à ce moment-là est enregistré comme volume préférentiel (ce niveau est utilisé au démarrage de l'appareil). Ce bouton-poussoir n'est pas aligné avec les autres, parce que nous considérons qu'il sera utilisé moins souvent. La LED1 s'illumine quatre fois lorsque S7 est activé, indiquant que le niveau du volume est enregistré dans la mémoire EEPROM du microcontrôleur.

Lors d'une première utilisation du microcontrôleur, le niveau standard est de -20 dB ; c'est assez élevé, ne soyez pas surpris !

La LED1 s'illumine lors de la réception d'une commande RC5 (pas nécessairement une commande utilisée par la commande de volume). Le récepteur IR, adapté au protocole RC5, est connecté à PB6, car la commande *Getrc5* utilise *TIMER0* et son interruption. Si vous souhaitez utiliser un autre protocole pour la télécommande, choisissez un récepteur IR adapté à ce protocole ; les connexions sont quant à elles standard.

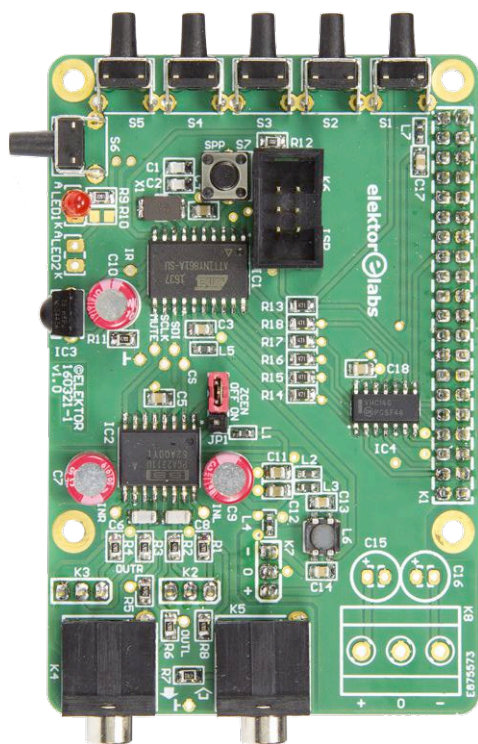
Lors de l'écriture du logiciel, nous avons noté un comportement anormal : si « *divide clock by 8* » est désactivé, la commande *Getrc5* ne fonctionne pas correctement. Lors de la programmation des fusibles, la case *CKDIV8* doit donc être cochée (fig. 7). C'est aussi la raison pour

laquelle la fréquence du quartz X1 a été choisie à 12 MHz.

Micrologiciel 160321-11

Cette version est en principe prévue pour la version 1.55 de *Volumio*, utilisée avec le RPi et le CN/A audio (voir numéro précédent). Elle pourrait bien entendu être utilisée avec *Volumio 2*, ou pour une autre application. Dans ce dernier cas, n'oubliez pas une alimentation séparée de ± 5 V, isolée afin d'éviter le risque d'une boucle de masse HF. La bobine L4 devra aussi être remplacée par une résistance de 0Ω (CMS 0603), ou un pont de soudure.

Après avoir monté K4 et K5 et connecté les appareils de votre chaîne audio avec



des câbles appropriés, le volume peut maintenant être commandé à distance (la tension maximale V_{\max} est de 2 V). On peut aussi utiliser K2 et K3 plutôt que les prises jack de 3,5 mm ; il faut alors monter des connecteurs ou souder les fils directement sur le circuit imprimé. Les boutons-poussoirs S1 à S6 ne concernent que la commande de volume ; les fonctions et les commandes RC5 associées sont reprises dans le **tableau 3**.

Le bouton S7 est toujours utilisé pour l'enregistrement du niveau de volume préférentiel.

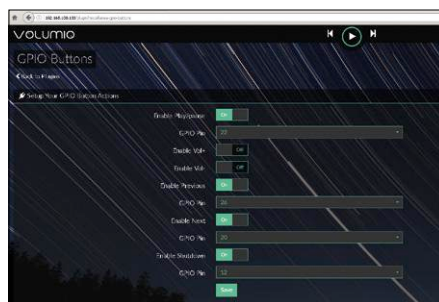


Figure 6. Le module d'extension GPIO de *Volumio*.

Si la fonction de sourdine est activée (broche 8 d'IC2), matériellement ou via le logiciel, les tampons internes du PGA2311 sont désactivés, et V_{OUTL} et

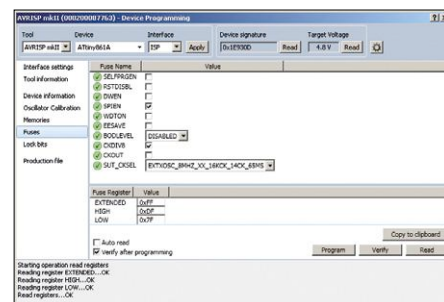


Figure 7. Important : la programmation des fusibles.

V_{OUTR} mis à la masse via une résistance de 10 k Ω . Le bruit de l'amplificateur connecté en amont de la commande de volume pourrait alors augmenter.

Tableau 3 : boutons-poussoirs et commandes RC5 (logiciel 160321-11)

S1	personal preference	RC5 command 14
S2	balance to the left	RC5 command 27
S3	balance to the right	RC5 command 26
S4	volume down	RC5 command 17
S5	volume up	RC5 command 16
S6	mute	RC5 command 13

Tableau 4 : résultats de quelques mesures

Consommation	
LED1 éteinte	11 mA
LED1 allumée	12 mA
Tension de sortie maximale (1 kHz, THD = 0,1%)	
amplification nulle (0 dB)	2,3 V
amplification de 20 dB	2,6 V
atténuation de -20 dB, 3,9 V en entrée	0,39 V
THD+N	
1 kHz, B = 22 kHz	0,0003% (0 dB, $V_{\text{sortie}} = 2$ V)
1 kHz, B = 80 kHz	0,00042% (0 dB, $V_{\text{sortie}} = 2$ V)
20 kHz, B = 80 kHz	0,0022% (0 dB, $V_{\text{sortie}} = 2$ V)
1 kHz, B = 22 kHz	0,0016% (20 dB, $V_{\text{sortie}} = 2$ V)
1 kHz, B = 80 kHz	0,0025% (20 dB, $V_{\text{sortie}} = 2$ V)
20 kHz, B = 80 kHz	0,0035% (20 dB, $V_{\text{sortie}} = 2$ V)
IMD (50 Hz : 7 kHz = 4:1)	
amplification nulle (0 dB), $V_{\text{entrée}} = 2$ V	0,0007%
amplification de 20 dB, $V_{\text{entrée}} = 200$ mV	0,0038%
DIM (signal carré 3,15 kHz + sinus 15 kHz)	
amplification nulle (0 dB), $V_{\text{entrée}} = 2$ V	0,0009%
amplification de 20 dB, $V_{\text{entrée}} = 200$ mV	0,0008%
Bande passante (-3 dB)	
0 dB, triangle en sortie	1,1 MHz
20 dB	690 kHz
Diaphonie	
1 kHz	< -100 dB
20 kHz	< -90 dB

Volumio 2

Pour le moment, l'écran tactile de 3,5 pouces n'est pas supporté par Volumio 2. Lorsque le module supportant l'écran original du RPi est installé, on peut raccorder un moniteur standard au connecteur HDMI du RPi.

Un conseil : ne raccordez pas de clavier ou de souris au RPi ; il faut même retirer le dongle de clavier/souris sans

fil. L'installation doit être démarrée via l'interface utilisateur réseau (*Web UI*).

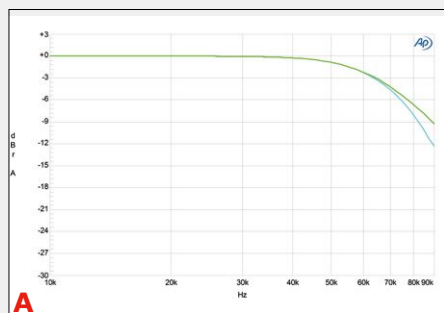
Mesures

Nous avons réalisé quelques mesures sur notre commande de volume, comme nous l'avons fait pour le CN/A audio. Les résultats principaux sont repris dans le **tableau 4**.

Notre analyseur de marque *Audio Precision* nous a aussi permis de réaliser quelques graphiques, pour la commande de volume, et pour le CN/A audio. ◀

(160321 – version française : Jean-Louis Mehren)

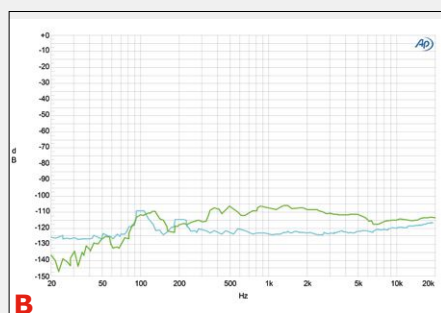
Mesures sur le Big DAC



Un des trésors de notre labo est l'analyseur d'*Audio Precision*. Il n'a pas souffert du déménagement vers Aix-la-Chapelle, et nous avons pu l'utiliser pour quelques mesures sur le *Big DAC*, dont les résultats sont résumés ci-dessous.

CN/A audio

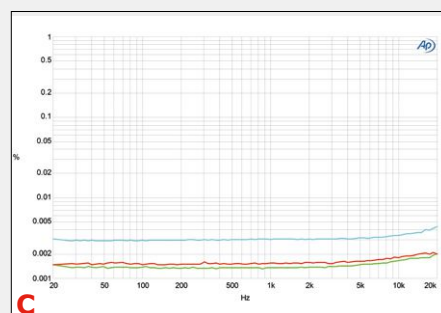
Le **graphique A** montre l'amplitude en fonction de la fréquence (signal sinusoïdal de 70 fréquences) pour une fréquence d'échantillonnage de 192 kHz. La courbe supérieure (en vert) est obtenue avec un filtre passe-bas à forte pente en sortie, la courbe inférieure (en bleu) avec un filtre moins sélectif. La fréquence de coupure est de 63,5 kHz (en théorie 64,5 kHz). À 90 kHz, l'atténuation est de 9,2 dB (vert) et 12,3 dB (bleu) ; à 45 et 51 kHz, l'atténuation est pour les deux filtres respectivement de 0,5 et 1 dB.



Le **graphique B** montre la séparation entre les canaux en fonction de la fréquence. La courbe supérieure (en vert) montre le couplage du canal gauche vers le droit, qui est un rien supérieur à l'inverse suite à une différence de longueur de pistes entre circuit intégré et sortie (la piste du canal droit est plus longue). Le résultat est cependant très bon pour un montage aussi compact.

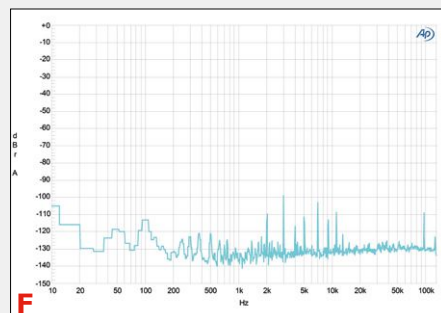
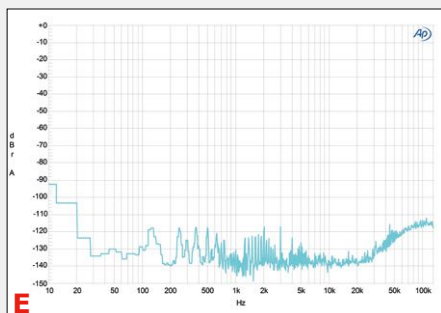
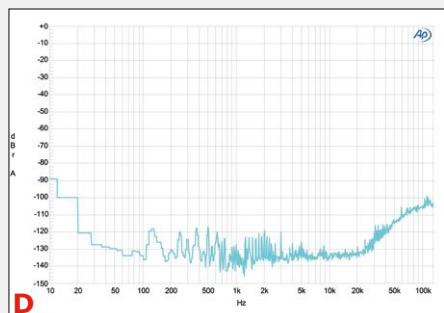
Le **graphique C** montre la distorsion harmonique totale (DHT) additionnée du bruit en fonction de la fréquence, pour des fréquences d'échantillonnage de 48, 96 et 192 kHz. La bande passante est de 80 kHz. Avec une bande passante de 22 kHz et une fréquence d'échantillonnage de 48 kHz, les résultats sont meilleurs.

Le **graphique D** montre la transformée de Fourier rapide (*FFT*) d'un signal sinusoïdal



de 1 kHz à amplitude maximale et pour une fréquence d'échantillonnage de 32 kHz. Il est à noter que le bruit augmente en dehors de la bande des fréquences audio ; il s'agit sans doute d'une mise en forme du bruit (*noise shaping*). Avec une bande passante de 22 kHz, DHT + bruit = 0,0007%, 0,012% pour une bande passante de 80 kHz. Il y a un certain nombre de pics d'interférence, causés par le RPi qui est juste en dessous du CN/A. Les harmoniques 2 et 3 de la fréquence d'échantillonnage sont invisibles.

Le **graphique E** est identique au précédent, mais avec une fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz. Le bruit en HF est inférieur, et les harmoniques 2 et 3 de la fréquence d'échantillonnage sont un peu plus prononcées. La DHT (sans bruit) n'est cependant que de 0,00019%.



Liens

- [1] www.ti.com/lit/ds/symlink/pga2311.pdf
- [2] volumio.org
- [3] www.elektormagazine.fr/160321



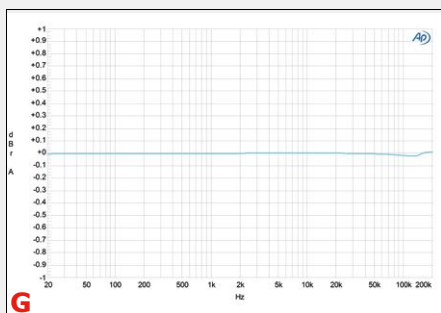
DANS L'E-CHOPPE

→ **160321-1**
circuit imprimé nu

→ **160321-91**
module assemblé de la commande de volume (connecteurs livrés séparément, à souder soi-même)

→ **160198-91**
module assemblé du CN/A audio (connecteurs livrés séparément, à souder soi-même)

→ **17631**
Raspberry Pi 3 (modèle B)

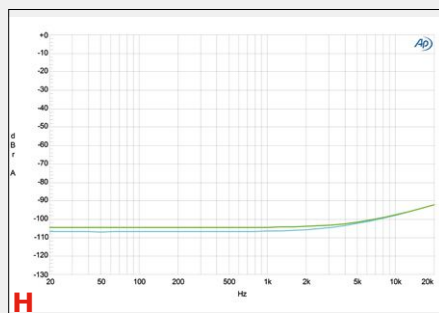


Le **graphique F** montre la transformée de Fourier rapide (FFT) d'un signal sinusoïdal de 1 kHz à amplitude maximale (sur 16 bits) à une fréquence d'échantillonnage de 32 kHz, mais converti à la volée en 24 bits/96 kHz (comme c'est possible avec *Volumio 1.55*). L'absence du bruit HF, qui était visible sur le graphique D, est remarquable.

Commande de volume

Le **graphique G** montre à nouveau l'amplitude en fonction de la fréquence, sans amplification (0 dB) et pour une tension de sortie de 2 V. La fréquence maximale de notre analyseur est de 200 kHz, et la petite bosse vers 100 kHz est sans importance (voyez l'échelle verticale...).

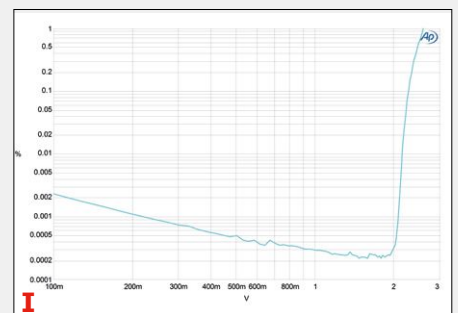
Le **graphique H** montre la diaphonie en fonction de la fréquence. La différence



entre les deux courbes est d'environ 2 dB, le circuit est donc bien symétrique.

Le **graphique I** montre la DHT additionnée du bruit en fonction du niveau de sortie, sans amplification (0 dB). La bande passante a été réduite à 22 kHz, pour mieux voir où l'écrêtage commence. Avec une tension d'alimentation aussi faible que celle utilisée, la tension de sortie maximale est d'environ 1,9 V. Au-delà la distorsion augmente rapidement (0,1% à 2,3 V, 1% à 2,6 V).

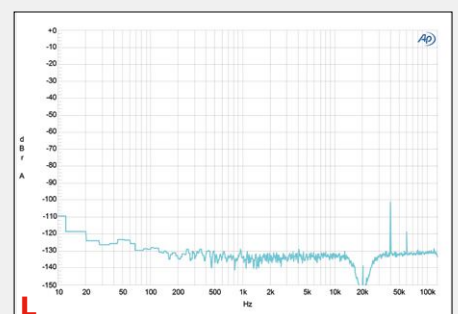
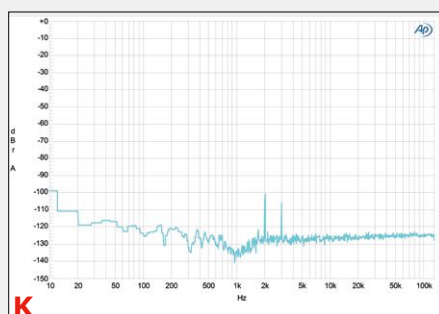
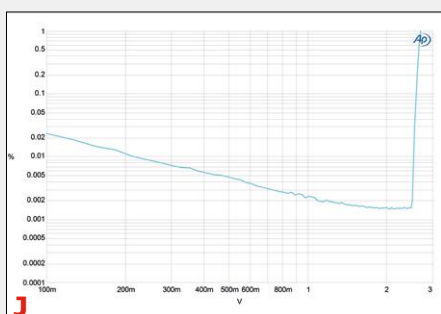
Le **graphique J** est identique au précédent, mais avec une amplification de 20 dB. La tension de sortie maximale sans augmentation de la distorsion est – et c'est surprenant – de 2,48 V avant écrêtage (DHT = 0,0015%). L'écrêtage se produit sans doute plus rapidement dans les étages d'entrée,



puisque la tension d'entrée est plus élevée avec un facteur d'amplification réduit.

Le **graphique K** montre la transformée de Fourier rapide (FFT) d'un signal sinusoïdal de 1 kHz avec un gain de 20 dB et une tension de sortie de 2 V. On ne voit que les harmoniques 2 et 3, correspondant à une DHT (sans bruit) de 0,001%. La DHT plus le bruit pour une bande passante de 22 kHz sont de 0,0016%, 0,0025% pour une bande passante de 80 kHz.

Le **graphique L** est identique au précédent, pour un signal de 20 kHz. Les harmoniques 2 et 3 sont aussi bien visibles. DHT = 0,00086% ; DHT + bruit = 0,0035% (bande passante de 80 kHz).



Temi

pantin météorologique (température et humidité)

Lars Lotzenburger (Allemagne)

L'électronique imprègne désormais notre quotidien. Elle n'épargne pas même la plus jeune génération. Qui souhaite initier sa progéniture de manière ludique aux possibilités infinies de la haute technologie peut lui construire le successeur moderne du pantin. Cependant avec Temi pas de ficelle à tirer, mais la simple pression d'une touche provoque l'affichage du taux d'humidité et de la température de l'air.

Malheureusement, une bien trop petite partie de la population sait ce que sont l'électronique actuelle et les microcontrôleurs, et tout ce que l'on peut faire avec. Cela n'a rien d'étonnant, les puces et autres composants sont minuscules et opaques, et l'on ne peut pas apercevoir de manière simple leurs « rouages » internes. Comme il n'est jamais trop tôt

pour susciter de l'intérêt, Temi éveille la curiosité et aide à s'affranchir des barrières.

Temi

Temi – une combinaison des lettres de **température** et **humidité** – a été développé d'une part pour être amusant à regarder (voir les photos et la carte), et d'autre part pour initier la jeune génération aux possibilités de l'électronique moderne. La carte en forme de pantin [1] comprend un microcontrôleur, un capteur environnemental et une série de LED. La ficelle à tirer a été remplacée par deux boutons-poussoirs. La pression d'une touche affiche au moyen de LED soit la température ambiante, soit le taux d'humidité de l'air. La puce du capteur HDC1080 [2] de TI inclut les deux fonctions. L'évaluation de la mesure et la commande de l'affichage sont assurées par un microcontrôleur de faible puissance de type MSP430G2402 [3] de TI. Le tout est alimenté par une pile bouton au lithium qui va durer quelques années.

Si l'on observe la carte de la **figure 1**, on remarque immédiatement un placement des composants adapté aux enfants : deux LED vertes pour les yeux, capteur et microcontrôleur pour le nez, et un arc de onze LED qui symbolise la bouche. Les

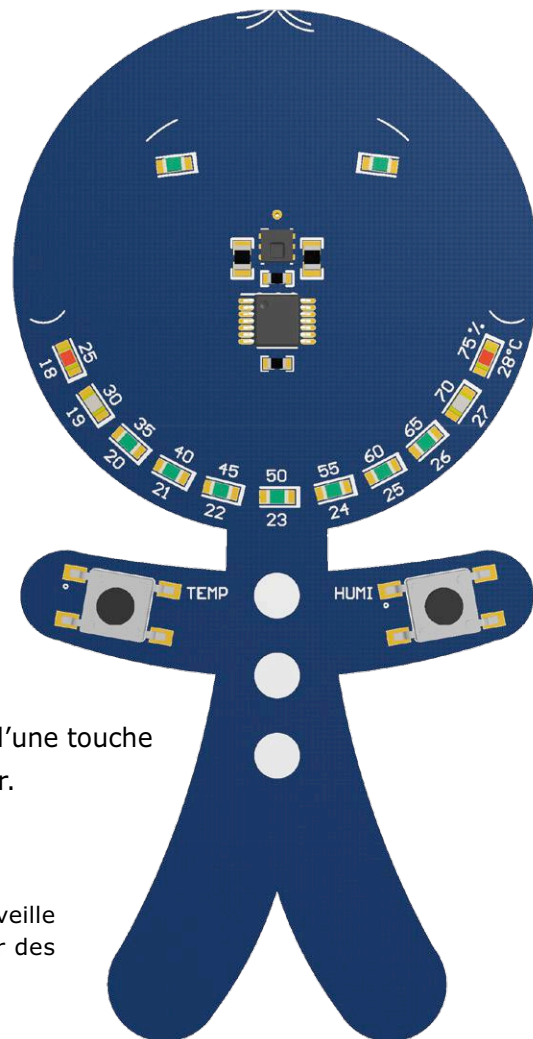


Figure 1. Rendu de la carte de Temi.

boutons pour la température (à gauche) et le taux d'humidité (à droite) se situent sur les mains stylisées. Et le prototype terminé à la **figure 2** est quand même agréable à regarder, n'est-ce pas ?

Un circuit spécial

En comptant précisément, on dénombre au total treize LED. Sans multiplexage, il faudrait déjà treize lignes d'entrées/sorties rien que pour celles-ci. Si l'on tient compte des boutons et de la communication avec les capteurs, on arrive vite au nombre de broches disponible uniquement sur les microcontrôleurs « mille-pattes ». Même en multiplexage « normal », le nombre de broches requises pour treize LED reste élevé. Pour n LED, il faut disposer de $2 \times \sqrt{n}$ broches, où \sqrt{n} est arrondi à un nombre entier. Nous avons donc besoin dans notre cas de huit broches, car $\sqrt{13} \approx 3,6$ que l'on arrondit à 4. Toutefois il existe une solution qui

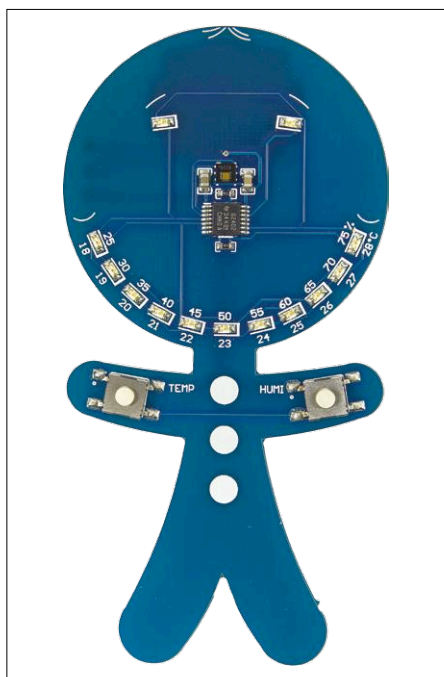


Figure 2. Le prototype terminé.

utilise nettement moins de broches, à condition de les câbler de manière fûtée. L'**encadré Charlieplexing** en explique le fonctionnement. Si à ce stade vous sourcillez : non, ce n'est pas une plaisanterie, la référence de Wikipedia [4] n'est pas une blague, mais est à prendre au sérieux. Il y a déjà plus de dix ans Elektor sortait déjà un article sur ce sujet [5].

Si l'on observe le schéma de la **figure 3**, on remarque que seules quatre broches d'entrées/sorties sont requises pour douze LED. LED2 est la treizième et est directement commandé par une broche du port. D'autres économies ont été réalisées par rapport à un circuit standard : les résistances en série ont complètement disparu ! Ce n'est pas un réel problème, car les étages de sortie du microcontrôleur sont bien à haute impédance. Les tensions de seuil des LED, extraites de leurs courbes caractéristiques, nous donnent pour une alimentation de 3 V des courants max. ≤ 20 mA que les LED supportent sans broncher.

Pour obtenir une luminosité suffisante, il faut cependant veiller à utiliser des LED à haut rendement, connues sous le nom de « High Efficiency LED », car le courant moyen en *charlieplexing* n'est que de 1,6 mA. Le prototype utilise des LED de Würth Elektronik (type « 150080*S75000 », où l'astérisque * est soit G (vert), Y (jaune) ou R (rouge)).

Le microcontrôleur ne dispose malheureusement pas d'interface matérielle I²C pour la communication avec les capteurs. C'est pour cette raison qu'elle sera réalisée « à la main » dans le logiciel (on parle de *bit banging*). On utilisera alors (de même que pour les boutons) les résistances de rappel intégrées aux entrées du microcontrôleur. Comme le circuit intégré du capteur utilise très peu de courant, il sera donc simplement connecté via R1 à un port d'entrées/sorties du microcontrôleur. R1 et C1 constituent un filtre passe-bas qui supprime les perturbations, n'oublions pas qu'il s'agit ici de mesures analogiques. En outre il est pos-

sible de cette manière de n'alimenter le capteur que pendant la mesure, en mode veille il ne consomme aucun courant.

Affichage et fonctionnement

La bouche de Temi se compose d'un arc de cercle de onze LED. Les deux LED extérieures aux coins de la bouche sont rouges, les LED suivantes jaunes, et au milieu les sept LED restantes vertes. C'est suffisant pour afficher l'humidité relative de l'air dans la gamme de 25 à 75 % par pas de 2,5 %. Pour la température, la gamme affichée est de 18 à 28 °C par pas de 0,5 °C, adaptée aux températures ambiantes sous nos latitudes. Si vous soupçonnez à présent une erreur de calcul : l'astuce consiste à représenter les demi-pas par affichage simultané de LED voisines. Par exemple, pour 21,5 °C, les LED 21 °C et 22 °C sont allumées simultanément.

Les yeux de Temi brillent constamment dès qu'il est actif. Ceux-ci se mettent à clignoter seulement lorsque la tension

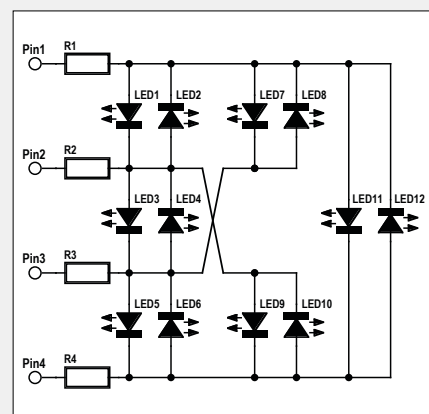
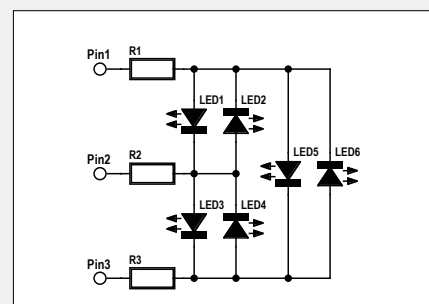
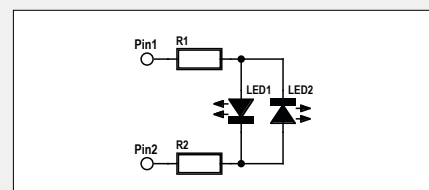
Charlieplexing

Le principe du charlieplexing consiste à connecter deux LED tête-bêche entre deux broches d'entrées/sorties. Les sorties doivent pouvoir être ramenées à la tension d'alimentation ou à la masse. Des sorties à collecteur ouvert ou drain ouvert ne fonctionnent pas dans ce cas. Sur une paire de broches, il est possible de connecter une paire de LED = 2 LED. Sur trois broches, il est possible de connecter trois paires de LED = 6 LED. Pour quatre broches, cela donne six paires de LED = 12 LED, etc. Le charlieplexing n'a pas de sens pour deux broches, car il est possible de commander deux LED sans multiplexage. À partir de trois LED, l'astuce ne fonctionne que si les sorties du microcontrôleur sont à trois états, c.-à-d. qu'elles peuvent être déconnectées. Ainsi les sorties utilisées pour commander une LED n'ont pas d'effet perturbateur sur les sorties inutilisées.

Quelques particularités sont encore à noter : sans multiplexage, on peut commander non seulement chaque LED individuellement, mais aussi n'importe quelle combinaison simultanément. En multiplexage normal, cela ne fonctionne qu'avec \sqrt{n} LED simultanément. Avec sept broches (par ex. 4 lignes \times 3 colonnes), on peut commander douze LED, sachant

que seul un groupe (ligne) de quatre LED peut être commandé à la fois, car les LED d'une colonne commune ne peuvent être commandées que séquentiellement. La fréquence de multiplexage devrait être de $3 \times 30 = 90$ Hz afin d'éviter les scintillements. En revanche en charlieplexing, il n'est possible de ne commander qu'une LED à la fois. La fréquence de multiplexage doit alors être plus élevée, elle est d'au moins $12 \times 30 = 360$ Hz pour douze LED, lorsque l'œil humain doit percevoir plusieurs LED allumées simultanément sans scintillement. Ce n'est pas tout : alors que sans multiplexage chaque LED reçoit l'intégralité du courant et brille de manière satisfaisante, la luminosité est réduite en cas d'allumage séquentiel, car les LED ne sont activées que pendant une fraction de temps. En multiplexage normal avec par ex. trois colonnes, les LED ne reçoivent en moyenne qu'un tiers du courant maximal. En charlieplexing, le courant se réduit à 1/12 dans notre exemple.

Petit avantage : si le multiplexage normal requiert un tant soit peu de code, le charlieplexing nécessite seulement que le motif binaire de chaque LED soit mis dans une table puis lu périodiquement le cas échéant.



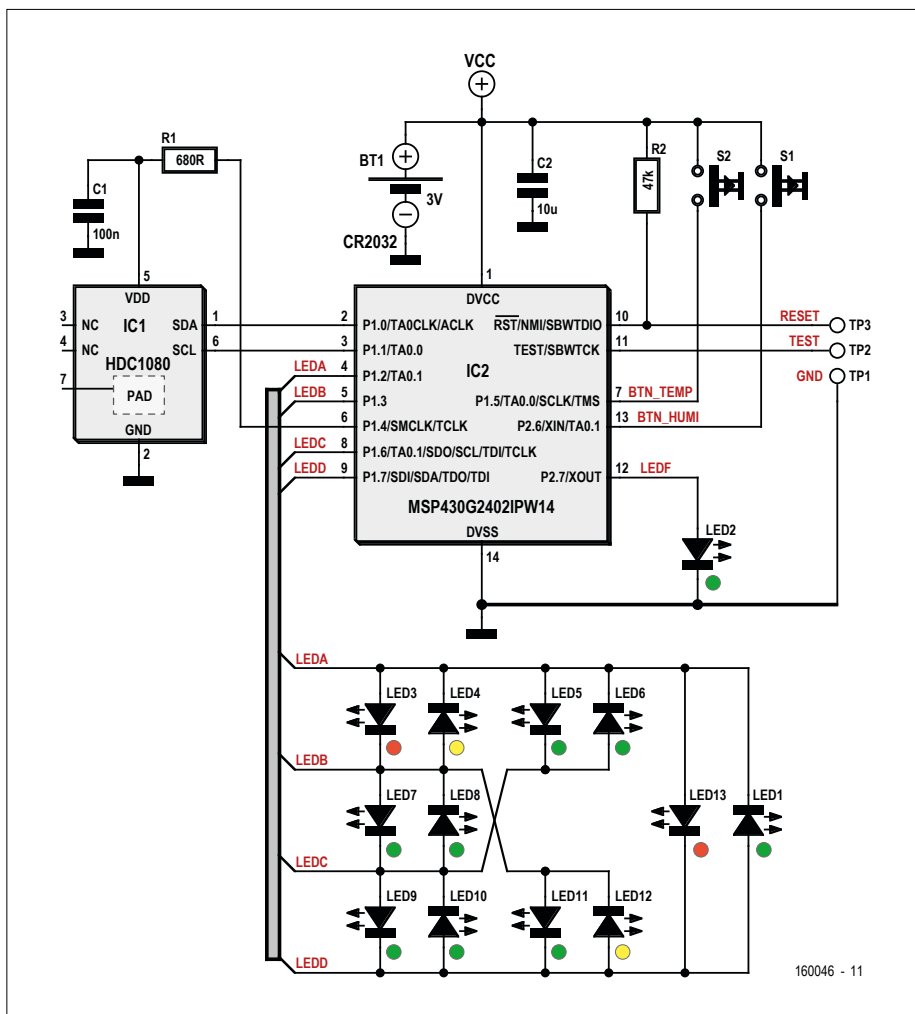


Figure 3. Le circuit est assez simple : capteur, microcontrôleur et 13 LED commandées par charlieplexing.

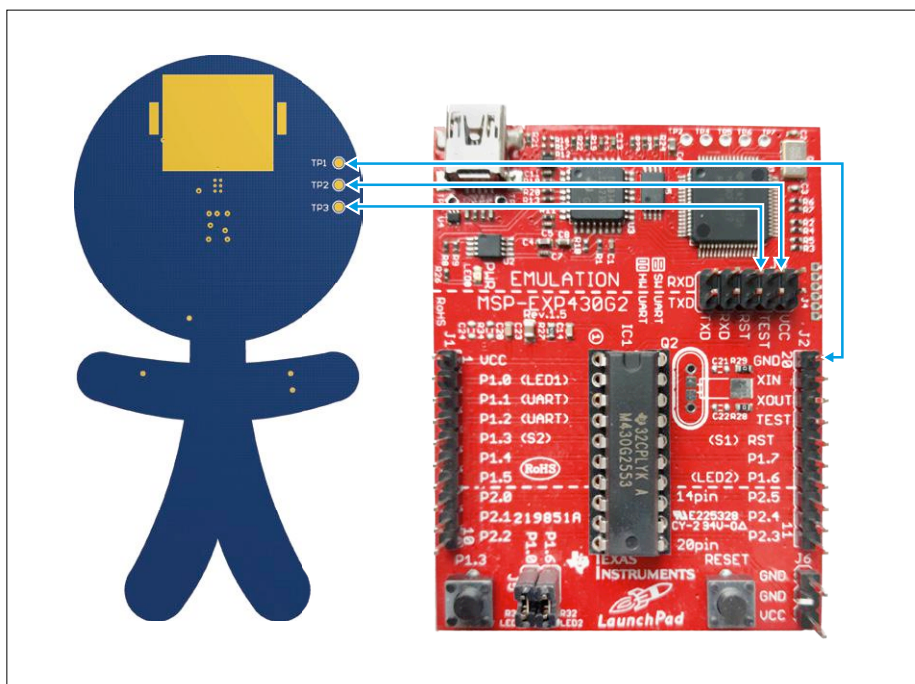


Figure 4. Les connexions du Launchpad à la carte de Temi (vue arrière) pour la transmission du micrologiciel au microcontrôleur de Temi.

de la pile baisse après des années. Pour des raisons d'économie d'énergie, Temi est actif uniquement suite à une pression sur l'une des touches. Après pression d'une touche, la mesure est effectuée et le résultat est affiché pendant cinq secondes. Puis Temi retourne en mode veille. La touche gauche déclenche une mesure de température, la droite une mesure du taux d'humidité de l'air.

Durée de vie de la pile

Si une pile bouton alimentait en permanence le microcontrôleur et les LED, elle se déchargerait assez rapidement. Toutefois Temi est conçu pour économiser l'énergie puisque la plupart du temps il est suspendu au mur et dort. Dans ce cas, une pile bouton de 3 V dure (presque) éternellement. Une pile bouton au lithium de type CR2032 du fabricant VARTA renferme une charge utile de 170 mAh. VARTA garantit une durée de vie hors charge de 10 ans avec une autodécharge de 1% par an. Voyons à présent un calcul approximatif de la durée de vie de Temi avec une telle pile.

Tout d'abord le courant de repos de l'électronique : le capteur est complètement désactivé lorsque le microcontrôleur est en veille. Le microcontrôleur lui-même est mis en veille après 5 s d'inactivité. Dans ce cas, pratiquement tous les modules internes et l'horloge sont désactivés, c'est pourquoi le microcontrôleur ne peut être réveillé que par une RàZ ou des interruptions spéciales (changement de niveau sur certaines entrées, dans notre cas par les boutons). On obtient ainsi un courant de repos extrêmement faible de seulement 100 nA. En mode veille on obtiendrait ainsi une durée de vie théorique de $170 \text{ mAh} / 0,1 \mu\text{A} = 1,7 \times 10^6 \text{ heures} \approx 194 \text{ années}$. Des courants de fuite sur le circuit imprimé ou à travers les deux condensateurs ne changeraient rien au fait que la pile durerait bien les dix années prévues sans utilisation de Temi.

L'électronique se réveille si on appuie sur un bouton ; le microcontrôleur consomme 320 μA pour une fréquence d'horloge de 1 MHz. S'y rajoutent 1,5 μA du capteur et jusqu'à 20 mA pour les LED. Il faut donc compter un courant de 20,3 mA pour les 5 s de fonctionnement qui s'en suivent. La pression d'un bouton vide la pile de $5 \text{ s} \times 20,3 \text{ mA} = 101,5 \text{ mAs} = 28,2 \mu\text{Ah}$. Notre progéni-

ture peut donc volontiers activer Temi 6 030 fois jusqu'à ce qu'une nouvelle pile soit nécessaire. Cela représente tout de même quatre ans à raison de quatre pressions de bouton par jour. Les enfants deviennent ensuite assez grands pour changer la pile eux-mêmes ;-)

Le microcontrôleur mesure bien entendu la tension de la pile et signale par un clignement des yeux que la tension est tombée sous 2,8 V, le capteur ne fonctionne de manière fiable que jusqu'à 2,7 V.

Logiciel et C^{ie}

Les fichiers du circuit imprimé, la liste des composants et le logiciel (code source et fichier hex. directement transférable) sont disponibles en téléchargement gratuit sur le site d'Elektor, voir [6].

Le logiciel ne justifie que peu de commentaires, parce qu'il est assez simple : on a d'abord créé une macro pour chaque LED, sans devoir se soucier du charlieplexing. Puis on a produit une table qui attribue les valeurs du capteur aux LED. Dès qu'on appuie sur un bouton, un automate fini est démarré avec les états suivants : **STATE_STANDBY** (mode veille), **STATE_TRIGGER** (lit l'état de la pile et démarre la mesure) et **STATE_DISPLAY** (affiche la mesure grâce aux LED). La commande des LED a lieu dans la boucle principale, la mesure y est déclenchée par une interruption du chien de garde. Les contraintes de temps sont ainsi facilement respectées et l'automate fini est commuté d'un état au suivant à chaque appel. L'interruption du chien de garde est déclenchée

toutes les 30 ms, entretemps le circuit est mis en veille. Le logiciel a été entièrement développé avec la plateforme de développement intégrée *IAR Embedded Workbench*.

L'auteur a utilisé une plateforme standard Launchpad MSP430 [8] pour charger le logiciel dans la carte Temi. À cet effet, tous les cavaliers ont été enlevés de J3 et les signaux d'émulation connectés directement à Temi. (**fig. 4**). La plateforme Launchpad, bon marché, permet donc de programmer le µC MSP430 du Temi avec le protocole « Spy-Bi-Wire ». ◀

(160046 – version française : Xavier Pfaff)

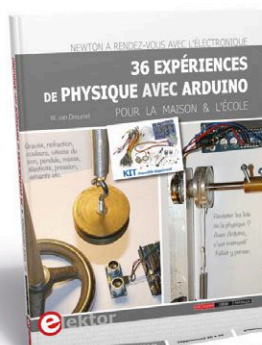
Liens

- [1] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Pantin_\(figurine\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pantin_(figurine))
- [2] Capteur : www.ti.com/product/HDC1080
- [3] Microcontrôleur : www.ti.com/product/MSP430G2402
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Charlieplexing>

- [5] *Charlieplexing*, Elektor 07/2006 : www.elektormagazine.fr/060124
- [6] www.elektormagazine.fr/160064
- [7] www.iar.com/iar-embedded-workbench
- [8] www.ti.com/tool/MSP-EXP430G2

Publicité

36 Expériences de Physique avec Arduino + Kit de démarrage



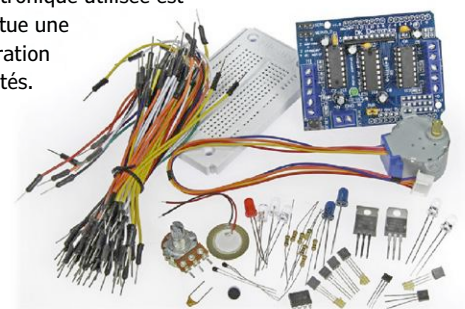
La rencontre de la physique et du microcontrôleur ne devrait plus étonner personne. Il existe d'excellents enregistreurs de données, ainsi que de nombreux programmes pour les traiter et les présenter sous forme de graphiques colorés et attrayants. La physique rébarbative, c'est fini !

J'ai choisi l'Arduino, car cette plate-forme est d'un accès facile et sa documentation abondante. La famille Arduino offre des ressources extraordinaires à un prix dérisoire. Ajoutez-y le logiciel gratuit CoolTerm, et vous pouvez enregistrer toutes les données de mesure pour les retravailler sous Excel et créer aisément des tableaux ou des graphiques.

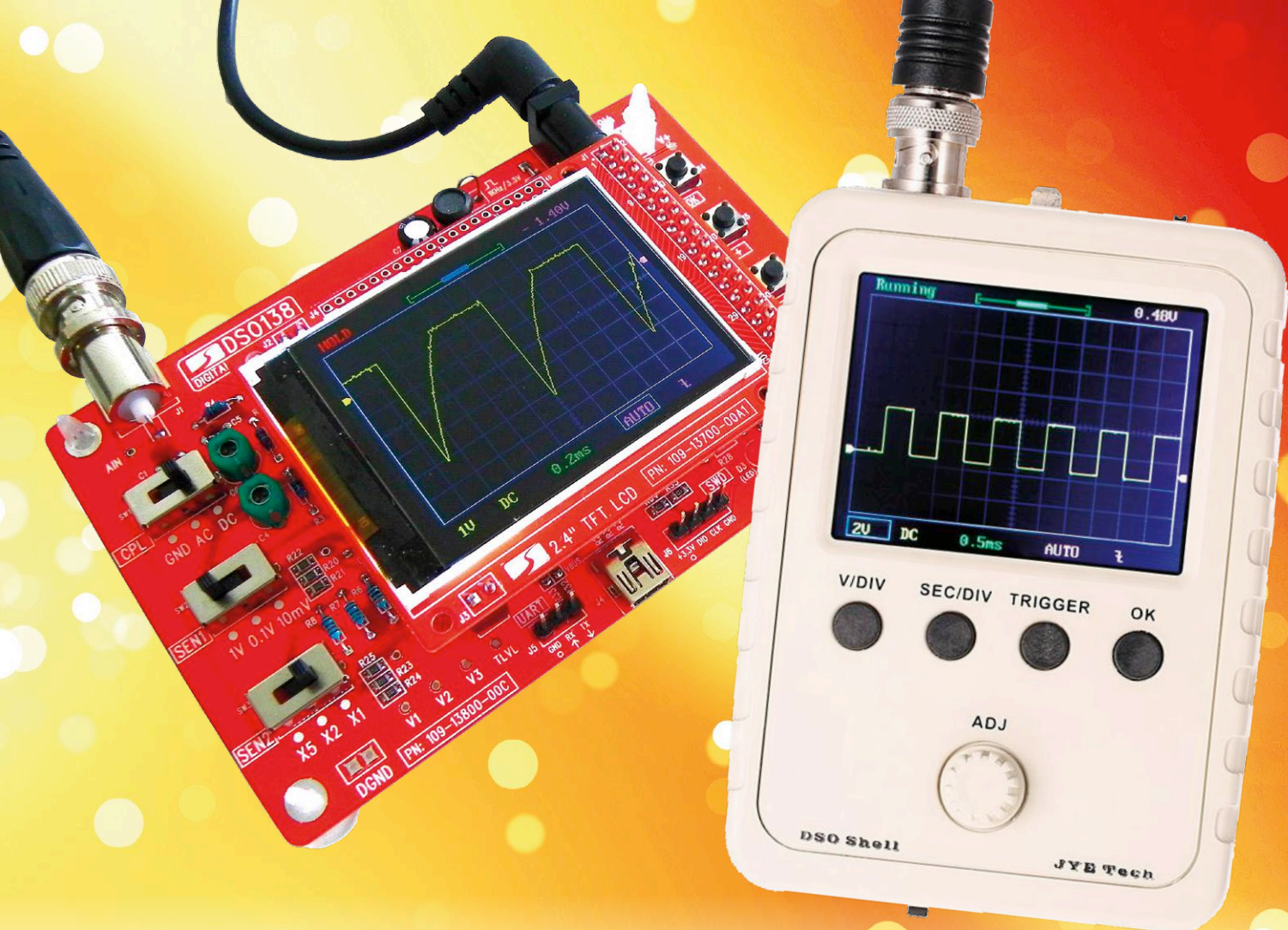
Ce livre n'est pas un manuel de physique. Vous n'y trouverez ni équations différentielles ni courbes abstraites. Nous étudierons des phénomènes physiques de la vie de tous les jours. Sans chercher à être exhaustif, mon modeste ouvrage apporte aux leçons de physique une approche nouvelle et créative grâce aux techniques modernes de mesure et de traitement des données. L'électronique utilisée est simple, et constitue une belle démonstration des possibilités.

Un kit a été spécialement conçu pour réaliser les expériences décrites dans ce livre.

Contenu détaillé du kit, voir www.elektor.fr/159009-71



www.elektor.fr/arduino-36-experiences



mini-oscilloscopes affichage de signaux à vil prix

Alfred Rosenkränzer (Allemagne)

Quelquefois on a besoin d'ajouter un afficheur à un appareil pour faire plus que donner quelques chiffres ou indiquer les principaux états de fonctionnement. Pour cela, des fournisseurs d'Extrême-Orient proposent des petits « modules oscilloscopes » équipés de tout le nécessaire et peu coûteux. Certains de ces modules sont proposés avec un boîtier grâce auquel vous vous retrouvez avec un mini-oscilloscope dans la main. Nous avons examiné deux produits de la société JYE Tech.

Il y a quelques semaines je cherchais un petit module d'oscilloscope à intégrer dans un appareil qui devait capter et afficher les variations du courant de commande d'une buse d'injection. En parcourant le web, je suis tombé sur le modèle DSO138 de la société JYE Tech. Comme la largeur de bande de 200 kHz ainsi que la fréquence d'échantillonnage de 1 MHz suffisaient pour mon application, j'ai passé commande de ce composant. Puisque le prix de ces modules livrés directement depuis la Chine est particulièrement attrayant, à peine 20 €, par pure curiosité, j'ai ajouté à mon panier le modèle DSO150 – un kit d'oscilloscope avec boîtier. Voici mon retour d'expérience avec ces produits.

Caractéristiques (les deux modules)

- Bande passante d'entrée : 0 Hz à 200 kHz
- Échantillonnage : max. 1 Méc/s
- Sensibilité d'entrée : 10 mV/div à 5 V/div
- Erreur verticale : < 5 %
- Résolution verticale : 12 bits
- Base de temps : 10 μ s/div à 500 s/div
- Capacité de la mémoire : 1024 échantillons
- Signal de test : 1 kHz / 3,3 V carré
- Fonction de maintien (courbe figée)
- Enregistrement et rappel des courbes

► modules oscilloscopes pour une poignée de pièces

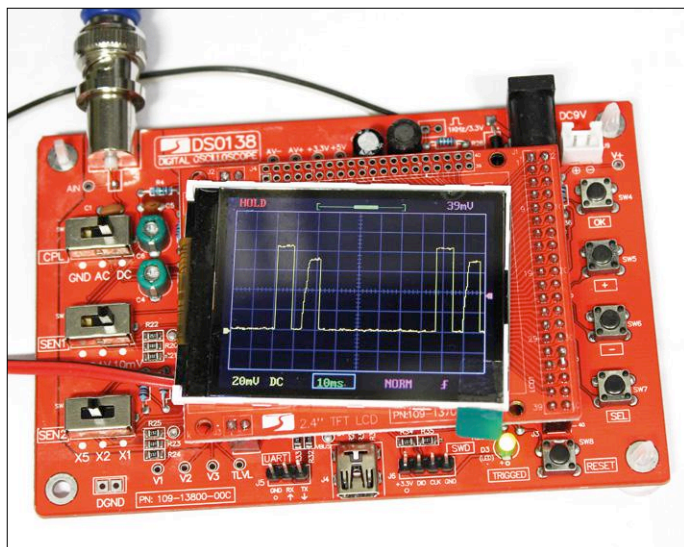


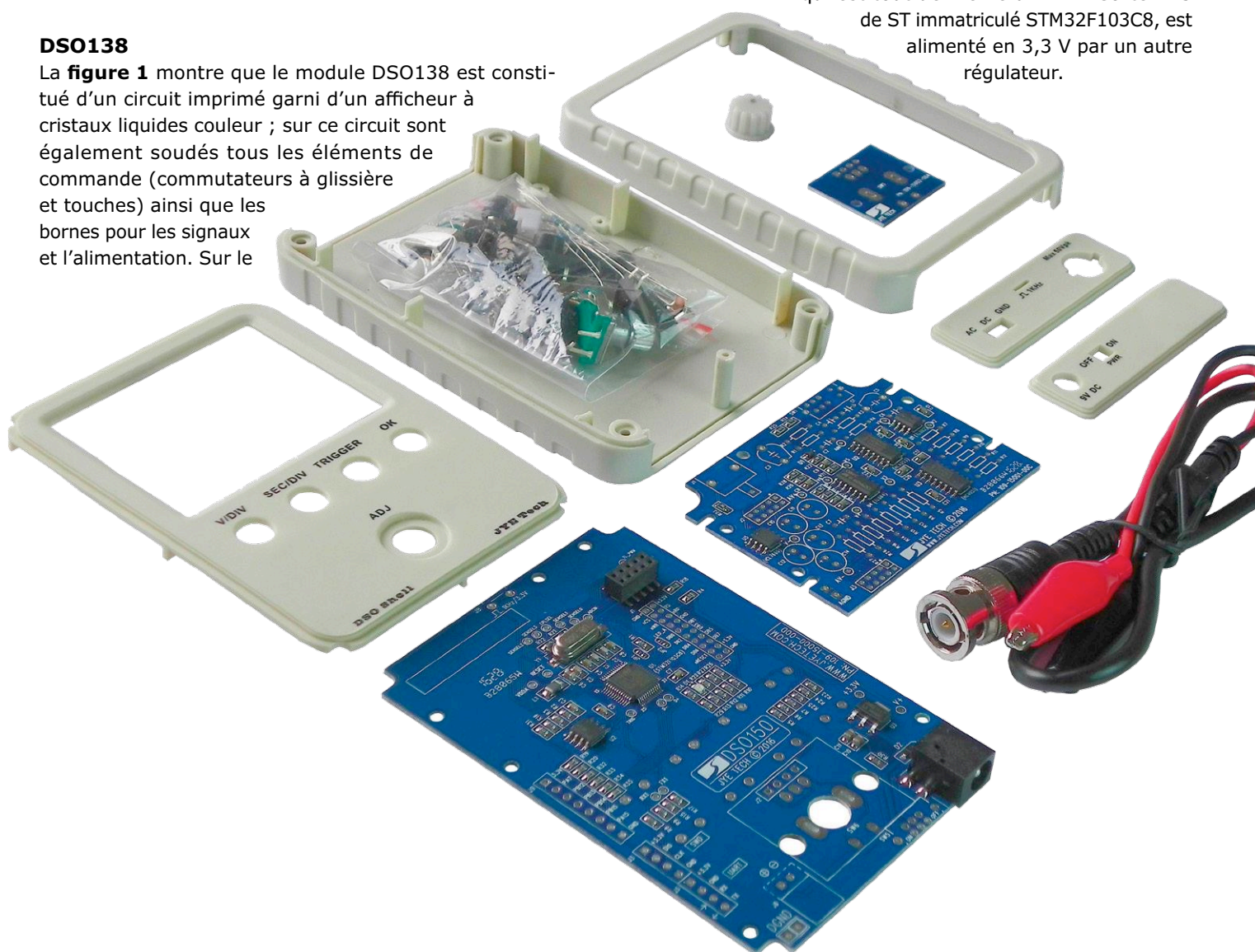
Fig. 1. Aspect du module DSO138 fini. L'écran montre les variations du courant d'une buse d'injection.

DSO138

La **figure 1** montre que le module DSO138 est constitué d'un circuit imprimé garni d'un afficheur à cristaux liquides couleur ; sur ce circuit sont également soudés tous les éléments de commande (commutateurs à glissière et touches) ainsi que les bornes pour les signaux et l'alimentation. Sur le

côté gauche, on voit que la sélection du signal d'entrée et le réglage de l'amplitude sont réalisés au moyen de commutateurs mécaniques à glissière des plus simples. Malheureusement, la qualité de ces commutateurs (du moins sur mon exemplaire) est tellement abyssale qu'une modification de l'amplification fait le plus souvent complètement disparaître le signal. Avec les touches à droite, on commande les autres fonctions. Cela, au moins, fonctionne de manière intuitive et correctement. L'afficheur LCD RVB a une résolution de 320 × 240 (QVGA) avec une diagonale de 2,4" (6,1 cm). Comme certains oscilloscopes de table coûteux ont la même résolution pour des écrans nettement plus grands, cela me parut bien suffisant, du moins pour mon application. Heureusement, le schéma était fourni, ce qui ne va plus de soi pour les appareils de mesure. De ce fait, j'ai très facilement réalisé une entrée TTL de déclenchement externe.

L'alimentation est fournie par une source de 9 V ; le module consomme environ 100 mA. Un inverseur de tension simple délivre la tension négative qui, comme la tension positive, est stabilisée par un régulateur linéaire. Le microcontrôleur, qui est tout de même un ARM-Cortex-A3 de ST immatriculé STM32F103C8, est alimenté en 3,3 V par un autre régulateur.



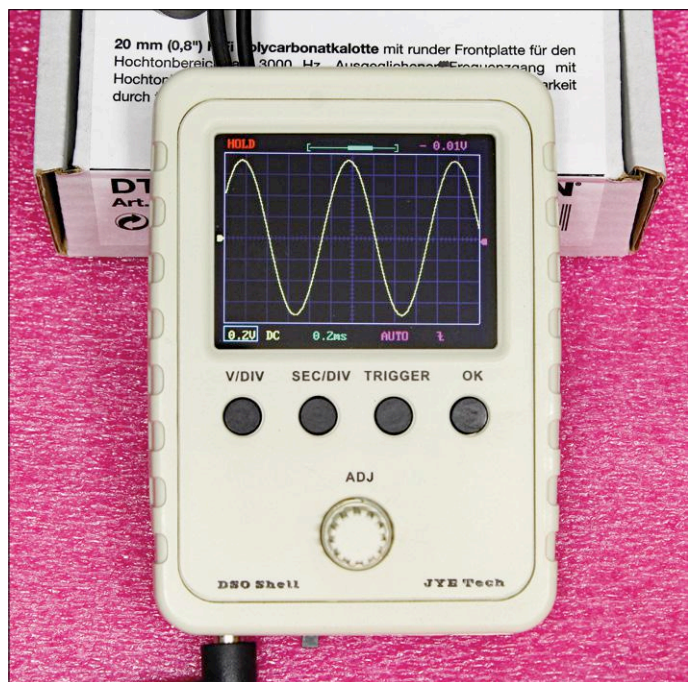


Fig. 2. Signal sinusoïdal de 1 kHz à amplitude quasi maximale sur le DSO150 complètement assemblé.

Le microcontrôleur comporte aussi le convertisseur analogique-numérique rapide utilisé. Il présente une résolution de 12 bits et une plage d'entrée de 0 à 3,3 V, dont le milieu 1,65 V correspond à la ligne zéro de l'afficheur. En fait, on atteint l'amplitude maximale sur l'écran pour un signal sinusoïdal d'une valeur bien moindre, ce qui, en combinaison avec la résolution de 12 bits, permet de régler le décalage vertical du signal d'entrée. Ce décalage n'est pas, comme d'habitude, réalisé par l'amplificateur analogique, mais soustrait par calcul des valeurs échantillonnées.

La plage d'entrée utile relativement petite du CA/N semble favoriser des pointes parasites qui se manifestèrent de temps en temps pour certaines valeurs du temps de balayage hori-

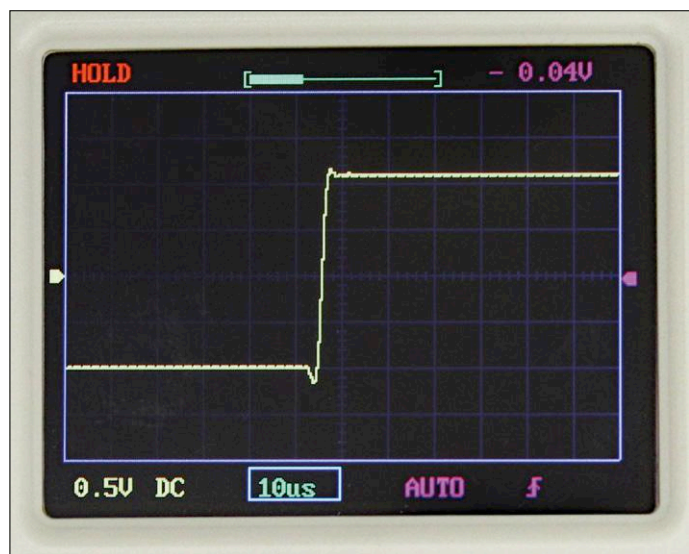


Fig. 3. Front du signal de test à 1 kHz. Pas aussi vertical que sur un « vrai » oscilloscope, mais tout à fait utilisable.

zontal et qui persistent malgré toutes mes tentatives de les atténuer en plusieurs endroits. En dépit de la règle universelle valable du rapport qualité/prix : « on n'en a que pour son argent », le module DSO inclut pas mal d'électronique pour son petit prix, il faut donc s'accommoder de quelques faiblesses. Le DSO138 n'existe pas seulement en version prête à l'emploi : si vous aimez souder, commandez le kit avec ses composants CMS déjà montés, pour un prix légèrement inférieur.

DSO150

Comme déjà mentionné, au cours de l'exploration du site web du fabricant [1], j'ai été attiré par l'oscilloscope en kit DSO150 (fig. 2). Il s'agit d'une extension du DSO138 avec les mêmes afficheur et contrôleur. Ce modèle n'est toutefois disponible qu'en kit avec boîtier ; mise à part la sélection de l'entrée, il est entièrement commandé par quatre touches et un bouton à impulsions. Voilà une commande toute simple, guère susceptible d'amélioration.

Les composants CMS de ce kit sont également déjà montés. Il faut souder les quelques composants traversants, assembler et tester l'ensemble. Mais tout cela reste très simple pour un électronicien quelque peu expérimenté, grâce à une bonne notice (en anglais). Avec ce kit, on transgresse certainement divers règlements et normes qui s'opposeraient à la mise sur le marché d'un appareil fini. L'absence du label CE ne poserait sans doute pas de véritable problème à un fournisseur extrême-oriental, qui se le délivrerait à lui-même en cas de besoin.

Je n'ai découvert la plus grande lacune qu'après l'assemblage, à la première mise sous tension : le niveau zéro se décalait dès que la tension d'alimentation variait. Comme le schéma était fourni, j'en ai facilement trouvé la cause : sur le DSO150, on a fait l'économie d'un régulateur de stabilisation de la tension d'alimentation de l'amplificateur d'entrée ! Le décalage de l'entrée du CA/N n'est stabilisé que par une diode Zener, ce qui n'est pas vraiment bon ni stable. Comme toujours, la qualité est une affaire de prix. Heureusement, il y a des résistances série traversantes dans les lignes d'alimentation positive et négative, qu'il est facile de remplacer par des régulateurs 78L05 et 79L05. L'alimentation de la diode Zener fut transférée sur les 5 V régulés, ce qui stabilisa la ligne du zéro.

Comme sur le DSO138, le décalage vertical est réalisé par le logiciel du microcontrôleur. L'amplitude pour une excursion maximale est de 640 mV_{cc} , ce qui correspond à seulement 20% de la plage d'entrée du convertisseur. Les parasites étaient néanmoins bien plus faibles sur le DSO150 que sur le DSO138 et bien moins fréquents. Il est également facile d'ajouter une entrée de déclenchement externe au DSO150.

Le tout est un magnifique jouet d'électronicien ou peut servir d'oscilloscope d'appoint, car, après la correction de l'alimentation, il fonctionne d'une manière très convenable (fig. 3). Cela est d'autant plus vrai si l'on pense à son prix particulièrement bas, 30 € environ, frais de port depuis la Chine compris. S'y ajoute éventuellement – si le colis est arrêté par les douanes – la TVA (avec ses formalités administratives), car la limite de dispense de 22 € est ici allégrement franchie. ◀

(160466 – version française : Helmut Müller)

Lien

[1] www.jyetechn.com



7 NOVEMBRE 2017 | PALAIS DES CONGRÈS DE PARIS

NIDays, c'est l'occasion de rejoindre les acteurs de l'innovation d'un grand nombre d'industries et de découvrir comment les progrès dans les technologies des transports, l'automatisation des tests, la communication 5G et autres encore se conjuguent pour créer un monde plus intelligent et connecté à travers des systèmes définis par logiciel.

INSCRIVEZ-VOUS DÈS MAINTENANT SUR NI.COM/NIDAYS



micro-bobine Tesla imprimée

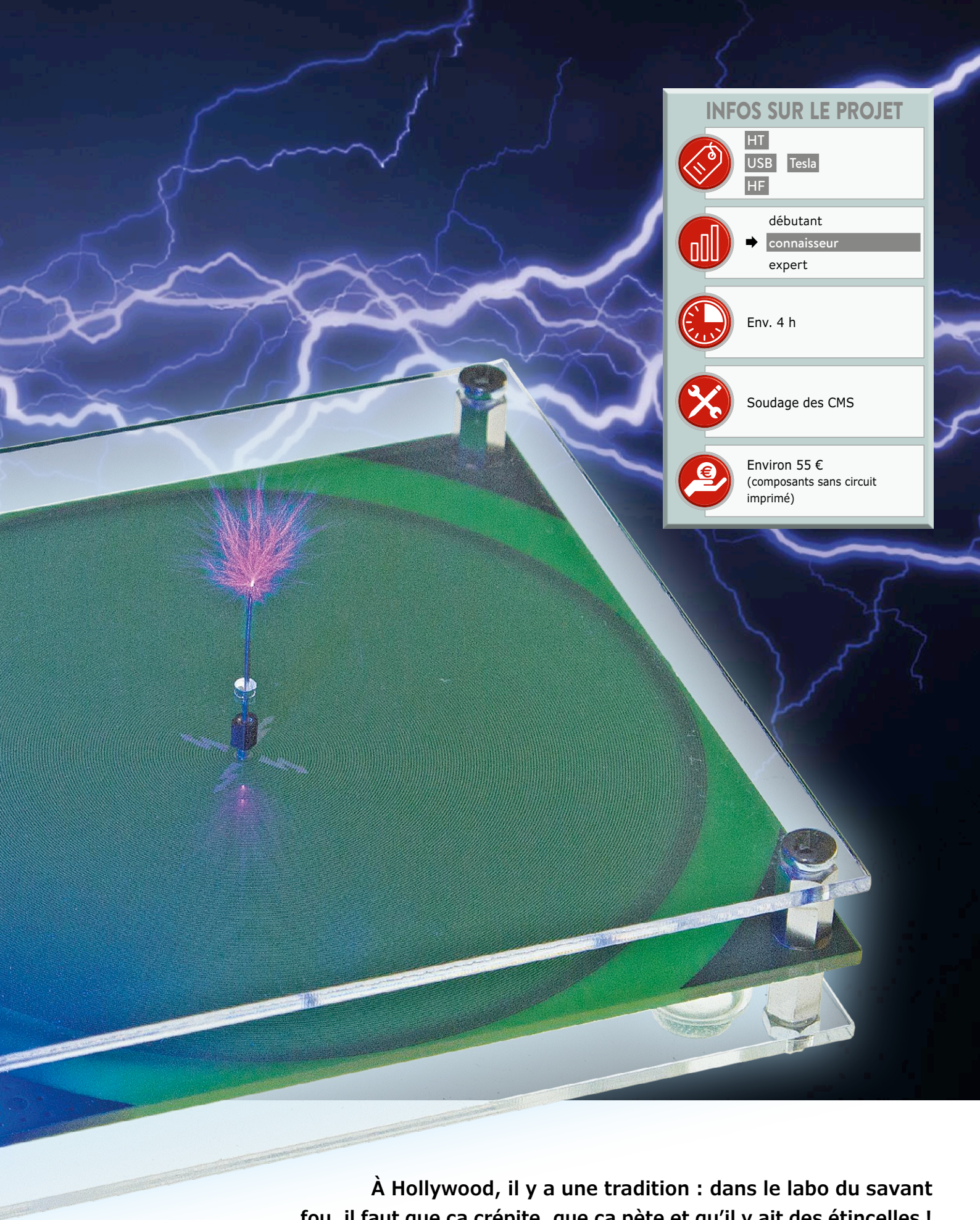
l'USB fait des étincelles



Daniël Eindhoven (Pays-Bas)

Caractéristiques

- Bobine Tesla à haute tension
- Bobines imprimées
- Alimentation par un chargeur ou adaptateur USB
- Étincelles sans danger
- Kit complet disponible



INFOS SUR LE PROJET



HT

USB

Tesla

HF



débutant



connaissseur

expert



Env. 4 h



Soudage des CMS



Environ 55 €
(composants sans circuit
imprimé)

À Hollywood, il y a une tradition : dans le labo du savant fou, il faut que ça crépite, que ça pète et qu'il y ait des étincelles ! Et pas seulement pour l'effet visuel ; il faut que ce soit un véritable spectacle et un ravissement pour le spectateur.

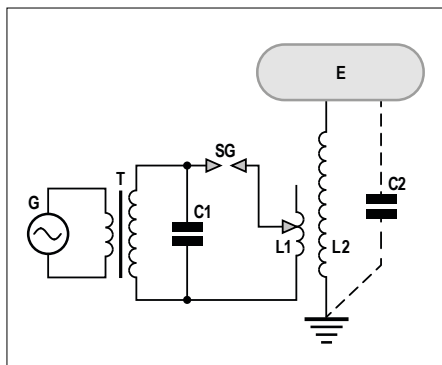


Figure 1. Schéma de principe de la bobine Tesla originale.

Pour la production d'étincelles spectaculaires, on utilisait – et on utilise toujours – des bobines Tesla, du nom de leur inventeur, Nikola Tesla (voir encadré). La plupart de ces bobines ont deux choses en commun : elles sont de taille imposante et elles sont assez dangereuses. Elles emmagasinent une grande quantité d'énergie, et en cas de contact fortuit il y a un sérieux risque de choc sévère et/ou de brûlures. Si nous voulons réaliser une bobine Tesla relativement peu dangereuse, il faut limiter l'énergie ; contrairement à ce que pensent certains adeptes de l'énergie libre (au sens de gratuite), on ne peut pas demander à un système de fournir plus d'énergie que ce qu'on y a préalablement stocké.

Alimentation via l'USB

Un des avantages de notre montage est qu'un simple chargeur USB suffit à l'alimenter ; la tension d'alimentation n'est

donc que de 5 V, et le courant limité à environ 1 A. Nous en déduisons la puissance maximale :

$$P = U \times I = 5 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 5 \text{ W}$$

Elle n'est pas suffisante pour occasionner beaucoup de dégâts. Les étincelles de notre bobine Tesla peuvent être interceptées à main nue, malgré le fait que la tension atteigne quelque 30 kV. On pourrait s'attendre à un choc, mais le courant est très faible, et on ne perçoit qu'un petit picotement. Cela ne veut pas dire que les bobines Tesla sont des jouets à mettre entre toutes les mains : on trouve sur l'internet de nombreux montages alimentés par le secteur ; ces bobines-là peuvent être létales, ne vous y aventurez surtout pas !

Principe de la bobine Tesla

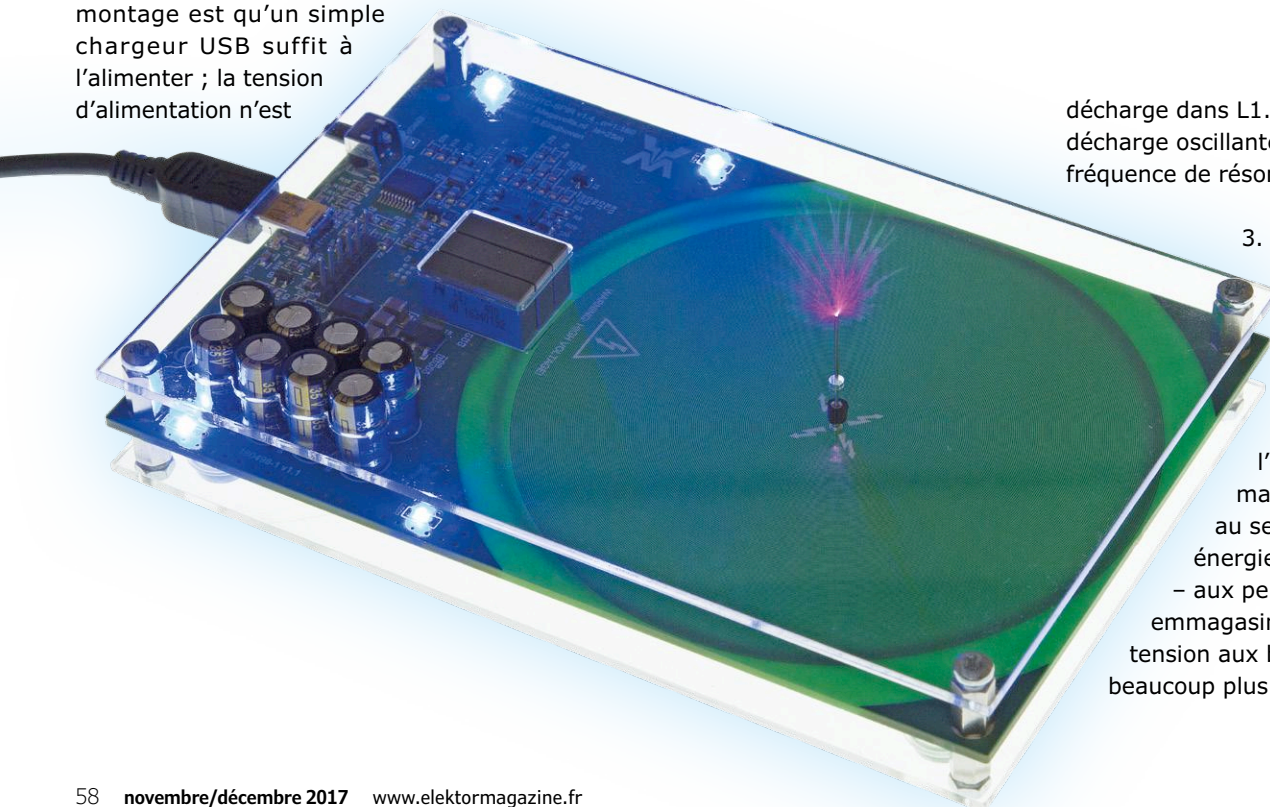
Le cœur d'une bobine Tesla est un transformateur spécial (formé de L1 et L2 sur le schéma de principe de la **figure 1**), appelé transformateur « résonateur » ou « oscillateur » dont le fonctionnement n'a pas grand-chose à voir avec celui d'un transformateur d'alimentation classique. Ce dernier est conçu pour transférer efficacement de l'énergie entre son primaire et son secondaire ; le transformateur de résonance doit aussi stocker (temporairement) de l'énergie.

Chaque bobinage constitue avec un condensateur en parallèle un circuit accordé. L1 ne comporte que quelques spires – voire une seule – de gros fil de cuivre et est ajustable ; elle est connectée à C1 via un éclateur (*Spark Gap*, SG). La bobine secondaire L2 comporte un grand nombre de spires de fin fil de cuivre et se trouve à l'intérieur de L1. Les deux bobines sont à noyau d'air. Il n'y a pas de condensateur « matériel » connecté en parallèle sur L2, mais la capacité C2 est bien présente : il s'agit de la somme des capacités parasites entre bobinages et de la capacité entre l'électrode de décharge E et la terre. Les deux circuits L1/C1 et L2/C2 ont la même fréquence de résonance.

Le fonctionnement de la bobine Tesla originale, dont le schéma de principe est repris en figure 1, est résumé ci-après.

1. Le condensateur C1 est chargé à une haute tension par le transformateur d'alimentation T.
2. Dès que la tension aux bornes de C1 atteint la tension d'amorçage de l'éclateur, un arc électrique se forme. La résistance de l'arc est très faible, le circuit primaire est donc fermé, et le condensateur se

► Des éclairs en format de poche



décharge dans L1. Il s'agit d'une décharge oscillante amortie, à la fréquence de résonance du circuit.

3. Cette oscillation entraîne une dans le circuit du secondaire L2. En quelques cycles l'énergie du primaire est transférée au secondaire. Cette énergie est équivalente – aux pertes près – à celle emmagasinée dans C1. La tension aux bornes de L2 est beaucoup plus élevée qu'aux

bornes de L1, et le champ électrique intense à proximité de l'électrode de décharge va ioniser l'air ambiant et créer des arcs électriques dans toutes les directions.

4. Le courant qui circule dans le circuit du secondaire va à son tour engendrer un champ magnétique, et de l'énergie va être retransférée au primaire pendant quelques cycles. Il va y avoir un va-et-vient à haute fréquence entre les bobinages ; les oscillations vont cependant s'amortir suite aux pertes successives.
5. Dès que le courant dans le circuit primaire est trop faible pour entretenir l'arc électrique entre les électrodes de l'éclateur, le circuit est rouvert.
6. Le condensateur C1 est à nouveau chargé par le transformateur T et le processus recommence.

Un cycle complet est en fait très court, les oscillations s'amortissent en un temps de l'ordre de la milliseconde. Chaque arc électrique entre les électrodes de l'éclateur produit un train amorti d'impulsions sinusoïdales de haute tension aux bornes de L2. Ce train est amorti avant un nouveau cycle, de telle manière que la bobine Tesla ne produise qu'une suite de trains amortis d'impulsions et non une haute tension sinusoïdale en continu. Il est à noter que l'électrode de décharge peut prendre la forme d'un disque, d'un tore, ou d'une pointe. Dans les deux premiers cas, la bobine ressemble à un générateur de Van de Graaff, mais le fonctionnement est tout à fait différent !

Lorsque Nikola Tesla inventa son transformateur, les interrupteurs à semi-conducteurs étaient inconnus, et les systèmes mécaniques trop lents. L'éclateur était une manière ingénieuse pour commuter très rapidement un courant.

Deux modèles

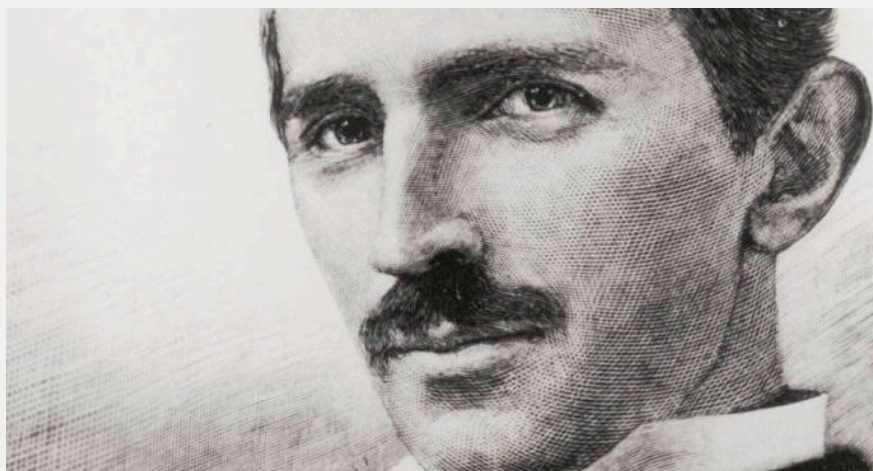
Il existe de nombreuses déclinaisons de la bobine Tesla, mais on peut classer la plupart dans deux groupes.

Le premier groupe reprend les schémas « classiques » avec un éclateur, dénommés *SGTC* (*Spark Gap Tesla Coil*).

Dans un second groupe, nous retrouvons les circuits utilisant des semi-conducteurs modernes et rapides (thyristors, tran-

Nikola Tesla, un génie à la fin tragique

Nikola Tesla est né à Smiljan, dans l'actuelle Croatie, le 10 juillet 1856. Il a étudié la physique, la mécanique et la philosophie aux universités de Graz et de Prague. Après avoir travaillé quelque temps en France et en Allemagne, il émigre aux États-Unis en 1884, et y devient citoyen américain sept ans plus tard.



Aux États-Unis, il travaille initialement avec Thomas Edison, avec lequel il entre en conflit. Il crée alors sa propre société, soutenu par George Westinghouse, concurrent d'Edison ; il y crée ou améliore des composants importants des réseaux de distribution électrique modernes.

Tesla a obtenu de nombreux brevets pour ses inventions, mais contrairement à Edison il n'était pas un homme d'affaires. Il a cédé des brevets et leurs droits très lucratifs pour aider Westinghouse, ce qui a permis à ce dernier de devenir très riche et de briser le monopole de la compagnie *Edison General Electric* ; la *Westinghouse Electric Company* existe toujours aujourd'hui, elle a été rachetée en 2006 par *Toshiba*.

C'est vers 1900 que Tesla a expérimenté avec les courants à haute fréquence (la bobine Tesla en est un des résultats), les communications et la transmission d'énergie sans fil. Ces expériences se soldent cependant par un fiasco financier. Tesla est connu du grand public comme savant et inventeur excentrique. Il faut bien dire que durant les dernières années de sa vie – passées en grande partie à New York – il a un peu perdu le contact avec la réalité, s'intéressant entre autres aux armes à énergie dirigée, à l'antigravité, aux contacts avec d'éventuels extraterrestres, et au concept d'énergie du vide.

Tesla est mort dans une chambre d'hôtel à New York le 7 janvier 1943. Ses pairs ne l'avaient pas oublié, et ils étaient nombreux à ses funérailles. L'unité dérivée de l'induction électromagnétique (parfois appelée densité de flux magnétique) du Système international d'unités (SI) a été nommée tesla (symbole T) en son honneur en 1960.

[Source : Wikipedia]

sistors à jonctions, MOSFET, etc.), qui remplacent l'éclateur sans ses inconvénients (bruit, élévation de température et mauvais rendement). Ces variantes sont dénommées *SSTC* (*Solid State Tesla Coil*). Cela ne surprendra pas les lecteurs d'Elektor d'apprendre que nous avons choisi un circuit à semi-conducteurs, même si certains membres du labo avouent leur préférence pour les montages « bruyants »...

Le circuit

La **figure 2** reprend le schéma complet de notre *Spiral MicroTesla*. Pour être précis, il s'agit d'un circuit *DRSSTC* (*Dual Resonant Solid State Tesla Coil*) ; un nom à rallonge pour indiquer que l'on retrouve un circuit LC série au primaire et au secondaire, pour une excursion maximale des impulsions.

Les composants principaux d'une bobine Tesla sont bien entendu les bobinages

primaire et secondaire. Les électroniciens – surtout les amateurs – ont une sainte horreur des bobines qui ne sont pas disponibles toutes faites ; et si vous fournissez des instructions détaillées à une dizaine d'électroniciens pour en réaliser une, vous obtiendrez une dizaine de résultats différents... Nous avons décidé d'utiliser des bobinages imprimés pour éviter cet écueil. Le primaire consiste en une seule spire, du côté soudure du circuit imprimé, le secondaire en comprend 160 en spirale, du côté composants ; cela représente

une longueur d'environ 25 m !

Pas d'éclateur, mais bien quatre transistors bipolaires rapides (T4 à T7, pont en H) pour alimenter le primaire. Ces transistors sont commandés par les circuits intégrés spécialisés IC2 et IC3.

Contre-réaction

Concentrons-nous sur l'alimentation du primaire, qui constitue le cœur du montage. Les fréquences de résonance du primaire et du secondaire – aux alentours de 4 MHz dans notre circuit – doivent être

parfaitement identiques pour un résultat optimal, et le pont en H doit aussi être commandé à cette fréquence. Ce n'est pas évident d'obtenir ce résultat avec un oscillateur à fréquence fixe, entre autres à cause des tolérances sur la valeur des composants.

Il est beaucoup plus simple d'utiliser la contre-réaction, les résultats sont aussi meilleurs. À la résonance, tension et courant sont en phase ; il suffit donc d'utiliser la tension du secondaire pour commander le primaire. Le courant au

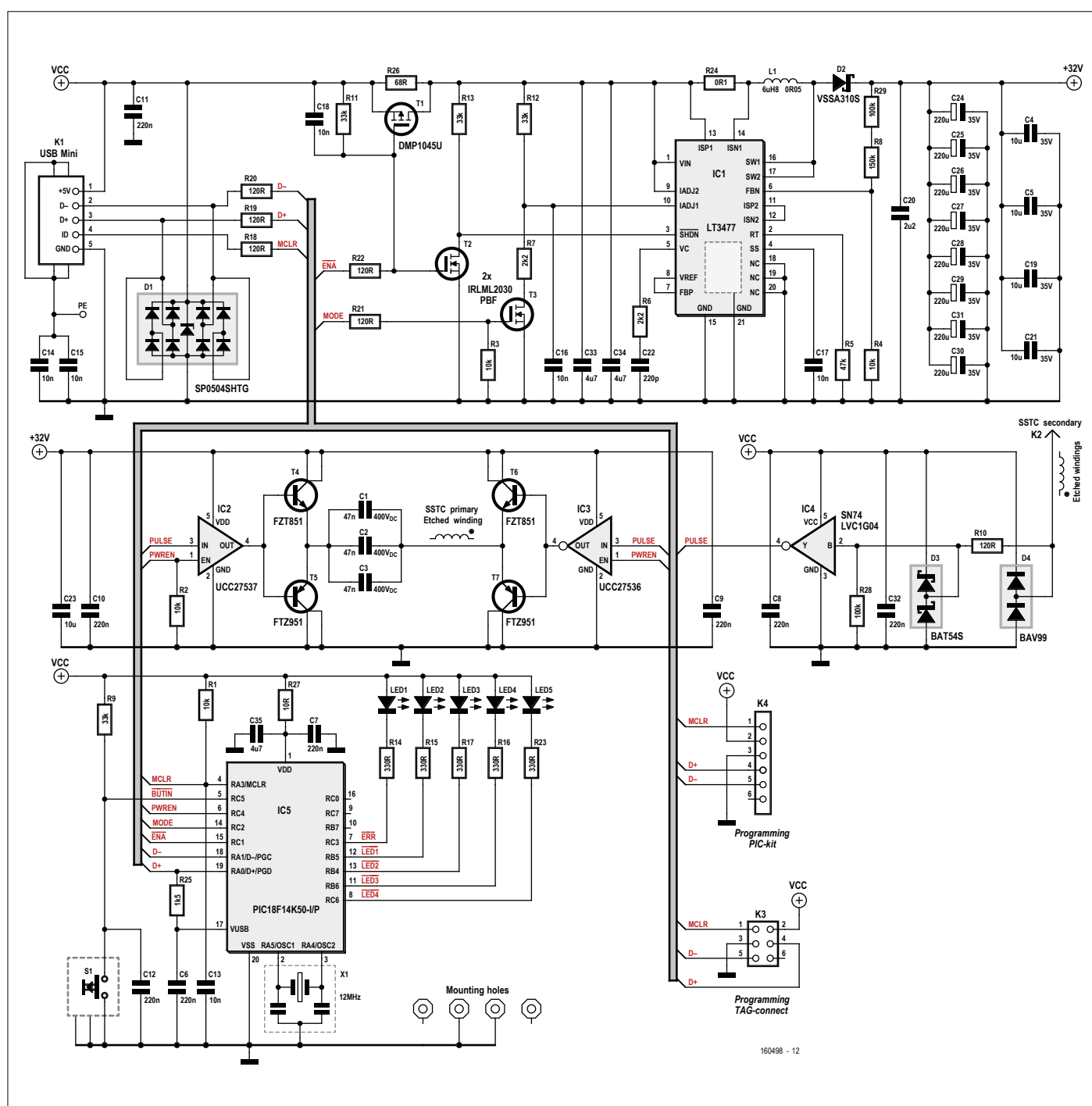


Figure 2. Le schéma complet de la *Spiral MicroTesla*.

secondaire est relativement faible, et une résistance (R28) suffit pour obtenir la tension de commande souhaitée.

L'inverseur IC4 inverse le signal et le transforme en train d'impulsions ; les diodes D3 et D4 protègent l'entrée d'IC4 contre les surtensions. Le signal à la sortie d'IC4 (*PULSE*) commande IC2 et IC3, et les transistors T4 à T7 sont commutés au bon moment pour maintenir l'oscillation. Nous obtenons ainsi des oscillations électriques entretenues, la **figure 3** en montre une simulation.

Il y a une deuxième raison de choisir la contre-réaction : la fréquence de résonance au secondaire n'est pas constante. Celle-ci varie de manière plus ou moins aléatoire lors du fonctionnement, car le plasma où se produisent les décharges possède une certaine capacité, et l'utilisation de bobinages planaires n'est pas idéale non plus. La contre-réaction entre secondaire et primaire donne bien les meilleurs résultats.

C'est aussi la raison pour laquelle le point de basculement du circuit primaire a été choisi pour une fréquence plus basse que la fréquence de résonance. Il faudra quelques périodes pour que la boucle de contre-réaction se stabilise et que la résonance soit optimale.

Vitesse

Le retard entre mesure de tension au secondaire et commande des transistors du pont doit être le plus faible possible, et il faut des composants rapides. C'est le cas des transistors T4 à T7 montés en émetteur-suiveur (collecteur commun), des FZT851, et des circuits de commande IC2, un UCC27537, et IC3, un UCC27536.

Alimentation

La tension d'alimentation maximale d'IC2 et IC3 est de 35 V ; en prenant une marge de 3 V, nous obtenons 32 V. Il faut convertir les 5 V du chargeur ou adaptateur USB pour obtenir cette tension, ce qui est désormais un jeu d'enfant pour les amateurs d'électronique.

Nous utilisons un convertisseur CC-CC élévateur, ici un LT3477 de *Linear Technology*, qui permet une régulation de courant sur toute la plage de tension de sortie. Cette dernière caractéristique est intéressante, elle permet d'éviter une surcharge de l'alimentation 5 V ; la limitation de courant se fait via la tension sur les broches I_{ADJ} . Lorsque T3 conduit, le courant d'entrée est limité à environ 0,5 A (tension de 50 mV aux bornes

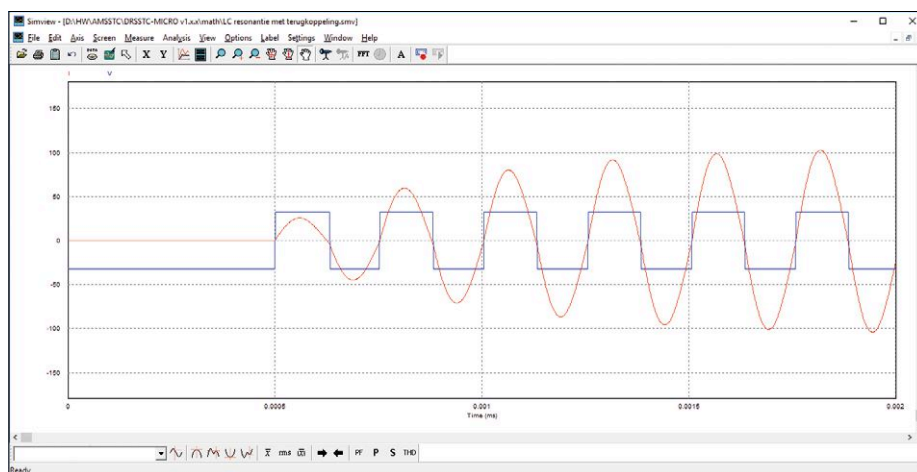


Figure 3. Simulation de la tension au secondaire avec contre-réaction.

de R24) ; si la tension sur I_{ADJ1} dépasse 0,625 V (T3 est bloqué), le courant est limité à environ 1 A (tension de 100 mV aux bornes de R24). T3 est commandé par le signal *MODE* d'IC5.

La tension de sortie du convertisseur est filtrée énergiquement par les condensateurs électrochimiques C24 à C31, et les condensateurs céramiques de 10 μ F en boîtier CMS 1210, C4, C5, C19 et C21. Cela permet aussi des pics de courant de près de 20 A (!!!) lors des commutations à haute fréquence. Le courant à la mise sous tension doit bien entendu être limité (la capacité totale est de plus de 1,8 mF), c'est le rôle de la résistance R26 de 68 Ω . Après 1 s, la résistance

est court-circuitée par T1, qui est commandé par le signal */ENA* d'IC5.

Rapport cyclique

La conception et la mise au point d'une bonne bobine Tesla sont un véritable défi. On veut obtenir des étincelles spectaculaires, mais on veut aussi contrôler les besoins en courant et la consommation. Un bon compromis consiste à mettre l'appareil sous tension périodiquement pour de courtes périodes : la puissance consommée est en effet proportionnelle au rapport cyclique.

Avec une alimentation de 5 V et 1 A, le rapport cyclique idéal est de 1,5%. Si nous voulions alimenter la bobine en

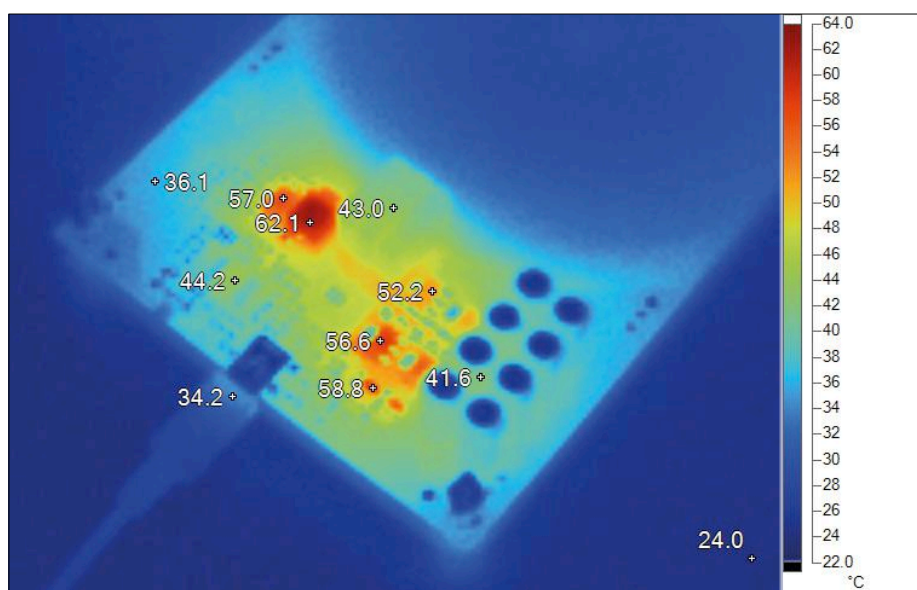


Figure 4. La température à la surface du circuit imprimé augmente, mais dans des limites acceptables.



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

(1%, 0,125 mW, CMS 0805, sauf mention contraire)

R1-R4 = 10 kΩ
 R5 = 47 kΩ
 R6, R7 = 2,2 kΩ
 R8 = 150 kΩ
 R9, R11-R13 = 33 kΩ
 R10, R18-R22 = 120 Ω
 R14-R17, R23 = 330 Ω
 R24 = 0,1 Ω, 250 mW, 1%, CMS 1206
 R25 = 1,5 kΩ
 R26 = 68 Ω, 250 mW, 5%, CMS 1206
 R27 = 10 Ω
 R28, R29 = 100 kΩ

Condensateurs

C1-C3 = 47 nF, 400 V, 5%, PP, pas de 15 mm, largeur de 5 mm
 C4, C5, C19, C21, C23 = 10 µF, 35 V, 10%, CMS 1210, X7R
 C6-C12, C32 = 220 nF, 50 V, 20%, CMS 0805, Y5V
 C13-C18 = 10 nF, 50 V, 10%, CMS 0805, X7R
 C20 = 2,2 µF, 50 V, 10%, CMS 0805, X5R
 C22 = 220 pF, 50 V, 5%, CMS 0805, COG/NPO
 C24-C31 = 220 µF, 35 V, 20%, Ø = 8 mm, pas de 3,5 mm, EEUF1V221L (Panasonic)
 C33-C35 = 4,7 µF, 16 V, 10%, CMS 0805, X7R

Inductance

L1 = 6,8 µH, 3,04 A, 0,0498 Ω, CMS

Semi-conducteurs

D1 = SP0504SHTG, CMS SOT-23-6
 D2 = VSSA310S-M3/61T, 100 V/3 A, CMS SMA
 D3 = BAT54S, CMS SOT-23
 D4 = BAV99, CMS SOT-23
 LED1 = LED, rouge, faible puissance, CMS, KPTL-3216EC (Kingbright)
 LED2-LED5 = LED, bleue, faible puissance, CMS, KPTL-3216QBC-D (Kingbright)
 T1 = DMP1045U, CMS SOT-23
 T2, T3 = IRLML2030TRPBF, CMS SOT-23
 T4, T6 = FZT851, CMS SOT-223
 T5, T7 = FZT951, CMS SOT223
 IC1 = LT3477EFE#PBF, CMS TSSOP-20
 IC2 = UCC27537DBVT, CMS SOT-23-5

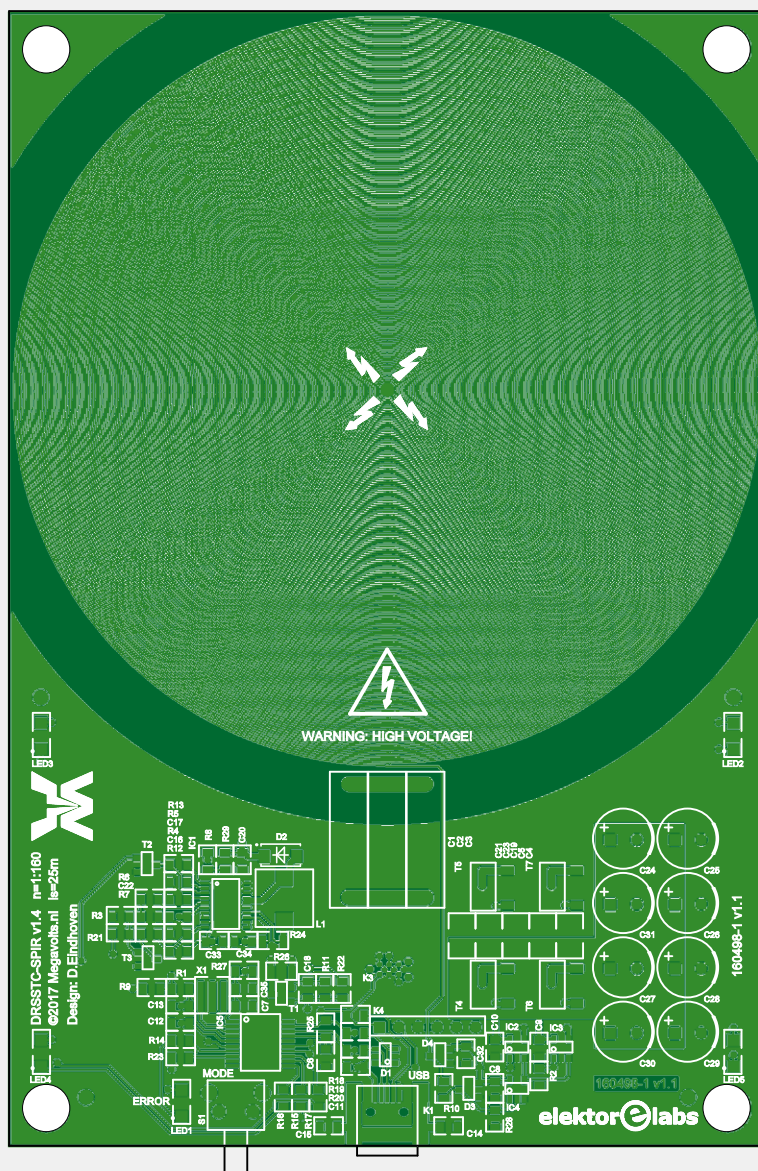


Figure 5. Circuit imprimé et implantation des composants.

IC3 = UCC27536DBVT, CMS SOT-23-5
 IC4 = SN74LVC1G04DBVR, CMS SOT-23-5
 IC5 = PIC18F14K50-I/SS, CMS SSOP-20

Divers

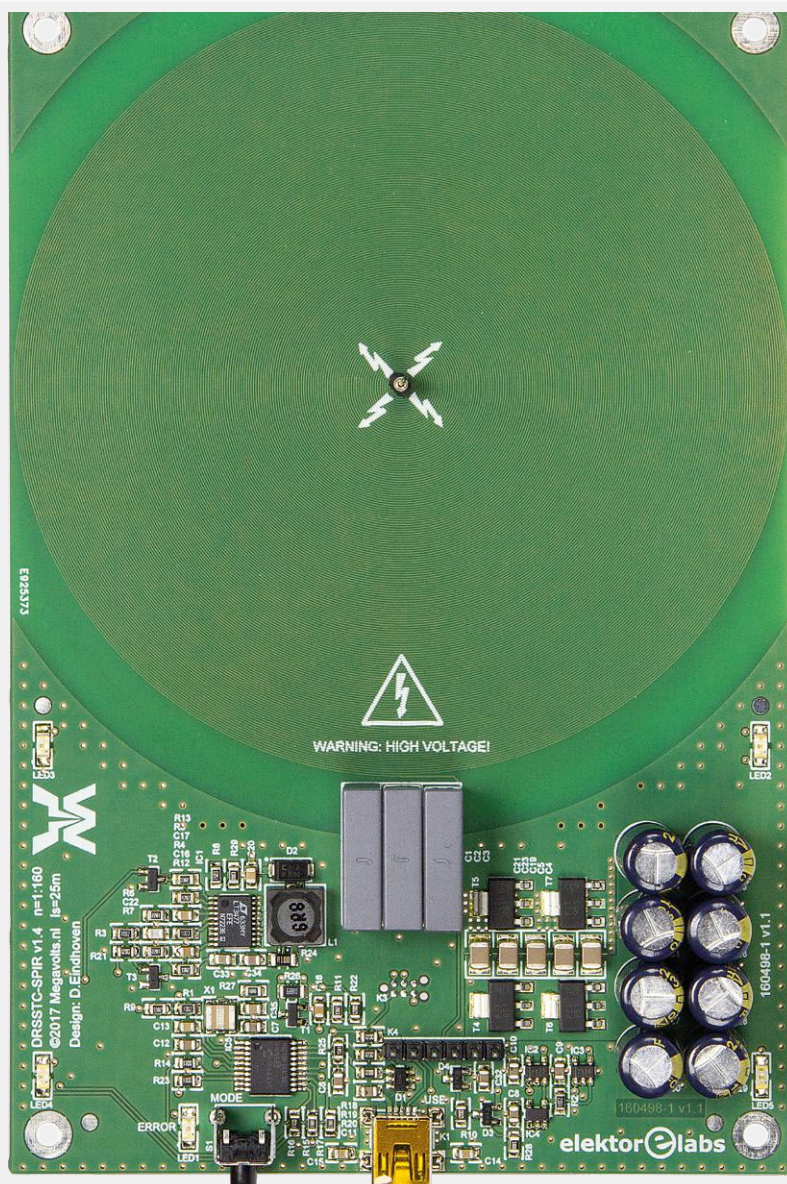
X1 = quartz 12,0 MHz, 0,5%, 5 pF, avec condensateurs intégrés,

AWSCR-12.00CV-T (Abracon)
 K1 = connecteur USB mini-B horizontal, pour circuit imprimé, CMS
 K2 = 1 contact de support de circuit intégré, contacts tulipe
 K4 = barrette de picots à souder, 1 × 6 contacts, pas de 2,54 mm

continu, il faudrait une puissance de plus de 300 W ! Sans parler de la puissance à dissiper, qui ne ferait que croître... Le micrologiciel de notre appareil permet d'ajuster ce rapport cyclique : fortes impulsions à basse fréquence (< 10 Hz), ou impulsions plus faibles à fréquence plus élevée (> 20 Hz). Il est même possible de produire toute une gamme en variant le

rapport cyclique (voir ci-dessous). Presque toute la puissance consommée est dissipée en chaleur, le gros dans l'étage de puissance, ce qui n'est pas surprenant. Le circuit imprimé est dessiné en conséquence, en prévoyant de grandes surfaces de cuivre sous les composants qui peuvent s'échauffer, et aussi du côté soudure pour une meilleure éva-

cuation de cette chaleur. La **figure 4** montre une image thermique du circuit après deux heures de fonctionnement. Une température de 62,1 °C, soit 38 de plus que la température ambiante de 24 °C, est tout à fait acceptable en électronique de puissance. Ces températures sont atteintes après environ une demi-heure.



S1 = bouton-poussoir, horizontal,
SKHHLQA010 (Alps)

Composants mécaniques

8 entretoises de 15 mm
4 vis M3 de 40 mm avec écrous
Plaque de Plexiglas® pour le dessus,

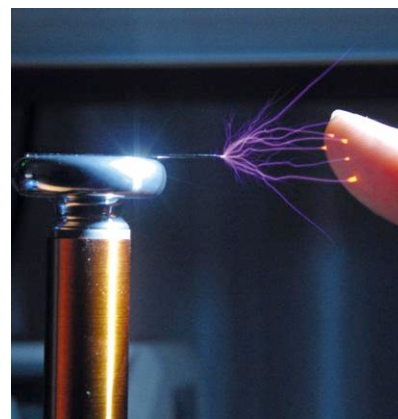
100 × 150 × 2 mm
Plaque de Plexiglas® pour le dessous,
100 × 150 × 2 mm

Circuit imprimé

160498-1

Avant-première

Le circuit de la micro-bobine Tesla peut servir de base pour une bobine Tesla « classique », avec bobine à noyau d'air verticale et électrode de décharge toroïdale – le gadget à haute tension ultime... Cette version devrait être disponible sous forme de kit dans peu de temps.



Un kit pour une « véritable » bobine Tesla sera disponible prochainement.

Micrologiciel

Un petit microcontrôleur PIC, un PIC18F14K50 (IC5), supervise l'ensemble du circuit : limitation du courant à la mise sous tension, courant maximal (0,5 ou 1 A) et rapport cyclique. Le PIC commande aussi une LED rouge en cas d'erreur (LED1), et quatre LED bleues (L2 à L5), juste pour le plaisir des yeux (ça

ne coûte pas grand-chose). Nous n'avons pas retenu la possibilité d'une commande externe par un ordinateur via le bus USB. Les divers modes de fonctionnement, décrits dans le paragraphe suivant, sont sélectionnés à l'aide de la touche S1. Le micrologiciel est disponible sur la page du projet [1], il se charge dans le PIC via le connecteur K4.

Montage et mise en fonction

Nous avons dessiné un circuit imprimé à double face pour notre *Spiral Micro-Tesla*, il est repris en **figure 5**. Le circuit imprimé est disponible dans l'e-choppe, et nous déconseillons aux amateurs de tenter de le réaliser eux-mêmes : le moindre court-circuit entre deux spires du secondaire, et tout tombe à l'eau !

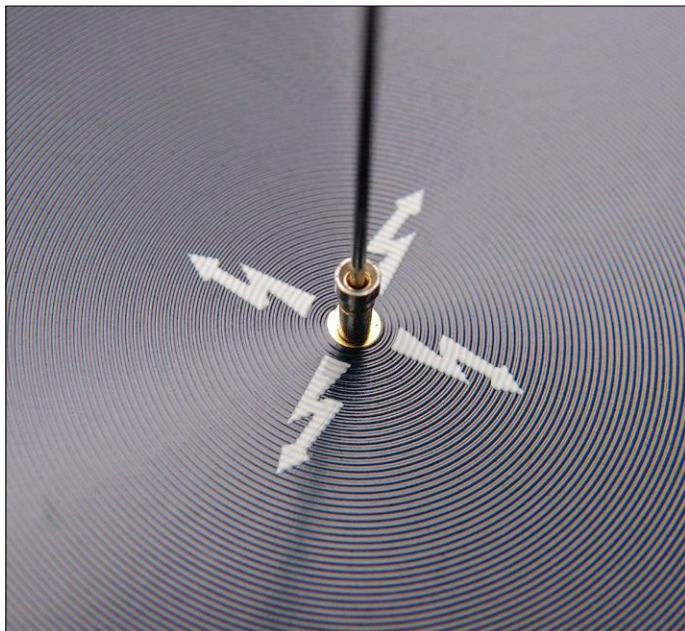


Figure 6. L'électrode est enfilée dans un contact de support de circuit intégré.

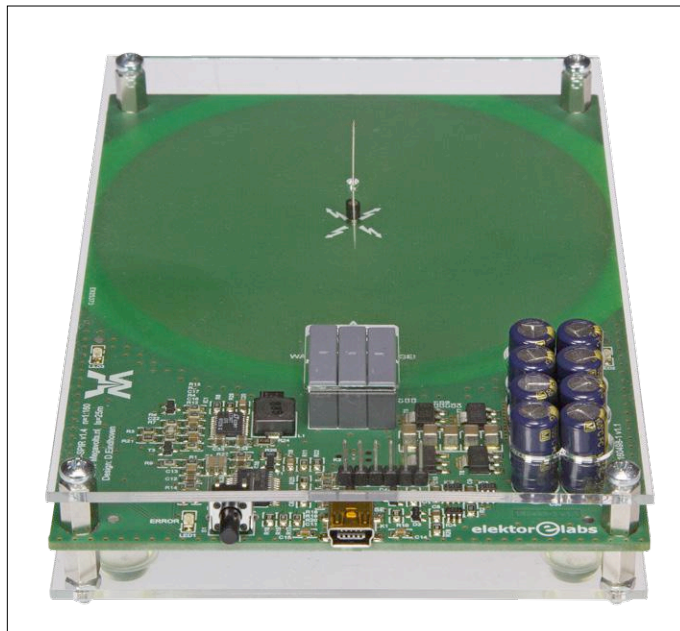


Figure 7. Le circuit imprimé est placé entre deux plaques de Plexiglas®, pour éviter tout contact dangereux.

À propos de l'auteur

Enfant, Daniël Eindhoven (âgé de 30 ans) jouait à *Command and Conquer : Alerte rouge*, et il a développé une certaine fascination pour les bobines Tesla. Lorsqu'il apprit qu'on pouvait les faire soi-même, il est devenu intenable, et il en a construit depuis de nombreux exemplaires de tous types. En 2010, il a terminé ses études d'électrotechnique à la Haute École La Haye de Delft (Pays-Bas), et il travaille depuis comme ingénieur de conception de matériel d'électronique de puissance. Il s'intéresse à divers domaines techniques, et son site www.megavolts.nl regorge de projets très intéressants.



La plupart des composants sont des CMS, ce qui ne devrait pas poser trop de soucis aux électroniciens avertis et correctement équipés. Pour les autres, encore une bonne nouvelle : un kit complet est disponible dans l'e-choppe, avec les CMS déjà soudés ; il ne reste que les composants traversants à monter, ce qui – nous l'espérons – est à la portée de tout un chacun...

Nous avons récupéré un contact d'un support de circuit intégré (DIP) pour y enfiler l'électrode de décharge (**fig. 6**). Le circuit imprimé est monté entre deux plaques de Plexiglas®, aussi disponibles dans le kit, avec des entretoises pour éviter tout contact malencontreux. L'électrode passe par un trou dans la plaque supérieure, de même que les « gros » condensateurs (électrochimiques et au polypropylène). La **figure 7** montre l'appareil monté.

Le bouton-poussoir S1 permet le réglage du mode de fonctionnement de l'appareil.

- Pression courte (< 1 s) sur S1 pour faire défiler les divers modes : mise en marche → impulsions à 5 Hz → 10 Hz → 20 Hz → gamme → arrêt.
- Pression sur S1 pendant 1 s pour revenir à la fréquence de 5 Hz.
- Pression sur S1 pendant 3 s pour passer au mode 1 A, LED1 clignote ; pression de 3 s pour revenir au mode 0,5 A.

- Pression sur S1 pendant 8 s pour éteindre les LED bleues et pouvoir prendre de très belles photos des étincelles.

Avertissement

L'utilisation de la micro-bobine Tesla est aux risques et périls de l'utilisateur. L'auteur, la rédaction et l'éditeur ne seront aucunement tenus pour responsable de tout dommage pouvant résulter de son emploi. N'utilisez qu'un chargeur ou adaptateur USB certifié pour alimenter le montage, et ne le raccordez en aucun cas au port USB d'un ordinateur. Les composants et circuits électroniques sensibles seront maintenus à bonne distance de l'appareil lors des décharges. ◀

(160498 – version française : Jean-Louis Mehren)

Lien

[1] www.elektormagazine.fr/160498

DANS L'E-CHOPPE

→ 160498-71

kit complet (seuls les composants traversants restent à souder), incl. plaques en Plexiglas®



vol tous azimuts

piloté par **Clemens Valens** (labo d'Elektor)
version française : **Denis Lafourcade**

Le secret le mieux gardé de C/C++

Le manque de lisibilité est le reproche le plus fréquent fait aux langages de programmation. Programmer requiert beaucoup de saisie et naturellement les programmeurs s'évertuent à faire plus avec moins de saisie. Résultat : un code source illisible. C et C++ sont considérés comme presque illisibles, ce qui est vrai, il suffit de regarder les opérateurs booléens comme « && », « || », « ^ » (ET, OU, OU exclusif bit à bit). Après des années de pratique, les programmeurs s'y sont habitués et on les trouve aussi dans d'autres langages de programmation. Mais saviez-vous que C++ propose aussi des « symboles alternatifs » ? Ces symboles permettent d'écrire autrement d'autres symboles, par ex. « and » pour « && », « bitand » pour « & » ou « xor_eq » pour « ^= ». La raison d'être des symboles alternatifs n'est pas d'améliorer la lisibilité – ce qu'ils font par pure coïncidence – mais de permettre l'utilisation de polices de caractères qui n'incluent pas « {}[]#^|~ » (caractères non-ISO 646). Si votre compilateur C reconnaît un fichier « iso646.h », alors il accepte aussi ces symboles alternatifs. Plus d'information ici :

http://en.cppreference.com/w/cpp/language/operator_alternative

not_eq == !=
xor_eq || and
bitand ^=
~ == compl
&&

HiSilicon est la plus grande compagnie chinoise de conception de circuits intégrés et semi-conducteurs sans unité de production, avec un chiffre d'affaires de 3,3 milliards d'euros (3,8 milliards de dollars) en 2016.



On n'a jamais trop de pistolets à colle.

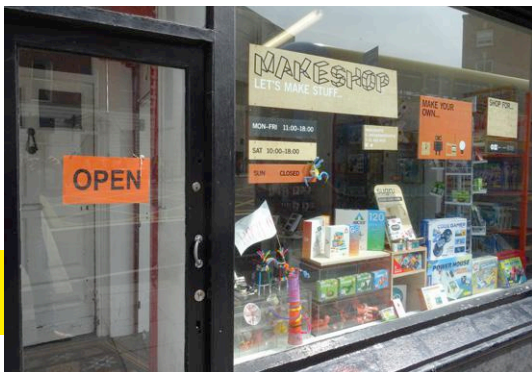
(Photo Gregory Ester)

Les lampes à incandescence se rebiffent



Il y a à peine quelques années que les autorités ont décidé que les lampes à incandescence étaient énergivores, pas écologiques ni vertes. Elles furent donc bannies, à commencer par les modèles de 100 W. Bientôt les filaments dans toutes les autres lampes à incandescence furent remplacés par des modèles halogènes, puis tout le monde bascula vers les LED, et les lampes à incandescence tombèrent aux oubliettes. Mais pas pour longtemps.

En visitant un marché à touristes cet été, j'ai découvert un éclairage vintage. Une jolie boîte en bois brillant avec un gros interrupteur à bascule et une lampe à incandescence sur le dessus ; elle produisait une lueur chaude plutôt qu'une lumière éclatante, comme les lampes des amplificateurs audio à tubes modernes. On trouve sur l'internet plein de lampes de décoration de ce type, en verre fumé avec un long filament zigzaguant à l'intérieur. On en trouve de toutes formes, souvent avec une douille en imitation cuivre et un câblage à l'ancienne (rappelez-vous, ces cordons d'alimentation recouverts de tissu ou de rayonne). La lampe à incandescence est de retour, rajeunie et relookée. Autrefois objet de nécessité, elle refait surface aujourd'hui comme objet de décoration et le sera sans doute encore pour un siècle et au-delà. Plus d'information sur l'internet, recherchez : ampoule antique vintage.



On dirait qu'elles commencent à fleurir partout.

Voici la boutique Makeshop de Dublin, repérée, visitée et révélée par Gregory Ester.

Lucy Lissajous in the Sky with Diamonds

Ces deux fonctions vous disent-elles quelque chose ?

$$x(t) = A \sin(\alpha t + \delta)$$

$$y(t) = B \sin(\beta t)$$

En effet, les deux sont des sinusoïdes. La première a une fréquence α , une amplitude A et une phase δ ; la seconde a une fréquence β , une amplitude B , et un angle de phase nul. On peut facilement créer ces signaux avec deux générateurs de fonction. En les connectant aux entrées d'un oscilloscope en mode XY, une courbe bidimensionnelle va s'afficher. Si $\alpha = \beta$, $A = B$ et $\delta = \pi/2$, la courbe sera un cercle ; si A et B sont tous deux nuls, vous devriez voir un point. Jouer avec les rapports α/β et A/B , et les valeurs de δ produira toutes sortes de courbes complexes communément appelées courbes de Lissajous (parfois aussi nommées courbes de Bowditch). Mais vous pouvez faire mieux, beaucoup, beaucoup mieux comme le démontre Jeroboam Fenderson qui crée à partir de sa musique des courbes de Lissajous qui deviennent d'incroyables animations, pas seulement des courbes (magnifique avec un vieux Tek, *NDLR*). Inspiré par Jeroboam, Hansi Raber a créé l'outil OsciStudio qui permet de concevoir ses propres animations musicales. Essayez-le et envoyez-nous vos vidéos !

www.elektormagazine.fr/news/champignons-sonores-animés-sur-oscilloscope

<http://oscilloscopemusic.com/index.php>



Simplifiez-vous la vie !



On peut trouver sur l'internet de nombreuses vidéos de trucs et astuces avec des objets et outils du quotidien. Certains trucs sont plus créatifs que d'autres, mais tous peuvent donner des idées. Les objets les plus utilisés dans ces vidéos intitulées « *Life hacks* » sont les bouteilles en plastique, les pinces à linge, les briquets et les pistolets à colle – les meilleurs les utilisent tous, ils démontrent ainsi que les

découpes laser et imprimantes 3D sont vraiment pour les mauviettes. Voici pour vous une petite sélection de vidéos de pistolet à colle. Et si vous n'êtes pas impressionné, vous pourrez toujours apprécier la musique.

<https://youtu.be/uoMLCV-qhjQ>

https://youtu.be/9W5N8_dYBPi

<https://youtu.be/MgjtTL5Qp4>



Outil de labo indispensable

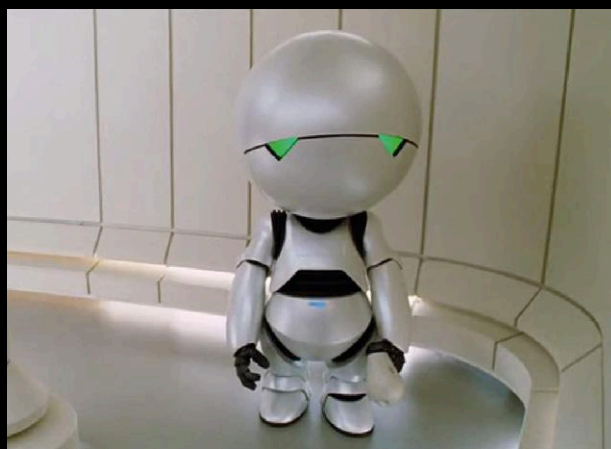
En vogue sur YouTube, Facebook, Amazon et autres sites de gadgets sur le Web où il totalise des centaines de milliers de vues, voici l'outil à gabarit Angle-izer. Cet assemblage astucieux de quatre règles coulissantes est prévu pour copier et reproduire des angles et des formes complexes lors de la pose de carrelage, parquet ou autres cas de découpes difficiles. À ne pas confondre avec le défunt groupe de métal Angelizer, cet outil en plastique se trouve pour presque rien partout sur l'internet. Si vous décidez d'en acheter un, prenez-en plutôt deux, car c'est un de ces outils dont on ne peut plus se passer une fois qu'on l'a.

Je suis désolé, Dave



IA HAL9000 de 2001, l'Odyssée de l'espace

Tandis que l'intelligence artificielle ou IA envahit doucement et silencieusement notre vie quotidienne, des questions classiques comme « les machines deviendront-elles plus intelligentes que les hommes ? » ou « l'IA détruira-t-elle l'humanité ? » et, plus terre à terre, « l'IA me fera-t-elle perdre mon emploi ? » empêchent de dormir de plus en plus d'entre nous. Mais qu'en est-il du ressenti d'une IA ? Ou, comme dit Marvin dans le « Guide du voyageur galactique » : « Je n'ai pas demandé à être créé ; personne ne m'a demandé mon avis ou pris en considération mes sentiments sur le sujet. » Les IA ont-ils une conscience ? Ont-ils un statut de personne morale ? Avons-nous des obligations envers les IA ? Avons-nous le droit d'éteindre un ordinateur potentiellement doué de sens ? Ces questions et d'autres problèmes éthiques non résolus sur l'IA tiennent en éveil les philosophes, même la nuit pour certains. *Klaatu barada nikto !*



Marvin, le robot dépressif du « Guide du voyageur galactique ».

Vous voulez participer ? Envoyez vos commentaires, suggestions, trucs et astuces à labs@elektor.com

sa cellule MC elle l'a faite toute seule !

Julia Anina Dietrich (Confédération helvétique)



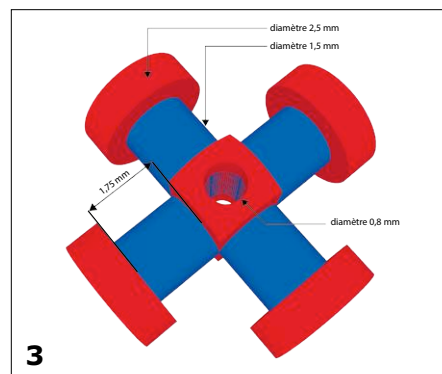
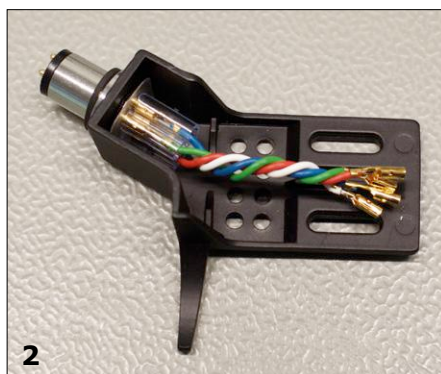
Pour mon mémoire de Physique en fin d'études au lycée, j'ai expérimenté la fabrication personnelle d'une cellule à bobines mobiles (MC) pour la lecture de disques microsillons. Il m'a fallu de l'habileté et de la patience, mais j'y suis arrivée (presque) sans outillage spécial.

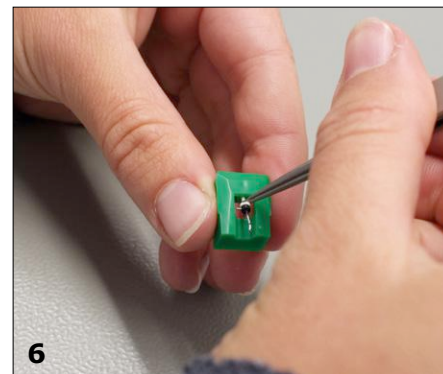
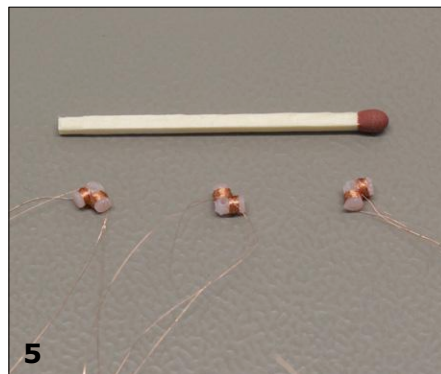
Le disque vinyle est de retour, en fait, il n'a jamais vraiment disparu. Malgré les avantages incontestables du CD, plus résilient aux rayures et au bruit de fond, de nombreux audiophiles ne jurent que

par le disque noir, qu'ils trouvent plus musical et plus chaleureux. Quoi qu'il en soit, une table de lecture est moins compliquée qu'un lecteur de CD. À tel point qu'il est possible de fabriquer soi-même

une cellule de phono à bobines mobiles qui – du moins à l'oreille – sonne aussi bien qu'un exemplaire acheté tout fait.

C'est ce que nous allons voir.





Préparation

Pour réaliser le projet, il ne m'a fallu visiblement que peu d'outils et de matériel : une pince coupante, des ciseaux, de la colle instantanée et quelques mètres de fil de bobinage de 0,05 mm (**fig. 1**). En outre, il faut évidemment un porte-cellule pour y installer le transducteur maison (**fig. 2**) et une paire de mandrins pour enrouler les spires.

J'ai choisi de construire une tête de lecture MC. Les bobines y sont attachées à l'aiguille et se déplacent dans un champ magnétique stationnaire de manière à induire une tension. Il faut pour cela d'abord des noyaux de bobines particulièrement légers, mais aussi disposés à angle droit pour recueillir le signal stéréophonique. Des expériences préliminaires m'avaient appris qu'il faudrait compter aux alentours de 150 spires.

Mon condisciple Nikola Mastelic a réalisé un dessin en 3D du noyau (**fig. 3**). Ensuite, on en a confectionné vingt exemplaires sur une imprimante 3D. Lors d'une première tentative de bobinage, il est apparu que la « croix » était encore trop grande. Comme l'aiguille est courte et mince, le noyau aurait pu traîner sur le disque, et ce n'est pas le but. J'ai donc dû lui enlever deux des quatre branches.

L'enroulement

Chaque bobine demande environ 2 m de fil de bobinage. Le mandrin serré entre deux doigts de la main gauche, j'ai bobiné les 150 tours de l'autre main (**fig. 4**). Le noyau est si petit et le fil émaillé tellement fin que c'en est un véritable ouvrage de dentellière. Avec un peu d'entraînement, j'ai quand même réussi à enrouler huit bobines, pour quatre cellules donc, mais à l'examen, la première était bonne à jeter. J'ai continué avec les

trois restantes (**fig. 5**). Après bobinage, j'ai fixé les selfs avec une goutte de colle instantanée.

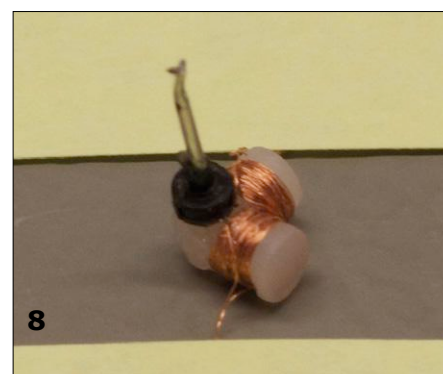
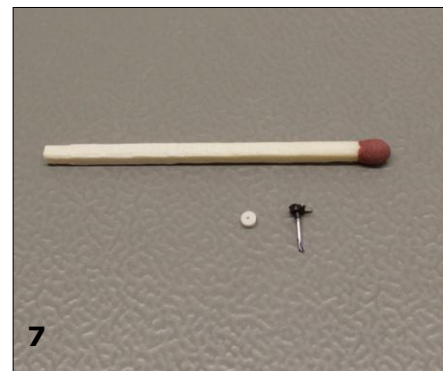
Aiguille volage

Au tour de l'aiguille. Celle-là, je ne l'ai pas taillée moi-même, je l'ai commandée toute faite, sans difficulté et pas tellement cher. Elles sont livrées dans un support en plastique de manière à les glisser dans une cellule conventionnelle. Il s'agit d'une aiguille pour transducteur MM, donc porteuse de petits aimants. Il me fallait donc les débarquer aux brucelles. Évidemment, au premier essai, l'aiguille a sauté hors de la pince et jusqu'à maintenant, je ne l'ai pas retrouvée ! Heureusement, j'en avais commandé plusieurs de réserve (**fig. 6**). Un petit anneau en mousse plastique permet à l'aiguille de se déplacer. Comme il devra encore servir plus tard, je l'ai retiré pour le protéger (**fig. 7**).

Montage

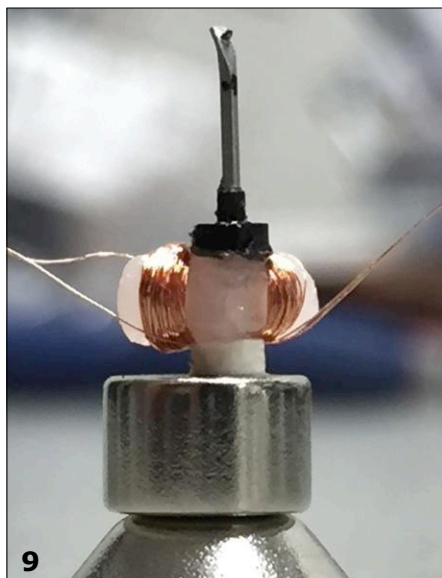
Il est temps de coller l'aiguille sur le noyau des bobines, puisqu'on fait une cellule à bobines mobiles. La partie mobile vient à l'arrière des petites bobines, mais je devais faire attention lors du collage à la position exacte de l'aiguille par rapport aux bobines pour atteindre une bonne séparation des canaux. Alors j'ai fixé le noyau avec du papier collant, puis j'ai pris l'aiguille dans les brucelles pour la placer à l'arrière dans une goutte de colle rapide, soigneusement sur le corps du noyau. L'opération s'est bien déroulée sur les trois exemplaires (**fig. 8**).

Pour produire le champ magnétique dans lequel les bobines évoluent, j'ai commandé quelques aimants ronds de différentes dimensions. Ceux de 6 mm de diamètre et 4 mm d'épaisseur semblaient convenir le mieux. Entre ces aimants et le noyau avec l'aiguille vient l'anneau en



mousse plastique de la figure 7 comme élément mobile. Cet anneau, il faut donc le coller sur l'aimant... le défi suivant. Au premier essai, j'ai pris l'anneau dans les pincettes et pompé un tout petit peu de colle avant de le placer sur l'aimant. La mousse plastique boit vraiment trop la colle, au séchage, durcie, elle ne joue plus son rôle. Aussi, au deuxième essai, j'ai déposé une minime quantité de colle avec un cure-dent, puis j'y ai déposé l'anneau pour le coller. La mousse plastique reste alors bien souple.

J'ai ensuite fixé l'aimant avec l'anneau de mousse sur le cône d'un vieux petit haut-parleur démolé, de manière à faire adhérer le corps du noyau à bobines avec l'aiguille sur l'anneau avec un peu de colle. Il fallait prendre soin de vérifier,



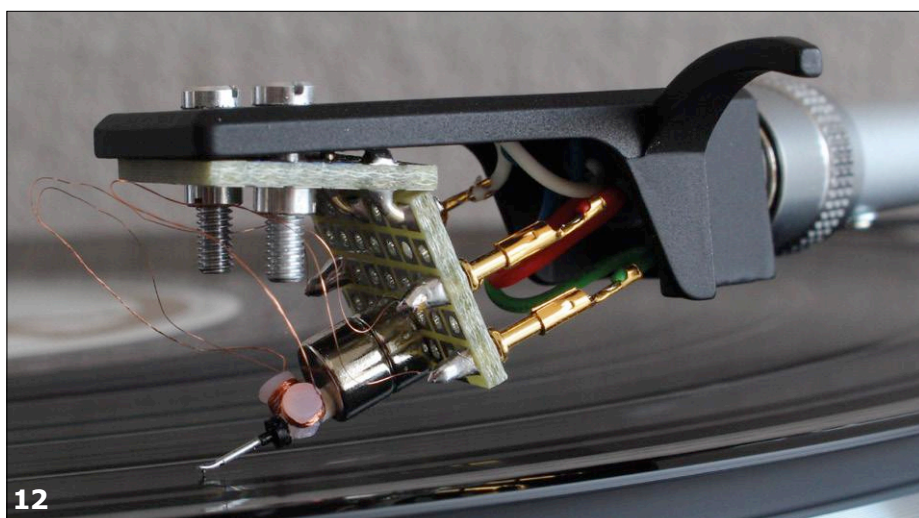
9



10



11



12

La simplicité face au *high-tech*

Comparé au lecteur de CD, le tourne-disque n'est pas une technologie de pointe, si l'on ose dire. Jouer un CD demande toute une infrastructure qui doit fonctionner impeccablement. Déjà, sans courant, on ne tirera pas le moindre signal d'un disque argenté. Il faut un laser pour l'explorer, un

détecteur, un microcontrôleur pour le décodage du signal et évidemment, la rotation et le positionnement de la tête doivent aussi s'organiser sans erreur. À la moindre défaillance, le contenu du CD n'est plus jouable ni même récupérable. Qu'en est-il du disque vinyle ? Les vibrations acoustiques d'origine y sont



à l'œil, que les bobines ne viennent pas hors du champ de l'aimant circulaire. Voyez à la **figure 9** le résultat de tout ce travail minutieux.

Montage final

Pour pouvoir monter la construction de la figure 9 dans la coquille de la cellule et faire en sorte que l'aiguille se dépose sous l'angle voulu dans le sillon du disque, j'ai utilisé pour chacun des trois éléments deux morceaux de circuit imprimé perforé, sciés à dimension (**fig. 10**).

Dans l'une des petites cartes, j'ai foré des trous pour visser la cellule dans la

coquille. Dans l'autre, j'ai soudé quatre broches adaptées pour brancher les fils de connexion. Entre elles, j'ai collé un aimant du même diamètre que celui qui porte l'aiguille. Les deux aimants ont été ensuite accolés avec précaution. De cette façon, on peut encore modifier légèrement la position de l'aiguille (**fig. 11**).

Les deux cartes sont reliées ensemble par trois petits morceaux de fil électrique monobrin. Finalement, il reste à souder les fils de branchement des bobines aux broches de la carte pour installer la cellule dans le support (**fig. 12**).

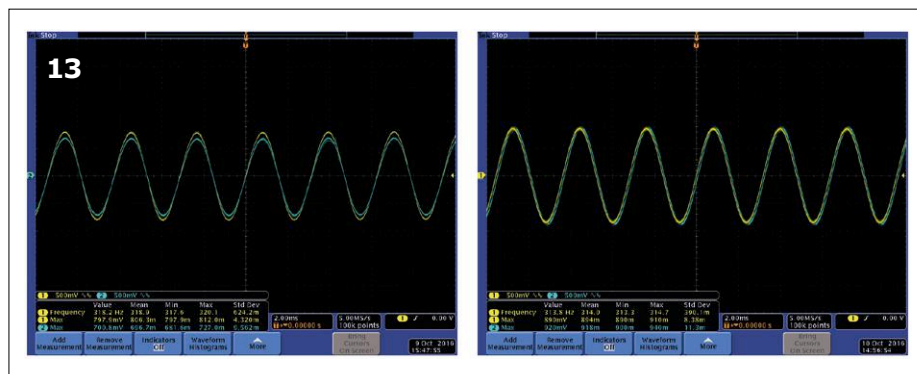
Évaluation

Pour pouvoir juger des caractéristiques de la cellule en pratique, il me fallait un bon préamplificateur, puisque la plupart des chaînes modernes n'ont plus d'entrée phono. J'ai donc décidé de construire le préampli Supra 2.0 présenté dans *Elektor* en juin 2016. Il est plutôt destiné aux cellules MM (à aimants mobiles). Comme une cellule MC donne une tension de sortie beaucoup plus faible, il faut une légère adaptation. Elle est décrite dans le numéro de juillet 2017 (« MC sur SUPRA 2.0 - tout petit signal, mais grande qualité »).

À l'aide d'un disque de test spécial, j'ai réalisé différentes mesures en comparaison avec une cellule du commerce.

gravées sans conversion dans le support, sans codage, sans traitement compliqué du signal. C'est vrai que le principe en a été breveté par Edison en 1877. Et comme une plaque de gramophone est un porteur de signal de basse technologie, on peut même l'entendre sans le moindre appareil, en cas de nécessité, c'est-à-dire qu'avec un peu de bonne volonté, on pourrait retrouver son contenu. Il suffit pour cela d'un crayon ou de tout autre objet semblable, un morceau de papier roulé en entonnoir et une épingle pour explorer le sillon (**fig. 14**). Si vous essayez, évitez d'utiliser un vinyle unique et irremplaçable...

Photo www.exploratorium.edu



droite, le signal de la cellule achetée.

On s'aperçoit que sur l'exemplaire maison, les deux canaux ne produisent pas exactement la même amplitude, probablement parce que l'aiguille ne pose pas parfaitement à la perpendiculaire dans le sillon. Mais à l'écoute, on ne remarque aucune différence.

Pas mal pour une expérience de fabrication personnelle ! ◀

La **figure 13** en donne un exemple. À gauche, le signal de ma cellule avec un débattement de l'aiguille de 50 μ m, à

(160329 – version française : Robert Grignard)

EXPÉRIENCE, COMPÉTENCE, IDÉES, TALENT & ENVIES

Vous avez de l'expérience, des compétences, des idées, du talent et des envies d'aller de l'avant dans la jungle des réseaux et des protocoles ?

Les fauves et les moustiques appelés *LoRa*, *SigFox*, *Neul*, *Qowisio*, *ThingSpeak*, *Brillo*, *Nest Weave*, *Thread*... ne vous effrayent pas ? Ce ne sont pas ces quelques réseaux à bas débit sur longue distance qui vous font perdre le nord ?

Pour vous orienter dans le monde de l'Internet des Objets, vous avez déjà pratiqué une ou plusieurs cartes d'expérimentation : Elektor vous invite à partager vos connaissances maintenant en publiant **votre livre !**

Forts de notre expérience d'éditeur, nous vous accompagnerons dans l'écriture de votre ouvrage et nous chargerons de la mise en page, de l'impression, de la commercialisation en librairie et bien sûr sur l'internet (notamment chez Amazon).

La relation éditeur-auteur est encadrée par un contrat d'édition qui stipule vos droits d'auteur sous la forme d'un pourcentage déterminé du prix de vente.

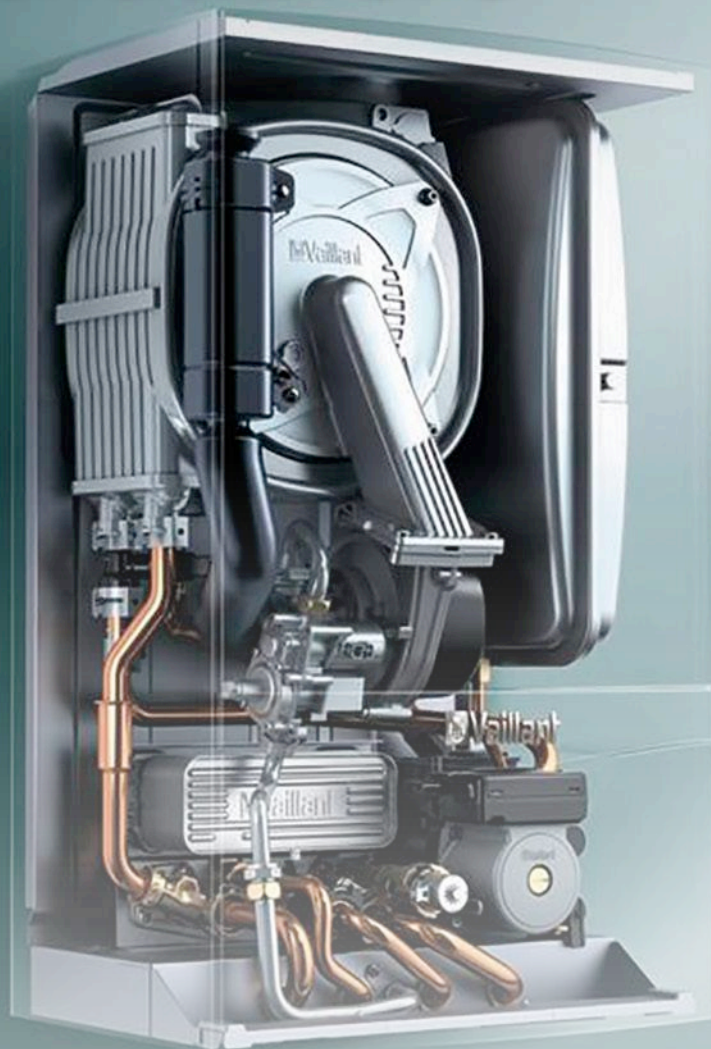
Présentez-nous votre projet en nous envoyant une description et un projet de sommaire par courriel à **redaction@elektor.fr**.



moniteur de chaudière à ESP8266

domotique pour la transition énergétique

Le chauffage central est et restera une dépense non négligeable dans le budget d'un ménage. Il est donc utile de considérer la chaudière d'un peu plus près, et de tirer profit de toute possibilité d'amélioration existante. Le moniteur de chaudière recueille les principaux paramètres de fonctionnement, les affiche sur un petit écran et les enregistre sur une clé USB pour une exploitation ultérieure. Comme les données sont transmises sur le réseau local sans fil (WLAN), celles-ci sont donc disponibles dans toute la maison, voire même via l'internet.



Walter Trojan

On reconnaît facilement sur la vue d'ensemble (**fig. 1**) l'architecture client-serveur de notre moniteur de chaudière. Le serveur de mesures se compose d'un module ESP-201 (une version autonome de l'ESP8266). La mise en œuvre de cette puce a déjà été décrite plusieurs fois en détail dans les colonnes d'Elektor [1][2]. Le serveur de mesures dispose en outre de cinq capteurs de température DS18B20 et d'un microphone (!) pour

un isolement galvanique de l'acquisition des activités du brûleur. L'ESP est configuré en station et transmet ses mesures toutes les deux secondes au réseau local sans fil (WLAN) par TCP/IP.

L'affichage côté client se compose d'une carte STM32F429 Discovery [3] bon marché afin de réduire les coûts de développement. Elle comprend un petit écran tactile et dispose d'un port USB pour la sauvegarde de données sur une clé USB. Un ESP-01 équipé lui aussi d'un ESP8266 se charge de la connexion au réseau local sans fil (WLAN). Cet ESP est également configuré en station et reçoit par TCP/IP

les informations du serveur de mesures. Celles-ci sont directement transmises par liaison série au STM32 qui va les compresser, les afficher et les sauvegarder sur une clé USB.

L'horodatage n'a pas été oublié : la carte Discovery ne dispose pas de batterie-tampon pour l'horloge en temps réel, et comme je veux m'épargner les changements manuels d'heures d'hiver et d'été et les années bissextiles, je me connecte à cette fin simplement à l'internet et récupère par le biais du protocole NTP l'heure courante d'un service d'horodatage.

Un fichier distinct pour chaque jour est créé sur la clé USB, il contient les données des mesures effectuées chaque minute. Le format a été choisi pour permettre une analyse ultérieure simple, par exemple avec Excel. L'écran de la carte Discovery affiche les mesures courantes. Entrons à présent dans les détails après cet aperçu.

Le serveur de mesures...

Le serveur de mesures s'appuie sur la puce WLAN ESP8266 qui outre son circuit WLAN dédié dispose d'un processeur à 32 bits puissant, cadencé à 80 MHz (par défaut) ou 160 MHz. Seuls 20% de la puissance du processeur sont utilisés pour les fonctions WLAN, le reste peut être consacré à d'autres tâches.

Le microcontrôleur interne Tensilica L106 dispose de 32+80 Ko de mémoire vive et de périphériques utiles, disponibles par le biais de 17 broches. Celles-ci peuvent être configurées en interfaces UART, SPI, I²C ou MLI. Le micrologiciel est logé dans une mémoire Flash externe, commandée par une interface compatible SDIO (quatre lignes de données, deux lignes de commande). Le courant consommé d'environ 70 mA (au maximum 170 mA) peut être réduit à environ 10 µA en mode veille grâce à l'unité de gestion d'énergie. Il existe de nombreux modules équipés de l'ESP8266, à commencer par l'ESP-01 et ses deux broches GPIO. Le serveur de mesures utilise un ESP-201 et ses nombreux périphériques intégrés.

Ce module remplit les tâches suivantes :

- Mesures périodiques des températures au départ et retour du chauffage, de la température extérieure, du chauffage de l'eau et de l'eau chaude utilisée.
- Surveillance des activités du brûleur grâce au microphone.
- Mise à disposition des mesures sur le réseau local sans fil (WLAN).

La vue d'ensemble du circuit avec l'ESP8266 central est représentée à la **figure 2**. Les capteurs de température sont connectés aux ports GPIO 2, 4, 5, 12 et 14, les lignes DQ sont équipées de résistances de rappel vers le haut. L'alimentation des capteurs est $V_{dd} = 3,3$ V. Le petit microphone utilisé inclut d'origine un préampli alimenté en 7,5 V, il délivre une tension d'environ 5 V_{cc} quand le brûleur est actif. Ce signal est redressé par D1 et D2, puis attaque le transistor T1,

Présentation du projet

Le moniteur de chaudière comprend deux composants : le serveur de mesures et le client d'affichage/sauvegarde. Ils sont reliés par TCP/IP au réseau local sans fil. Les paramètres suivants sont mesurés et affichés :

- Température de l'eau chaude au départ
- Température de l'eau chaude au retour
- Température extérieure
- Température pour le chauffage de l'eau chaude
- Température de l'eau chaude prélevée
- Activités du brûleur

La collecte des mesures s'effectue sans aucune intervention sur le câblage électrique de la chaudière, ni sur le réseau 230 V. Cela rend le système compatible avec tous les types de chaudières, et protège l'utilisateur des risques de choc électrique dangereux. Des photos supplémentaires de mon installation sont visibles sur le site du labo d'Elektor [9].

ce qui signale ainsi l'activité du brûleur sur le port GPIO 13.

Les broches TX, RX, RST et GPIO 0 sont disponibles sur le connecteur K1 pour la programmation de l'ESP8266. En mode normal, les signaux RST, CH_PD, GPIO 0 sont à l'état haut et GPIO 15 à l'état bas. Le port GPIO 25 commande la LED1 pour signaler le débogage et le fonctionnement. L'alimentation de 7,5 V non critique est fournie par un adapta-

teur secteur. La diode D3 protège des inversions de polarité, le régulateur de tension LM3940 abaisse et stabilise la tension à 3,3 V.

...et ses capteurs

Les températures sont mesurées par les capteurs DS18B20, avec une précision de ±0,5 °C sur la plage de 10 à +85 °C, ils fournissent les mesures sous forme numérique par le biais du protocole 1-Wire. Bien que le protocole permette

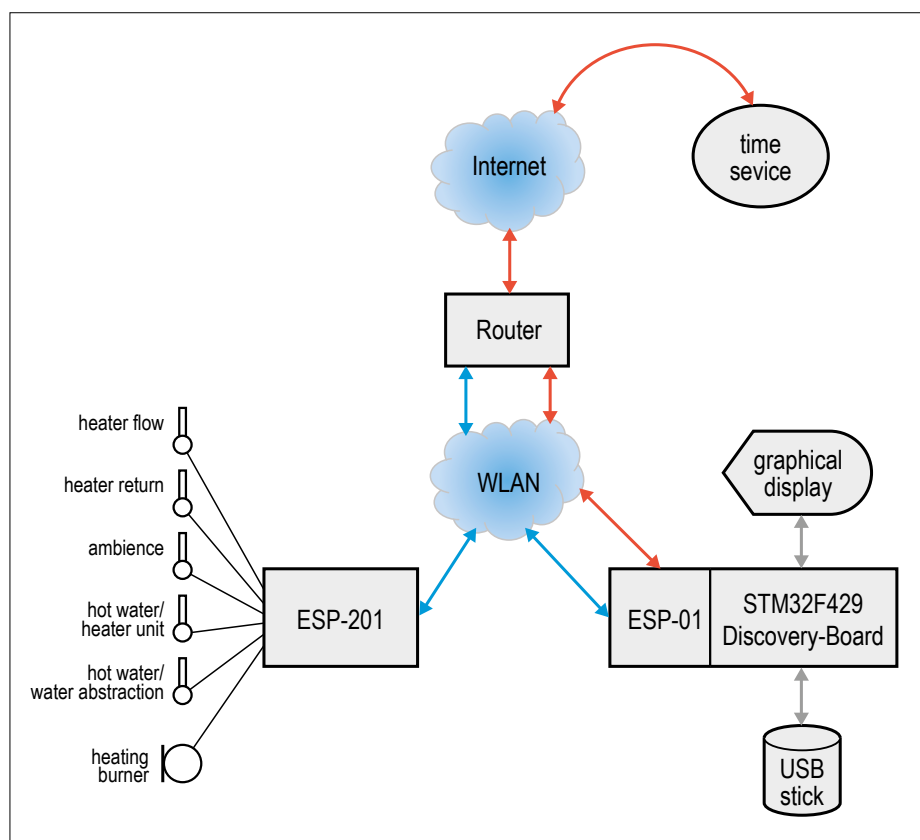


Figure 1. Vue d'ensemble du projet « Moniteur de chaudière ».

microphone à proximité immédiate du clapet du brûleur afin d'en mesurer les activités de manière fiable.

Du bas niveau au système d'exploitation freeRTOS

Si vous n'avez eu à faire jusqu'à présent qu'à des projets sans système d'exploitation (*bare metal*), c'est-à-dire que vous programmez un micrologiciel très proche du matériel du microcontrôleur, alors vous avez eu le contrôle total, mais avec peu de confort. Certes la transition vers un environnement en temps réel demande à une certaine adaptation, mais la démarche en vaut la peine. La commande du serveur en temps réel utilise le système d'exploitation en temps réel freeRTOS, aussi utilisé par Espressif [5] pour son kit de développement. Lors de la programmation, il faut prendre en considération les points suivants :

- Il faut éviter les boucles de temporisation qui chargent l'UC et les remplacer par des structures à temporisateurs (logiciels).
- Les variables de temporisateurs sont toujours à déclarer statiques et non locales, ce qui en fait va de soi.
- Une fonction de l'utilisateur ne devrait jamais durer plus de 15 ms, au risque de perturber les fonctions de réseau local sans fil, ou que le temporisateur du chien de garde ne force un redémarrage.

Pour la programmation du micrologiciel, j'ai utilisé l'*Unofficial Development Kit for Espressif ESP8266* de Cherts [6] avec Eclipse et le compilateur MinGW-C sous Windows.

La **figure 4** décrit la structure du micrologiciel. Une fonction principale (*main*) prend en charge le contrôle global, comme pour tous les programmes en C. Elle s'exécute en tâche de fond et pilote entre autres toutes les fonctions du réseau local sans fil.

Après le démarrage de l'ESP8266, la fonction *user-init* est exécutée une fois. Dans cette fonction :

- Les paramètres des périphériques sont définis, dans notre cas l'UART et les broches GPIO.
- Une initialisation (*InitCallback*) et un gestionnaire d'événement (*EventHandler*) sont démarrés.
- Une fonction *Systick* pour ses propres temporisateurs logiciels (ici

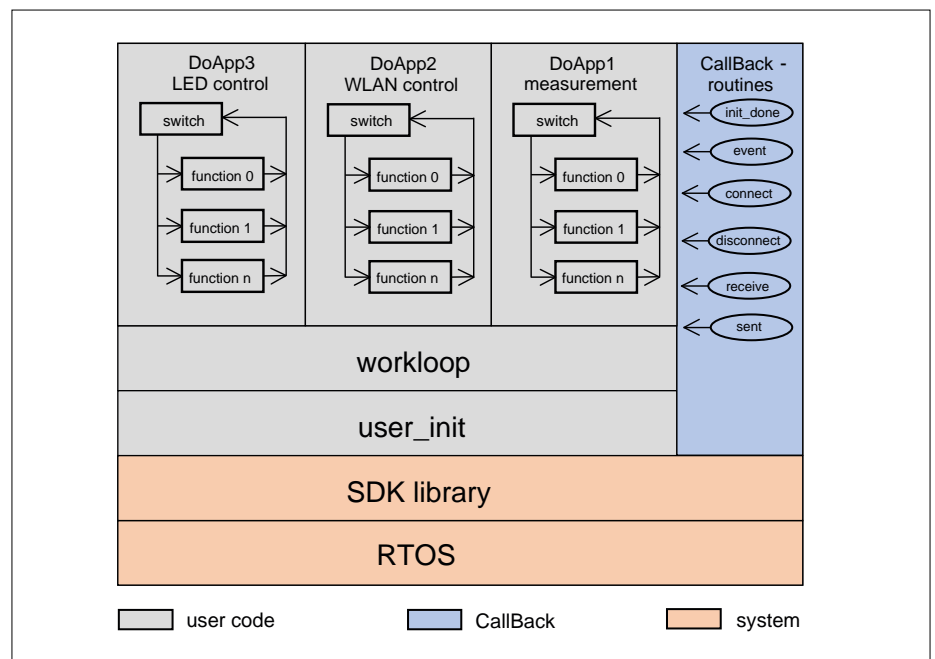


Figure 4. La structure du micrologiciel du serveur de mesures.

- 10 ms) est activée.
- Une boucle principale propre, dénommée ici *workloop*, est appelée toutes les 10 ms.

À présent, on peut déjà identifier le principe de construction, il s'agit de multiples routines de type *callback* (fonction de rappel). *InitCallback* indique quand l'ESP est prêt à l'emploi, c'est-à-dire que toutes les unités du réseau local sans fil fonctionnent correctement. L'*EventHandler* est lui aussi une routine de type *callback*, qui signale entre autres les événements suivants :

- **EVENT_STAMODE_CONNECTED** : ESP connecté au routeur en tant que station

- **EVENT_STAMODE_DISCONNECTED** : déconnecté du routeur
- **EVENT_STAMODE_GOT_IP** : ESP a obtenu une adresse IP du routeur

Aucun traitement significatif n'a lieu dans les routines *callback*, seules des variables globales sont attribuées aux signaux correspondants.

Le traitement a lieu dans les automates finis *DoApp* appelés par la boucle principale (*workloop*) où *DoApp2* prend en charge les activités spécifiques du réseau local sans fil et *DoApp3* la commande des LED. Le traitement des capteurs a lieu dans *DoApp1*.

Ici *workloop* n'est pas une classique boucle sans fin, elle s'arrête après l'ap-

Listage 1. Boucle sans fin RTOS

```
LOCAL void ICACHE_FLASH_ATTR workloop(void *arg)
{
    os_timer_disarm(&Wloop);           // désactive timer Wloop

    DoApp1();                           // automate fini Mesures
    DoApp2();                           // automate fini WiFi
    DoApp3();                           // automate fini LED
    os_timer_setfn(&Wloop, (os_timer_func_t *)workloop, NULL);
                                        // rappelle workloop
    os_timer_arm(&Wloop, 10, 0);        // après une pause de 10 ms
}
```

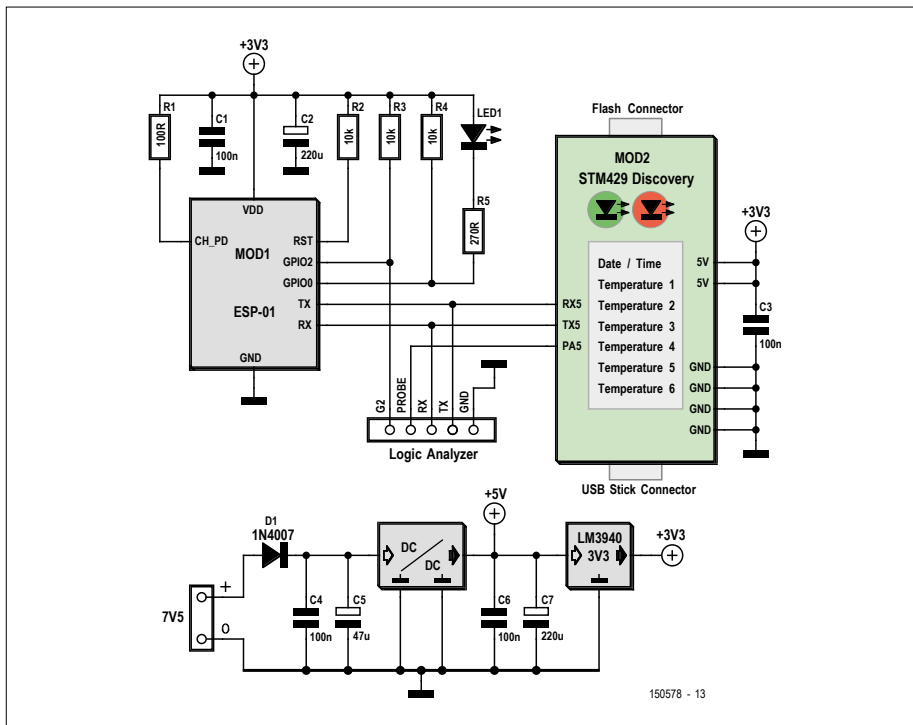


Figure 5. Le circuit du client d'affichage/sauvegarde.

pel séquentiel des *Apps*. Après un court délai, le système d'exploitation l'appelle à nouveau. Ainsi le processus n'est jamais bloqué et les fonctions du système récupèrent le contrôle. Une boucle sans fin sous RTOS est décrite dans le **listage 1**. D'autres routines de type *callback* sont initialisées en cours du traitement :

- `tcpclient_connect_cb` : un client s'est connecté
- `tcpclient_disconnect_cb` : un client

s'est déconnecté

- `tcp_rcv_cb` : un message TCP a été reçu
- `tcp_snd_cb` : un message TCP a été envoyé avec succès

Là aussi avec ces fonctions, seul le résultat est signalé dans une variable, puis par exemple retransmis à `DoApp2`. Les *DoApps* coopèrent en mode multitâche. Après l'initialisation globale dans

`user_init`, la boucle principale `workloop` est activée, les tâches y sont appelées séquentiellement. Celles-ci constituent des automates finis dans lesquels les fonctions sont traitées selon des variables d'état. Si la fonction a été exécutée avec succès, la variable de commutation est alors changée, de sorte qu'à la prochaine invocation, une autre fonction prenne son tour.

Le micrologiciel

- Avec `user_init`, initialise les broches GPIO, l'UART, les boucles `workloop` et `systick`, ainsi que les fonctions `init_done` et `eventCallback`. Après une initialisation réussie, la boucle `workloop` démarre l'invocation périodique des *DoApps*.
- `DoApp2` connecte l'ESP au réseau local sans fil et démarre un serveur TCP.
- démarre `DoApp1` avec les mesures si un client s'est connecté. D'abord les mesures de températures sont lancées, puis après environ deux secondes les valeurs sont récupérées. L'état du brûleur est déterminé par simple consultation de la broche GPIO.
- Une fois les mesures terminées, `DoApp2` transmet les données au client.
- En tâche de fond, `DoApp3` surveille le fonctionnement et indique son mode par la LED verte : « éteinte » = pas de connexion, « clignotement lent » = connexion OK au réseau local sans fil, « allumée » = client connecté, « éteinte brièvement » = transmission au client.

Comme le mode multitâche est « fait à la main », il est possible de programmer et de tester de manière relativement indépendante les différentes tâches. Vous trouverez des détails supplémentaires sur le micrologiciel dans le code source sur la page du projet d'Elektor [6]. Les données de mesures sont disponibles sur le réseau local sans fil, il ne manque plus que leur client.

Client mobile pour l'affichage et la sauvegarde

Les fonctions d'affichage et de sauvegarde sont réalisées par une unité distincte afin que les valeurs mesurées soient disponibles dans toute la maison, mais aussi sur l'internet. Cette unité :

Listage 2. Horodatage depuis l'internet

```
void InitNTP(void)
{
    snntp_setservername(0, «ptbtime1.ptb.de»);
    // initialise serveur 0 avec nom de domaine
    snntp_setservername(1, «ptbtime2.ptb.de»);
    // initialise serveur 1 avec nom de domaine
    snntp_setservername(2, «ptbtime3.ptb.de»);
    // initialise serveur 2 avec nom de domaine
    snntp_set_timezone(1);
    // règle zone horaire
    snntp_init();
    // initialiser NTP
}

...

current_stamp = snntp_get_current_timestamp();
// récupérer date/heure actuelles
```

- reçoit et compresse les données provenant du serveur de mesures par le réseau local sans fil,
- affiche les valeurs courantes sur un afficheur graphique et
- les sauvegarde sur une clé USB dans un format compatible avec Excel.

En outre, heure et date sont synchronisées à l'aide d'un service d'horodatage de l'internet. Pour la réalisation de cette solution, j'ai utilisé des modules éprouvés et peu coûteux que sont le kit Discovery STM32F429 pour l'affichage et la sauvegarde, et le module ESP-01 (à base d'ESP8266) pour le couplage au réseau local sans fil. Ainsi, comme le montre la **figure 5**, le circuit reste clair et peu complexe. Les deux systèmes sont couplés pour la transmission de données et de commandes par des lignes torsadées RX/TX à 115 000 bits/s. Pour faire fonctionner l'ESP, les broches RST et CH_PD doivent être connectées à V_{dd} via des résistances de rappel vers le haut. GPIO 0 commande une LED et indique le mode de fonctionnement.

Un programmeur externe s'occupe du micrologiciel de l'ESP. Il est important que le condensateur C2 soit de valeur suffisante, car il doit absorber les pics de courant élevés de l'ESP lors de sa connexion au réseau local sans fil. Dans le but de tester les fonctions confortablement, quelques signaux essentiels ont été regroupés sur un connecteur à dix broches auquel on peut connecter un analyseur logique : la communication est surveillée par RX/TX, les broches GPIO 2 et PA5 sont des signaux de test faciles à utiliser à des points critiques du logiciel. Très utile lors du développement !

Le kit Discovery STM32F429 comprend tous les composants nécessaires : adaptateur de programmation, affichage tactile de 2,4 pouces, port USB et LED. La carte est équipée du microcontrôleur STM32F429 cadencé à 180 MHz, avec 2 Mo de mémoire Flash et 256 Ko de mémoire vive. En outre 64 Mbits de mémoire vive SRAM sont disponibles, par exemple pour la sauvegarde de graphiques. Le micrologiciel est chargé par le biais d'un connecteur mini-USB. Un second connecteur mini-USB permet de connecter une clé USB. La LED verte indique l'état de fonctionnement de la carte, la LED rouge indique si une clé USB est enfichée (allumée), ou si l'on

écrit sur la clé (clignotement).

Comme pour le serveur de mesures, la tension d'alimentation n'est pas critique. Les 7,5 V d'un adaptateur secteur sont protégés des inversions de polarité par D1 et ramenés à 5 V par un convertisseur DC pour la carte Disco, puis à 3,3 V par un régulateur LM3940 pour le STM32.

Afficher et sauvegarder en tandem

À l'instar du matériel, le micrologiciel du client d'affichage/sauvegarde se partage en deux parties, à savoir le logiciel de communication sur le réseau local sans fil avec l'ESP8266, et les programmes d'affichage/sauvegarde de la carte Disco. Comme on peut s'y attendre, le micrologiciel de l'ESP est très semblable à celui du serveur de mesures. En revanche il ne compte que deux automates finis, **DoApp2** pour le réseau local sans fil et **DoApp3** pour la commande de la LED verte. Au lieu de transmettre périodiquement, le client écoute les messages entrants et les retransmet par la liaison série à la carte Disco. Comme celui-ci ne dispose pas de batterie-tampon pour l'horloge en temps réel, l'ESP se procure heure et date exactes depuis l'internet, afin que l'horloge du STM-32 puisse être synchronisée. À cet effet une bonne source est le « Physikalisch-Technische Bundesanstalt » (PTB) de Braunschweig qui met à disposition trois services de temps. *Ptptime1* est utilisé comme source, les autres serveurs sont des sources de rechange en cas de problème avec *ptb-time1* (**listage 2**).

Le micrologiciel de la carte Disco comprend quatre automates finis, activés par une boucle sans fin codée non pas dans le RTOS, mais à un niveau plus bas (*bare metal*). Le logiciel a été écrit en C à l'aide de CooCox, un environnement de développement pour les unités centrales ARM-Cortex. Cependant cet environnement a pris un peu d'âge, aujourd'hui TrueStudio d'Atmel ou System Workbench avec CubeMX conviendraient mieux pour de nouveaux projets avec le STM32.

Les automates finis individuels réalisent les tâches suivantes :

DoApp1 :

- Reçoit les mesures (de l'ESP) et les convertit pour l'affichage.
- Reçoit la date et l'heure, et ajuste l'horloge en temps réel.

	flow	return	ambience	HWheater	HWa
00:00	00	27	27	13	25
00:01	00	27	27	13	25
00:02	00	26	27	13	25
00:03	00	26	27	13	25
00:04	00	26	26	13	25
00:05	00	26	26	13	25
00:06	00	26	26	13	25
00:07	00	26	26	13	25
00:08	00	26	26	13	25
00:09	00	26	26	13	25
00:10	00	26	26	13	25
00:11	00	26	26	13	25
00:12	00	26	26	13	25
00:13	00	26	26	13	25
00:14	00	26	26	13	25
00:15	00	26	26	13	24
00:16	00	26	26	13	24
00:17	00	26	26	13	24
00:18	00	26	26	13	24
00:19	00	26	26	13	24
00:20	00	26	26	13	24

Figure 6. Format CSV des données de la clé USB.

DoApp2 :

- Gère l'écran tactile (marche/arrêt).
- Affiche les mesures courantes.

DoApp3 :

- Affiche heure et date toutes les deux secondes.
- Gère la clé USB et y prépare un fichier par jour.
- Calcule la moyenne des mesures pour une minute, et l'écrit dans le fichier.

DoApp9 :

- Commande les LED de la carte Disco.

La **figure 6** montre le format des données sur la clé USB. Un fichier texte distinct (au format CSV) est créé pour chaque jour, dénommé *Année_Mois_Jour.TXT*. Les mesures compressées de 00:00 à 23:59 sont sauvegardées. Il est facile de traiter les fichiers CSV avec un tableur comme Excel ou OpenCalc.

Chaque enregistrement contient outre l'horodatage les cinq valeurs de température ainsi que l'activité du brûleur en pour cent. La valeur est cependant mise à l'échelle, à savoir que -10 signifie 100 %. Ceci permet une analyse graphique ultérieure plus conviviale, car les valeurs du brûleur ne sont pas affichées dans la zone des températures, mais en dessous.

Comme le montre la **figure 7**, l'écran de la carte Disco affiche la date, l'heure et les mesures. Les graphiques ont été développés avec l'emWinGUIBuilder de

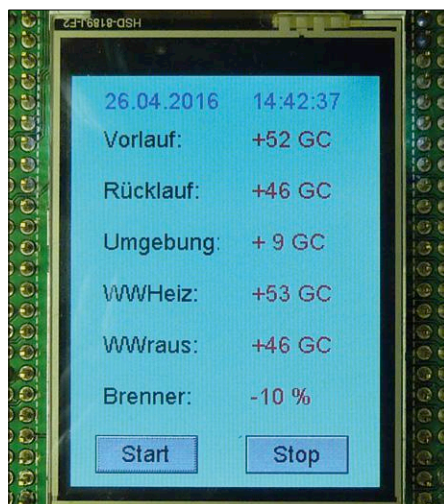


Figure 7. Affichage sur la carte STM32 des données reçues.

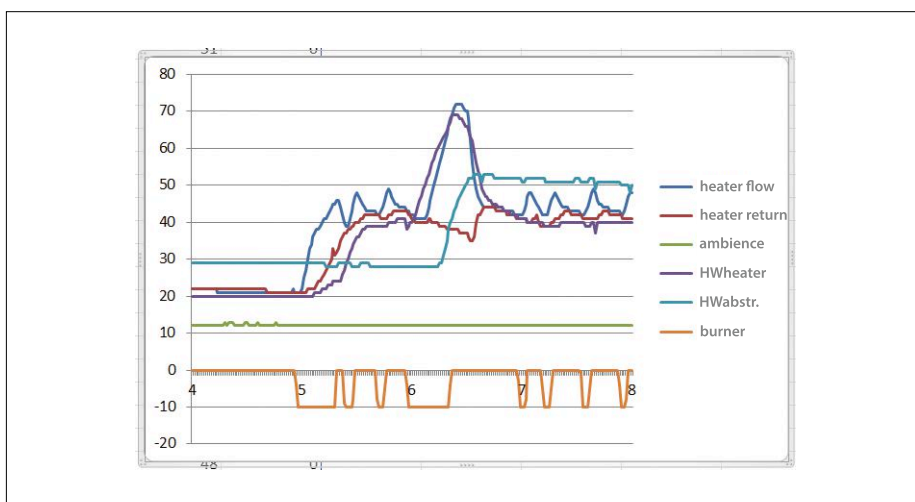


Figure 8. Exemple de diagramme d'analyse dans un tableur.

l'entreprise Segger [8], et le code C produit a été intégré au micrologiciel.

Enfin, un coup d'œil aux mesures

Les données de la clé USB sont aisément importées dans Excel et peuvent être exploitées de nombreuses façons. Par exemple il suffit de quelques clics pour évaluer les moyennes de températures ou la consommation journalière. Les diagrammes de lignes décrivent aussi les processus sous forme graphique. La **figure 8** par exemple documente la transition intéressante du mode nuit au mode jour sur l'axe du temps de 4:00 à 8:00. À 5:00 s'achève la baisse nocturne et le chauffage démarre son cycle diurne. Afin que l'eau de la douche soit prête à temps, l'eau chaude est chauffée à 6:00 à plus de 50 °C. Ensuite se poursuit le

chauffage diurne. Les activités du brûleur sont représentées sur l'axe vertical négatif pour une meilleure clarté.

Expériences et premiers résultats

Un mot d'abord sur la stabilité : le moniteur de chaudière est en service chez moi depuis début 2016 sans interruption, et ce sans la moindre panne. Cela prouve que l'ESP8266 fonctionne désormais de manière très fiable. Combien de fioul a pu être économisé ? C'est ce que montreront les analyses de cet hiver. En peu de clics je peux évaluer la consommation journalière, la corrélérer avec la température environnante, et en déduire ainsi les bénéfices de l'optimisation.

Le fonctionnement est réglé d'après mon rythme de vie ; l'eau chaude est à disposition selon les besoins et elle n'est pas

chauffée sans raison plusieurs fois au cours de la journée. En outre, le moniteur a déjà rendu de bons services pour le dépannage du brûleur. J'ai pu ainsi dire au chauffagiste quand le brûleur a été actif pour la dernière fois, et quand celui-ci aurait dû redémarrer.

Ma chaudière n'a plus de secrets pour moi grâce au moniteur de chaudière, et rien ne s'oppose plus à l'optimisation de son fonctionnement. Enfin, j'ai pris plaisir à concevoir ce montage et par la même occasion j'ai approfondi mon expérience. C'est tout ce je vous souhaite avec ce projet ! ◀

(150578 – version française : Xaxier Pfaff)

Liens

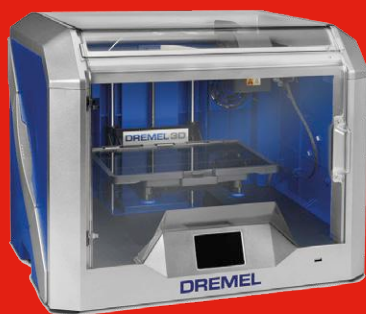
- [1] Livre Elektor sur l'ESP8266, en allemand, pas encore disponible en français (www.elektor.de/das-esp8266-praxisbuch)
- [2] « WLAN compact et autonome », Elektor 4/2016 : www.elektormagazine.fr/150094
- [3] STM32-IDE : www.openstm32.org/HomePage
Bibliothèque STM32 : <http://mikrocontroller.bplaced.net/wordpress/>
- [4] Capteurs chez AliExpress :
<https://de.aliexpress.com/item/Free-Shipping-1pcs-DS18B20-Stainless-steel-package-1-meters-waterproof-DS18B20-temperature-probe-temperature-sensor-18B20/32305869288.html>
- [5] Espressif : <http://bbs.espressif.com>
- [6] Kit Cherts : <https://github.com/CHERTS/esp8266-devkit>
www.esp8266.com/viewtopic.php?f=9&t=820
- [7] Logiciel du projet : www.elektormagazine.fr/150578
- [8] emWinGUIBuilder : www.segger.com/emwin-guibuilder.html
- [9] Projet dans le labo d'Elektor : www.elektormagazine.fr/labs/monitor-and-data-logger-for-a-heating-boiler

concours de vidéoclips Elektor

attrapez votre camera maintenant !

Le concours de vidéoclips d'Elektor bat son plein, mais cela ne veut pas dire qu'il est trop tard pour s'y inscrire et y participer. Mieux vaut tard que jamais ! Le grand prix ne serait-il pas un précieux atout pour votre modeste labo ? Bien sûr que si ! Silence... moteur... ça tourne !

Qu'est-ce que vous y gagnez ?



Grand prix

Imprimante 3D DREMEL
3D Idea Builder 3D40
(d'une valeur de 1 449 €)

1^{er} prix

Oscilloscope PicoScope
2208B MSO, 100 MHz
(d'une valeur de 1 099 €)

2^e prix

Kit SmartScope Maker de LabNation (d'une valeur de 300 €)

3^e prix

Microscope USB numérique ADSM201 d'Andonstar
(d'une valeur de 200 €)

Autres prix

- Voiture télécommandée avec caméra embarquée pour RPi de Sunfounder
- Kit de démarrage (de luxe) Raspberry Pi 3
- Microscope USB numérique V160 d'Andonstar
- Module de caméra V2 pour Raspberry Pi

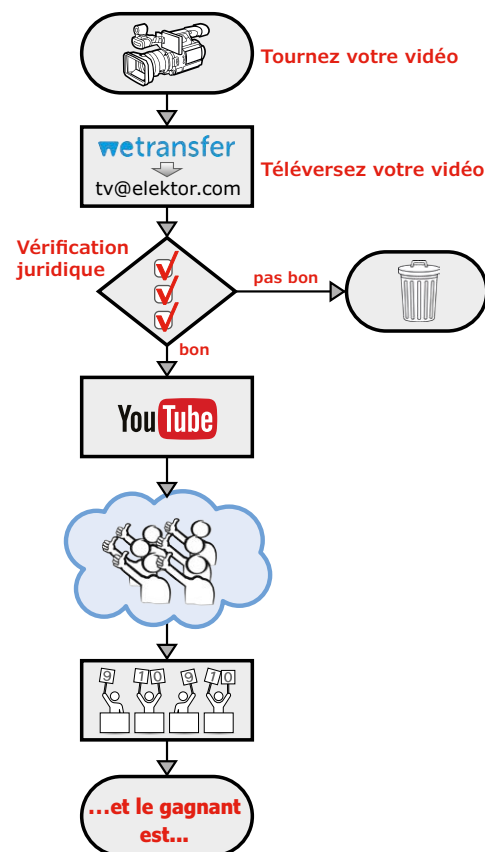


Filmez quelques minutes de votre expérience elektorienne et devenez une légende d'Elektor TV !

Guide de démarrage rapide

- Tournez puis montez votre vidéoclip pour pouvoir participer au concours.
- Envoyez votre vidéoclip à tv@elektor.com avant le 15 novembre 2017, 18h00 (HEC) en vous servant uniquement de la plateforme WeTransfer. **N'envoyez pas** votre vidéoclip par courrier électronique.
- Si votre vidéoclip remplit les conditions stipulées dans le règlement, il sera publié sur Elektor TV (www.elektor.tv). Tout un chacun pourra le regarder et cliquer sur « J'aime ».
- Les quinze premiers vidéoclips qui auront reçu le plus de « J'aime » seront présentés à un jury qui déterminera le gagnant du grand prix, du premier prix, du deuxième, etc.
- Si votre vidéoclip passe sur Elektor TV, vous aurez droit à un exemplaire gratuit du livre (en anglais) « Analogue Video » d'Angelo La Spina.

www.elektor.fr/concours-video





HangTux n°2

pendu sur le Raspberry Pi

Linux reste un défi pour beaucoup, même si l'arrivée de nombreux mini-ordinateurs qui tournent avec ce système d'exploitation (Raspberry Pi, BeagleBone, DragonBoard, Odroid, etc.) a accru le nombre d'utilisateurs. Si vous ne vous êtes pas encore lancé dans l'aventure, voici une application simple et amusante pour débiter : un jeu du pendu.

Roy Aarts (labo d'Elektor) &
Thijs Beckers (rédaction d'Elektor)

Dans l'article *HangTux*, paru dans l'édition de juillet-août 2016 du magazine [1], nous avons utilisé la carte Linux d'Elektor pour créer un jeu du pendu. Le programme du jeu tourne sur la carte, mais un ordinateur sous Linux sert de terminal. Les résultats sont aussi comptabilisés sur la carte, et un petit module d'extension affiche le nombre d'erreurs sur une barre de huit LED (style VU-mètre numérique). Cet article-ci s'inspire du précédent ; Nous avons cependant remis la carte Linux d'Elektor pour la remplacer par le nano-ordinateur Raspberry Pi. Le but est toujours le même : jouer au pendu sous

Linux. Le RPi doit bien entendu être configuré en ordinateur avec clavier, souris et écran ainsi qu'une distribution Linux comme système d'exploitation.

Matériel

Nous n'avons pas modifié le circuit, dont le schéma est représenté en **figure 1**. Les LED sont commandées par un circuit d'extension d'E/S à 8 bits, le MCP23S08. Il communique avec le Raspberry Pi via le bus SPI (*Serial Peripheral Interface*). Les composants sont tous traversants, et le circuit intégré est en boîtier DIP 18 ; le câblage du circuit imprimé ne devrait donc pas poser de soucis, même pour un néophyte en soudage.

Le circuit est alimenté en 3,3 V par le RPi. A priori cela ne doit pas poser de

problème, mais il faut tenir compte de la consommation en courant plus élevée. Si votre adaptateur secteur atteint ses limites, il vaudrait mieux le remplacer par un modèle plus costaud.

La communication avec le MCP23S08 via le bus SPI repose sur des mots de 24 bits. Le premier octet adresse le circuit et propose l'écriture ou la lecture ; comme nous ne faisons qu'envoyer des données vers le circuit d'extension, le premier octet sera toujours '01000000'. Les bits d'adresse A0 et A1 sont toujours au niveau bas, les broches 4 et 5 d'IC1 sont dès lors raccordées à la masse.

Le second octet contient l'adresse du registre dans lequel les données seront écrites. Nous n'en utilisons que deux : IODIR (*I/O Direction*), pour configurer

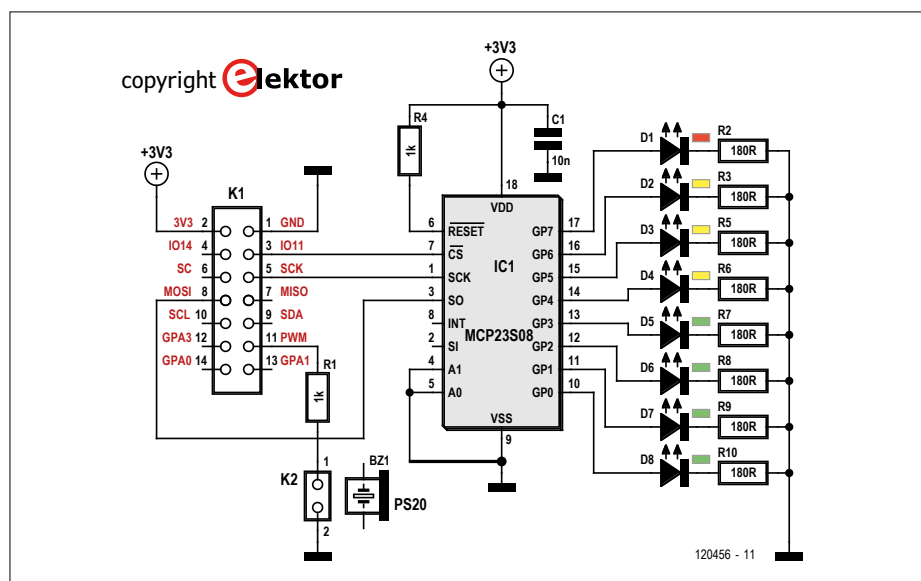


Figure 1. Le circuit est inchangé. Un circuit d'extension d'E/S commande les LED.

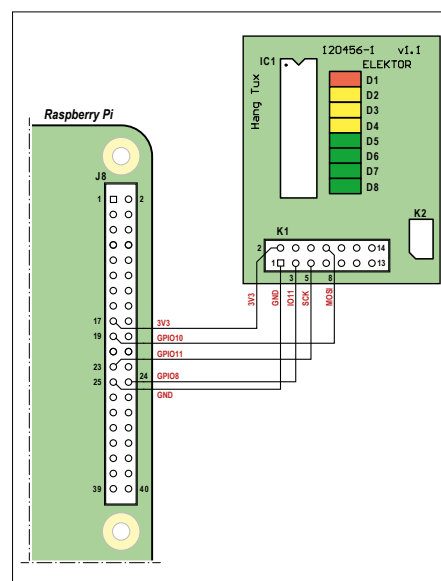


Figure 2. Raccordement du circuit imprimé au Raspberry Pi.



Figure 3. Démarrage du jeu dans le menu principal.

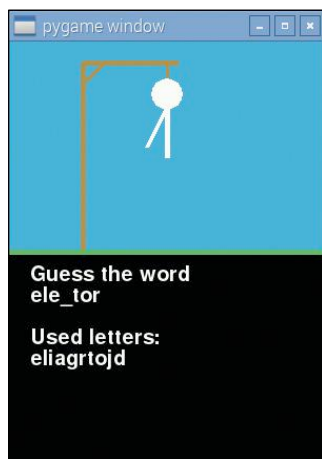


Figure 4. Pouvez-vous deviner de quel mot il s'agit ?

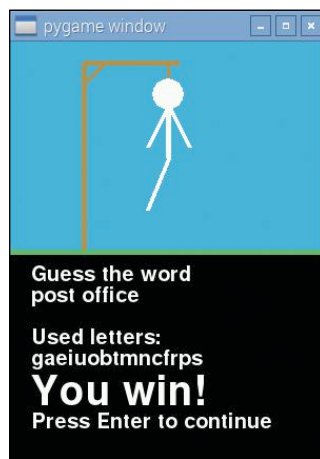


Figure 5. Bravo ! Vous avez gagné.

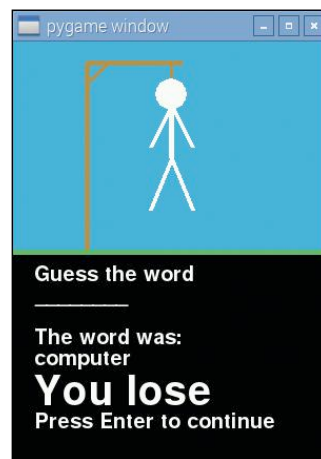


Figure 6. Pas de chance, essayez encore !

les broches GP0 à GP7 comme sorties, et OLAT (*Output Latch*) chargé de verrouiller le niveau logique désiré pour les broches de sortie. Le troisième octet contient les données à écrire dans un registre ou en sortie. Le signal CS (*Chip Select*) est commandé par le RPi.

Logiciel

Le programme est écrit en Python, il peut être téléchargé gratuitement sur le site du magazine [2]. La procédure d'installation est décrite ci-après.

Il faut tout d'abord configurer le bus SPI. Ouvrez une fenêtre de terminal sur le Raspberry Pi, et tapez l'instruction suivante :

```
sudo raspi-config
```

Allez ensuite à *advanced* -> *SPI*. Il vous est demandé si vous souhaitez lancer le SPI, répondez oui. Retournez à l'invite de commande et tapez les instructions suivantes :

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install python-dev
python3-dev
git clone git://github.com/doceme/
py-spidev
cd py-spidev
sudo python setup.py install
sudo reboot
```

Copiez maintenant sur le RPi le dossier *hangman* (pendu) téléchargé en [2] ; placez-le dans */home/pi*. Pour cela utilisez une clé USB ou *WinSCP*. Enfin redémarrez (*reboot*) le RPi. Lorsque cette opération est terminée, copiez le fichier *hangman.sh*, provenant de *hangman*, sur le bureau. Ouvrez un terminal et tapez

les instructions suivantes :

```
sudo cd Desktop
sudo chmod +x hangman.sh
```

Connectez le circuit d'extension au RPi suivant le schéma de la **figure 2**.

Vous voilà fin prêt pour lancer le jeu, en double-cliquant sur *hangman.sh* que vous avez copié sur le bureau.

Dictionnaires

Le jeu utilise des dictionnaires. Il y en a un en français et un en anglais dans le pack téléchargé, mais vous pouvez aussi y ajouter le vôtre. Il suffit de créer un fichier au format texte, d'y écrire les mots que vous voulez ajouter, un par ligne, et de le sauvegarder avec le nom *dictionary.txt* dans le dossier du jeu. Dans la première version d'HangTux, le nombre maximal de mots était de 100, ici il n'y a pas de limitation.

Le jeu utilise toujours le fichier dénommé *dictionary.txt*. Si vous voulez utiliser un autre dictionnaire, il suffit de le renommer.

À vous de jouer !

Il faut presser sur Entrée pour démarrer le jeu depuis le menu principal (**fig. 3**) ; cet écran permet aussi de quitter le jeu. L'écran montre quelles lettres ont été utilisées, lesquelles étaient correctes, combien il en reste à trouver, et le nombre d'essais restant (**fig. 4**).

La barre de LED indique aussi le nombre d'essais restant. Elle n'est pas vraiment nécessaire pour ce jeu, mais elle illustre parfaitement les possibilités de commande de matériel via le bus SPI. De plus en plus de composants électroniques ont besoin

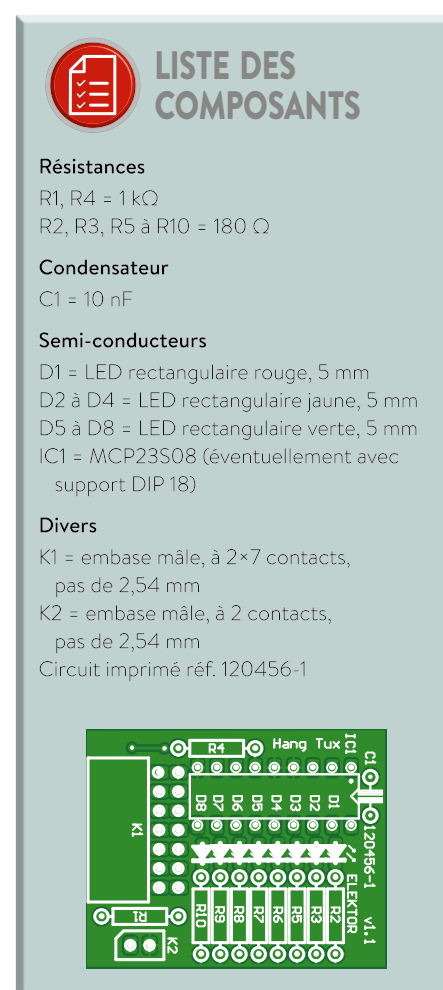
d'un système d'exploitation (variante de Linux), c'était donc un bon exercice, et certainement pas trop compliqué ! ◀

(160127 – version française : Jean-Louis Mehren)

Liens

[1] www.elektormagazine.fr/120456

[2] www.elektormagazine.fr/160127



radio Internet avec Raspberry Pi

l'embarras du choix affranchi du PC

Roy Aarts (labo d'Elektor)

Avec ce projet, vous pouvez écouter n'importe quel émetteur radio en ligne sans gros frais en matériel.

Caractéristiques

- joue les flux audio des stations radio Internet
- sortie sur la prise audio intégrée
- fonctionnement autonome
- liste des stations radio programmable
- aucune soudure nécessaire

Les récepteurs radio Internet sont disponibles sous des formes et des tailles variées, mais peuvent s'avérer fort coûteux. Ce projet vous propose d'en réaliser un vous-même, pour un prix raisonnable, à l'aide d'un nano-ordinateur Raspberry Pi. Le RPi fournira sur sa prise « écouteurs » le signal audio décodé à partir d'un flux radio de l'internet. Pour cela, il vous faut un Raspberry Pi 2, un écran tactile de 2,8 pouces, une carte SD et, en option, une clé Wi-Fi. L'interface utilisateur écrite en python a recours à la bibliothèque *pygame*. Le logiciel est facile à comprendre et à adapter à votre goût.

Installation

Pour commencer, il faut installer *Raspbian* sur le Raspberry Pi. Téléchargez *Raspbian Jessie* depuis [1] et utilisez *Win32Disk-Imager* (téléchargement gratuit depuis [2]) pour graver l'image sur une carte SD vierge d'une capacité d'au moins 4 Go. Ensuite, insérez la carte SD dans la fente sur le Raspberry Pi et branchez un écran, un clavier, une souris ainsi qu'une clé Wi-Fi (ou directement un câble Ethernet). Enfin mettez sous tension. Lorsque le démarrage est terminé, activez le réseau en cliquant dans le coin supérieur droit (**fig. 1**). Quand la liaison réseau est obtenue, notez l'adresse IP du Raspberry Pi, vous en aurez besoin pour le configurer plus tard. Pour obtenir cette adresse, survolez l'icône qui a servi à activer le réseau.

Maintenant il faut installer les bibliothèques de l'écran tactile. Si vous n'avez pas encore branché cet écran, c'est le moment. Mais pas avant d'avoir arrêté le Raspberry Pi (coin supérieur gauche, cliquez sur [Shutdown](#)) ! Branchez l'écran et remettez sous tension. Nous allons installer les pilotes nécessaires à partir du PC. Téléchargez le programme *PuTTY* à partir de [3], installez et démarrez-le et entrez l'adresse IP de votre RPi dans le champ intitulé *Host address (or IP address)*. Si un message de diagnostic apparaît, cliquez sur *Yes*. Une fenêtre de termi-



nal doit maintenant s'ouvrir avec une invite d'identification d'utilisateur. Identifiez-vous avec le nom d'utilisateur « pi » et le mot de passe « raspberry », puis entrez la commande :

```
sudo wget -N https://github.com/watterott/
RPI-Display/raw/master/rpi-display.sh
```

terminée par « Entrée ». Les fichiers nécessaires sont alors téléchargés depuis github. Quand l'invite réapparaît, tapez :

```
sudo /bin/bash rpi-display.sh 270
```

Les fichiers github sont installés sur le système. Après quelque temps, une liste de questions vient s'afficher. Répondez de la manière suivante :

- | | | |
|--|-----|----------|
| • Activate the console on the TFT display? | y/n | Y |
| • Install fbcp (Framebuffer Copy)? | y/n | N |
| • Install xinput-calibrator? | y/n | Y |
| • Install tslib (touchscreen library)? | y/n | Y |
| • Calibrate touchscreen now? | y/n | N |
| • Reboot the system now? | y/n | Y |

Le Raspberry Pi va redémarrer et la connexion avec le PC va être perdue. Si tout va bien, vous devriez voir l'interface utilisateur apparaître sur l'écran tactile après le redémarrage.

Configuration & Boîte à Musique

Pour configurer l'écran tactile, reconnectez-vous sur le RPi avec PuTTY. Identifiez-vous et saisissez la commande :

```
sudo TSLIB_FBDEVICE=/dev/fb1 TSLIB_TSDEVICE=/dev/
input/touchscreen ts_calibrate
```

Vous allez voir apparaître l'interface de calibrage sur l'écran tactile (**fig. 2**). Une fois accomplies toutes les étapes affichées, l'écran est calibré.

Nous pouvons maintenant installer le client Boîte à Musique (**mpc**) et son « démon ». Pour cela, tapez les commandes suivantes :

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install mpc
```

Interface utilisateur

Maintenant il faut installer l'interface utilisateur. Pour cela nous utiliserons *winSCP* (en téléchargement gratuit depuis [4]) et le logiciel disponible en téléchargement sur le site Elektor pour ce projet [5]. Nous devons copier les fichiers de ce logiciel sur la carte SD du RPi. Nous abandonnons PuTTY et démarrons winSCP. L'identification de l'utilisateur s'effectue avec les mêmes paramètres, en répondant aussi *yes* à un éventuel message. Nous copions le répertoire « pi-radio » du logiciel Elektor sur le RPi (par ex. sous la racine « /home »). Puis nous copions les fichiers *launcher.sh* et *shutDown.sh* vers le répertoire *Desktop* du RPi. Le premier fichier démarre la radio, le second arrête le RPi. Nous pouvons maintenant fermer winSCP et redémarrer PuTTY.

Les deux fichiers que nous venons juste de copier vers le répertoire *Desktop* du RPi ne sont pas encore associés à des icônes cliquables. Pour cela, il faut entrer les commandes :

```
sudo chmod +x /home/pi/Desktop/launcher.sh
```

et

```
sudo chmod +x /home/pi/Desktop/shutDown.sh
```

Stations de radio

La radio est maintenant installée, mais aucun émetteur n'est encore audible. Pour ajouter un émetteur, nous devons disposer de son lien, c'est-à-dire l'adresse internet sur laquelle il émet son flux audio. Le site SomaFM [6] contient une liste de tels liens. Ce site référence un grand nombre de stations radio de différents genres, avec des liens utilisables pour notre récepteur. Pour obtenir un lien utilisable de SomaFM, il faut cli-

quer sur la station désirée puis sur l'onglet *Direct stream links*. Le lien qu'il nous faut suit l'indication : *Direct server* :

Pour ajouter une station, on entre sous PuTTY la commande **mpc add** suivie du lien de la station, par exemple :

```
mpc add http://ice1.somafm.com/bagel-128-mp3
```

Les liens se terminant par *.m3u* ne fonctionnent pas. Rien n'oblige à se limiter à SomaFM, on peut ajouter de nombreuses stations proposées par d'autres sites. On peut tester un lien en le saisissant sur le navigateur de son PC. S'il est valide, un lecteur audio va démarrer et faire entendre la station.

Pour lister les stations répertoriées, vous pouvez utiliser la commande **mpc playlist** qui en fournit la liste complète. Pour supprimer une station, tapez **mpc del** suivi du numéro de la station sur la liste affichée par PuTTY ; par exemple : **mpc del 2** supprime la station en deuxième position.

Mode d'emploi

On peut maintenant démarrer le lecteur par un double clic de son icône sur l'écran tactile et en appuyant sur **Execute**. L'interface (**fig. 3**) a été gardée simple pour qu'on puisse l'utiliser avec les doigts plutôt qu'avec un stylet (**fig. 2**). Les commandes suivantes sont disponibles :

- **Play** démarre le lecteur sur la liste actuelle des stations.
- **Pause** arrête le lecteur.
- **Volume down** baisse le son.
- **Volume up** augmente le son.
- **Mute** coupe le son.
- **Refresh** redémarre le lecteur en rafraîchissant l'écran.
- **Exit** ferme l'interface utilisateur, le lecteur continuant à jouer.

Pour arrêter le RPi, double-cliquez sur l'icône **Shutdown** et tapez sur **Execute**. Bonne écoute ! ◀

(160043 – version française : Helmut Müller)

Liens

- [1] www.raspberrypi.org/downloads/raspbian
- [2] <https://sourceforge.net/projects/win32diskimager>
- [3] www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/download.html
- [4] <https://winscp.net/eng/download.php>
- [5] www.elektormagazine.fr/160043
- [6] <http://somafm.com>

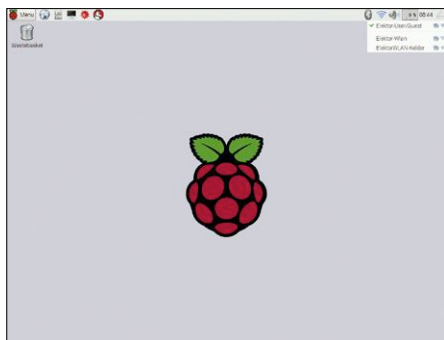


Figure 1. Configuration des paramètres réseau du RPi.

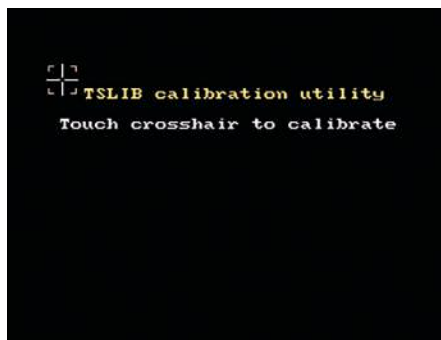


Figure 2. Calibrage de l'écran tactile avant utilisation...



Figure 3. L'interface répond aux doigts — aucun stylet nécessaire.

thermostat malin

allume ou éteint des appareils

Un thermostat a d'innombrables usages au quotidien — cuiseur à riz, réfrigérateur, bouilloire, four à micro-ondes, climatiseurs — tous utilisent un thermostat. Intéressons-nous au capteur de température TMP36. Associé à un microcontrôleur convenablement programmé, il peut constituer un excellent thermostat. Mais ça marche aussi sans contrôleur !

Caractéristiques du TMP36

- Fonctionnement à basse tension : 2,7 à 5,5 V
- Plage de température : -40 à +150 °C
- Fonctionnement linéaire : $y = mx + c$
- Linéarité uniforme de 20 mV/°C
- Conversion directe de la température en millivolts
- Courant de repos inférieur à 50 µA
- Pente de montée : 3 °C/s ; pente de descente : 6 °C/s

Bera Somnath (Inde)

Aujourd'hui il est difficile de trouver un projet électronique sans microcontrôleur (µC), ni programmation informatique. Pourtant on trouve encore des montages qui facilitent la vie et fonctionnent correctement, sans µC sophistiqué ni logiciel. Le TMP36 est un capteur bon marché qui mesure la température avec précision. Il peut fournir ses données à un µC qui à son tour — à l'aide de son micrologiciel — transforme le signal en commandes pour les dispositifs connectés comme des relais ou autres. Dans ce projet, le TMP36 commande aussi un relais, mais sans µC

ni logiciel. Il pilote directement le relais au moyen de quelques composants discrets, avec précision et simplicité.

Conception

La **figure 1** montre le schéma et l'affectation des broches du TMP36. Le composant mesure la température et la convertit en millivolts. Cette tension est mesurée par T1 et T2, une paire Sziklai [1]. Quand la tension de base de T1 dépassera la valeur de seuil, le relais de 5 V sera activé par T2. Dans ce cas, une paire Sziklai est mieux qu'une paire Darlington, car sa tension base-émetteur est de 0,61 V seulement au lieu de 1,22 V, ce qui permet une utilisation à basse tension.

Le projet complet a une taille très réduite et peut être alimenté par une petite pile de 9 à 12 V. Un régulateur 7805 standard stabilise la tension d'entrée à 5 V. Comme le circuit consomme très peu d'énergie, il peut fonctionner très longtemps avec une pile ordinaire.

Étalonnage

C'est ici qu'on se débarrasse de l'encombrant µC et qu'on simplifie le circuit. Le potentiomètre multi-tours de précision P1 permet de fixer la température de déclenchement. Chauffez le capteur à la température souhaitée puis réglez le potentiomètre jusqu'à la désactivation du relais. Si la température augmente au-delà de cette valeur, le relais sera à nouveau excité. Inversement, quand la température diminue, le TMP36 refroidit et le relais reste au repos.

Selon le fonctionnement souhaité du cir-

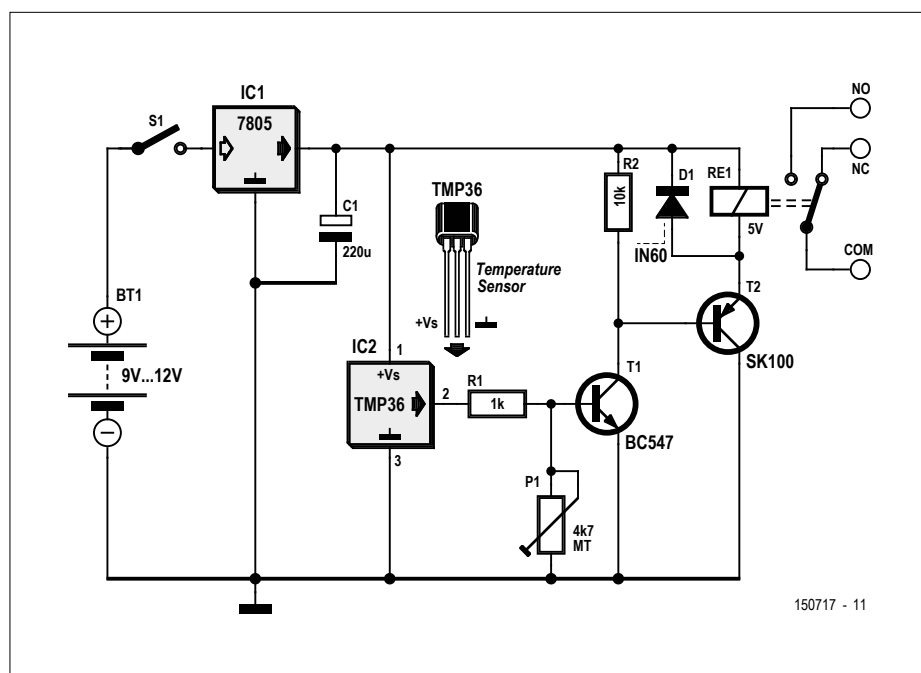


Figure 1. Le schéma montre la simplicité du circuit.

Publicité

station météo Nucleo

affichage actualisé
de données météo sur un écran LCD

Markus Hirsch (Allemagne)

Les véritables données météorologiques sont un peu plus riches que ce que fournissent les appareils de table bon marché qui vous donnent sur leur afficheur LCD noir et blanc, en plus de l'heure, la température, la pression atmosphérique et l'humidité de l'air. Un microcontrôleur moderne, équipé des périphériques adéquats, se procure rapidement les dernières informations sur l'internet et les affiche en couleur, accompagnées d'une prévision météorologique réaliste.



INFOS SUR LE PROJET

- météo

écran Wi-Fi

maison
- débutant

→ **connaissseur**

expert
- env. 5 h
- Câble série FTDI-USB
 Logiciel à télécharger (voir
 texte)
- env. 50 €

Grâce à l'internet et aux microcontrôleurs sophistiqués, il n'a jamais été plus simple d'obtenir l'heure exacte, une prévision météorologique ainsi que bien d'autres informations intéressantes, au moyen d'une électronique personnelle. Des afficheurs en couleur bon marché permettent ensuite de visualiser les données de manière efficace. Si l'on veut se tenir informé à chaque instant de l'évolution du temps et des prévisions météo, on peut accrocher au mur une tablette pourvue de l'appli adéquate, ou bien construire soi-même le matériel nécessaire. Voici qui est bien plus passionnant, et aujourd'hui pas si difficile avec les techniques modernes. L'approche modulaire est la méthode la plus expéditive pour y parvenir. On se procure une carte à microcontrôleur et un module d'affichage en couleur et on y ajoute un « bouclier » ou une carte d'extension de son propre cru, à la bonne dimension, qui accueille toute l'électro-

nique nécessaire. On raccorde ensuite les trois modules et on équipe le tout du micrologiciel adéquat. Voilà précisément le projet décrit dans cet article.

Données météo et davantage

Il existe une foule d'informations qu'on peut visualiser sur un afficheur. Dans la version courante de ce projet, ce sont les conditions météorologiques et la prévision pour les cinq prochains jours. Toutes les données, y compris la température, la pression atmosphérique, la direction et la vitesse du vent, etc. doivent être représentées, au moins partiellement, au moyen d'icônes. D'autres indications sont utiles : la semaine calendaire, le signe du zodiaque, la phase de la lune. Les services météorologiques ne fournissent pas ces deux dernières informations, c'est pourquoi elles sont calculées par le microcontrôleur. Il est également judicieux que l'afficheur donne des infor-



mations techniques telles que le SSID de la borne d'accès Wi-Fi, le niveau du signal et l'adresse IP utilisée. L'interface utilisateur est simple : la pression d'un bouton-poussoir appelle un petit menu qui change à chaque nouvelle pression. Une pression un peu plus longue sélectionne la rubrique. La configuration de la connexion Wi-Fi peut s'effectuer élégamment avec un ordiphone en passant par un *hotspot* activable. Avant de passer à la présentation détaillée du matériel, la **figure 1** donne une idée du résultat final.

Le matériel

Une fois qu'on a spécifié toutes les fonctions du système, il faut réfléchir à la configuration matérielle appropriée. Il

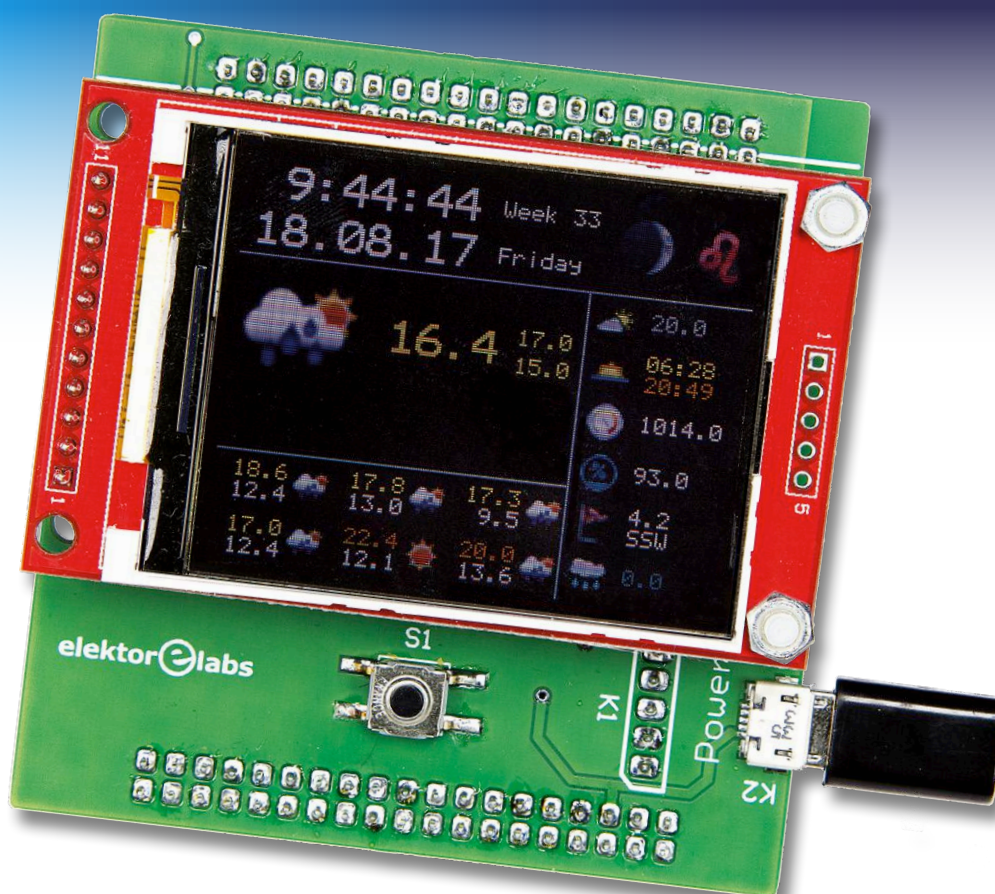


Figure 1. Prototype de l'afficheur météo avec son plein d'infos et de prévisions.

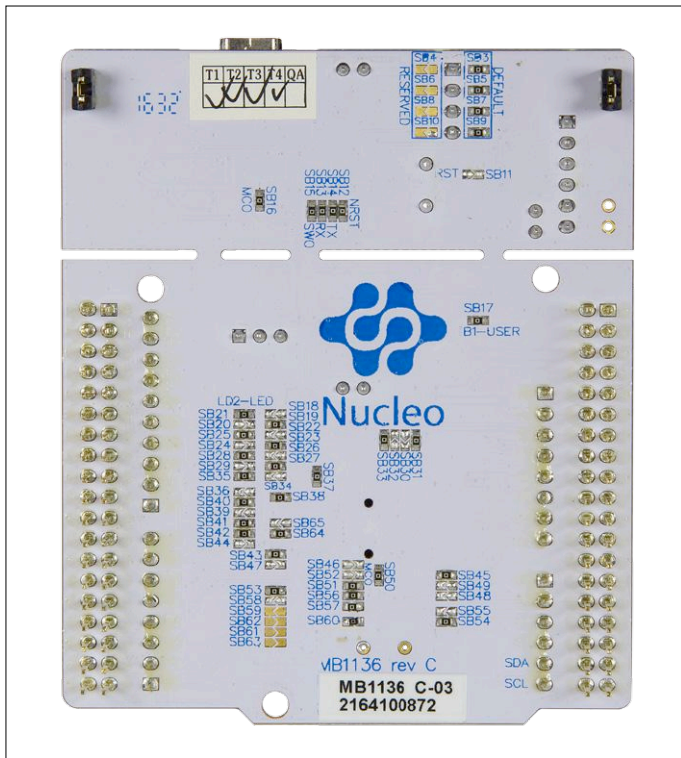


Figure 2. Carte Nucleo, vue de dessous. On reconnaît la position de ponts de soudure et de divers composants.

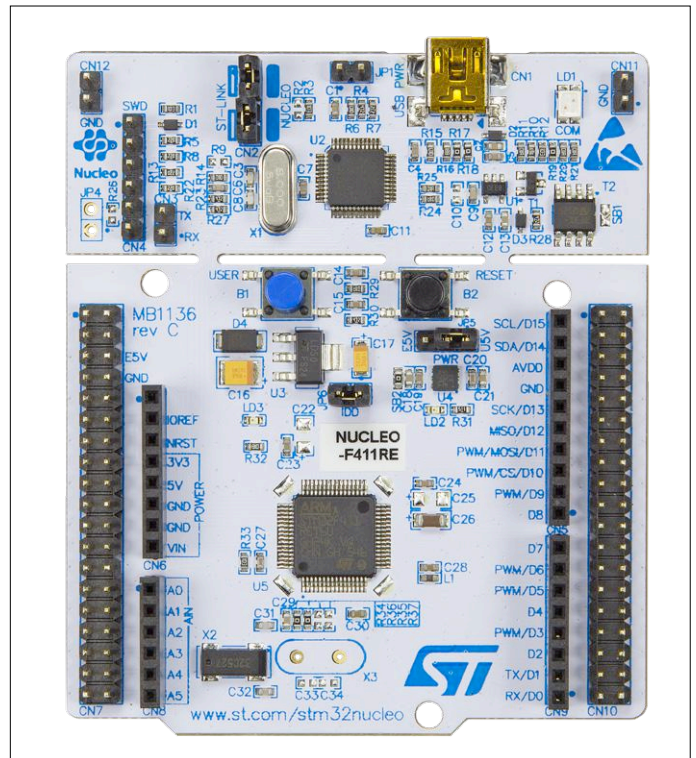


Figure 3. Carte Nucleo, vue de dessus. La partie supérieure est le ST-Link à détacher. Au vu des connecteurs, on distingue la compatibilité avec la plateforme Arduino.

est évident que les tâches de calcul exigées dans un tel projet sont à la portée de beaucoup de microcontrôleurs et de peut-être encore davantage de cartes prêtes à l'emploi. Récupérer des données sur l'internet, les mettre en forme

et les afficher n'est pas un problème avec le micrologiciel idoine. Par ailleurs, les cartes ARM®mbed™ sont aujourd'hui à un prix si intéressant qu'il serait dommage de s'en passer, même si leur puissance est un peu supérieure aux besoins ; cette

réserve de puissance pourra par la suite servir à une extension personnelle ou même à d'autres projets, sans qu'il en résulte un problème de ressources. C'est pourquoi notre choix s'est porté sur une puissante carte de ST.

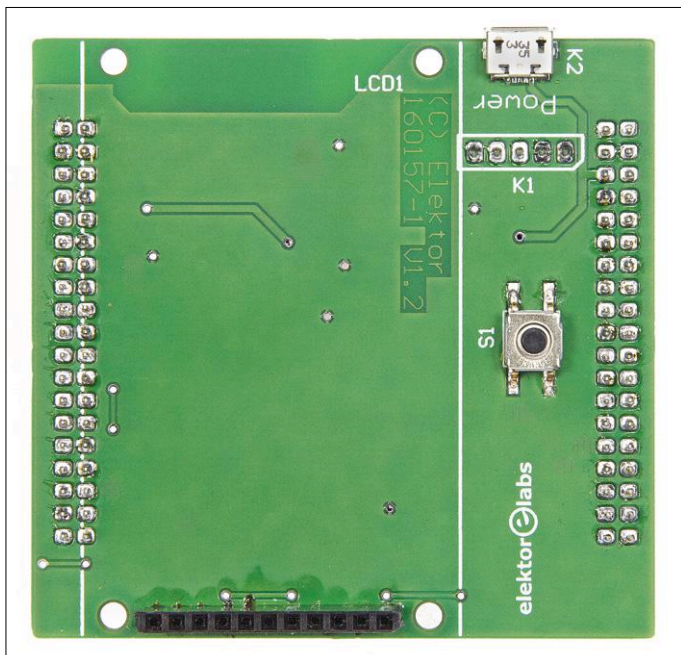


Figure 4. Le côté afficheur du bouclier est pratiquement vide en dehors du bouton-poussoir et du connecteur USB.

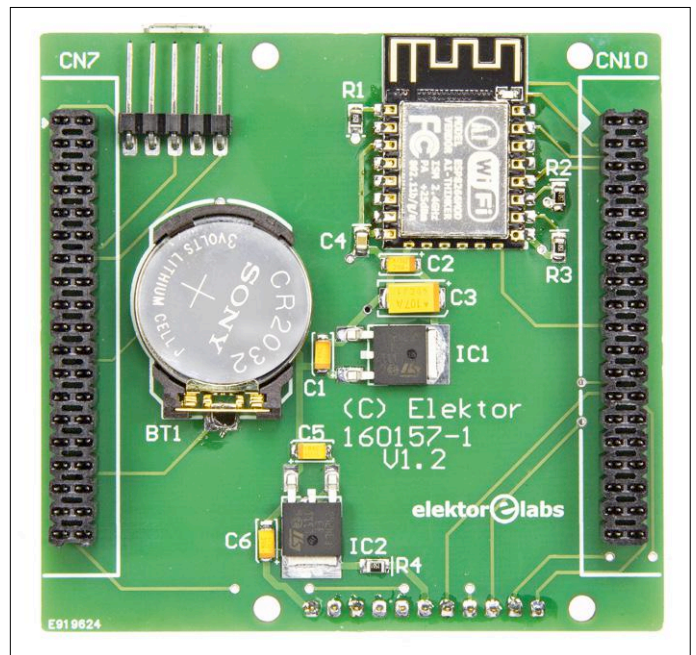


Figure 5. Du côté Nucleo du bouclier, on trouve une pile bouton, deux régulateurs de tension et un module Wi-Fi comme pont entre la carte Nucleo et l'internet.

La carte choisie, tirée d'une série de cartes disponibles, est le modèle **Nucleo F411RE**. En plus d'un microcontrôleur puissant du type STM32F411RE, cette carte de développement comporte un programmeur/débogueur (ST-Link) et met à disposition les broches GPIO du microcontrôleur sur des connecteurs appropriés. Chose intéressante avec cette carte, elle présente une connectique compatible Arduino Uno. On trouvera une documentation détaillée de cette carte sur la page Web [1] de ST. La **figure 2** montre la face inférieure, la **figure 3**, la face supérieure.

L'afficheur est un module complet de 2,2 pouces de diagonale et de 220 × 176 pixels basé sur le contrôleur d'affichage **ILI9225**. La recherche sur eBay de cette puce fournit une quantité de modules aux prix compris entre 5 et 10 €. Le gros avantage de ce module est qu'il est pilotable par une ligne série, que ses niveaux sont compatibles 5 V et 3,3 V et qu'il embarque même un régulateur de tension.

Ce module d'affichage n'est ni matériellement ni électriquement compatible avec Arduino, pas plus qu'avec Nucleo. On résout classiquement ce problème en intercalant une carte conçue comme un bouclier qui d'un côté sert d'interface entre le microcontrôleur et l'afficheur et de l'autre côté reçoit l'électronique nécessaire par ailleurs. La **figure 4** montre la face presque vide du bouclier qui est tournée vers l'afficheur. On n'y trouve qu'une prise micro-USB pour l'alimentation et un bouton-poussoir d'utilisation du système.

Sur la **figure 5**, on reconnaît la face côté enfichage sur la carte Nucleo. À côté de quelques résistances et condensateurs, ce qu'on remarque, c'est la pile bouton, qui ne sert pas à un fonctionnement sur pile, mais à la protection de l'horloge en temps réel contre les interruptions de l'alimentation, intégrée à Nucleo. Outre les deux régulateurs de tension de 3,3 V, il y a un petit module d'extension avec un bout de piste conductrice en zigzag. Ça ressemble furieusement à un composant HF, et il s'agit effectivement d'un module Wi-Fi du type ESP8266, fréquemment utilisé dans des projets Elektor. Les quatre trous de la platine servent au boulonnage sur le module d'affichage.

Le bouclier

La carte du bouclier, qui comporte des deux côtés les connecteurs nécessaires ainsi que quelques composants électro-

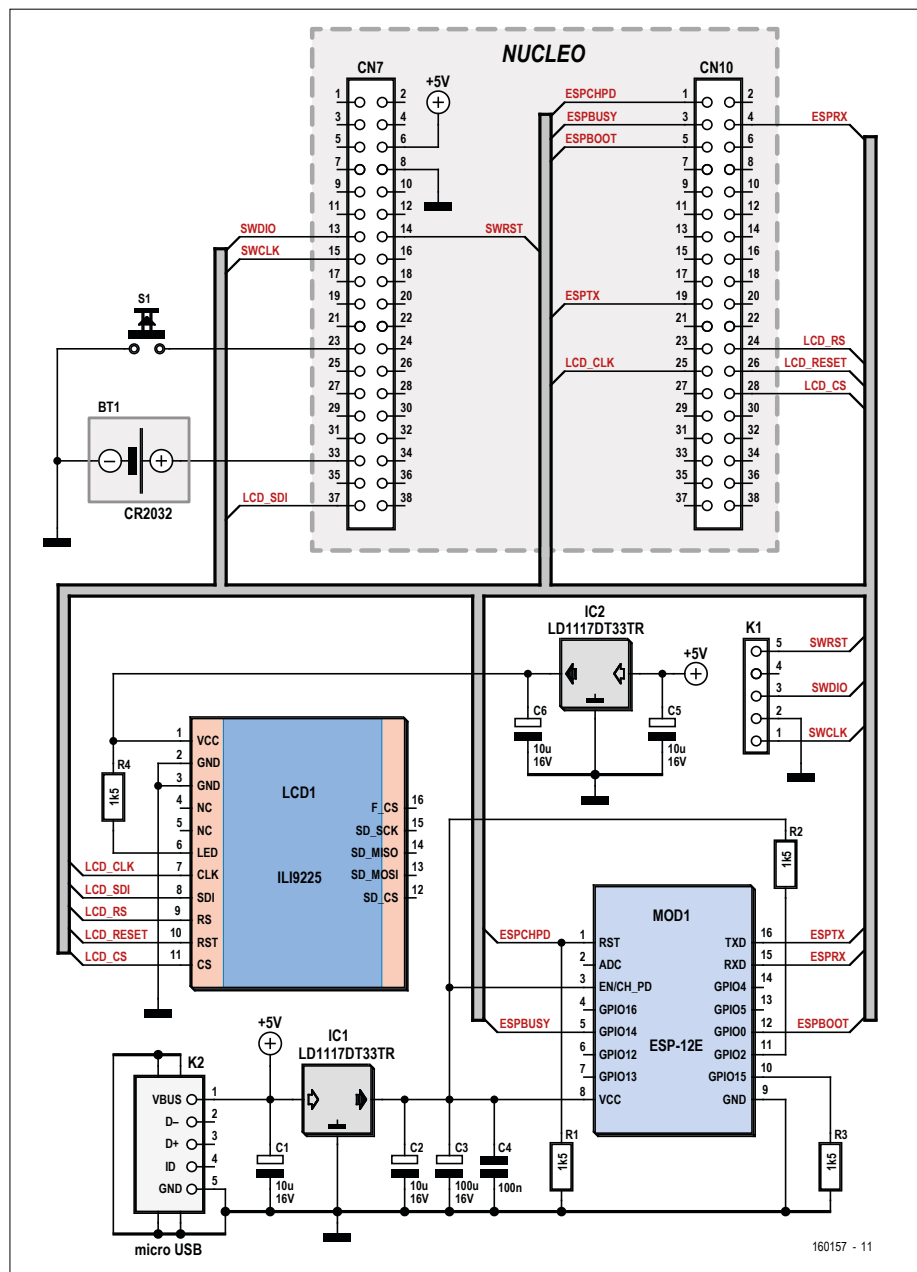


Figure 6. Schéma du bouclier. Pour une carte relativement grande, on n'y voit que très de composants.

niques, sert essentiellement de support mécanique à l'afficheur et à l'accueil du bouton-poussoir. De ce fait, l'électronique apparaissant sur la figure 6 reste très simple, une caractéristique que cette carte partage avec beaucoup d'autres boucliers. Elle se compose essentiellement de deux régulateurs de tension, avec les condensateurs de filtrage associés (pour les alimentations séparées de l'afficheur et du module Wi-Fi), et de quatre résistances, de la prise USB (à laquelle, dans la version actuelle, aucune ligne de données n'est connectée), du bouton-poussoir, de la pile bouton, de l'afficheur, du module Wi-Fi et des deux connecteurs d'enfichage sur la carte

Nucleo. Avec K1, on dispose encore d'un port série qui sert à la programmation au moyen de l'interface ST-Link propre à la carte Nucleo. Notez qu'à travers le connecteur, S1 est branché en parallèle sur le bouton-poussoir bleu B1 de la carte Nucleo. Le module Wi-Fi est connecté par port série (plus les signaux de contrôle) à la carte Nucleo, ce qui offre la possibilité de programmer ce module, c'est-à-dire le microcontrôleur qu'il contient, par l'intermédiaire de la carte Nucleo. On utilise pour cela l'EDI Arduino, mais nous y reviendrons plus tard. La simplicité de l'électronique est due à l'utilisation de la carte Nucleo qui contient un grand nombre de fonctions et de composants.

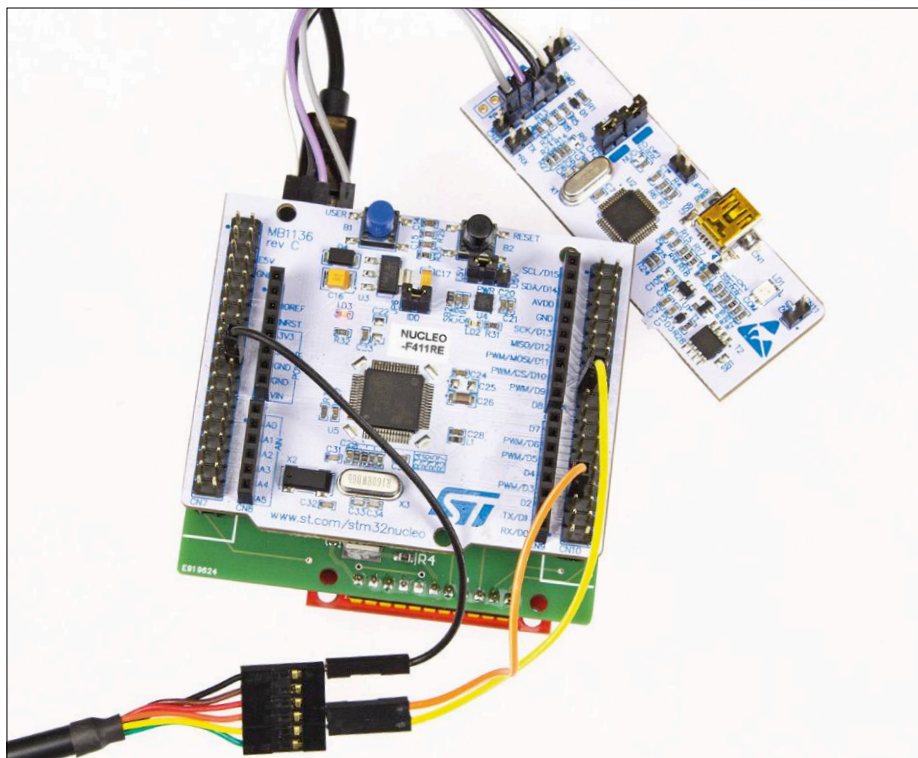


Figure 7. Ici, on découvre comment le ST-Link est connecté à la carte Nucleo (moitié supérieure) et comment on branche un câble série FTDI-USB pour la programmation du module Wi-Fi (moitié inférieure).

La chose est si simple que pour la réalisation et le montage des composants, il n'est guère besoin d'un long discours. Du moins si l'on a déjà une expérience du soudage des composants CMS. Mais pour ceux du bouclier, il n'y a pas de raison de s'effrayer, car, à quelques rares exceptions près, ils sont du gaba-

rit facile à souder : 0805. Toutefois, pour le soudage de IC2 et IC3 sur leurs pastilles, inutile d'essayer avec un fer de 10 W. 30 W est un minimum, d'ailleurs c'est mieux.

Environnement de développement

Le code source a été écrit en C++. Pour l'environnement de développement sur les μ C STM32, il existe quelques produits commerciaux, et d'autres gratuits. Pour ce projet, nous avons choisi *TrueSTUDIO* d'Atollic [2]. Cet EDI est basé sur Eclipse. *TrueSTUDIO* est en principe un produit commercial, mais il en existe aussi une version gratuite, sans limitation de la longueur du code. La différence réside, entre autres, dans certaines fonctions de débogage, mais qui ne devraient intéresser que des utilisateurs professionnels. *TrueSTUDIO* est adapté au développement avec des processeurs ARM® et offre

une préconfiguration pratique, qu'il est nécessaire d'effectuer manuellement sur la version Eclipse d'origine (qui de plus nécessite une post-installation de certains composants). Avec *TrueSTUDIO*, la liaison avec ST-Link s'effectue en quelques clics. Le compilateur est déjà présent, lui aussi. Pour beaucoup de processeurs, on dispose de bibliothèques de couche d'abstraction du matériel (HAL) ainsi que d'exemples de projets. C'est pour cela que, dans sa version gratuite, cet environnement constitue pour l'amateur une solution pour le développement avec les cartes Nucleo simple, rapidement opérationnelle et cependant efficace.

Configuration de la carte Nucleo

Avant sa mise en service, la carte Nucleo nécessite quelques petites modifications, décrites dans les neuf étapes suivantes. Il peut être utile d'avoir sous la main le manuel utilisateur, téléchargeable au format PDF sur [3].

Nota : si vous programmez la carte Nucleo pour la première fois, vous pouvez sauter les étapes 1 et 3.

1. Séparez la partie ST-Link de la carte Nucleo (avec une meule ou une scie). Vérifiez que toutes les pistes conductrices sont proprement séparées et qu'il n'y a aucun court-circuit sur les bords des deux cartes.
2. Effectuez sur la carte Nucleo les modifications matérielles listées dans le **tableau 1** (attention : c'est à vos risques et périls). Il s'agit de mettre en place ou de supprimer des ponts de soudure et d'ajouter un quartz avec deux condensateurs. Astuce : vous pouvez réutiliser les résistances 0 Ω au format 0603, enlevées là où des ponts de soudure ont été supprimés.
3. Établissez les connexions entre ST-Link et la carte Nucleo données par le tableau 2. La **figure 7** montre celles de la partie supérieure.
4. Branchez une alimentation de 5 V

Tableau 1. Modifications sur la carte Nucleo.

Composant	Action	Fonction
X3	Souder le quartz 16 MHz	X3
C33	Souder le condensateur de 22 pF	X3
C34	Souder le condensateur de 22 pF	X3
SB54	Ouvert	X3
SB55	Ouvert	X3
R35	Fermé	X3
R37	Fermé	X3
SB16	Ouvert	MCO
SB45	Ouvert	VBAT
SB50	Ouvert	MCO
SB62	Fermé	UART
SB63	Fermé	UART
JP5	Enfiché sur E5V	Tension

Tableau 2. Liaison ST-Link vers Nucleo.

Désignation	Broche ST-Link	Broche Nucleo	Bouclier
SW CLK	CN4-2	CN7-15	K1-1
GND	CN4-3	CN7-8	K1-2
SW DIO	CN4-4	CN7-13	K1-3
SW Reset	CN4-5	CN7-14	K1-5

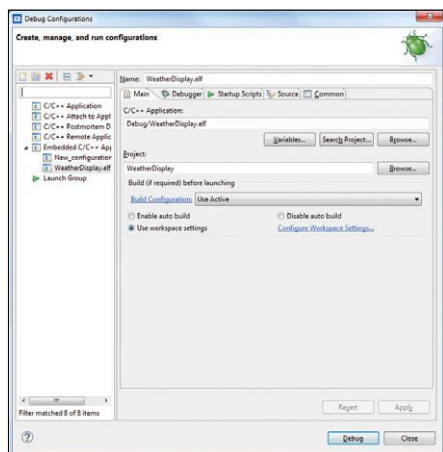


Figure 8. Configuration Nucleo : onglet Main.

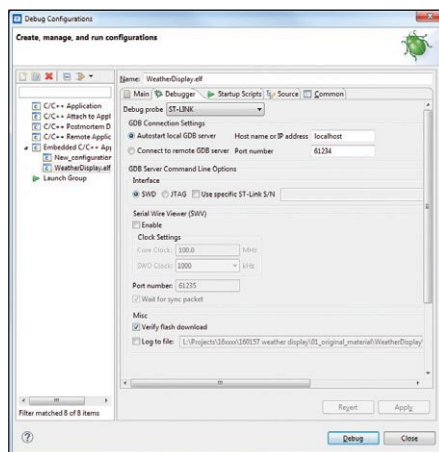


Figure 9. Configuration Nucleo : onglet Debugger.

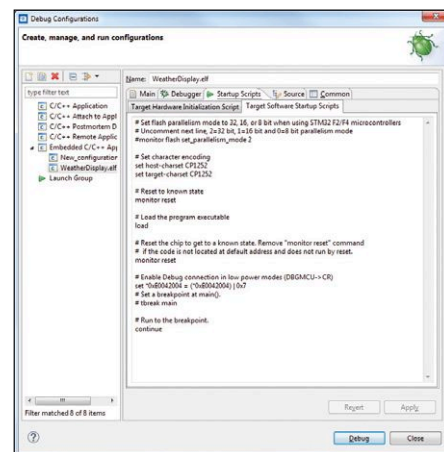


Figure 10. Configuration Nucleo : onglet Startup-Scripts

entre CN7-6 (+5 V) et CN7-8 (masse). Si vous n'avez pas encore séparé ST-Link de la carte Nucleo, vous pouvez laisser JP5 dans sa position standard « U5V ». Dans ce cas, la carte Nucleo est alimentée par le module ST-Link à partir de l'USB.

5. Téléchargez et installez la version d'évaluation d'Atollic TrueSTUDIO [2]. Téléchargez le logiciel nécessaire à l'affichage WeatherDisplay.
6. Démarrez Atollic TrueSTUDIO et importez le projet WeatherDisplay : **File > Import > General > Existing Projects into Workspace**.
7. Configuration : allez à **Run > Debug Configurations** et double-cliquez sur **Embedded C/C++ Application**. Puis reprenez les configurations affichées dans l'onglet **Main** (fig. 8), l'onglet **Debugger** (fig. 9) et l'onglet avec les **Startup Scripts** (fig. 10).
8. Si ce n'est déjà fait, connectez ST-Link à une prise USB de votre PC. Si, à la place de l'USB, vous utilisez une alimentation indépendante pour la carte Nucleo, mettez-la aussi sous tension (voir l'étape 4).
9. Programmez maintenant la carte Nucleo en exécutant la **Debug Configuration** dans le menu **Run**.

Programmation de l'ESP8266

Le module ESP8266 sert à l'accès à l'internet par Wi-Fi et doit être préalablement programmé pour cette fonction. Pour cela on écrit le code source dans l'EDI Arduino puis on programme le module avec le code machine. Pour cela, on a aussi besoin de l'un de ces fameux câbles adaptateurs FTDI-USB/UART. Comme Nucleo sert d'interface de programmation et que les ports d'entrée/sortie supportent le 5 V, il n'y a pas d'obligation à utiliser des câbles au niveau 3,3 V.

Pour cela on enfiche la carte bouclier équipée de l'afficheur (préalablement monté et vissé) sur la carte Nucleo. Les connecteurs CN7 et CN10 des deux sous-ensembles s'emboîtent parfaitement. Pour l'alimentation du système par K2, on utilise un bloc standard USB à 5 V qu'on raccorde au connecteur micro-USB par un câble. Important : il faut pour cela que le cavalier sur la carte Nucleo soit sur la position EV5.

Alors, on réalise les connexions du **tableau 3** (voir aussi fig. 7, moitié inférieure).

Maintenant il faut adapter le croquis Arduino à notre position géographique et notre APPID personnelle (clé d'identification du demandeur d'infos), pour que les informations de prévision météo soient bien les bonnes. On obtient gratuitement une APPID de *openweathermap.org* en s'enregistrant sous [4]. La liste des lieux est disponible sous [5].

Il faut éditer les lignes suivantes du croquis Arduino WeatherTimeget_el.ino :

```
Const String APIID = "your_APPID";
Const String LOCATION = "your_location"; // exemple : "london"
```

Ce sont les deux premières déclarations au début du croquis.

C'est le moment d'insérer dans le croquis Arduino le nom (SSID) et le mot de passe de votre point d'accès Wi-Fi. Il est toujours possible de les modifier plus tard dans le menu Nucleo, mais les introduire maintenant dans le croquis est très pratique et confortable. Il faut localiser la fonction Setup dans le croquis et remplacer la ligne :

```
WiFi.begin ()
```

par :

```
char cssid[] = "YOUR SSID";
char cpasswd[] = "YOUR PASSWORD";
WiFi.Begin(cssid, cpasswd);
```

Bien sûr, il faut saisir ici le SSID et le mot de passe de votre point d'accès Wi-Fi. Si vous n'avez jamais utilisé l'EDI Arduino pour programmer un ESP8266, vous devez modifier les paramètres de l'EDI dans **File > Preferences** (voir fig. 11). Finalement, on ajoute le module ESP avec le gestionnaire des cartes, option **Tools > Board ...** (voir fig. 12). Pour plus d'information sur la bibliothèque ESP8266, voir [6].

Dans **Tools > Board**, on sélectionne **Generic ESP Module**. Comme déjà mentionné, la carte Nucleo ne sert que d'interface de programmation pour le module ESP. Avec **Tools > Upload Speed**, on règle la vitesse du port sur 9600 bauds ; avec des vitesses plus élevées, des erreurs peuvent se produire. Bien entendu, avec **Tools > Ports**, il faut saisir le numéro correct pour le port de programmation. L'EDI Arduino est maintenant prêt pour commuter la carte Nucleo dans le mode

Tableau 3. Liaison câble FTDI vers Nucleo.

Câble FDTI	Carte Nucleo
GND	CN7-20
TxD	CN7-31 (PB3)
RxD	CN10-17 (PB6)

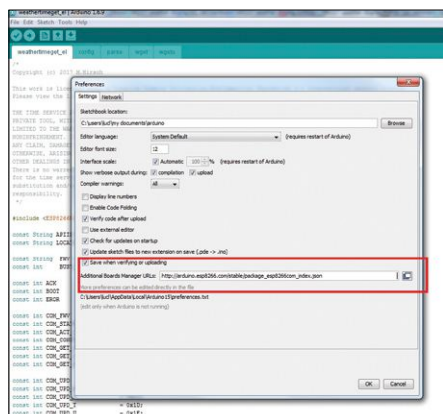


Figure 11. Configuration de l'EDI Arduino pour l'ESP8266.

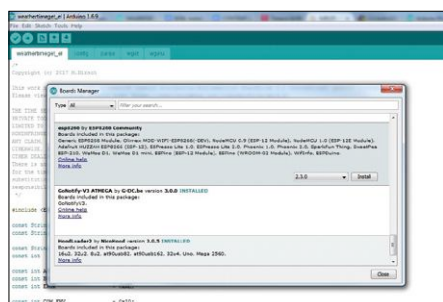


Figure 12. Incorporation du module ESP8266 dans l'EDI Arduino.

de programmation de l'ESP8266. On appuie sur S1 sur le bouclier (ou le bouton bleu sur la carte Nucleo) ce qui ouvre le menu principal de Nucleo. Par des pressions courtes répétées sur le bouton, on arrive à l'option *ESP menu*. On appuie un peu plus longtemps pour choisir cette option. Pour finir, on choisit *Program loop serial* (voir fig. 13).

Tout est alors prêt pour programmer le module Wi-Fi avec le bon croquis Arduino. Pour cela, on fait *Sketch > Upload*, ce qui lance la programmation. Il faut compter un certain temps pour que l'opération se termine. C'est alors seulement que s'affiche l'état 100% effectué. On peut ensuite quitter le mode programmation de Nucleo soit en appuyant brièvement deux fois sur S1, option *Exit*, soit en appuyant sur le bouton noir *Reset* de Nucleo, soit, plus brutalement, en éteignant et en rallumant tout. Voilà qui termine la configuration et la programmation de l'afficheur météorologique. Après un petit délai, vous devriez voir apparaître sur l'afficheur LCD la prévision météo pour le lieu que vous avez spécifié dans le croquis Arduino.



Figure 13. Copie des écrans pour régler la carte Nucleo comme interface de programmation du module ESP8266.



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances :

R1 à R4 = 1,5 kΩ, CMS 0805

Condensateurs :

C1, C2, C5, C6 = 10 µF / 16 V, CMS 1206
C3 = 100 µF / 16 V, CMS 2312
C4 = 100 nF / 50 V, X7R, CMS 0805

Semi-conducteurs :

IC1, IC2 = LD1117DT33, LDO, 3,3 V / 800 mA

Divers :

LCD1 = module TFT de 2,2", 220×176 pixels, avec ILI9225 (eBay)*
MOD1 = ESP-12E (module Wi-Fi ESP8266)*
CN7, CN10 = embase à 38 broches, 2 rangées, droite, pas de 2,54 mm
K1 = embase mâle à 5 broches, 1 rangée, coudée, pas de 2,54 mm
K2 = connecteur micro-USB de type B,

à encarter, couché

S1 = bouton-poussoir unipolaire de 6×6 mm
BT1 = pile bouton au lithium, 3 V, CR2032 avec support de 20 mm
Circuit imprimé 1600157-1 (e-choppe d'Elektor)
Carte Nucleo F411RE de ST

Pour la modification de la carte Nucleo :*

C33, C34 = 22 pF / 50 V, CMS 0603
X3 = quartz de 16 MHz pour une charge de 18 pF

* voir le texte

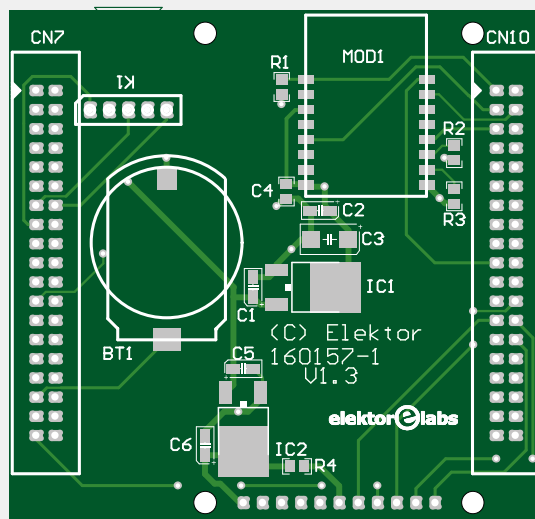
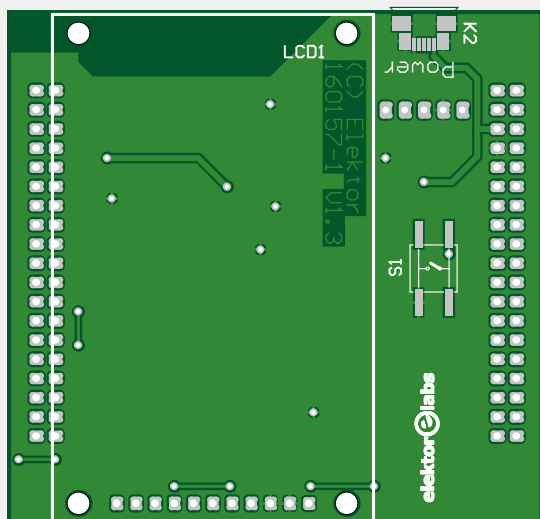


Tableau 4. Bits d'état.

Bit	Valeur = 0	Valeur = 1
0	Pas de connexion réseau	Connexion réseau établie
1	Erreur pendant la MAJ des données météo	MAJ des données météo réussie
2	Erreur pendant la MAJ des prévisions	MAJ des prévisions réussie
3	Erreur pendant la MAJ des données horaires	MAJ des données horaires réussie
4	Pas de données UV	Données UV chargées

Configuration de l'accès Wi-Fi

Si vous n'avez pas programmé vos paramètres d'accès Wi-Fi dans le croquis Arduino ou si vous voulez les modifier par la suite, vous pouvez le faire par le menu de la carte Nucleo. Pour cela, allez au menu principal Nucleo, choisissez l'option **Config WiFi** et confirmez-la avec **YES** dans la fenêtre suivante (voir **fig. 14**). Il est alors possible d'utiliser un ordinateur ou une tablette pour établir une liaison avec l'ESP8266, qui édifie pour cela son propre réseau Wi-Fi. Rappelez-vous que ce réseau n'est actif que dans le mode **Config WiFi** ou si l'afficheur météo ne peut pas établir de connexion Wi-Fi. Le SSID est *WeatherNet* et le mot de passe est *WeatherPass*. Les deux peuvent être modifiés dans le croquis Arduino. Pour la configuration, on se connecte à ce réseau et on ouvre la page d'accueil de l'ESP8266 sous l'adresse IP 10.0.0.1. On y trouve une liste de réseaux sans fil disponibles. On choisit le SSID qu'on veut utiliser et on saisit le mot de passe correspondant. Un clic sur **Save** sauvegarde la configuration. Au bout de quelques secondes, le réseau WeatherNet est désactivé et Nucleo retourne automatiquement au menu. En cliquant sur **Exit**, on quitte la configuration du réseau et on retourne à l'affichage météo. Au prochain démarrage, ce sont les paramètres du croquis Arduino qui seront utilisés.

Pour vérifier les paramètres de réseau, on choisit l'option **Status** dans le menu. Sous le bord supérieur de l'écran s'affichent les versions des micrologiciels de Nucleo et de l'ESP, suivies de l'adresse IP de l'ESP, du SSID du point d'accès et de la force du signal. Bien entendu, l'état de la connexion au réseau est également indiqué. La valeur 0x0f est satisfaisante, car elle indique que le système est connecté au réseau et que tous les paramètres sont chargés. Le **tableau 4** donne la signification de tous les bits d'état.

Par ailleurs...

Malheureusement les routines d'acquisition des données sur le rayonnement ultra-violet ne sont pas incluses dans le micrologiciel de l'afficheur météo, car elles ne sont pas librement disponibles. Si jamais vous découvrez une source libre de données UV, l'auteur vous sera reconnaissant de l'en informer.

Comme mentionné au début, le STM32 est loin de la pleine charge avec les tâches qui lui sont confiées ici. Il n'y a donc pas de problème à partir à la chasse à d'autres données intéressantes telles que la concentration en ozone, etc. et à modifier le micrologiciel pour les récupérer sur le réseau et les afficher. D'autres possibilités envisageables seraient davantage de vues changeantes, des icônes météo animées, un *feedreader*, des avertissements par courriel ou un téléchargement par le réseau. Dans ce but (et outre le croquis Arduino pour le module Wi-Fi), le micrologiciel est disponible en téléchargement, comme tou-

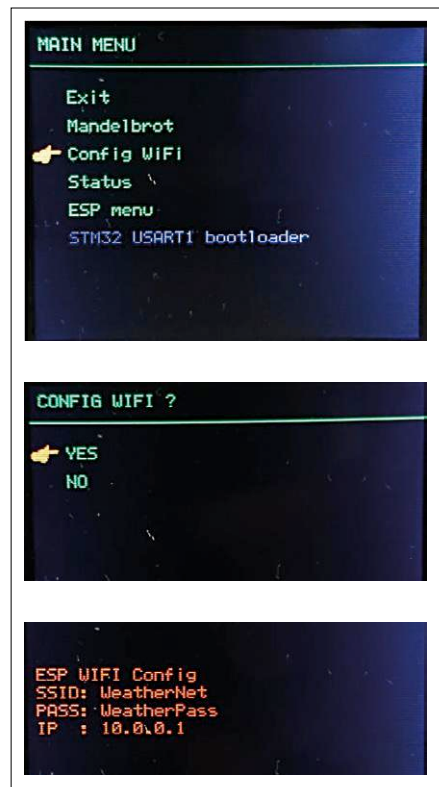


Figure 14. Copie d'écran de la configuration des données du réseau sans fil via le menu Nucleo.

jours gratuit, sur la page de cet article sur le site Elektor. Bien du plaisir avec ce projet ! ◀

(160157 – version française : Helmut Müller)

Liens

- [1] Carte Nucleo F411RE de ST : www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f411re.html
- [2] Atollic : <https://atollic.com/resources/download/>
- [3] Manuel Nucleo : www.st.com/resource/en/user_manual/dm00105823.pdf
- [4] APPID : <https://openweathermap.org/appid>
- [5] Liste des lieux : http://openweathermap.org/help/city_list.txt
- [6] Informations sur la bibliothèque ESP8266 : <https://esp8266.github.io/Arduino/versions/2.3.0/>
- [7] Téléchargements : www.elektormagazine.fr/160157

L'auteur

Markus Hirsch a commencé par des études d'ingénieur économiste, mais ses nombreuses années d'électronicien amateur l'ont finalement conduit à se lancer dans la recherche et le développement. Après quelques années dans la gestion de la qualité, il fait maintenant du développement matériel et logiciel dans une moyenne entreprise. De même, pendant ses loisirs, il aime développer des projets matériels et logiciels. Il s'occupe également d'impression 3D et de la programmation d'applications et de réseaux. Ici domine l'aspect plaisir, quoique ses projets aient toujours une dimension pratique ou éducative. Comme le projet présenté ici !

balance de cuisine : la recette

pesez jusqu'à 49,05 kg · m/s² avec Arduino

Luc Lemmens (labo Elektor)

D'après une idée de Bera Somnath (Inde)

Cet article a été inspiré par un projet posté sur la page du labo d'Elektor. Il s'agissait de construire une balance de cuisine à partir d'un microcontrôleur ATmega328, un capteur de force, une carte d'interface pour ce dernier, un afficheur à cristaux liquides, le tout saupoudré d'une pincée de logiciel. Il a fallu couper et percer un peu de bois et de métal pour rendre la balance utilisable.



Caractéristiques

- Jusqu'à 5 kg
- Afficheur OLED
- À base d'Arduino

Au labo quand nous avons commencé à chercher les composants pour préparer la publication de ce projet [3], nous avons découvert qu'un de nos fournis-

seurs habituels proposait un kit pour une balance de ce type. Ce kit comprend une carte compatible avec l'Arduino Uno, un capteur de force, une carte d'interface pour le capteur, un afficheur à cristaux liquides ainsi que des pièces en plastique, découpées au laser, nécessaires à la création d'une balance de cuisine transparente. Nous en avons commandé un pour inspection. Comme le kit est livré sans *shield* pour supporter tous les composants (tout est censé être câblé

avec des fils volants, inclus), nous avons décidé de l'améliorer avec un afficheur OLED. Ce choix accroît les possibilités d'affichage et en plus libère des broches d'E/S, bien utiles si on veut relier la balance à un autre appareil. Nous avons ajouté le bouton-poussoir *Hold* de gel de l'affichage qui fait défaut à tant de balances de cuisine. Pour couronner le tout, un ajustable facilite l'étalonnage de la balance. Et si nous jetions un œil à son fonctionnement ?

Poids ou masse ?

La physique moderne définit le poids comme le produit de la masse par la force de gravitation ; c'est donc une force exprimée en newton (N) ou, dans les unités de base SI, $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; l'unité SI de masse est le kilogramme (kg). Une balance mesure le poids, pas la masse, et il est, strictement parlant, incorrect d'afficher un résultat en kilogrammes. Mais, étant donné que pour la plupart des applications la force de gravitation peut être considérée comme constante partout sur Terre ($9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), la communauté scientifique nous autorise à exprimer le poids en kilogrammes. Comme le poids est une force, le poids d'un objet peut être déterminé en mesurant la force qu'il exerce sur un autre objet, comme un ressort ou une barre. Un ressort est comprimé ou étiré par le poids d'un objet, tandis qu'une barre est déformée. Le poids d'un objet peut également être évalué par comparaison avec un poids de référence connu.

La jauge d'extension

La jauge d'extension, une résistance variable en gros, sert à mesurer les déformations mécaniques puisque sa résistance dépend de la compression ou tension mécanique. La jauge d'extension a été inventée en 1938 au Caltech (*California Institute of Technology*) par Edgar E. Simmons Jr. (qui accessoirement aimait s'habiller en collants, tutu, turban et ballerines blanches). En parallèle, la jauge d'extension était inventée au MIT par Arthur Claude Ruge (prononcez Roudgi). Simmons et Ruge se partagent le brevet.

La jauge de base consiste en un fil (un morceau de feuille plutôt) long, fin et replié sur lui-même, collé sur un support flexible (**fig. 1**). Lorsque l'ensemble est étiré, la résistance de la feuille augmente ; lorsqu'il est comprimé, elle diminue. La variation de résistance est petite et l'on utilise en général un pont de Wheatstone pour atteindre une précision de mesure acceptable. Pour éliminer l'influence de la température sur la mesure, mieux vaut utiliser deux jauges pour l'une des branches du pont. Quand l'autre branche du pont comporte aussi plusieurs jauges, le niveau du signal de sortie augmente ; on parle alors de jauges d'extension en pont intégral. Les jauges d'extension sont fragiles et les fixer à l'objet à mesurer est difficile.

C'est pour cela qu'elles sont souvent livrées montées sur un support facile à utiliser, les fameux capteurs de force. Tout ce que vous avez toujours voulu savoir à propos des jauges d'extension, et plus encore, se trouve dans le livre gratuit en [2].

Pour notre balance de cuisine, nous avons utilisé un capteur de force formé d'une barre dotée d'un pont de quatre jauges d'extension (**fig. 2**). Une extrémité de la barre est fixée au châssis de la balance ; l'objet à peser est placé sur l'autre, entraînant la flexion de la barre. Cela déséquilibre le pont de Wheatstone et la différence de potentiel qui en résulte apparaît en sortie du capteur de force où elle peut être mesurée.

Malgré l'utilisation d'un pont de jauges, le signal en sortie reste très faible, de l'ordre de quelques dizaines de millivolts, il faut donc l'amplifier avant sa numérisation et son traitement.

INFOS SUR LE PROJET



Arduino
maison & jardin
mesure



→ débutant
connaisseur
expert



Env. 3 h



Fer à souder,
PC avec l'EDI Arduino,
poids de référence



Env. 40 €

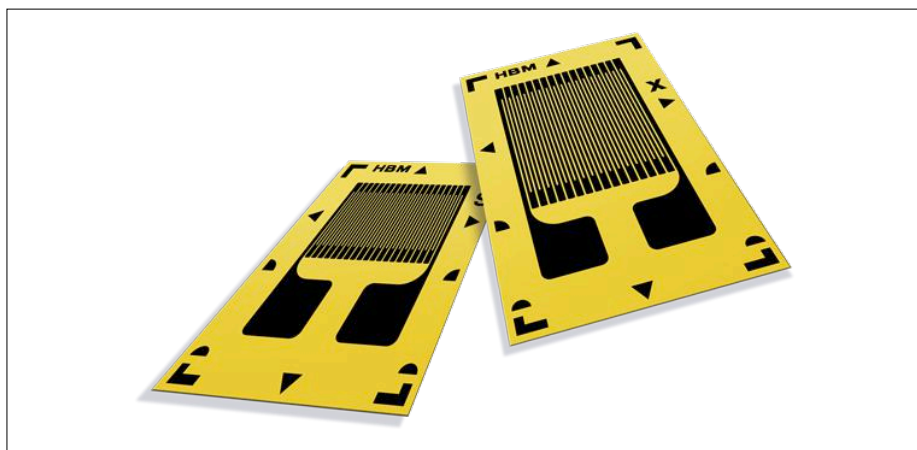


Figure 1. Une jauge d'extension n'est sensible que longitudinalement. (Photo : HBM)

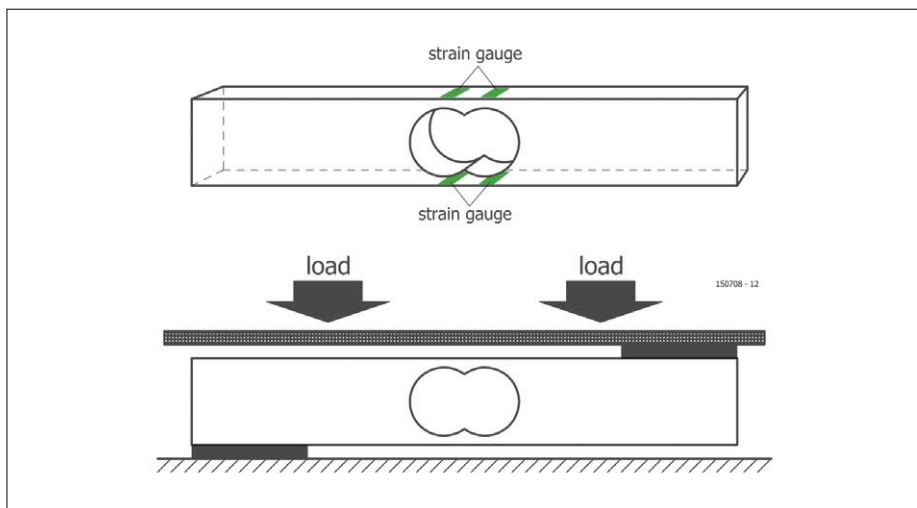


Figure 2. Capteur de force à barre avec un pont de quatre jauges d'extension.

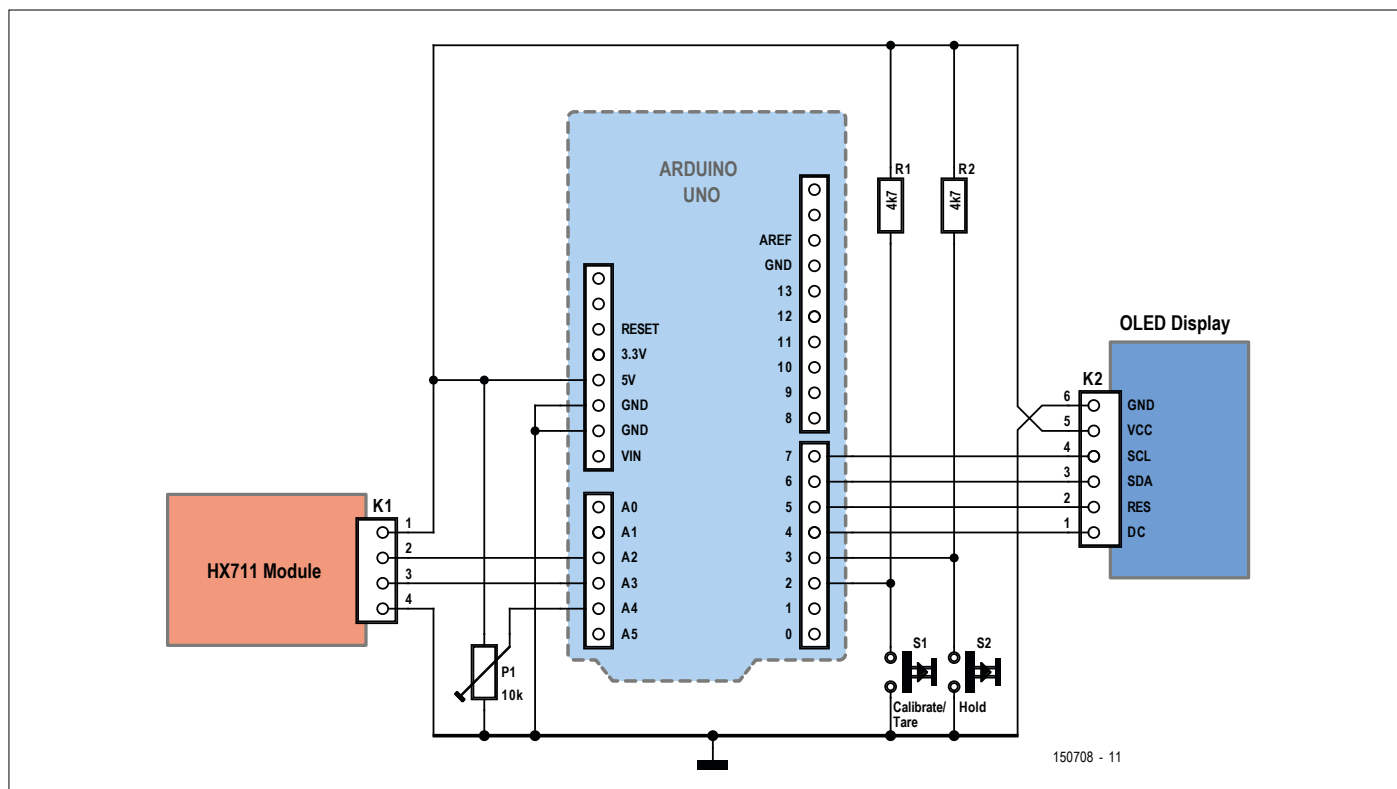


Figure 3. Le schéma de la balance est très simple : le module à HX711, l'afficheur OLED et l'Arduino Uno font tout le boulot.

Le circuit

Maintenant jetons un œil aux détails du schéma (**fig. 3**). Les capteurs de force sont des composants usuels, c'est pourquoi on trouve des circuits intégrés spécialisés capables d'amplifier et numériser leur faible signal de sortie. Pour ce projet, nous avons choisi le HX711 d'Avia Semiconductor, un convertisseur analogique/numérique à 24 bits pour balances, surtout parce qu'il est facile de dénicher sur l'internet des petites cartes dotées de ce circuit intégré (se procurer le circuit seul est assez difficile). Cette carte de liaison est reliée à K1. Nota : ce connecteur est monté un peu au-dessus de la carte

principale, sinon il n'y aura pas assez de place pour la carte de liaison.

On trouve sur la sortie du HX711 un flux de données (K1, broche 3) transmis à la carte Arduino qui elle-même cadence ce flux (K1, broche 2). Le microcontrôleur ATmega328 lit également la position d'un ajustable à 15 tours utilisé pour calibrer la balance.

L'interface utilisateur consiste en un afficheur graphique OLED relié à K2 et deux boutons-poussoirs, *Tare* (S1) et *Hold* (S2), dotés respectivement des résistances de rappel R1 et R2. K2 est incliné pour améliorer la lisibilité de l'afficheur.

Logiciel

Le microcontrôleur exécute un programme, ou croquis puisque nous utilisons Arduino, plutôt simple. La majeure partie du croquis est en fait dédiée à la gestion des pixels de l'afficheur ; la lecture du capteur de force et la conversion de la valeur mesurée en grammes et onces occupent deux lignes de code.

```
gram = scale.get_units(10) *
    int(factor) / 1000;
ounce = gram * 0.0352739619;
bar = gram*40/5000;
```

Tare ?

Voici un petit tuyau pour relancer une conversation qui s'épuise : « [...silence gênant...] Tiens, tu sais ce que *tare* veut dire ? Mais si, tu sais, le bouton sur les balances de cuisine ? Non ? Bon... » et vous étalez vos connaissances. « Ouah, je ne savais pas, c'est génial ! Pendant tout ce temps... », et la conversation de durer au moins une bonne heure de plus. Mais au fait, ça veut dire quoi *tare* ? Il s'agit du poids du contenant dans lequel on place quelque chose, le poids d'un véhicule de transport à vide, utilisé pour calculer celui des marchandises qui s'y trouvent. Vous savez enfin pourquoi vous actionnez un bouton nommé *tare* après avoir placé un bēcher vide sur une balance.

Tableau 1. Câblage du capteur de force vers le module à HX711. Les entrées B- et B+ ne seront pas reliées.

Fil	Signal
Rouge	E+
Noir	E-
Vert	A+
Blanc	A-



Figure 4. L'afficheur OLED montre le poids en grammes et onces, ainsi qu'une barre graphique.

Ceci est toutefois un peu trompeur : le croquis s'appuie fortement sur une bibliothèque qui se charge de la communication avec le HX711. Le poids mesuré renvoyé par `scale.get_units` est un entier signé de 32 bits, converti en grammes à l'aide du facteur de calibrage réglé avec P1.

La partie graphique est gérée par la *Universal 8bit Graphics Library* (U8glib). L'afficheur montre le poids mesuré en grammes (g) et onces (oz), ainsi que sous forme d'une barre allant jusqu'à 5 kg (**fig. 4**). Une action sur le poussoir *Hold* (S2) gèlera l'afficheur ; l'objet peut être retiré sans que le poids mesuré ne disparaisse. Une autre action sur *Hold* permettra d'utiliser à nouveau la balance.

S1 est le poussoir *Tare* (voir l'encart) ;

pressez ce bouton, la balance affichera 0 g, même s'il y a un objet sur le plateau de mesure.

Le logiciel est disponible gratuitement sur la page du projet [1].

Calibrage

Une fois le capteur de force relié au module à HX711 (**tableau 1**), l'assemblage de la balance est complet. Mais, avant de vous lancer dans une recette, il faut calibrer l'instrument de mesure. Les poids inclus dans le kit (ou d'autres objets dont vous connaissez le poids exact) vous y aideront :

1. Mettez la balance sous tension.
2. Pressez le bouton *Calibrate* (S1).
3. Placez un poids de référence sur la balance, par ex. 150 g.
4. Manœuvrez l'ajustable P1 jusqu'à ce que l'afficheur montre le bon poids en grammes (ici 150).
5. Retirez le poids de la balance.
6. Pressez à nouveau le bouton *Calibrate* (S1) ; la balance devrait afficher 0 g.
7. Placez à nouveau le poids sur la balance. Si le poids est correct, la balance est bien calibrée ; s'il ne l'est pas, répétez la procédure à partir de l'étape 3.

Le calibrage de notre balance de cuisine est terminé. Notez qu'il n'est pas possible d'utiliser ce projet à des fins commerciales. ◀

(150708 - version française : Kévin Petit)

DANS L'E-CHOPPE

→ 150708-1
circuit imprimé nu de la balance de cuisine

→ 150708-71
balance de cuisine en kit avec tous les composants

Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/150708
- [2] *An Introduction to Stress Analysis and Transducer Design using Strain Gauges* : www.hbm.com
- [3] Projet originel : www.elektormagazine.fr/labs/5-kg-kitchen-scale-built-on-arduino



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

R1, R2 = 4,7 kΩ

P1 = 10 kΩ ajustable, 15 tours

Divers

K1 = barrette sécable femelle, 4 voies, au pas de 2,54 mm, horizontale

K2 = barrette sécable femelle, 6 voies, au pas de 2,54 mm, horizontale

1× barrette sécable, 6 voies, au pas de 2,54 mm, verticale

2× barrette sécable, 8 voies, au pas de 2,54 mm, verticale

1× barrette sécable, 10 voies, au pas de 2,54 mm, verticale

S1, S2 = bouton-poussoir à monter sur circuit imprimé

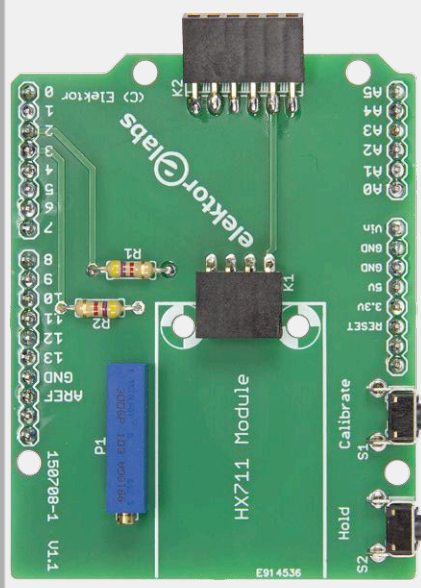
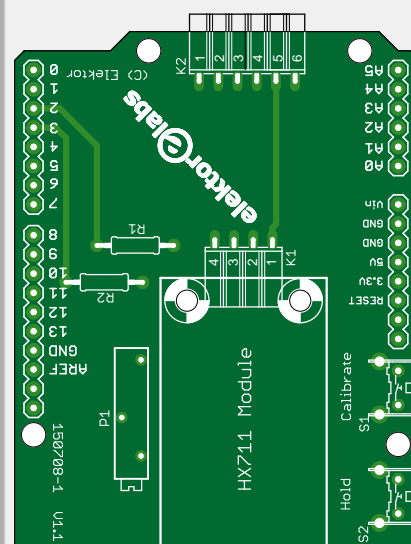
carte de liaison à HX711

capteur de force 5 kg, par ex. YZC-1B

2 boulons M2×10 mm

4 écrous M2

circuit imprimé réf. 150708-1



détecteur de caméra

la réflexion au service du contre-espionnage

Jörg Trautmann (Allemagne)

S'il reste vrai que de nombreux internautes exposent toute leur vie privée sur la toile, depuis l'affaire des écoutes de la NSA nous savons que nous sommes à la merci de logiciels espions et malveillants. Mais, face à cela, nous ne sommes pas totalement démunis.



in memoriam: Antonio Prohias



dissimulées sous l'apparence d'un briquet, d'un stylo ou d'un morceau de sucre qu'il est facile de cacher. Le but de ce projet est de réaliser à l'aide d'une poignée de composants standard et un peu d'habileté manuelle un appareil de détection des caméras cachées.

Tous les espions sont rouges

Les caméras de surveillance et d'espionnage ont un point commun : l'objectif doit se trouver dans la pièce où effectuer les prises de vues. Un détec-

teur doit être capable de repérer un petit objectif caché ou camouflé dans la pièce. C'est aussi simple que ça : le détecteur de la **photo du chapeau** de l'article émet des éclairs de lumière rouge qui sont réfléchis par l'objectif de la caméra. L'apprenti contre-espion regarde à travers le boîtier du détecteur et un filtre rouge (pour exploiter l'effet Purkinje [1], comme c'était déjà le cas dans les sous-marins !). Ce filtre rouge permet de détecter aisément la réflexion de l'éclair et de révéler l'emplacement de la caméra-espionne. L'éclair est indispensable pour percevoir correctement les différences de réflexion lors de l'exploration de la pièce.

Avec la miniaturisation croissante des équipements, la découverte de matériels de surveillance est de plus en plus difficile. On trouve même des caméras

Quiconque a déjà vu comment on débuse une comète en superposant rapidement deux photos successives comprendra le fonctionnement du détecteur. Pour que ça marche, il y a deux choses auxquelles il faut faire très attention lors de la construction. D'abord, les LED utilisées doivent être à très haute luminosité. Le détecteur sera d'autant meilleur que les LED seront lumineuses. En même temps, la couleur rouge ou rouge/orangé du film/filtre de transmission doit correspondre au mieux à la longueur d'onde prépondérante des LED. Plus l'écart est élevé, moins bons seront les résultats. Cela peut aller jusqu'à l'absence de détection. En l'absence de filtre, il sera très difficile de repérer une caméra-espionne.

Pour utiliser le détecteur avec un appareil-photo numérique (APN) réflex, il n'y a pas de problème parce qu'il suffit de mettre le filtre rouge adéquat devant l'APN. Schneider Optics de Bad Kreuznach (filtres B+W), le fabricant bien connu de filtres photographiques propose deux filtres rouges différents (IF090 et IF091) avec deux traitements de surface distincts (E et MRC). La **figure 1** montre les courbes de transmission des filtres rouges, très semblables à celle d'un filtre passe-bas. La coupure se situe à 600 nm ou 625 nm ; dans la bande éliminée par les filtres, la transmission est inférieure à 1 %. Pour la lumière transmise, la transmission des verres E est pratiquement constante tandis qu'avec les verres MRC, elle chute d'environ 30 %. Il existe par ailleurs des verres passe-bande à bande étroite, qui sont difficiles à trouver dans le commerce spécialisé (et en outre ils ne sont pas vraiment appropriés dans notre cas, car la couleur des LED n'est pas constante et varie légèrement avec le courant direct).

Nous en arrivons au second composant sur lequel nous devons nous pencher, les diodes électroluminescentes rouges. Si on tient compte de la courbe de transmission du filtre, la couleur émise (le maximum du spectre) doit évidemment se situer dans la bande passante du filtre, et aussi près que possible de sa longueur d'onde de coupure. Il va de soi que la couleur doit être dans le domaine visible. Il ne faut pas se laisser aveugler par les données de luminosité des catalogues, car les LED fonctionnent ici à des intensités inférieures à 20 mA. Mieux vaut rassembler tous les paramètres tels que la couleur, le courant direct admissible

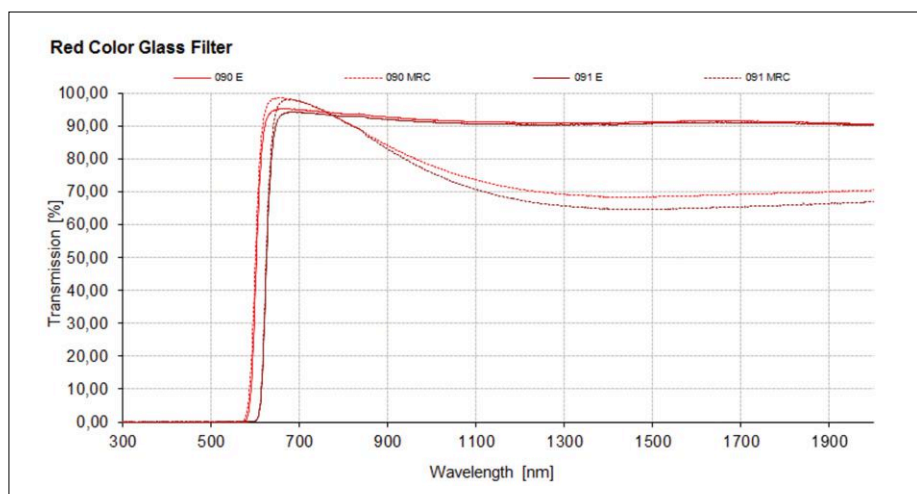


Figure 1. Bandes de blocage et de transmission de filtres photographiques rouges (photo : Jos. Schneider Optische Werke).

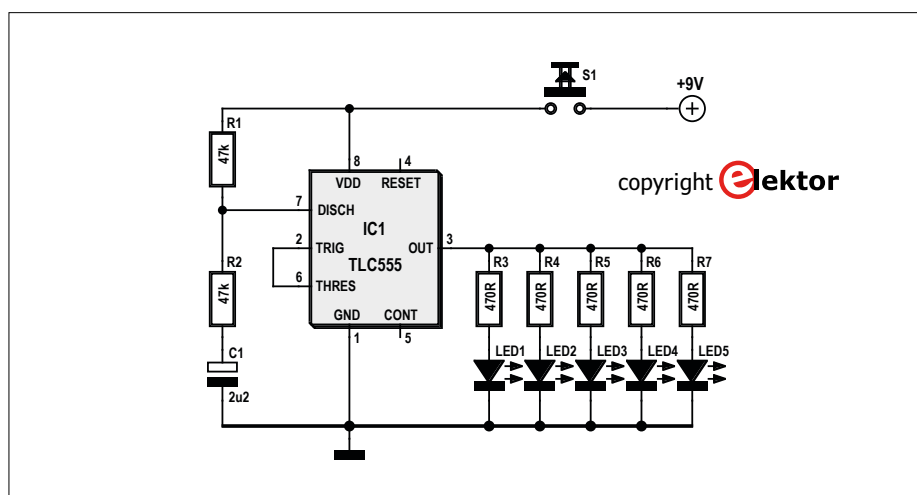


Figure 2. L'électronique : un 555 entouré de quelques composants.

(qui dépend aussi de la tension de seuil de la LED), la luminosité, la géométrie souhaitée et les reporter dans les critères de sélection d'un distributeur en ligne de composants, cela devrait restreindre le choix.

Un soupçon d'électronique

Le schéma de la **figure 2** est construit autour du 555, le timer bien connu, monté en multivibrateur. La valeur RC est calculée pour que les LED envoient un éclair toutes les 250 ms. Pour obtenir un éclairage satisfaisant de la pièce, il faut utiliser des LED ultra-lumineuses. La résistance série des LED, 470 Ω, est calculée pour une tension d'alimentation de 9 V et un courant de 75 mA dans les LED. Le timer utilisé, un TLC555 peut fournir jusqu'à 100 mA, il n'est donc pas nécessaire d'ajouter un transistor pour

piloter les LED.

Le boîtier de taille moyenne comporte à l'avant et à l'arrière une découpe circulaire dont le diamètre dépend de la taille de l'objectif de l'APN. Si vous n'utilisez pas un APN réflex avec filtre vissé sur l'objectif, il faut s'assurer que les LED n'émettent pas de lumière vers l'arrière, donc vers l'objectif de l'APN. Dans ce cas, il est préférable de relier les deux trous avec un tube de carton noir.

L'électronique se câble aisément sur un morceau de plaque d'essai pastillée et sera fixée « en l'air » dans le boîtier. Pour utiliser leur flux lumineux de manière optimale, les LED seront fixées sur des réflecteurs puis connectées à la plaque d'essai du 555 selon le schéma. Dès le câblage terminé, les LED doivent



Figure 3. Le détecteur envoie un éclair, l'APN enregistre la preuve en vidéo.

clignoter au rythme de 4× par seconde quand on appuie sur le poussoir d'alimentation. Si tout fonctionne bien, on peut se mettre aussitôt à la recherche d'une caméra dissimulée. La recherche doit s'effectuer à la lumière du jour, mais tamisée, afin que les petites différences de luminosité soient plus faciles à détecter.

Voici comment procéder pour avoir les meilleures chances de réussir à débusquer une caméra-espionne. On fixe le détecteur de caméra-espionne sur l'objectif de l'APN (**figure 3**). On met ensuite celui-ci en mode vidéo pour filmer lentement le pourtour de la pièce. Le mieux est de faire trois passages, par ex. à 60, 120 et 180 cm de hauteur. Une fois le

film enregistré, on peut confortablement le visionner sur l'écran d'un PC. La **figure 4** montre à l'aide de deux cliqués individuels, comment on débusque une petite caméra.

Recommandations et pièges à éviter

Il faut se résigner à certaines limitations. Le détecteur de caméra fonctionne parfaitement si la lentille de la caméra-espionne est sphérique et réfléchit la lumière. S'il s'agit d'une lentille plane, la détection ne marche que sous une incidence précise du faisceau des LED. Si la lentille ne réfléchit pas du tout, le détecteur ne fonctionne pas.

Les points ci-dessous permettent d'amé-

liorer les chances de découvrir une caméra-espionne pendant le contrôle de la pièce soupçonnée.

- La distance entre l'APN et la caméra doit être faible ; plus c'est le cas, meilleure est la détection. Il vaut mieux se déplacer en longeant les cloisons plutôt que tourner sur soi-même au milieu de la pièce.
- Tamisez la lumière du jour directe venant de l'arrière. Si la caméra-espionne se trouve sur un fond clair et bien éclairé, elle est plus difficile à découvrir que si elle était sur un fond non éclairé.
- Tamisez la lumière du jour directe venant de l'avant. Si l'arrière de l'APN détecteur est clair et bien éclairé, la caméra-espionne est plus difficile à découvrir qu'avec un arrière-plan non éclairé pour l'APN.
- Examinez en particulier les surfaces qui réfléchissent la lumière des LED. La réflexion de la caméra-espionne peut facilement passer inaperçue dans celle de la surface réfléchissante.

Et pour finir, une mise en garde importante : ne regardez pas les LED pendant l'utilisation du détecteur ! ◀

(140459 – version française : Yves Georges)

Liens

- [1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Purkinje
- [2] www.schneiderkreuznach.com/en/industrial-solutions/industrial-filters/products/filter-types/color-filter/



Figure 4. La différence, petite, mais claire : les réflexions trahissent la caméra-espionne dans le pot de fleurs.



(presque) tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur...

les connecteurs vidéo, HF et pour les appareils de mesure

Réponses de

Rémy Mallard (Bois d'Arcy)

On demande moins aux connecteurs audio qu'aux connecteurs vidéo, HF ou d'entrées/sorties des appareils de mesure. Il doit bien y avoir des raisons. Nous avons demandé à Rémy Mallard de nous en dire plus.



photo : Shutterstock

Q D'une manière générale, que peut-on dire des connecteurs vidéo ?

R La vidéo est passée du noir et blanc à la couleur, puis de l'analogique au numérique. Les connecteurs vidéo évoluent aussi, et les fabricants ont toujours cette volonté de proposer du costaud aux pros et du « pas cher » (mais assez solide tout de même) au grand public. Dans le monde professionnel, la vidéo analogique est transportée par un ou plusieurs câbles coaxiaux équipés de robustes prises BNC de 75 Ω : un seul conducteur pour un signal vidéo composite CVBS (PAL, SECAM ou NTSC, luminance Y et chrominance C sur le même fil), deux conducteurs distincts en S-Video ou Y/C (luminance et chrominance séparées), ou trois conducteurs pour composantes séparées **Rouge Vert Bleu** ou YUV [1]. La vidéo numérique

quant à elle peut être transportée en SDI sur du câble coaxial avec des prises BNC. Pour les grandes distances, on utilise des correcteurs/égaliseurs pour compenser les pertes causées en hautes fréquences par les câbles, on fait aussi appel à des

liaisons Ethernet (paires torsadées et prises RJ45) ou fibre optique (**fig. 1**). En vidéo analogique grand public, les trop coûteuses prises BNC ont été remplacées par des connecteurs plus économiques : RCA/Cinch (vidéo composite sur

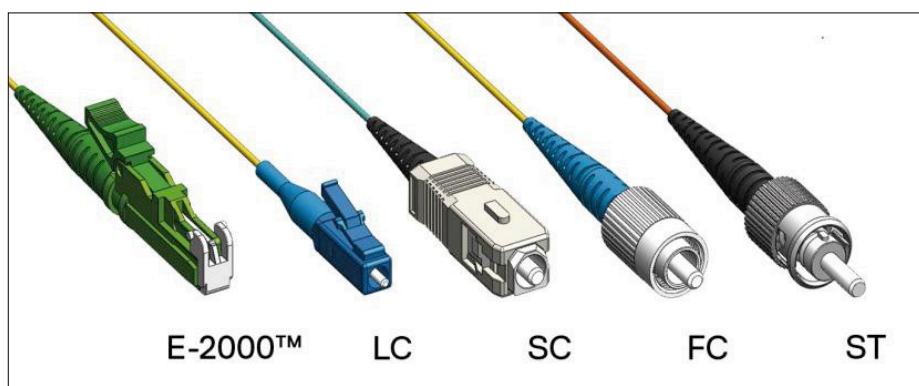


Figure 1. Connecteurs pour la fibre. (Source : www.insys-ch.com)



Figure 2. Connecteur HDMI.
(Source : kabeldirekt-store.de)



Figure 3. Connecteur DisplayPort pour l'interface numérique pour écran de VESA.
(Source : kabeldirekt-store.de)



Figure 4. Connecteur 7/16 femelle.

prise jaune), Péritel/SCART à 21 broches imposée aux fabricants de téléviseurs de 1980 à 2015 et bien connue pour ses mauvais contacts (vidéo composite, Y/C et/ou RVB), ou encore Ushiden à 4 broches (S-Video). La vidéo numérique est véritablement entrée dans les foyers avec le caméscope DV et sa fameuse prise IEEE 1394 (FireWire chez Apple ; i.link chez Sony) qui permettait de transférer l'image et le son sans perte. Bien pratique... même si ça ne marchait que dans un sens (pour éviter la multiplication de copies en numérique, peut-être ?). Aujourd'hui, les connecteurs DVI, HDMI (fig. 2) ou DisplayPort (fig. 3) sont mon-

naie courante, et permettent de transporter un signal vidéo en numérique... avec des câbles parfois très coûteux, là où un câble Ethernet économique ferait l'affaire. Le « tout numérique » élimine des étapes de conversions A/N et N/A (Analogique, Numérique), ce qui contribue ainsi à une meilleure qualité d'image et à une réduction du coût et de l'encombrement des appareils.

Si la vidéo numérique fait désormais partie de notre quotidien, une compatibilité avec d'anciens équipements est parfois désirée. C'est pourquoi on trouve encore sur certains appareils (TV, consoles de jeu, amplis home-cinéma, caméscopes

et APN) des entrées et/ou sorties vidéo analogiques sur prises RCA, jacks à 3 ou 4 points, ou pire sur un connecteur propriétaire qui fait râler plus d'un utilisateur... mais fait le bonheur des vendeurs d'adaptateurs.

Q Pourquoi les connecteurs HF (Haute Fréquence) diffèrent-ils des connecteurs vidéo ?

R On trouve des prises BNC (75 Ω) en vidéo ainsi qu'en HF de petite puissance (BNC 50 Ω). Mais là où le connecteur HF se distingue vraiment, c'est quand on travaille avec des signaux de fréquence élevée ou de forte puissance. Les connecteurs HF sont généralement coaxiaux, avec un conducteur central entouré par un blindage métallique de masse. Ils permettent de relier entre eux les maillons d'une chaîne radiofréquence (antenne, récepteur, câble, émetteur, filtre, etc.). Certains sont verrouillables (vissage pour SMA ou TNC, baïonnette pour BNC), d'autres ne le sont pas (connecteur d'antenne TV de 9,52 mm de diamètre qui ne tient que par friction, comme une Cinch/RCA).

Les connecteurs BNC conviennent pour quelques watts, voire quelques dizaines de watts, mais ne sont pas du tout adaptés pour de fortes puissances. Là, on préférera de robustes connecteurs 7/16 (max 3 kW/5 GHz) (fig. 4), connecteurs N (max 1 kW/10 GHz) (fig. 5), ou encore, pour des besoins plus modestes, des connecteurs SO-239 femelle (fig. 6) et PL-259 mâle (curieusement, ces deux derniers sont aussi appelés « connecteurs UHF » alors qu'ils se comportent mal au-delà de 100 MHz). Les connecteurs mini-UHF, F et SMA (fig. 7) conviennent pour les signaux dépassant le GHz, mais

acronyme	signification
BNC	Bayonet Neill-Concelman
CVBS	Chroma Video Blanking Synchro
DV	Digital Video
DVI	Digital Visual Interface -A (analogique uniquement, idem VGA) -D (numérique uniquement) -I (analogique et numérique)
FC	Ferrule Connector
LC	Lucent Connector ou Local Connector
HDMI	High Definition Multimedia Interface
NTSC	National Television System Committee
PAL	Phase Alternating Line
RCA	Radio Corporation of America
SC	Subscriber Connector, Standard Connector ou Siemon Connector
SCART	Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorécepteurs et Téléviseurs
SDI	Serial Digital Interface
SECAM	SÉquentiel Couleur À Mémoire
SMA	SubMiniature version A
ST	Straight Tip
VESA	Video Electronics Standards Association



Figure 5. Connecteur N mâle.



Figure 6. Connecteur SO-239.



Figure 7. Connecteur SMA.

ne conviennent pas pour les fortes puissances. Leur petite taille est idéale pour réaliser des coupleurs ou distributeurs HF compacts (distribution de signaux TV ou satellite en immeuble, par ex.). Pour les fortes puissances, on utilise des connecteurs spécifiques, gros et guère connus du revendeur local de composants électroniques. En hyperfréquences (plusieurs GHz), les connecteurs avec cordons coaxiaux peuvent faire place à des guides d'onde HF. On découvre alors ce que « plomberie de luxe » signifie. Il faut reconnaître que le monde de la HF est drôlement particulier, et qu'il réclame une bonne connaissance des lois de la physique et de l'électromagnétisme. Il en faut vraiment peu, pour qu'un montage HF ou une liaison HF fonctionne mal ou pas du tout. Mon premier émetteur radio FM, assemblé comme s'il s'agissait d'une table de mixage (j'ignorais les règles à respecter pour les signaux HF) manquait cruellement d'efficacité !

Q Les connecteurs HF réclament-ils des matériaux spéciaux ?

R Oui. Car en HF, tous les connecteurs sont une source de pertes dans la transmission du signal. Leur choix, qui dépend de la fréquence et de la puissance des signaux transmis, est souvent très critique. Plusieurs types de conducteurs peuvent être utilisés pour les diverses parties du connecteur (broche centrale, corps, éventuelle bague intermédiaire) : acier inoxydable, laiton, laiton plaqué or, laiton plaqué bronze blanc, laiton nickelé, bronze au béryllium doré, cuivre-béryllium, nickel, or ou argent. L'isolant (le diélectrique) qui assure la séparation entre la broche et la masse est souvent du téflon (PTFE), qui pré-

sente de très faibles pertes en haute fréquence (il est utilisable jusqu'à 10 GHz environ). L'épaisseur du plaquage (or par ex.) sur les parties mobiles dépend principalement du nombre de manœuvres prévu par le fabricant.

Q Peut-on utiliser des adaptateurs (changeurs de genre) en HF ?

R Oui, mais attention ! Cela engendre encore plus de pertes, souvent non négligeables pour les connecteurs premier prix. Dans une liaison HF, il faut toujours éviter les changeurs de genre et les rallonges (toujours préférer un seul câble de 6 m à trois câbles de 2 m mis en série). Et si on envisage une liaison HF de plusieurs dizaines de mètres, on a intérêt à se préoccuper des pertes induites par le câble coaxial, qui peuvent prendre des proportions considérables !

Q Et pour les connecteurs utilisés en mesure ?

R On demande aux appareils de mesure d'être précis, fiables et

robustes. Sur un appareil de labo, on laisse souvent les câbles branchés. Mais il en va différemment pour les appareils nomades : leurs connecteurs doivent résister aux multiples connexions/déconnexions, mais aussi aux petits accidents de terrain (oui, je sais, on fait toujours attention). La prise BNC est sans doute la plus fréquente sur les oscilloscopes, elle permet de raccorder des sondes avec câble blindé à « haute impédance » ou des câbles de 50 Ω (mon premier oscilloscope était équipé de fiches bananes, mais sa bande passante était des plus limitées - oublions). Des appareils tels qu'analyseur de réseau vectoriel, analyseur de spectre ou wattmètre, possèdent souvent une fiche N, prévue pour un cordon coaxial d'impédance 50 Ω , et qui permet de travailler avec des signaux pouvant atteindre plusieurs GHz. ◀

(160537)

Lien

[1] Espace colorimétrique YUV : <https://en.wikipedia.org/wiki/YUV>



Figure 8. Connecteur pour très haute fréquence, mais qui ne supporte pas une puissance élevée.

gyropode, gyroskate...

comment ça marche ?

Thomas Scherer (Allemagne)

Noël approche, l'occasion de combler les enfants ou les petits-enfants, voire de se faire plaisir avec un cadeau amusant. Comme un Segway serait hors budget et qu'il y a déjà assez de vélos à la cave, on penche plutôt vers un *hoverboard*, n'est-ce pas ? On en trouve quantité et même à bon marché sur eBay, par exemple. Pour savoir comment ça marche, j'ai soulevé le capot d'un de ces engins.

La « trottinette » auto-équilibrée Segway est très amusante. Peut-être avez-vous déjà chevauché cet engin en vacances ou bien participé à un événement Segway pour l'essayer et découvrir le plaisir de ce mode de déplacement en pleine nature. Mais un Segway n'est pas seulement lourd et gros, il peut coûter jusqu'à 9 000 €. Si cher, qu'Elektor a présenté il y a quelque temps le Wheelie [1], une version attrayante, plus économique, qui a rencontré un vif succès.

Le temps passe, on a vu arriver des produits plus évolués ainsi que des variantes. L'américain Segway a été racheté par le fabricant

chinois de clones Ninebot Inc. qui propose des répliques moins chères (et de moindre qualité) en dessous de 2 700 €. Ninebot, en tant que filiale du géant de l'électronique Xiaomi, avait assez de capital pour assumer ce genre de transfert de technologie. Depuis lors, Ninebot commercialise, en plus du classique Elite et de diverses gyroroues, un mini-modèle d'un clone de Segway à moins de 1 000 €, le MiniPRO au prix incroyable de 520 €.

Comment est-ce possible, la sécurité ne fait-elle pas les frais de cette déflation ? À propos des clones Ninebot, l'internet parle de comportements aventureux et YouTube diffuse des vidéos qui montrent de violentes chutes. Il y en avait déjà avec les originaux de Segway, mais on les considérait comme les conséquences d'erreur de conduite ou de pure témérité. Même si les Ninebot ne sont pas irréprochables, que peut-on attendre de cette prolifération d'« *hoverboards* » depuis deux ans avec des prix toujours en baisse ?

Le principe

Wikipedia explique l'origine du terme gyropode et sa reconnaissance officielle par la Commission de terminologie et de néologie en 2009. Il s'agit d'un « véhicule électrique monoplace, constitué d'une plateforme munie de deux roues sur laquelle l'utilisateur se tient debout, d'un système de stabilisation gyroscopique et d'un manche de maintien et de conduite ». Il a été inventé par Segway en l'an 2000 et met à profit la technique de l'équilibre dynamique.

On notera que les modèles de nouvelle génération se passent du manche et du guidon, la conduite se fait uniquement par les pieds. C'est ce qu'on trouve sous l'appellation *hoverboard* (en fait un nom de marque), en bon français (sic !) gyroskate ou encore planche gyroscopique chez nos amis canadiens.

Les gyroskates ne présentent plus une plateforme simple, mais deux pédales avec une articulation au centre, cependant, le fonctionnement est identique aux gyropodes. L'engin de transport se déplace quand on incline le marchepied dans la direction souhaitée. Si l'on se penche légèrement en avant, les moteurs accélèrent pour rétablir l'équilibre. L'action contraire permet de reculer.

L'achat

Pour se faire une idée de la sécurité de ces planches gyroscopiques, la rédaction d'Elektor a décidé d'en acheter une. Selon

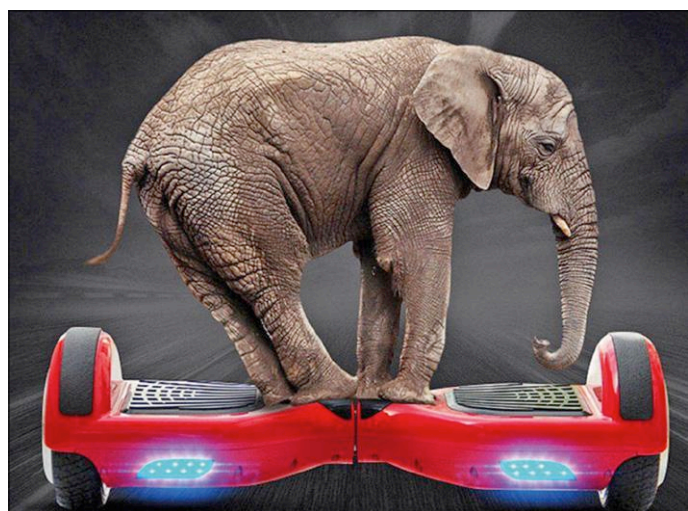


Figure 1. Petite exagération pour rire ? Un éléphant monté sur un *hoverboard*.



Figure 2. Le contenu du colis passé en revue.

Google, la plupart d'entre elles sont au meilleur prix sur eBay. Nous avons malgré tout effectué d'autres recherches sur la Toile. Et là, on peut tomber sur des exagérations impressionnantes, comme en témoigne de manière spectaculaire la **figure 1**.

Des recherches et comparaisons, il est ressorti non seulement que tous les modèles viennent de Chine, mais également qu'il n'y a en fait qu'un seul modèle. Ils sont proposés dans plusieurs gammes de prix, de nombreuses couleurs et avec une profusion de caractéristiques en tout genre pour lesquelles il faut avoir une imagination débridée. Dans pratiquement chaque pays, eBay dispose de milliers d'exemplaires à vendre. Question puissance, ils n'ont pas l'air très différents, ils ont tous deux moteurs de prétendument 350 W. Tous sont équipés d'un accumulateur au lithium de 35 V et 4,4 Ah, donc capables de fournir environ 150 Wh, ce qui devrait permettre de couvrir jusqu'à 20 km. Dans la plupart des cas, ils sont de marque Samsung. D'après les fournisseurs, les engins peuvent atteindre une vitesse de 12 à 16 km/h et supportent une charge de 120 kg.

Ils se différencient, en plus de la décoration et des couleurs, principalement par le diamètre des pneus. Il y en a avec des pneus en caoutchouc plein de diamètres de 6,5 et 8 pouces (à partir de 140 € et 170 €). Les modèles de luxe ont des pneus de 10 pouces avec chambre à air à partir de 230 € ou des pneus larges, gonflés aussi, de 8,5 pouces pour environ 250 €. On trouve aussi des housses de transport, des télécommandes et même un haut-parleur Bluetooth intégré qui, couplé à un ordiphone, permet de « polluer » l'environnement avec de la musique.

Sachant cela, j'ai choisi une variante à 10 pouces (sans le bidule Bluetooth) en noir discret [2]. Un clic et deux jours plus tard, le colis était là.

Inventaire de la livraison et préparation

On découvre à la **figure 2** le contenu bien rangé du colis livré : un *hoverboard* flambant neuf, décoré des fils de colle chaude de la fabrication, à gauche un câble secteur et le chargeur par-dessus le mode d'emploi.

Je dois dire que le câble secteur était tellement abîmé en trois endroits que le court-circuit était très probable, sans compter le risque de choc électrique. J'ai envoyé un courriel au fournisseur chinois et deux jours plus tard, j'ai reçu un paquet avec un nouveau câble expédié du dépôt en Allemagne. Et un nouveau chargeur qui ne s'imposait pas. Donc, un service épatant !

Une note dans la boîte informe que l'accu est vide et qu'il faut le charger avant l'emploi. Je m'y suis conformé et l'accu était plein après une heure et demie. Il ne lui manquait donc que 3 Ah. À ce stade, j'ai aussi constaté que les histoires racontées sur la Toile au sujet de gyroskates incendiés lors de la charge de l'accu n'étaient pas des légendes. La **figure 3** ne permet aucun doute sur la nécessité de laisser le chargeur dans un endroit dégagé et bien ventilé, il ne faut en aucun cas le couvrir.

Sous l'engin (**figure 4**), on trouve trois étiquettes. Celle de droite avec le sigle CE n'impressionne que si l'on ne sait pas que c'est le fabricant ou l'importateur qui les colle lui-même. Tout à droite, encore un conseil de sécurité. Un autre autocollant qui ne nous apprend pas grand-chose. À gauche se trouve le bouton de démarrage, à droite, la robuste prise tripolaire mâle d'alimentation.

Enfin, il me faut vous parler du « mode d'emploi », entre guillemets à juste titre. Il couvre quatre feuilles de papier au format A4. De ces huit pages, les deux en gros caractères n'ont



Figure 3. En peu de temps, le petit chargeur devient assez chaud.

qu'un modeste contenu. Au lieu du blabla sur le sigle CE entre autres et des avertissements pas vraiment déraisonnables, sur le port de vêtements de sécurité pour la conduite des gyroskates (casque, gants et genouillères), quelques informations de base pour les débutants n'auraient pas fait de tort. On peut réellement se blesser, surtout lors des premiers essais et endommager le mobilier de la maison ! Pour y suppléer, j'ai rassemblé quelques conseils dans l'encadré **Le pied à l'étrier pour débutants**. Si après les avoir lus vous persistez à vouloir acheter un tel engin, étudiez-les bien !

L'intérieur

Un technicien ne fait confiance qu'à ce qu'il connaît. Il faut enlever le couvercle en plastique du dessous pour voir ce qu'il y a à l'intérieur. Les **figures 5** et **6** montrent les ailes gauche et droite. On remarque d'abord le cadre métallique en aluminium



Figure 4. Les étiquettes sur le fond du gyroskate.



Figure 5. L'intérieur de l'aile gauche avec la pédale et la batterie.

Le pied à l'étrier pour débutants

Le plus important : ayez confiance dans le gyroskate !

Cela peut paraître d'emblée paradoxal, mais vous le verrez, le principe de base du gyroskate est d'assurer l'équilibre de concert avec le conducteur. Si vous êtes debout sur le sol et que vous essayez de monter sur le gyroskate, en vous efforçant de garder votre équilibre, vous allez avoir des problèmes. Les deux systèmes de régulation du comportement dynamique obéissent à des règles différentes, avec des vitesses de régulation et des amplitudes différentes. Cela ne peut que mal se terminer ! Laissez l'engin s'occuper de l'équilibre et en quelques secondes vous aurez une première sensation du comportement de l'appareil.

Voici comment procéder à vos premiers essais.

- Posez le gyroskate sur une surface aussi lisse que possible, un sol en béton est idéal. Prenez votre temps.
- Il y a en dessous un bouton métallique (cf. figure 4). Poussez dessus, un symbole vert s'allume de l'autre côté.
- Mettez un pied horizontalement sur une pédale. L'engin ne distingue pas la gauche de la droite, il roule très bien dans les deux sens. Au contact, la lampe verte brille nettement.
- Inclinez alors doucement le pied et sentez comment l'appareil réagit. Rien que de légers mouvements, sinon, il s'enfuit et heureusement s'éteint.
- On arrive au point de non-retour, montez dessus. Laissez le premier pied là où il est et posez l'autre sur la deuxième pédale. Ni trop lentement ni trop vite, sans se presser.
- Dès que vous êtes en confiance avec l'engin, restez-y bien. Il devrait se maintenir stable et ne bouger que très peu. Après cela, restez un moment debout et sentez les mouvements de stabilisation de l'engin.
- Alors, penchez-vous lentement vers l'avant. Vous avancez. Vous découvrirez intuitivement comment avancer et reculer. Exercez-vous prudemment.
- Maintenant, vous pouvez essayer d'incliner les pieds en opposition, l'un vers le haut, l'autre vers le bas. De cette manière, le côté abaissé avance et l'autre recule : vous tournez sur place.
- Faites le contraire pour tourner dans l'autre sens. Essayez d'inverser. Cette façon de faire n'est pas très intuitive, mais elle est importante.
- Reste à combiner la marche avant et le virage pour décrire des courbes. En quelques minutes vous aurez pris confiance.

Il convient de mettre en garde les enfants. Dès qu'ils pensent pouvoir maîtriser la planche gyroskopique, ils s'enhardissent. Une courbe rapide pourrait leur rappeler douloureusement ce qu'est la force centrifuge. Vous pouvez aider un débutant en lui prêtant une main sûre. C'est moins un soutien réel que psychologique.

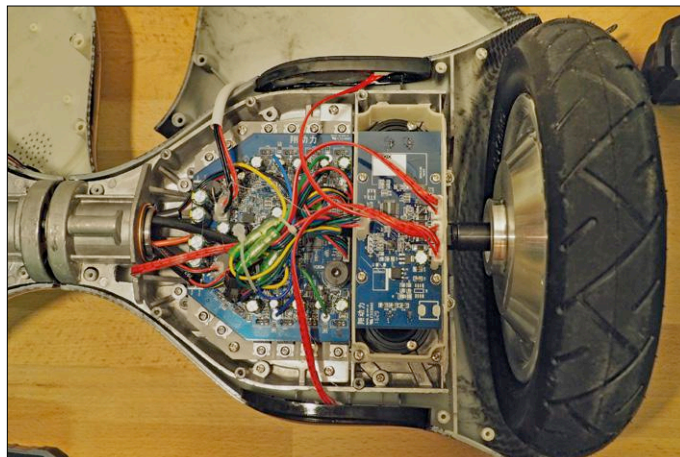


Figure 6. Dans l'aile droite, la carte mère et le circuit de pédale.

injecté. La partie gauche contient la batterie sous manteau bleu, dans la droite se loge la carte mère avec les douze MOSFET de puissance pour les 2x3 demi-ponts qui commandent les deux moteurs à CC sans balais (BLDC). À proximité de chaque roue se trouve une carte de traitement des signaux du marchepied. Au milieu se trouve l'articulation (**figure 7**), un composant actif avec capteurs d'angle (les câbles rouges à gauche et à droite).

On voit à la **figure 8** comment un poussoir en caoutchouc, mu par la pédale de l'autre côté actionne la barrière lumineuse fourchue, soudée sur la carte bleue du circuit. Manifestement, on a eu davantage de confiance dans l'optique que dans la mécanique. À la **figure 9**, la carte est démontée et retournée de manière à bien voir les deux barrières lumineuses. Sur la droite, on remarque les deux poussoirs en caoutchouc entre lesquels se situe la fixation de l'axe aplati du moteur de droite.

Venons-en à la batterie. Je voulais savoir si elle était bien composée d'accumulateurs Samsung. Je l'ai donc déshabillée de son enveloppe en plastique bleu. À l'intérieur, j'ai trouvé des accus du commerce au lithium-ion du type 18650, très vraisemblablement des LiCoO₂, montés par deux en parallèle et les dix paires en série, ce qui mène à l'appellation 10s2p et donne une tension nominale de 36 V. Il n'y a nulle part d'inscription

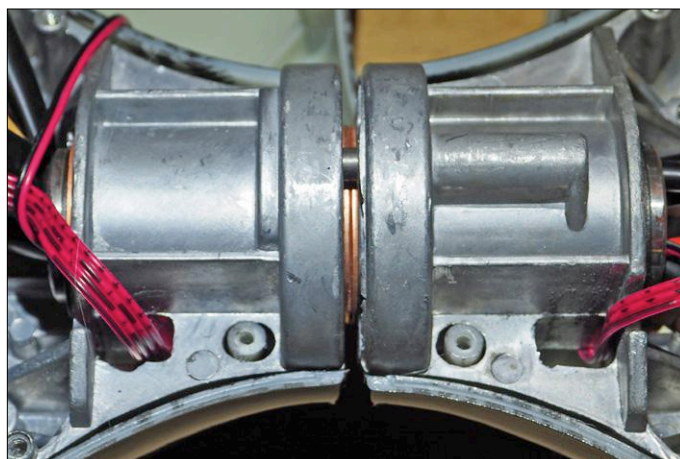


Figure 7. L'articulation relie les deux ailes entre elles.

Samsung, il s'agit plutôt de produits blancs. Il manque aussi l'indication de la capacité en Ah. Mais à la **figure 10**, on peut lire en clair et net 7,2 Wh, ce qui, pour des cellules de 3,6 V, débouche sur une capacité de 2 A par accu. La batterie a donc une capacité totale de 4 Ah au lieu des 4,4 Ah annoncés, 10 % de moins. Mais on ne chicanera pas, toute cette technique pour seulement 230 €, on en a pour son argent.

Impression de conduite et conclusion

Avant tout je précise que j'ai non seulement un « permis de conduire Segway » (à une époque c'était requis dans certaines régions allemandes), mais aussi une pratique suffisante de la conduite du Segway et de nombreuses constructions « maison » du monde des *makers*. Je me suis rarement senti moins en sécurité sur un scooter électrique auto-équilibré que sur l'*hoverboard*. Même après une heure, j'étais bien loin de manœuvrer de manière aussi intuitive que comme sur un Segway après cinq minutes. À quoi cela tient-il ?

► Tenir en équilibre sur de petites roues

Premièrement, on négocie ici les courbes en inclinant les pieds. C'est drôlement moins intuitif que de « s'inscrire » dans la courbe avec un gyropode à manche de conduite où s'équilibrent les forces centrifuge et de gravité. Si vous prenez une courbe à vive allure, vous devez estimer la force à appliquer pour vous maintenir dans la courbe, vous devez donc équilibrer vous-même. Et toute réaction demande du temps. En outre, il est difficile de coordonner l'angle d'inclinaison des pieds l'un par rapport à l'autre avec l'inclinaison du corps dans la courbe. La deuxième raison, c'est la puissance des moteurs. Elle est indiquée à 2×350 W, je veux bien le croire. Mais un Wheelie avait 2×500 W et d'autres clones facilement 2×1 kW. Quant au Segway original, il fournit une puissance de pointe de $2 \times 1,5$ kW. L'*hoverboard* est tout simplement faiblard. Et pour ce qui est de la charge permise de 120 kg, je fronce les sourcils, parce qu'avec mes 90 kg, parler d'accélération est un euphémisme. Et avec si peu de puissance, le meilleur des réglages n'apporterait que peu d'effet.

S'ajoute à cela que des roues de 10 pouces sont encore bien petites pour vaincre les inégalités du terrain. Ma tentative de rouler sur la pelouse derrière la maison, qui n'est certes pas conforme au standard anglais, je l'ai écourtée après 10 m avec des perles de sueur au front.

L'*hoverboard* est donc un jouet. Il ne faut l'utiliser que sur sol lisse, sans pierres et en portant un équipement de protection, ne jamais monter dessus sans casque. Les plus âgés feraient bien de s'abstenir, seuls les jeunes ont encore la rapidité et les compétences sensori-motrices nécessaires. D'ailleurs, ils sont moins lourds. Je déconseille de laisser un enfant de moins de dix ans rouler, et certainement pas dans la rue, ce qui n'est de toute façon pas autorisé. Là non plus, les nombreuses étiquettes CE n'aideront en rien. Pour le reste, sachez que l'*hoverboard* a survécu au démontage... ◀

(160508 – version française : Robert Grignard)

Liens

[1] Elektor Wheelie : www.elektormagazine.fr/090248

[2] Hoverboard noir 10" sur eBay : <https://goo.gl/S9rzPS>

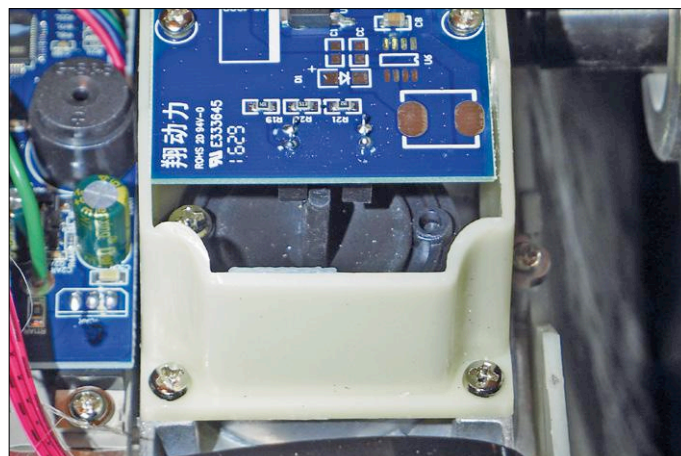


Figure 8. Le circuit de pédale se compose d'un poussoir en caoutchouc et d'une barrière lumineuse.

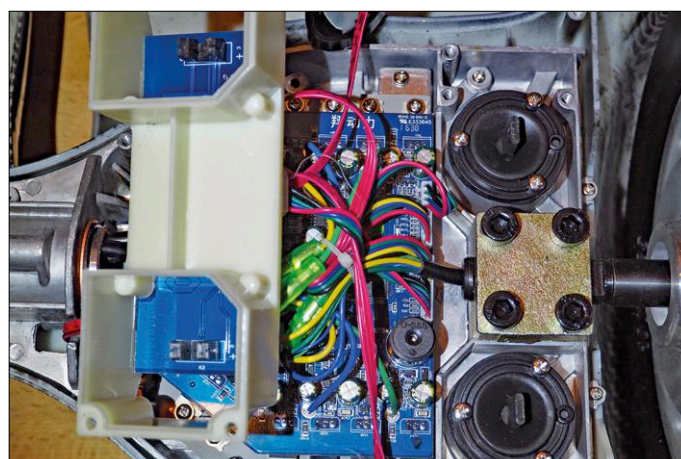


Figure 9. Vue sur le circuit de pédale : deux poussoirs et la barrière lumineuse ainsi que la fixation de l'axe de roue.

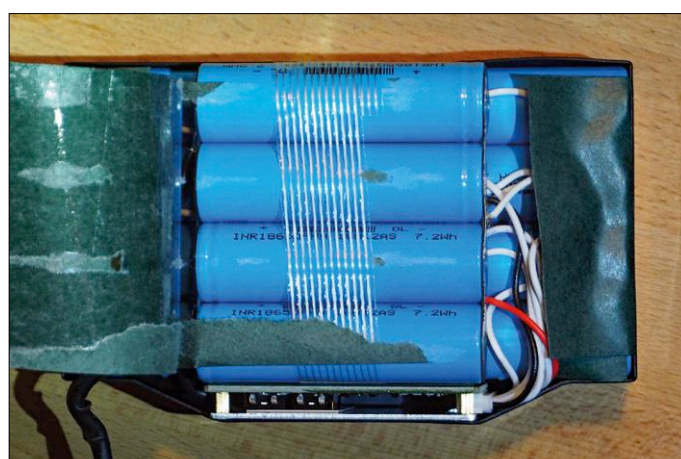


Figure 10. La batterie déballée : aucune trace de la marque Samsung.



Un événement oublié ?

Vous organisez une conférence, un salon... ou bien vous participez à un séminaire ou tout autre événement qui aurait sa place ici, partagez cette information avec tous les lecteurs. Envoyez-nous tous les détails à redaction@elektor.fr.

novembre 2017

- ◇ **Game Connection Europe 2017**
01 au 03/11 – Paris
www.game-connection.com/
- ◇ **Paris Game Week**
01 au 05/11 – Paris
www.parisgamesweek.com/
- ◇ **Professionnal Lighting Design Convention**
01 au 04/11 – Paris
<https://pld-c.com/>

- ◇ **Radiomania 2017**
(techniques de reproduction sonores et visuelles anciennes)
05/11- Clermont-Ferrand
<http://radiomania.pagesperso-orange.fr/>

- ◇ **Batimat & Interclima+Elec**
07 au 10/11 – Paris
www.interclimaelec.com/

- ◇ **NIDays**
(événement National Instruments)
07/11 – Paris
france.ni.com/nidays

- ◇ **Composite Meetings**
(matériaux composites)
08 au 09/11 – Nantes
<http://france.compositesmeetings.com/>

- ◇ **SATIS & SCREEN 4 ALL**
08 au 09/11 – Paris
www.satis-expo.com/

- ◇ **Salon de la photo**
09 au 13/11 – Paris
www.lesalondelaphoto.com/

- ◇ **Epoqu'Auto** (automobiles anciennes)
10 au 12/11 – Lyon
www.epoquauto.com/

- ◇ **Salon du Made In France**
10 au 12/11 – Paris
www.mifexpo.fr

- ◇ **Educathec/Educaticce**
15 au 17/11 – Paris
www.educatec-educaticce.com/

- ◇ **Assises nationales de l'éolien terrestre**
16/11 – Paris
www.assises-nationales-eolien.fr/

- ◇ **Semaine Européenne de la Réduction des Déchets**
18 au 26/11 – partout en France et Europe
www.serd.ademe.fr/ & www.ewwr.eu/



- ◇ **Jicable HVDC'17 (HVDC Cable Systems)**
20 au 22/11 – Dunkerque
<http://jicable-hvdc17.fr/>

- ◇ **JTSE (Journées Techniques du Spectacle et de l'Événement)**
21 au 22/11 – Paris
www.jtse.fr/fr/accueil/

- ◇ **Assises de l'embarqué**
24/11 – Paris
www.assisesdelembarque.fr/

- ◇ **RailExpo** (modélisme ferroviaire)
24 au 25/11 – Chartres
www.traversesdessecondaires.fr/railexpo-2017/

- ◇ **Trustech** (pay | identify | connect & secure)
28 au 30/11 – Cannes
www.trustech-event.fr/

décembre 2017

- ◇ **NAUTIC**
02 au 10/12 – Paris
www.salonnautiqueparis.com/

- ◇ **Paris Open Source Summit**
(salon européen dédié à Linux et aux logiciels libres)
06 au 07/12 – Paris
www.opensourcesummit.paris/?lg=fr

- ◇ **Waste Meetings** (recyclage, traitement et valorisations des déchets)
06 au 07/12 – Lyon
www.wastemeetings.com/fr/

- ◇ **World Efficiency Solutions** (ressources et climat)
12 au 14/12 – Paris
www.world-efficiency.com/

- ◇ **Energaia** (forum des énergies)
13 au 14/12 – Montpellier
<http://energaia.fr>



- ◇ **ForumLED**
13 au 14/12 – Lyon
www.forumled.com
Elektor partenaire presse

Elektor partenaire presse

X7R, Y5V, NP0, quesaco ? pourquoi les condensateurs en céramique ne se valent-ils pas tous ?

Robert Lacoste (Chaville)

Dans mes deux précédents articles, je vous ai montré que des composants aussi élémentaires que les condensateurs pouvaient être farceurs : un condensateur déchargé peut se recharger tout seul (cf. [1]), ou se comporter comme une inductance (cf. [2]).

Nous arrivons au dernier épisode de cette mini-série sur les condensateurs.

Avez-vous déjà vu des acronymes comme « C0G », « X7R » ou « Y5V » sur une liste

de composants ? Savez-vous ce que cela signifie ? Pensez-vous possible qu'un condensateur de 10 μF puisse présenter une capacité de 1 μF dans votre circuit, et ce sans être pour autant en panne ? Bienvenue dans le joyeux monde des céramiques !



Condensateurs MLCC ?

Tout d'abord quelques rappels : prenez deux électrodes conductrices parallèles, isolées par une couche diélectrique, vous avez un condensateur. Sa capacité, exprimée en farads, est simplement proportionnelle à la surface des électrodes et inversement proportionnelle à l'épaisseur du diélectrique. Enfin, elle est proportionnelle à une constante appelée permittivité relative du diélectrique, qui peut aller de un pour un condensateur à air à

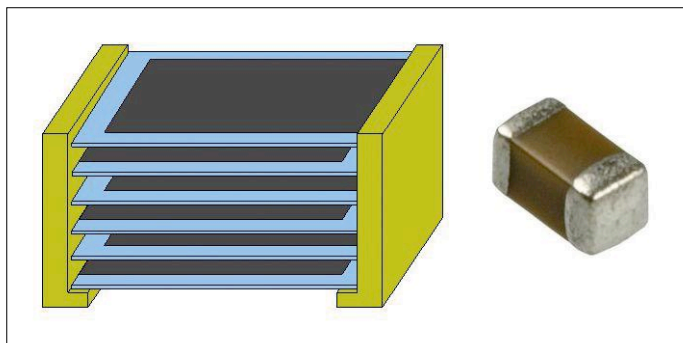


Figure 1. Structure d'un condensateur en céramique multicouche.

plusieurs milliers pour certains types de céramiques (c'est la raison pour laquelle un condensateur céramique est plus petit qu'un condensateur à air...).

Selon Steven Dufresne (« Histoire du condensateur », cf. [3] et [4]), les premiers condensateurs fabriqués par Marconi pour ses expériences sans fil utilisaient de la porcelaine comme diélectrique. Ensuite, les condensateurs au mica ont été inventés en 1909 par William Dubilier, ils sont plus compacts et stables que ceux à porcelaine. Au cours de la 1^{re} Guerre mondiale, l'Allemagne était cruellement en manque de mica et a expérimenté d'autres matériaux. La céramique s'est révélée être une très bonne solution ! Cette technologie a fait un second bond dans les années 60. Les États-Unis avaient désespérément besoin de condensateurs de valeur assez élevée, mais très compacts pour les programmes Apollo : le « condensateur céramique multicouche » était né (MLCC, pour *Multi Layer Ceramic Capacitor*). Son principe est simple : plusieurs couches de diélectrique en céramique sont simplement empilées, avec une métallisation entre chaque couche et une connexion des couches alternées sur les bords du composant, comme illustré sur la **figure 1**. Bien sûr, la miniaturisation est sans fin, vous trouverez facilement des condensateurs MLCC en boîtiers CMS

de type 0201 (0,024 × 0,012 pouce, soit 0,5 × 0,3 mm)... Même avec une taille aussi petite, ces condensateurs MLCC peuvent avoir plus de 500 couches diélectriques empilées, chacune d'environ 0,5 µm d'épaisseur. En conséquence, le champ électrique entre chaque paire de couches est très élevé, jusqu'à 32 V/µm pour un composant de 16 V de tension de service. Cela ne vous impressionne pas ? Et si je vous dis que cela correspond à 32 millions de volts par mètre !

Wikipédia [5] donne un autre chiffre impressionnant : mille milliards (10¹²) de condensateurs céramiques sont utilisés par an, soit une moyenne de plus de cent condensateurs par an et par humain sur terre !

Si vous êtes intéressé par la technologie MLCC, lisez donc le très bon article sur leur processus de fabrication publié par Johanson Technology (cf. [6]).

Classes de céramiques

Rentrons maintenant dans le détail. Il y a une céramique et un condensateur, selon les applications. La Commission électrotechnique internationale (CEI) a défini deux classes de céramiques, nommées bien sûr classe 1 et classe 2. En un mot, les céramiques de classe 1 sont optimisées pour être précises et stables en température. Par conséquent, les condensateurs de classe 1 trouvent leur place dans des circuits comme les oscillateurs et autres circuits résonnants : circuits d'adaptation d'impédance, filtres de fréquence, etc. Afin d'obtenir une bonne stabilité, ces condensateurs utilisent des céramiques de permittivité relativement faible (20 à 100). On ne peut donc fabriquer avec ces céramiques que des condensateurs de petites valeurs pour un encombrement donné. La limite varie selon les fabricants et la gamme de tension, mais par ex. des condensateurs de classe 1 de valeurs supérieures à 10 nF n'existent pas en boîtier CMS 0603.

À l'inverse, les condensateurs de classe 2 sont optimisés pour une efficacité volumétrique maximale, c'est-à-dire pour offrir la capacité la plus élevée possible dans un volume donné, quitte à ne pas être précis. Ils trouvent donc leur place dans le découplage des alimentations et des signaux. Évidemment, ces condensateurs utilisent des céramiques de permittivité diélectrique très élevée (jusqu'à 15 000), comme le titane de baryum. Les condensateurs de classe 2 existent pour toutes les valeurs, de quelques pF à des dizaines de µF, et même dans de petits boîtiers CMS. Évidemment un condensateur de classe 2 est moins cher qu'un modèle de classe 1 lorsque les deux existent pour une même valeur.

Comment s'y retrouver ? À l'aide du code de la céramique utilisée, qui est normalisé. En fait c'est un poil plus compliqué vu qu'il y a comme souvent deux normes... La norme internationale officielle est la norme CEI 60384-1 (transposée en norme NF). Cependant, les fabricants préfèrent souvent utiliser l'ancienne norme RS-198 publiée par l'Alliance des industries électroniques (*Electronic Industry Association*, EIA), même si cette alliance n'existe plus depuis 2011... Entrons dans les détails en commençant par la classe 1 (**tableau 1**). Comme les condensateurs de classe 1 sont compensés en température, le code international CEI de la céramique indique simplement le coefficient de température. Un condensateur de type « P100 » présente un coefficient de température positif de 100 ppm (partie par million) par degré, alors qu'un « N470 » a une pente négative de -470 ppm par degré. Enfin, la variante la plus courante est

Tableau 1.
Codage des céramiques de classe 1, selon la norme CEI 60384-8 et l'ancienne norme EIA RS-198.

Type de céramique CEI	Coefficient de température α (10 ⁻⁶ /K)	Tolérance α (10 ⁻⁶ /K)	Code CEI	Code EIA
P100	100	±30	AG	M7G
NP0	0	±30	CG	C0G
N33	-33	±30	HG	H2G
N75	-75	±30	LG	L2G
N150	-150	±60	PH	P2H
N220	-220	±60	RH	R2H
N330	-330	±60	SH	S2H
N470	-470	±60	TH	T2H
N750	-750	±120	UJ	U2J
N1000	-1000	±250	QK	Q3K
N1500	-1500	±250	VK	P3K

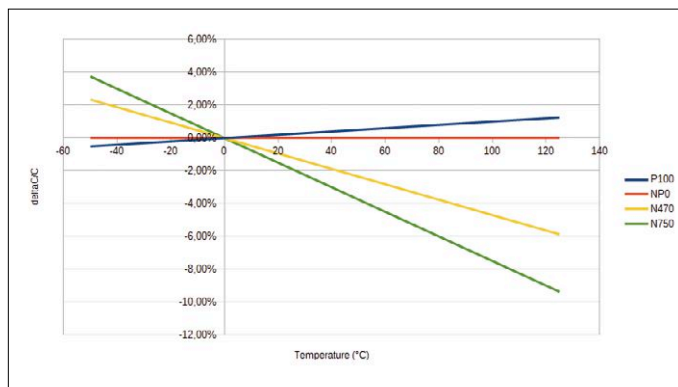


Figure 2. Ce graphique montre la variation théorique de la capacité des condensateurs de classe 1 en fonction de la température. La variante NP0 est optimisée pour être stable.

la « NP0 », optimisée pour être stable quelle que soit la température (facile à retenir : ni **N**égatif ni **P**ositif, donc NP). Le graphique de la **figure 2** montre la variation de la capacité en fonction de la température pour ces différents types de classe 1. Enfin, sachez que dans la norme EIA, « NP0 » s'écrit « C0G », donc un condensateur NP0 est de même type qu'un C0G.

Les condensateurs en céramique de classe 2 sont codés différemment, car ils n'ont pas de compensation de température (**tableau 2**). Ici, il n'y a pas une correspondance stricte entre les deux normes, mais l'esprit est le même : une céramique de classe 2 est d'abord définie par sa plage de température autorisée (deux premières lettres dans EIA ou dernière lettre pour CEI). La deuxième caractéristique est la variation de la capacité autorisée sur cette plage de température (dernière lettre pour EIA et les deux premiers caractères pour CEI). Voici quelques exemples courants : une céramique appelée X7R par l'EIA est utilisable de -55 °C (« X ») à +125 °C (« 7 »). Dans cette plage de température, la capacité peut varier de ±15% (« R »). Une telle céramique est appelée 2X1 dans la norme CEI (« 2X » = ±15%

Tableau 2. Codage des céramiques de classe 2 selon la norme EIA RS-198 et la norme CEI 60384-9. Les céramiques les plus courantes sont X5R, X7R et Y5V.

Codes pour la classe 2 selon la norme EIA RS-198

1 ^{er} caractère : température minimale		2 ^e caractère : température maximale		3 ^e caractère : variation max. sur la plage de température	
Car.	Temp. (°C)	Num.	Temp. (°C)	Car.	Variation (%)
Z	+10	2	+45	A	±1,0
Y	-30	4	+65	B	±1,5
X	-55	5	+85	C	±2,2
-	-	6	+105	D	±3,3
-	-	7	+125	E	±4,7
-	-	8	+150	F	±7,5
-	-	9	+200	P	±10
-	-	-	-	R	±15
-	-	-	-	S	±22
-	-	-	-	T	+22, -33
-	-	-	-	U	+22, -56
-	-	-	-	V	+22, -82

Codes pour la classe 2 selon la norme CEI/EN 60384-9/22

Code de la variation de capacité	Variation max. de capacité $\Delta C/C_0$ pour $U = 0$	Variation max. de capacité $\Delta C/C_0$ pour $U = U_N$	Code de la plage de température	Plage de température
2B	±10%	+10/-15%	1	-55 à +125 °C
2C	±20%	+20/-30%	2	-55 à +85 °C
2D	+20/-30%	+20/-40%	3	-40 à +85 °C
2E	+22/-56%	+22/-70%	4	-25 à +85 °C
2F	+30/-80%	+30/-90%	5	-10 à +70 °C
2R	±15%	-	6	+10 à +85 °C
2X	±15%	+15/-25%	-	-

et « 1 » = -55 à +125 °C). Une autre céramique classique de classe 2 à faible coût est la Y5V (une plage de température limitée de -30 à + 85 °C, et une plage de variation de +22% à -82%). Jetez un coup d'œil aux courbes de la **figure 3**, vous aurez une idée de la variation de la capacité en fonction de la température pour ces deux types de céramique. Vous aurez sûrement remarqué que la variation de capacité à cause de la température est vraiment monstrueuse pour certains condensateurs de classe 2 : jusqu'à 80% de variation pour un Y5V !

Vieillessement

Les surprises ne vont pas s'arrêter là. Tous les condensateurs vieillissent avec le temps, et en particulier ceux de classe 2. Pour être plus exact : en général leur capacité diminue au fil des ans. Ce phénomène, causé par les migrations physiques des atomes à l'intérieur du diélectrique, peut être significatif : de l'ordre de 2,5% après dix heures d'utilisation pour les X7R et jusqu'à 7% pour les Y5V ! Sachez que le vieillissement est un phénomène logarithmique. Par exemple pour un Y5V de 1µF, sa valeur sera inférieure de 7% après 10h d'utilisation, puis réduite de 14% après 100h, de 21% après 1000h, etc. La bonne nouvelle c'est que les diélectriques de classe 1 ne souffrent pas beaucoup du vieillissement.

La classe 2 présente quand même une propriété réjouissante : le vieillissement est réversible. Si vous chauffez suffisamment

un condensateur de classe 2, il reviendra à sa valeur initiale ! Ensuite, le processus de vieillissement recommence. La température de seuil est le point de Curie de la céramique, soit environ 125 °C. Si vous laissez un condensateur de classe 2 à cette température pendant une heure environ, sa structure cristalline est censée être restaurée dans son état d'origine. Encore une chose à tester !

Effet microphonique

Un autre problème avec les condensateurs en céramique, et surtout ceux de classe 2, est l'effet microphonique ou piézoélectrique. Si vous placez par inadvertance un condensateur en céramique devant un haut-parleur, sa valeur variera en fonction de l'onde acoustique. C'est l'une des raisons pour laquelle les audiophiles évitent les condensateurs en céramique. Les condensateurs au tantale par ex. ne présentent aucun effet microphonique significatif.

Et la tension continue ?

Terminons avec le problème souvent le plus méconnu et le plus pénible des condensateurs en céramique : la stabilité en tension. Physiquement, tout matériau de permittivité élevée présente une variation de sa permittivité relative en fonction de la tension continue appliquée. Cela implique qu'un condensateur en céramique présente une capacité différente lorsqu'il est uti-

lisé à 1 V ou à 2 V. Ce changement est lié au champ électrique entre les électrodes, donc c'est surtout un problème pour les condensateurs de petite taille et de grande capacité, c'est-à-dire pour ceux de classe 2. En règle générale, la variation de capacité sur la plage de tension utilisable d'un tel condensateur est à peu près la même que sa variation en température : 20% pour un X7R, mais jusqu'à 80% pour un Y5V.

Expérimentons !

À ce stade, vous devriez douter. Dans un circuit ordinaire, est-il vraiment possible d'avoir des variations de capacité aussi énormes ? Une petite expérience est donc la bienvenue. Je vous propose pour cela un petit circuit de test, plus ou moins basé sur une idée publiée par Maxim dans son tutoriel 5527 (cf. [8]). L'idée est très simple, il suffit de câbler un petit oscillateur astable autour d'un vénérable NE555 (fig. 4). Dans un tel circuit, la période du signal de sortie est directement proportionnelle à la valeur d'un condensateur, ici C2. Il suffit alors de connecter un fréquencemètre à la sortie, configuré pour mesurer la période du signal, et on a un capacimètre. Pour simplifier la lecture, j'ai calculé les résistances pour avoir une période de 10 ms pour 1 μ F. La manip complète est illustrée sur la figure 5. J'ai soudé un petit condensateur CMS en boîtier 0603 sur un adaptateur de test SO8. Ensuite j'ai testé un X7R puis un Y5V, tous deux avec une capacité de 1 μ F et

spécifiés pour 10 V. Enfin, j'ai ajouté une tension continue aux bornes du condensateur. Pour cela, j'ai simplement débranché la patte du condensateur côté masse et je l'ai connectée à la sortie d'une alimentation de labo, comme illustré sur le schéma. En théorie, l'ajout d'une tension continue ne modifie pas la fréquence de sortie de l'oscillateur, car cette tension continue est bloquée par le condensateur.

Que se passe-t-il lorsqu'on fait varier cette tension continue ? Et bien c'est plus qu'impressionnant ! La figure 6 montre les résultats : sur l'axe horizontal l'amplitude de la tension de décalage de -5 V à +5 V, sur l'axe horizontal la capacité mesurée. Avec le condensateur X7R, j'ai mesuré une variation de +10 à -40%, ce n'est déjà plus de l'ordre du négligeable. Mais avec un Y5V, j'ai mesuré +20% avec une polarisation continue de 2,5 V et jusqu'à -90% pour une polarisation de -5 V. Réfléchissez ! -90%, cela signifie que mon condensateur marqué 1 μ F présentait une capacité de 100 nF avec une telle polarisation continue !

Regardez à nouveau cette courbe : vous verrez que la capacité maximale est obtenue pour une polarisation DC de +2,5 V pour les deux technologies. Ce n'est pas une surprise, car le NE555 est alimenté sous 5 V : une polarisation de 5 V/2 = +2,5 V annule la tension continue moyenne dans le condensateur, et réduit donc au minimum le champ électrique moyen à l'intérieur de la céramique.

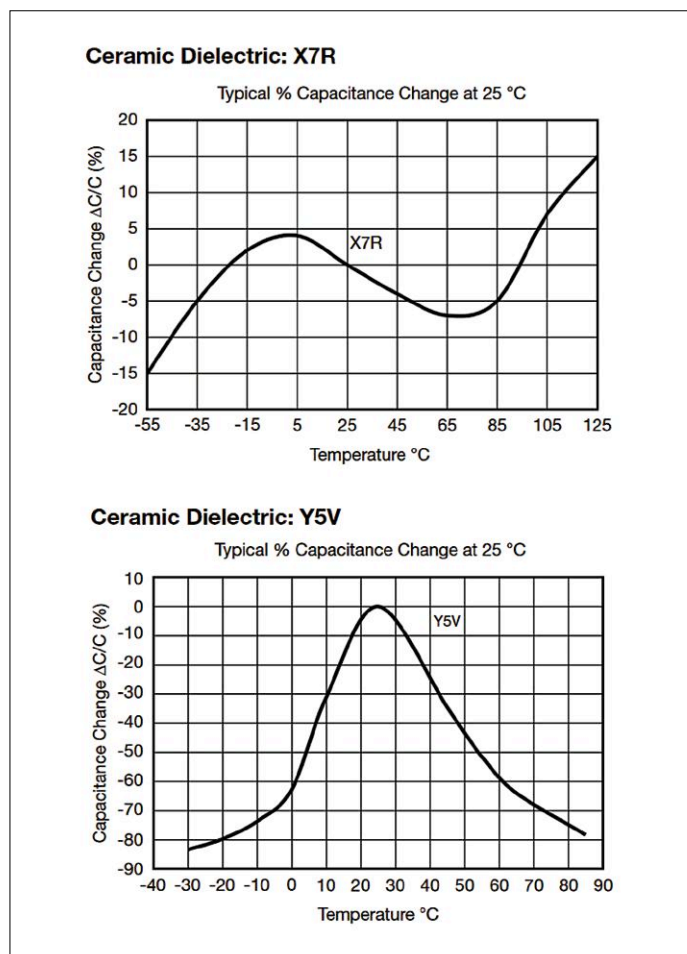


Figure 3. La capacité des condensateurs en céramique de classe 2 varie fortement en fonction de la température ; ici la variation pour les céramiques X7R et Y5V (source : Vishay).

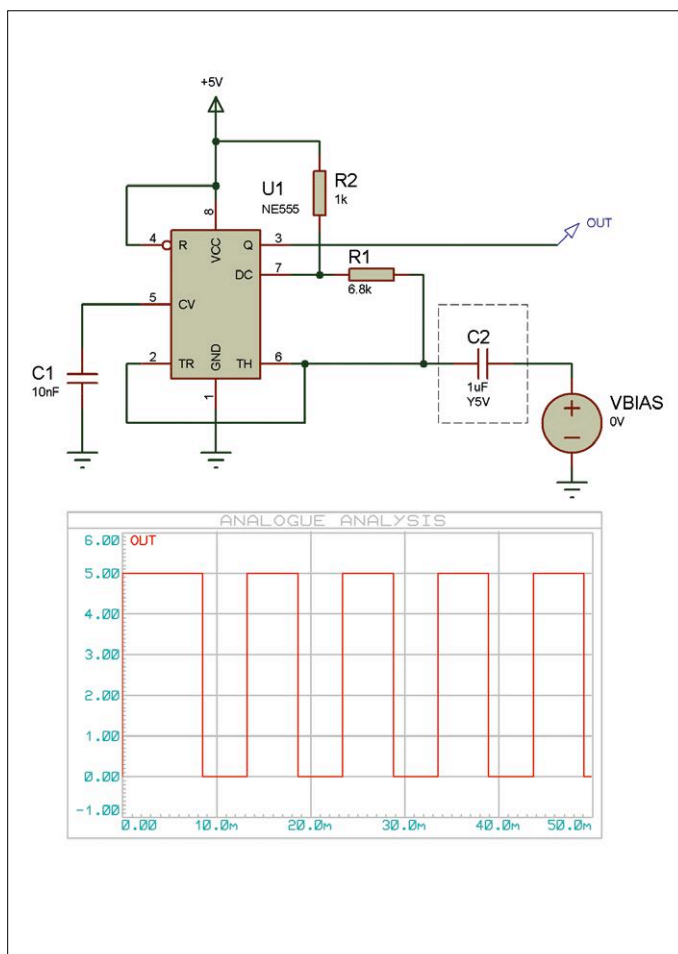


Figure 4. Un petit NE555 sert à mesurer la stabilité en tension d'un condensateur, en ajoutant simplement une source de polarisation continue en série avec le condensateur testé.

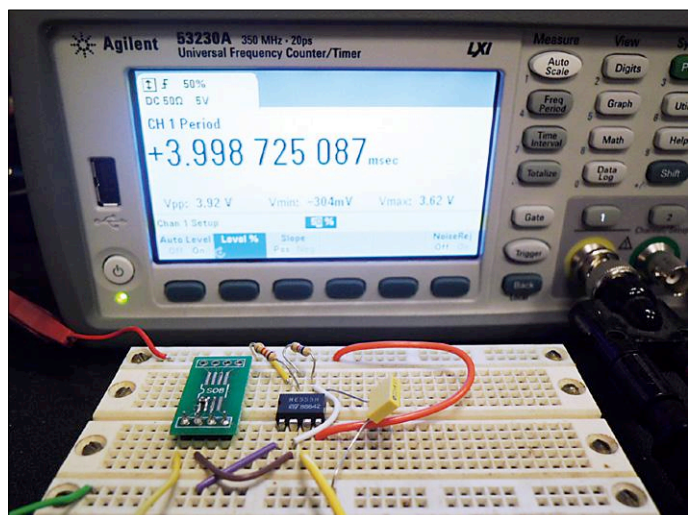


Figure 5. Voici ma configuration de test. Le fréquencesmètre mesure la période du signal produit par le NE555, directement proportionnel à la valeur du condensateur.

Pour conclure

J'espère que vous avez apprécié ce voyage dans le monde des condensateurs en céramique. Même ces composants rudimentaires ne sont pas aussi simples qu'ils le paraissent. J'espère que vous avez retenu que tous les condensateurs en céramique ne se valent pas. Pour certaines applications, vous pouvez utiliser n'importe lequel d'entre eux, mais pas pour d'autres ! Afin d'éviter les déboires, il est judicieux de réfléchir au cas par cas pour choisir un NP0, un X7R, voire un Y5V. Sinon, la célèbre Loi de Murphy (cherchez donc sur la toile...) frappera et votre projet ne fonctionnera pas.

Enfin, et comme toujours, je vous encourage à expérimenter par vous-même. La petite expérience décrite dans cet article est très facile à reproduire ; si vous n'avez pas de fréquencesmètre, prenez un haut-parleur, n'importe quelle carte Arduino ou l'en-

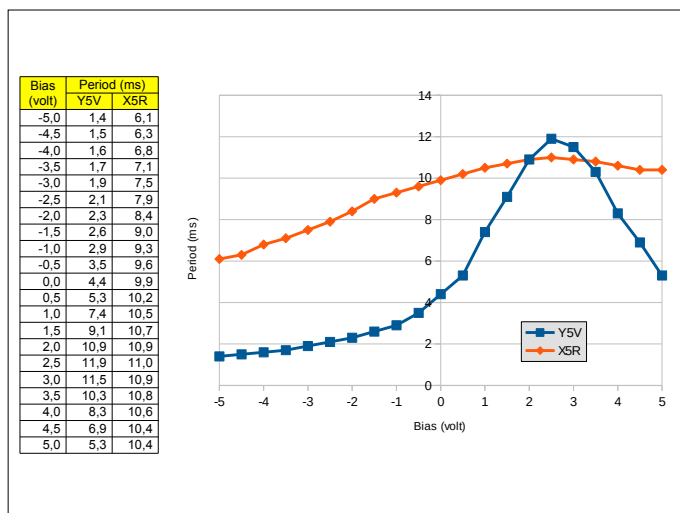


Figure 6. Les résultats sont impressionnants : avec la céramique Y5V, la capacité varie de plus de 80% pour quelques volts !

trée son de votre PC ! Comme l'a bien dit Einstein : « La seule source de connaissance est l'expérience ». Amusez-vous !

(160575)

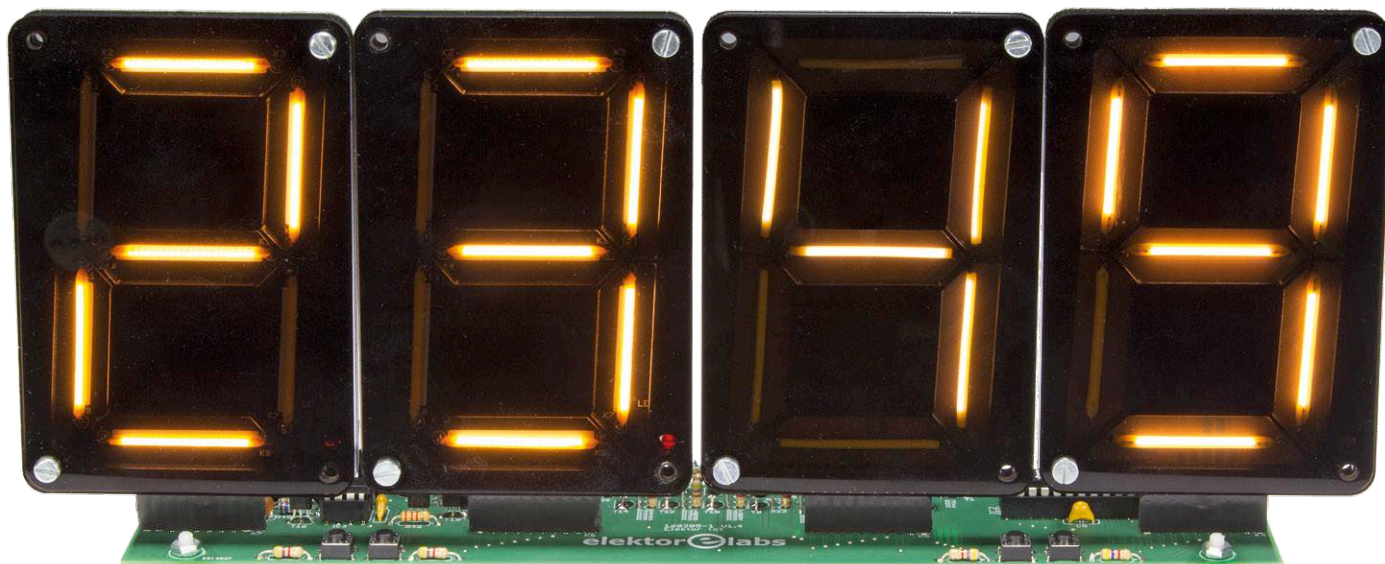
Cet article a été publié dans la revue Circuit Cellar (n°321, avril 2017).

Liens et ressources

- [1] Article hors circuits « des condensateurs qui se rechargent tout seuls, attention à l'absorption diélectrique », Elektor 07-08/2017 : www.elektormagazine.fr/160500
- [2] Article hors circuits « composants parasites- condensateur métamorphosé en inductance », Elektor 09-10/2017 : www.elektormagazine.fr/160547
- [3] *History of the Capacitor – The Pioneering Years*, Steven Dufresne : <http://hackaday.com/2016/07/12/history-of-the-capacitor-the-pioneering-years>
- [4] *History of the Capacitor – The Modern Era*, Steven Dufresne : <http://hackaday.com/2016/07/26/history-of-the-capacitor-the-modern-era>
- [5] Wikipedia, Ceramic Capacitor : https://en.m.wikipedia.org/wiki/Ceramic_capacitor
- [6] *Basics of Ceramic Chip Capacitors*, John Maxwell, Director of Product Development : <http://www.johanson-dielectrics.com/basics-of-ceramic-chip-capacitors>
- [7] *Dielectric aging phenomena*, Circuit Designer's Notebook – Richard Fiore, AT Ceramics Corp : http://www.atceramics.com/Userfiles/dielectric_aging.pdf
- [8] *Temperature and Voltage Variation of Ceramic Capacitors, or Why Your 4.7µF Capacitor Becomes a 0.33µF Capacitor*, Tutorial 5527, by Mark Fortunato, Senior Principal Member of Technical Staff, MAXIM : <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5527>
- [9] *Ceramic Disc, RFI and Safety Capacitors* : <http://www.vishay.com/docs/28536/geninfo-cd-rfi-safcaps.pdf>

tableau de score à LEDitron

afficheurs à sept segments pour le sport et le jeu



Roy Aarts et Jan Visser (labo d'Elektor)

Qui se souvient de la commercialisation des premiers afficheurs à sept segments de LED rouges ? Ils étaient révolutionnaires, rares et chers pour les amateurs de l'époque. Avant eux, il fallait bricoler avec du carton, du film rouge et des loupiotes...

Caractéristiques techniques

- Tableau de score et chronomètre
- Piloté par microcontrôleur
- Afficheurs LEDitron
- Aucun CMS
- Alimentation de 12 V_{CC}

En 2016, Elektor vous a d'une certaine façon ramené à cette époque. En effet nous vous avons proposé de construire des chiffres à sept segments de grandeur respectable, au moyen de filaments de LED comme ceux que l'on trouve dans les nouvelles ampoules de style rétro. Cet afficheur a eu du succès, ce qui nous

a incités à lui trouver une application pratique.

Projet

Des chiffres aussi grands et bien lisibles à distance sont parfaits pour réaliser un tableau d'affichage de score ou encore du temps. Cette fois, nous allons utiliser quatre afficheurs, deux fois deux chiffres, de quoi indiquer le nombre de points acquis par chaque équipe de basket-ball, par exemple. Pour les commander, nous avons mis en œuvre un microcontrôleur, bien sûr, adapté l'alimentation du LEDitron d'origine et conçu un nouveau circuit imprimé qui sert de support aux afficheurs. Et pour préserver l'unité de style, rien que des composants conventionnels, pas de CMS !

LEDitron

La **figure 1** reproduit le schéma de l'afficheur LEDitron original ; schéma, c'est un bien grand mot pour sept filaments à LED artistiquement rangés, une LED ordinaire et quelques résistances série. Mise à part la tension d'alimentation des filaments relativement élevée (de l'ordre de 70 V_e), c'est un afficheur normal à anode commune.

Revoyons rapidement la constitution de l'afficheur avant de travailler sur le tableau complet.

La **figure 2** reprend le circuit imprimé de l'afficheur avec sa liste des composants. Une recherche sur l'internet permet de trouver l'une ou l'autre adresse où se procurer des filaments à LED. Attention : ces filaments sont sensibles du point de

vue mécanique. Parfois ils ne survivent pas au transport (les facteurs ne manipulent pas toujours les colis avec les précautions nécessaires). Si vous avez plus confiance en vous qu'en eux, vous pouvez acheter quelques lampes à filaments et les extraire avec une grande prudence.

Le mieux pour monter les LED en filament est d'utiliser des embases femelles ou des supports de circuit intégré. Les fils de connexion des LED en filament doivent être pliés délicatement à 90° et enfoncés dans les supports tulipe. Respectez la polarité : l'anode d'un filament est généralement repérée par un point rouge ou une petite encoche dans le fil de raccordement. Vérifiez le sens de branchement sur la figure 1 ! Notez que certains filaments ne peuvent pas être pliés, nous en avons fait l'expérience. Dans ce cas, soudez des picots dans le circuit imprimé et raccordez-y ensuite les filaments.

Si vous voulez un rendu lumineux parfait, isolez les rayonnements des filaments les uns des autres avec des bandes de méthacrylate de méthyle noir, par exemple. Ensuite montez le tout derrière un panneau en plexiglas de couleur, semi-transparent. Pour cela, nous avons choisi du plexiglas fumé de 3 mm d'épaisseur, c'est du plus bel effet. Si vous n'avez pas envie de tripoter des petits morceaux de plastique pour en faire un puzzle, l'e-choppe vous propose un kit avec le circuit imprimé et le plexiglas, mais sans les filaments. Chaque afficheur est muni d'une LED séparée comme point décimal. Pour les détails sur les filaments et l'afficheur LEDitron, voyez l'article paru en suivant [1].

Tableau de score : le matériel

Le schéma complet du tableau de score est à la **figure 3**. Commençons par l'alimentation. La tension d'alimentation de 12 V₊, issue d'un bloc adaptateur ou toute autre source externe, entre par le connecteur K1 et le fusible réarmable de 2 A. Il n'y a pas de protection contre l'inversion de polarité ! Le régulateur IC1, un simple 78L05, abaisse cette tension à un 5 V convenable pour le microcontrôleur IC2.

L'affichage réclame en revanche 70 V environ, que nous devons produire à partir du 12 V d'une quelconque manière. Nous avons choisi de rappeler un vétéran, le temporisateur 555 (IC3), mais

en version moderne CMOS, le 7555. Il est ici en configuration de multivibrateur astable et fournit sur la sortie (broche 3) un signal carré à 76 kHz environ. L'ensemble forme un convertisseur élévateur discret dans lequel le condensateur C9 (un exemplaire qui supporte 100 V !) est chargé à travers L1 et D1 à une tension entre 35 et 100 V. Une partie de cette tension, en passant par R38, R49, P1 et T16, sert de rétroaction sur IC3. Le potentiomètre P1 la dose pour atteindre la valeur désirée de 70 V. Simple, mais efficace, ce circuit atteint un rendement voisin de 85 %.

On commande l'affichage en multiplex, sinon la consommation serait excessive. Les transistors T8/T9 jusqu'à T14/T15 alimentent les anodes communes des chiffres tandis que les transistors T1 à T7 ramènent à la masse chaque segment (filament) de l'afficheur. Et c'est le microcontrôleur ATmega328 (IC2) qui pilote tous ces transistors.

Mais alors, qui pilote les points décimaux de l'affichage ? Bonne question : les petites LED consomment si peu que les sorties de l'ATmega n'ont aucune peine à le faire directement.

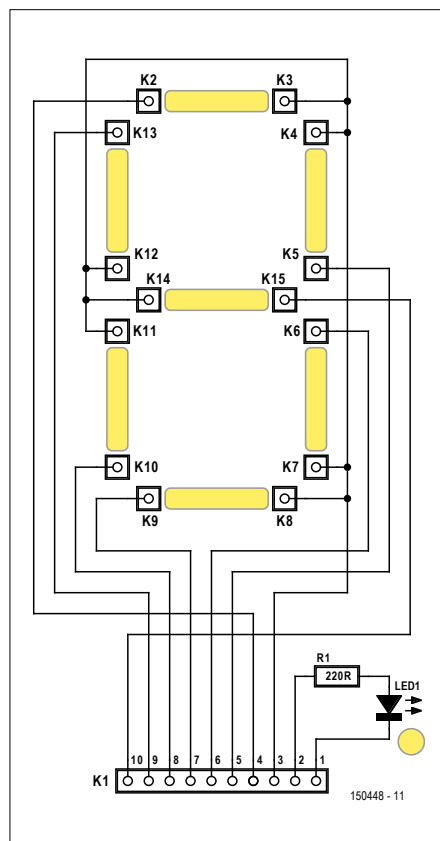


Figure 1. Le schéma de l'afficheur LEDitron dans toute sa simplicité.

INFOS SUR LE PROJET

LEDitron

chronomètre

compteur

microprocesseur

aucun CMS

débutant

connaissseur

expert

Env. 2 h

Fer à souder normal,
éventuellement
programmeur

Env. 100 €

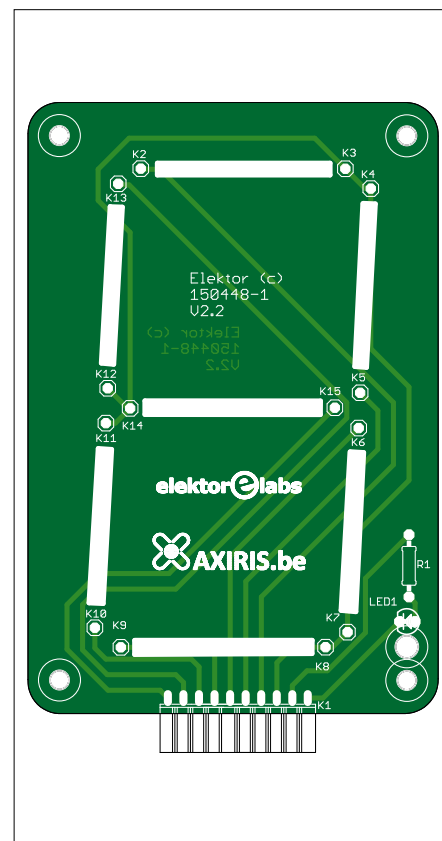


Figure 2. Les sept filaments à LED s'assemblent pour former le chiffre 8. Mais attention à la bonne polarité !

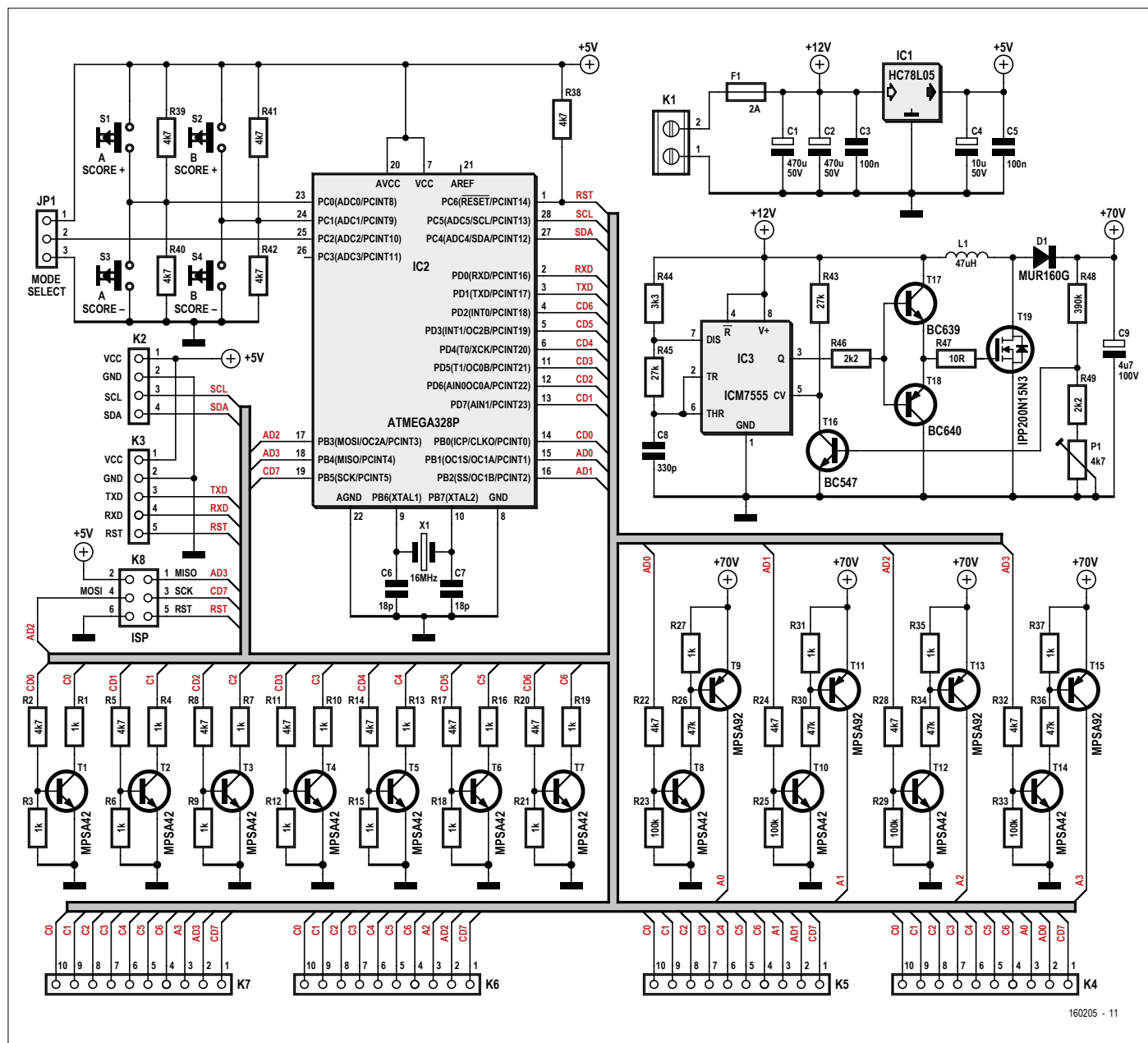


Figure 3. Le schéma du tableau de score. C'est un microcontrôleur ATmega328P qui gère tout ce petit monde.

Concernant l'ATmega, c'est le quartz X1 (16 MHz), épaulé des condensateurs habituels, qui détermine son signal d'horloge. Le connecteur K8 sert à la programmation *in situ* (ISP). Les connecteurs K2 et K3 sont prévus comme moyens de communication, ils ne servent pas tant que le tableau de score reste indépendant. À l'usage (on y reviendra), on utilise le cavalier JP1 pour choisir le mode de fonctionnement, chronomètre ou compteur de points ; quatre boutons-poussoirs, deux par groupe d'afficheurs, permettent de régler les valeurs numériques affichées. Ceux-ci nous ont donné du souci. L'ATmega328 que nous employons n'a

qu'un nombre limité d'E/S, la plupart sont destinées au multiplex des chiffres à sept segments. Il nous aurait fallu quatre E/S de plus pour les boutons-poussoirs. Nous avons cherché une autre solution et nous l'avons trouvée.

Il y a sur le microcontrôleur des entrées analogiques, celles du CA/N interne, nous les avons détournées au profit des boutons. Une méthode particulièrement efficace, puisqu'il ne faut plus qu'une entrée pour deux boutons-poussoirs. Voyons comment avec S1 et S2. Lorsque les deux boutons-poussoirs sont au repos, il y a sur la broche 23 (PC0) la moitié de la tension d'alimentation à cause du divi-

seur R39/R40. Appuyer sur S1 revient à ponter la résistance R39 et appliquer la totalité de la tension (5 V) sur l'entrée. La même action sur S2 ramène l'entrée à la masse (0 V). Les deux ensemble, c'est l'alimentation qui est court-circuitée, cela provoque une RàZ du chronomètre ou du compteur de points. À cause du court-circuit, il faut appuyer brièvement sur les deux boutons à la fois ! Pour S3 et S4, c'est pareil, *mutatis mutandis*.

Tableau de score : le micrologiciel

Le code pour l'ATmega328P a été rédigé dans l'EDI d'Arduino, vous pourrez donc facilement l'adapter à vos besoins. Nous

approfondirons ici les parties cruciales, le plus gros du programme est largement compréhensible, nous n'y avons caché aucun sac de nœuds, promis !

```
#include <TimerOne.h>

const uint8_t leds[7] = {2, 3, 4,
    5, 6, 7, 8};
const uint8_t seg[4] = {9, 10, 11,
    12};
const uint8_t dotPin = 13;
int curSeg = 0;

//two buttons per pin. Connected
//to analog inputs
const uint8_t button1 = A0;
const uint8_t button2 = A1;
const uint8_t jumper = A2;
byte buttonsPressed = 0;
#define S1 0
#define S2 1
#define S3 2
#define S4 3
```

On insère d'abord la bibliothèque **TimerOne**. Il nous la faut pour appeler la fonction qui sert à allumer le bon afficheur au moment voulu. On définit ensuite dans une table les broches auxquelles les segments sont reliés. Grâce à quoi, la même fonction peut servir pour les différents afficheurs.

```
void setup() {
    // put your setup code here, to
    // run once:
    for (int i = 0; i < 7; i++)
        pinMode(leds[i], OUTPUT);
    for (int i = 0; i < 2; i++)
        pinMode(seg[i], OUTPUT);
    pinMode(dots, OUTPUT);

    pinMode(button1, INPUT);
    pinMode(button2, INPUT);
    pinMode(jumper, INPUT);

    Timer1.initialize(3000); //3ms
    Timer1.attachInterrupt(writeDisplay);
}
```

Dans `setup()`, les lignes de port qui commandent des segments deviennent des sorties, alors que les broches affectées aux boutons-poussoirs et au cavalier sont configurées en entrées. On programme ensuite le temporisateur (*timer 1*) pour qu'il appelle la fonction `writeDisplay`

toutes les trois millisecondes.

```
void loop() {
    // put your main code here, to
    // run repeatedly:
    if (digitalRead(jumper)) { //
        scoreboard
        if (analogRead(button1) > 500
            && ((buttonsPressed >> S1) & 1)
            != 1) {
            //S1 pressed -> score 1 +
            buttonsPressed |= (1 << S1);
            if (count / 100 != 99)
                count += 100;
        }
        if (analogRead(button1) <=
            500)
            buttonsPressed &= ~(1 <<
            S1);
        ...
    } else { //timer
        if ((analogRead(button1) > 500
            || analogRead(button1) < 20) &&
            ((buttonsPressed >> S1) & 1) !=
            1) {
            buttonsPressed |= (1 << S1);
            running = true;
        }
    }
```

La fonction `loop()` commence par vérifier la position du cavalier JP1, puis lit les boutons-poussoirs. Si JP1 est sur 1-2 (mode « tableau de score »), le score est incrémenté ou décrémenté suivant le bouton actionné, ou bien il reste inchangé.

Les poussoirs fournissent donc une valeur analogique, il faut la lire avec la fonction `analogRead()` et la comparer avec une référence fixe.

```
void writeDisplay() {
    int number[4];
    number[0] = count % 10;
    number[1] = (count / 10) % 10;
    number[2] = (count / 100) % 10;
    number[3] = (count / 1000) % 10;

    for (int i = 0; i < 4; i++)
        digitalWrite(seg[i], LOW);

    delayMicroseconds(500);

    byte toWrite =
        toSegment(number[curSeg]);
    for (int i = 0; i < 7; i++)
```

```
        digitalWrite(leds[i], (toWrite
            >> i) & 1);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(seg[curSeg], HIGH);

    curSeg++;
    if (curSeg >= 4)
        curSeg = 0;
}
```

Enfin, la fonction `writeDisplay()` renvoie l'état du compteur de points ou du chronomètre à l'affichage. Chaque fois que cette fonction est appelée, donc toutes les 3 ms, comme vu précédemment, un chiffre est mis à jour.

D'abord, cette fonction sépare le nombre à afficher en chiffres. Les segments s'éteignent pendant 500 µs. Ensuite, la fonction `toSegment()` sélectionne les segments qui correspondent au chiffre et active les sorties voulues de l'ATmega328P. Après une deuxième pause de 500 µs, on active l'afficheur en question. La même procédure se répète pour chacun des quatre chiffres, puis tout recommence.

Si vous commandez un contrôleur programmé à l'é-choppe, vous pourrez l'insérer tel quel dans son support. Mais si vous voulez faire des expériences sur le micrologiciel ou si vous utilisez la version « minutes » du micrologiciel, il faudra programmer l'ATmega328P. On peut le faire *in situ* par le connecteur K8 ou avec un programmeur séparé. Nous avons à cet égard une bonne expérience avec le TL866A, disponible lui aussi à l'é-choppe [2]. Le micrologiciel pour le tableau de score est en téléchargement gratuit sur la page du projet [3].

Maniement

Apprendre à s'en servir sera vite fait. Avec le cavalier JP1, on choisit le mode de fonctionnement : tableau de score ou chronomètre. Dans le premier cas, on augmente et on diminue la valeur avec S1 et S2 sur les deux afficheurs de gauche, avec S3 et S4 sur ceux de droite. En mode chronomètre, les minutes et secondes écoulées apparaissent sur les quatre afficheurs. Le démarrage s'opère avec S1 ou S2, l'arrêt avec S3 ou S4. Il n'y a pas de fonction de RàZ prévue : pour ramener le compteur à zéro, il faut couper l'alimentation ; on peut



LISTE DES COMPOSANTS

CARTE D'UN AFFICHEUR

Résistance :

R1 = 220 Ω

Semi-conducteur :

LED1 = LED 5 mm

Divers :

K1 = embase à 10 picots, 1 rang coudé
circuit imprimé réf. 150448-1

CARTE « SUPPORT »

Résistances (0,25 W, 5 %) :

R2, R5, R8, R11, R14, R17, R20, R22, R24, R28,
R32, R38, R39, R40, R41, R42 = 4,7 k Ω
R23, R25, R29, R33 = 100 k Ω
R1, R3, R4, R6, R7, R9, R10, R12, R13, R15, R16,
R18, R19, R21, R27, R31, R35, R37 = 1 k Ω
R26, R30, R34, R36 = 47 k Ω
R43, R45 = 27 k Ω
R46, R49 = 2,2 k Ω
R47 = 10 Ω
R48 = 390 k Ω
R44 = 3,3 k Ω
P1 = potentiomètre d'ajust. 4,7 k Ω (horizontal)

Condensateurs :

C1, C2 = 470 μ F / 63 V
C3, C5 = 100nF
C4 = 10 μ F / 63 V
C6, C7 = 18 pF
C8 = 330 pF
C9 = 4,7 μ F / 100 V

Inductance :

L1 = 47 μ H

Semi-conducteurs :

D1 = MUR160G
IC1 = LM78L05
IC2 = ATmega328P (programmé)
IC3 = ICM7555
T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T10, T12, T14 =
MPSA42
T9, T11, T13, T15 = MPSA92
T16 = BC547
T17 = BC639
T18 = BC640
T19 = IPP200N15N3
F1 = fusible réarmable PTC (polyfuse) 2 A

Divers

X1 = quartz 16 MHz
K1 = bornier à 2 vis, au pas de 5 mm
K2 = embase femelle à 4 contacts, 1 rang
K3 = embase femelle à 5 contacts, 1 rang
K4 à K7 = embase femelle à 10 contacts, 1 rang
K8 = barrette mâle à 6 picots, 2 rangs
JP1 = cavalier à 3 pôles
S1 à S4 = bouton-poussoir (contact travail)

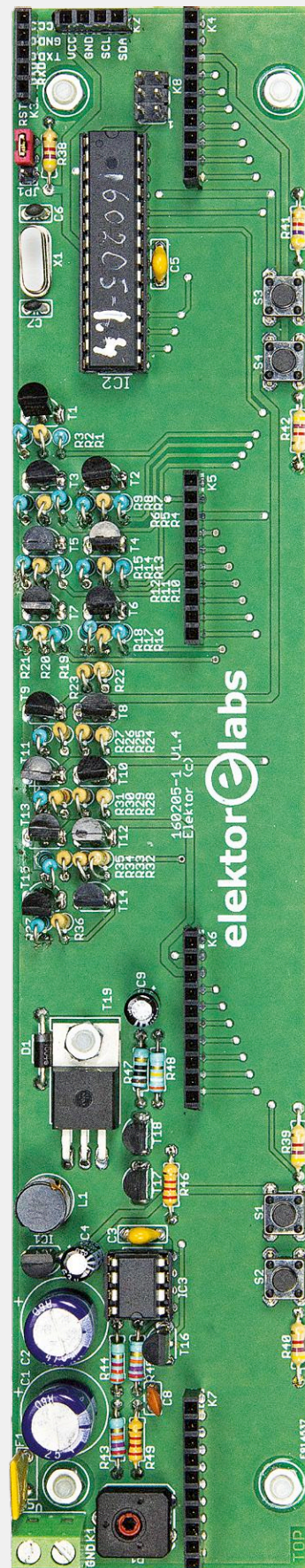
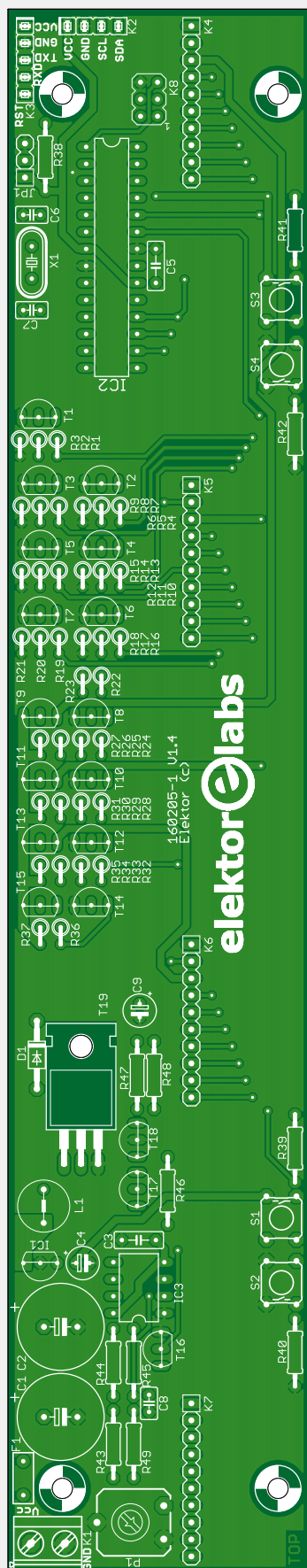


Figure 4. Le circuit imprimé est à double face ;
il ne porte que des composants conventionnels, ouf !

aussi pousser brièvement sur S1 et S2 en même temps (ou S3 et S4), ce qui court-circuite l'alim de 5 V pour le microcontrôleur (!), et le score ou le chronomètre est remis à zéro.

Construction et test

Nous avons brièvement expliqué la construction des quatre afficheurs en début d'article, mais vous en trouverez une description complète dans celui d'origine [1].

Dans la meilleure tradition d'Elektor, nous avons conçu pour le tableau de score le circuit imprimé à double face de la **figure 4**. Nous n'avons utilisé que des composants traversants, en conséquence, quiconque sait par quel bout tenir son fer à souder peut mener à bien le projet.

On commence par les supports pour IC2 et IC3, puis les composants bas, les transistors et les composants les plus hauts tels que condensateurs électrolytiques, bobines ou connecteurs. Les **figures 5** et **6** donnent une bonne idée du circuit complet. N'insérez pas encore IC2 ni IC3 dans leurs supports.

Soumettez d'abord le circuit imprimé à un contrôle visuel approfondi : la polarité des électrolytiques est-elle correcte ? La seule diode est-elle montée dans le bon sens ? Recherchez d'éventuelles agglutinations de soudure, etc. Tournez le potentiomètre d'ajustage P1 à fond vers la gauche. Placez alors IC3 (le 7555) dans son support (l'encoche dans le boîtier doit pointer vers P1) et allumez l'alimentation de 12 V₋ (par exemple fournie par un adaptateur secteur).

Vérifiez sur la broche 7 ou 20 d'IC2, par exemple, que l'alimentation de 5 V est satisfaisante. Mesurez alors la tension entre la cathode de D1 et la masse. Elle doit avoisiner 70 V. Coupez alors l'alim et insérez le microcontrôleur programmé dans son support. L'encoche dans le boîtier doit pointer vers K8. Branchez alors les quatre afficheurs dans les connecteurs K4 à K7 et désormais, plus rien ne s'oppose à l'utilisation du tableau de score.

Avertissement

La tension d'entrée de 12 V, normalement inoffensive, ne doit pas vous faire oublier que le survolteur qui suit peut délivrer jusqu'à 100 V, une tension qui, à tout le moins, peut faire très mal. Aussi, prévoyez un boîtier qui empêche tout contact accidentel

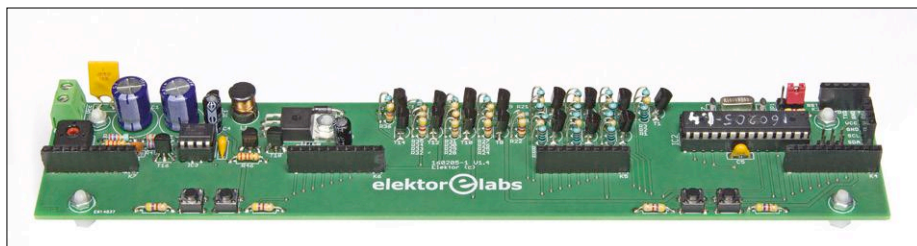


Figure 5. Le circuit imprimé complètement garni.

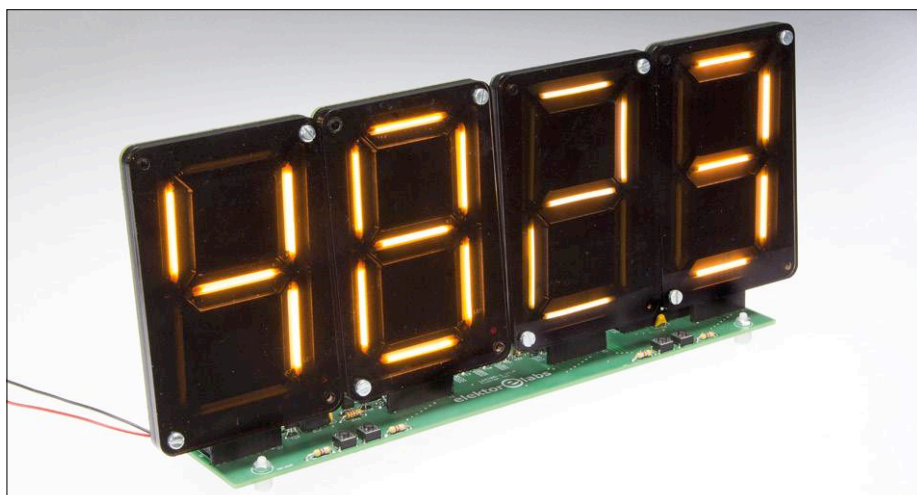


Figure 6. Enfichez les cartes à chiffre, du coup, le tableau de score est prêt pour le service. La partie peut commencer.

Pour finir

Le tableau de score présenté ici fonctionne parfaitement, il est bon pour le service, ce qui n'empêche pas de s'en inspirer pour concevoir d'autres projets avec ce genre d'affichage, notamment. N'hésitez pas à compléter et étendre tant le matériel que le logiciel en suivant vos talents et vos centres d'intérêt. Après quoi, nous vous invitons cordialement à nous faire connaître les résultats de votre inspiration !

(160205 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/150448
- [2] www.elektor.fr/tl866a-universal-programmer
- [3] www.elektormagazine.fr/160205



IN DE STORE

→ 150448-1
carte d'afficheur LEDitron (il en faut quatre pièces)

→ 150448-71
kit LEDitron, plexiglas compris, mais sans filaments (il en faut quatre pièces)

→ 160205-1
circuit imprimé « support » du tableau de score

→ 160205-41
contrôleur programmé

fabriqué en Belgique

bilingue, bien entendu



Au cours des derniers mois, de l'avis de nombre de lecteurs belges, Rétronique n'a pas suffisamment mis à l'honneur leurs produits nationaux, d'où un « tsumani » de conseils amicaux.

À titre d'amende honorable, nous décrivons ici quelques kits DIY produits par MBLE au début des années 70, kits destinés aux amateurs fortunés.

Jan Buiting (Elektor)

Que ceux d'entre vous qui ont démarré l'électronique avec un kit « EE » (*Electronic Engineer*) de Philips, rangé sous le lit/étalé sur la table de cuisine lèvent la main ! Souvenez-vous des incroyables projets (sirènes et autres canaris électroniques) réalisés avec des composants discrets, mais aussi des kits d'extension dont vous rêviez. Ces kits EE, au

« facteur de dépendance » indéniable, coûtaient cher à l'achat, mais aussi en « composants de remplacement » (un seul AC187K valait une semaine d'argent de poche). Oh combien Maman était heureuse qu'une fois la démo terminée ces trucs hurlants et clignotants disparaissent quasi-magiquement dans la boîte en carton.

Néerlandais, allemand...

L'histoire exhaustive de la série de kits

électroniques éducatifs EE de Philips est complexe et sort du cadre de cet article. Philips Pays-Bas était une société en perpétuel mouvement (sic), déménageant usines, départements et des milliers de personnes. J'en résume l'histoire, car cela éclaire sur le contexte dans lequel sont apparus les kits MBLE.

En 1955, Elanco, la division « composants électroniques » de Philips commence à fournir aux amateurs néerlandais des kits de construction de radio et

d'audio ; l'ingénierie et la conception sont confiées au bureau d'ingénierie « Amea » à La Haye. L'entreprise prospère grâce à de nombreux kits renommés tels la radio « Pionier », l'amplificateur HF302 et le tuner FM13 sortis à la fin des années 50. Un peu plus tard, les premiers kits éducatifs multiprojets font leur apparition sous les noms d'EE8 et EE20. Vers 1965, l'équipe créatrice des kits EE est transférée à Philips RGT (radio, phonographe, télévision) et la gamme étendue à l'ingénierie mécanique (ME) [1] (**fig. 1**). Une partie de l'équipe de développement des kits EE se charge de la documentation, une autre de la sélection des composants (à acheter en interne), et le reste des aspects didactiques, graphiques et du marketing. Vous vous souvenez peut-être ici des images « père et fils » et « fils idéal » imprimées sur les premières boîtes (**fig. 2**).

Vers les années 1970, les redoutables *Picsous* de Philips Pays-Bas décident que les boîtes multiprojets EE ne sont plus une activité essentielle et mettent donc l'équipe créatrice des EE sur une voie de garage. Ensuite, la production (pas la direction) est déplacée à Hambourg (RFA). Là-bas, une nouvelle équipe perfectionne et complète les kits éducatifs EE avec un énorme succès dans un marché en pleine ébullition. Ils développent également des kits de chimie (CE), de physique et de minéralogie.

De son côté, Philips Pays-Bas poursuit le développement de kits DIY, principalement sous forme de projets audio et à base de haut-parleur(s). L'activité cesse officiellement en 1980, mais les kits éducatifs développés à Hambourg sont adaptés au marché néerlandais et à sa langue par Philips TSCA (département technique) – les manuels de construction de ces kits d'EE de 1980 regorgent d'expressions bizarres, dues à leur origine allemande.

Une perspective plus large

Derrière l'aspect enseignement de l'électronique, le but secret de Philips était de « semer la graine de notoriété de la marque » dès le plus jeune âge : après ce lavage de cerveau, un ingénieur tout juste diplômé en électronique achète à coup sûr des composants Philips ! Les kits EE de Philips différaient par ex. de l'approche américaine de Heathkit, le leader en ce qui concernait les kits électroniques haut de gamme, sous deux aspects au moins :

ESTD 2004

www.elektor.tv



Rétronique est une rubrique mensuelle sur les pages glorieuses et jaunies de l'électronique, avec occasionnellement des montages de légende décrits dans Elektor. Si vous avez des suggestions de sujets à traiter, merci de les télégraphier à redaction@elektor.fr

1. Heathkit n'avait pas d'« après-marché », et utilisait des composants de toutes origines (n'hésitant pas à rebaptiser « Heathkit » certaines pièces) ;
2. Reprenant toujours les mêmes composants, les kits EE étaient conçus pour réaliser de petits projets, et non pas des instruments complets.

Je ne serai pas surpris qu'il y ait eu un appareil Heathkit en kit sur le bureau d'un membre de l'équipe créative de Philips EE et qu'il (ou elle, c'est peu probable) ait été envieux (a) de la rigueur de Heathkit et de l'impeccable qualité du manuel de construction et (b) du résultat final, un instrument fonctionnel ou un appareil électronique, un amplificateur hi-fi à tubes [2], un oscilloscope, voire un émetteur de radioamateur – et ce à des prix compétitifs (aux États-Unis). Jusque dans les années 1980, Heathkit fut la norme pour les kits DIY et pour les manuels de construction bien détaillés.

Les premières fissures

En dépit de leur prix élevé, les kits Philips EE très populaires remplirent leurs missions : amuser, impressionner et éduquer. Toutefois le lavage de cerveau côté Philips n'a pas été une réussite. L'électronique en tant que « passe-temps avec possibilité de carrière » s'est imposée fin 1970/au début des années 80. Parallèlement le nombre de fournisseurs de composants a décollé. Dans les boutiques d'électronique, le transistor AC187K et ses successeurs étaient alors proposés à un prix abordable par d'autres fabricants. Tandis que la vente des kits éducatifs multiprojets de la série EE va à plein badin, Philips identifie un marché pour l'approche « Heathkit », à savoir des **instruments** abordables construits (par un jeune) à partir d'un kit DIY. C'est peut-être enfoncer une porte ouverte, mais Philips aux Pays-Bas a deux atouts :

1. Pouvoir tirer parti du stock monstre de composants de sa propre organisation ;
2. Pouvoir recopier puis abaisser les spécifications de ses propres instru-



Figure 1. Kits d'ingénierie mécanique Philips « ME » aux alentours de 1965.



Figure 2. Ces couvercles de kit Philips Electronic Engineer (EE) étaient emblématiques, ils mettaient toujours l'accent sur l'enfant sage, promis à une grande carrière d'électronicien.



Figure 3. Pavillon de MBL à l'Exposition universelle de Bruxelles, en 1958. La même année, Philips Pays-Bas présente, dans son propre pavillon conçu par Le Corbusier, le premier show multimédia du monde, le *Poème Électronique*.



Figure 4. Générateur de signal BEM004. À noter : ce n'est pas un instrument commercial de MBLE, mais un appareil construit à partir d'un kit.



Figure 5. Plongée dans le BEM004 : techniques de construction classiques à base de tubes à vide et d'un châssis.

ments de laboratoire professionnels (série GM) ou d'appareils audio hi-fi haut de gamme (série AG/22AH). Nous en verrons un exemple plus loin.

Ainsi apparaissent les « kits de composants » ; le plus impressionnant à mes yeux est l'*Audio Mixer*. La gamme, riche, est caractérisée par ses boîtes de car-

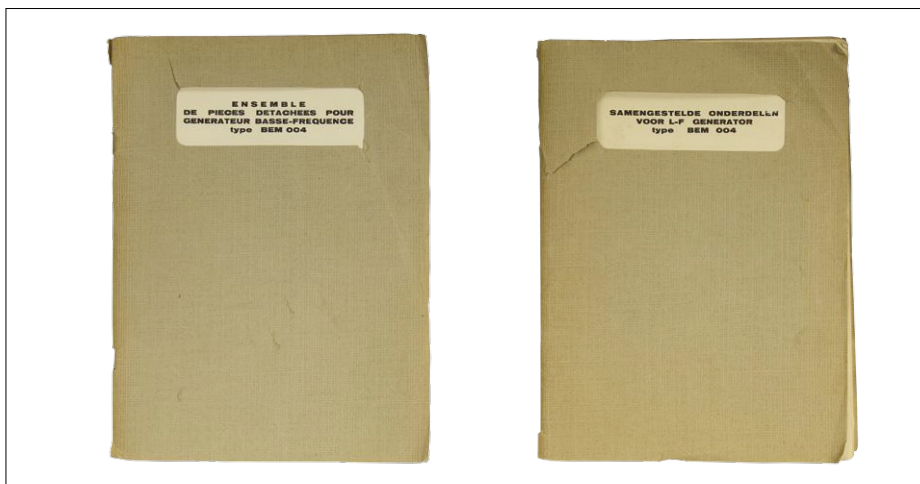


Figure 6. Un miracle bilingue ergonomique ! Le manuel d'assemblage du BEM004 « parle » flamand et français – il suffit de le retourner.



Figure 7. Oscilloscope BEM005. À noter : ici aussi cet instrument a été construit à partir d'un kit.



Figure 8. Ce n'est pas la place qui manque dans le BEM005. Notez l'utilisation de « cartes de câblages imprimées » en combinaison avec des tubes à vide, ce qui ne fonctionne qu'à condition d'utiliser des supports de tubes de qualité, de faire des soudures correctes et d'utiliser des pistes de cuivre massives.

ton bleu et blanc ; elle règnera jusqu'au milieu des années 90. Les kits coûtent bien plus cher qu'un projet présenté dans un magazine et réalisés avec des composants « équivalents » trouvés dans ses tiroirs. Toutefois la qualité est superbe. On trouve d'excellents aperçus des activités de formation pédagogique de Philips en [3] – attention : tout est néerlandais ! Et nos lecteurs allemands se réjouiront de l'e-nostalgie en [4].

Manufacture Belge de Lampes Électriques

Après le déménagement vers le labo RGT de Philips, les kits des instruments sont oubliés, puis ressuscités et affectés à MBLE, un petit site de production en Belgique. MBLE avait été absorbée par le puissant département Elonco (*Electronische onderdelen company*) de Philips et avait pour tâche de fabriquer, dans ses usines de Roeselare, Evere et d'ailleurs, des résistances spéciales (VDR, PTC), les condensateurs de couleur moutarde (*mustard*), des condensateurs électrolytiques, voire même des tubes (Ultron). MBLE était une entreprise de taille moyenne à l'histoire fantastique, cf. [5]. J'ai retrouvé une photo de leur « pavillon » à l'Exposition universelle de 1958 à Bruxelles (**fig. 3**) ; le plus grand tube PL500 jamais construit. Littéralement assis sur des composants électroniques, MBLE développe, sous la houlette de Philips Pays-Bas, de superbes kits d'équipements pour labo domestique. Deux lecteurs belges de *Rétronique*, de langue flamande et anciens professeurs d'électronique (!) m'ont envoyé du matériel de laboratoire assemblé à partir de kits MBLE et destiné à l'amateur averti. Les voici.

BEM004 – Générateur BF en kit

Le « BF » (basses fréquences) affublé à ce générateur de signal à tubes, qui va de 10 Hz à 1 MHz en cinq gammes, n'est peut-être pas justifié. Son circuit comporte des tubes Miniwatt de Philips (EF86, ECC88, EL83 et EL85) ainsi que les quatre petits tubes de l'oscillateur. C'est une version économique de l'un des instruments de labo professionnels Philips de la série GM56xx. Les **figures 4** et **5** montrent le BEM004 reçu, parfaitement construit. Si aujourd'hui les boutons en plastique sont assimilés à de la mauvaise qualité, à l'époque ils étaient avant-gardistes. Compte tenu de l'étiquette « AUDIO GENERATOR » de la face

avant, l'utilisation d'une prise SO-239 (« UHF ») pour le signal de sortie peut être sujette à discussion.

Le manuel du BEM004 (**fig. 6**) est un chef-d'œuvre éducatif avec, étape par étape, des instructions d'assemblage détaillées à l'extrême et d'énormes schémas repliables et des vues éclatées du châssis. Il est également très belge, voire bruxellois, de par son bilinguisme – il suffit de le basculer pour en lire la version française ou flamande (proche du néerlandais). Connaissant les deux langues, je peux affirmer que la version française écrite par les ingénieurs MBE est le texte source et que le flamand est une traduction avec quelques traductions littérales et interversions de mots drôles – pas pire cependant que ce que fait Google Translate aujourd'hui.

Ce BEM004 fonctionne, toutefois après remplacement d'un double condensateur électrolytique de 50+50 µF/400 V par des exemplaires modernes

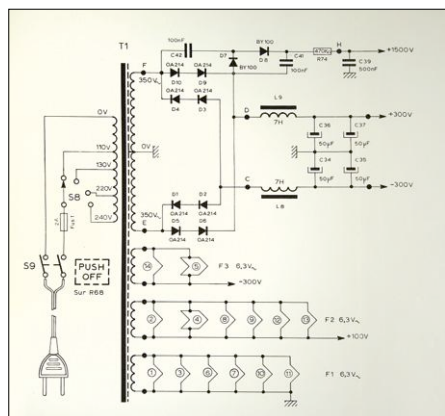


Figure 9. Avec une alimentation non régulée aussi simple dans un oscillo, les risques de distorsion de l'image, de ronflement, de bruit et d'instabilité générale de la trace du CRT sont élevés. (Reproduit du manuel du BEM003)

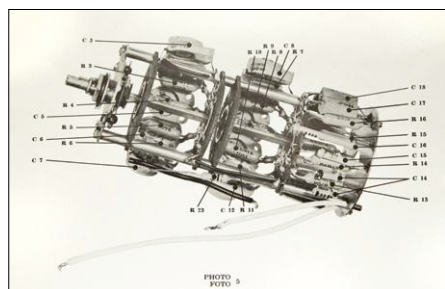




Figure 11. Le BEM003 était l'oscillo haut de gamme de BMLE ; cet exemplaire est malheureusement trahi par quelques pièces défectueuses, mais reste réparable.

($4 \times 100 \mu\text{F}/250 \text{ V}$). La distorsion sinusoïdale la plus élevée mesurée était de 0,2% à 100 kHz, bien en deçà des spécifications (0,3%). Idem pour le temps de montée de 75 ns du signal carré (le temps de chute, lui, n'est, pas terrible).

BEM003 et BEM005 – Oscilloscopes en kit

Fin des années 1960, si vous êtes jeune et intéressé par l'électronique, posséder un oscilloscope est alors le nec plus ultra : c'est l'instrument à la trace lumineuse « révélatrice de tous les mystères ». Malheureusement, il s'agit de « machins » dangereux et redoutables à construire sur la base de « plans », et ceux proposés dans les pages de pub

sont hors de portée (financière). Une option : économiser et trouver l'argent pour acheter un kit d'un fabricant réputé, MBL en l'occurrence. En 1975, les kits d'oscillo disponibles continuent d'utiliser des tubes, notamment :

- BEM003, 0–7 MHz ; V : 20 mV – 50 V/div. ; H : 0,2 μs – 20 ms ; prix : HFL 945.
- BEM005, 0–3,5 MHz ; V : 50 mV – 50 V/div. ; H : 0,5 μs – 20 ms ; prix : HFL 645.
- BEM009, 0–0,7 MHz ; V : atténuateur $\times 1/\times 10/100$ uniquement ; H : 10 Hz – 100 kHz ; prix : HFL 430.

Croyez-moi, les prix en HFL (florins néerlandais) même du BEM009 étaient horripilants et j'imagine que ces kits finissaient plutôt chez le réparateur professionnel que chez un étudiant ou amateur quelconque.

J'ai reçu un BEM003 et un BEM005. J'ai ranimé le 005 (fig. 7 et 8) avant de le rendre totalement fonctionnel après l'avoir doucement réveillé à l'aide d'un variac. Lors du branchement le jour suivant dans une prise secteur, il était totalement mort : responsable, un fusible de ligne CA fortement corrodé. Une fois le minuscule coupable et son porte-fusible nettoyés, l'oscillo était à nouveau OK. La sensibilité verticale était hors-norme et le commutateur rotatif concerné fut nettoyé de quelques giclées de désoxydant Tuner 600.

Soyons franc, cet oscillo n'est pas très

bon, mais je suis sûrement partial parce que gâté par mes appareils Tektronix tels que le 502. La trace n'est pas très fine et semble se décaler, mincir, voire s'épaissir lorsque l'on joue sur l'intensité, la mise au point ou les commandes H et V. Raison : une mauvaise régulation de la tension d'alimentation ; en fait il n'y a pas – cf. le schéma d'alimentation (fig. 9) – le moindre tube régulateur de 85 ou 150 V. L'absence de régulation affecte gravement la HT de +1,5 kV sur l'anode du CRT, d'où les problèmes de géométrie. C'est là que la conception des BEM005 et BEM003 diffère par ex. d'un oscillo professionnel Philips GM56xx de source identique et utilisant les mêmes composants. Comme à l'époque, les tubes et les transformateurs sont parmi les composants les plus chers, ce sont les premières victimes des mesures d'économie, hormis chez Tektronix.

Le manuel du BEM005 est à nouveau bilingue (c.-à-d. français/flamand), mais pas du type « réversible ». La construction mécanique et les schémas de câblage sont de monstrueuses feuilles dépliantes de 65x45 cm. Les photos techniques (fig. 10) des assemblages complexes contribuent à atteindre l'objectif ultime : un oscilloscope fonctionnel ! Le premier propriétaire trouva sage d'ajouter à tous ces documents des copies des fiches de caractéristiques de tous les tubes utilisés.

Le BEM003 (fig. 11) plus gros et mieux équipé a encore quelques problèmes qu'il me faut régler, tels que des contacts oxy-



Figure 12. Avec une pincée de sel belge, le multi-instrument BEM045 de MBL peut être qualifié de labo d'électronique dans une boîte. Cependant il n'a jamais été proposé comme kit à assembler chez soi, mais il complétait le cours *practronics* de Philips sur l'ingénierie audio et acoustique.

dés et les condensateurs dans la base de temps qui fuient d'où disparition ou raccourcissement de la trace verte sur certaines gammes. Le BEM003 fait pour le moment office de cale-porte.

BEM045, labo dans une boîte pour étudiant, pas un kit

Le BEM045 (fig. 12) est un boîtier en plastique gris qui s'ouvre côté poignée. Sa partie gauche contient :

- générateur de signal sinus/carré 20-20 000 Hz, 0-1 V en sortie ;
- sources de courant de 2 mA et 20 mA ;
- alimentation 0-12 V réglable ;
- alimentation (quasi) symétrique 6-0-6 V.

Elle accueille aussi les piles. La partie droite offre un multimètre simple avec :

- ampèremètre CC 0,1-300 mA ;
- voltmètre CA 10 mV / 30 mV / 0,1-30 V ;
- voltmètre CC 0,1-30 V ;
- grand indicateur à bobine mobile avec échelles en volts et en dB.

Le BEM045 est donc destiné à l'électronique audio et aux études et recherches en acoustique.

À l'origine, Philips TSCA propose cet appareil pour un cours appelé PRACTRO-nics, le service marketing de MBLE y voit donc un produit pour étudiant. En effet, ELA EDUC PRODUCTS est imprimé sur la première page du manuel, où ELA signifie sans doute électroacoustique. Un forum de discussion en néerlandais, avec contributions belges et néerlandaises [4], suggère cependant une chaîne d'événements différente : MBLE aurait fabriqué le BEM045 spécialement pour la division ELA. C'est corroboré par le fait que le BEM045 n'a jamais été proposé en tant que kit DIY ou n'a jamais figuré sur un catalogue de kits MBLE. Le « labo dans une boîte à lunch » apparaît occasionnellement sur les marchés néerlandais, en ligne et en chair et en os.

Bien que les origines exactes du BEM045 restent obscures, c'est un appareil remarquable, même s'il n'était prévu que pour réaliser les « projets éducatifs » décrits dans les « leçons » d'un livre (fig. 13). Le boîtier de mon BEM045 porte deux grands nombres : un « 78 » griffonné au crayon jaune, et un « 39. » gravé au

fer à souder chaud - cela suggère une utilisation en classe.

Tous les composants de ce mini-labo ont fonctionné comme prévu, hormis le générateur de signal auquel il faut un certain temps pour se réveiller et stabiliser son amplitude après modification de la fréquence par action sur le cadran rond. De toute évidence, la boucle de stabilisation comporte un composant défectueux - un condensateur électrolytique, je parie. J'ai été étonné de voir que la partie du voltmètre/ampèremètre semblait fonctionner sans connexion d'alimentation (l'alimentation de 12 V est appliquée au panneau gauche avec le générateur de signal). Après démontage et inspection, le secret apparut au grand jour : les fils d'alimentation de 12 V vont au panneau droit en passant par les deux charnières. Cette construction serait le talon d'Achille du BEM045.

Est-ce un bon instrument pour travailler ? À peine. Je n'ai pas de manuel. Le toucher est extrêmement « plastique » et il manque au multimètre la mesure de résistance (bien sûr, $R=V/I$, mais encore). L'indicateur à bobine mobile est grand, mais son échelle manque de détails, l'indication de gamme est loin d'être intuitive. Il n'y a pas d'option de balayage de fréquence pour une analyse rapide de filtres. Une note positive : l'onde sinusoïdale une fois stabilisée est OK en termes de distorsion, et le contrôle de fréquence est suffisamment précis. Pourtant, la combinaison d'instruments de cette boîte à lunch XL ne suffira que pour des projets d'électronique audio de niveau élémentaire.

Tout ça pour quoi ?

Les non-techniciens me demandent souvent : « As-tu réussi à réparer les oscillos avec cette boîte à lunch géante ? » Non, je n'y suis pas arrivé. Le BEM045 n'est pas utile au-delà de 30 V ; son signal

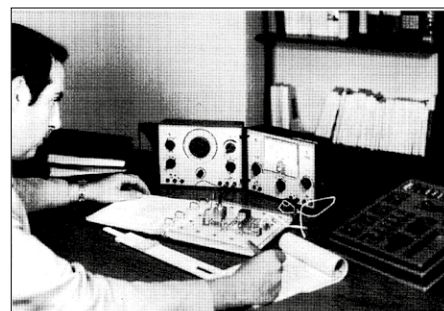


Figure 13. Le cours « PRACTical electRONICS » de Philips, aux alentours de 1975. En utilisant le générateur de signal et le multimètre du BEM045 comme outils, l'étudiant construit des circuits audio et en comprend le fonctionnement. Le circuit du jour est littéralement monté sur la page du livre didacticiel ! Avec nos excuses pour la qualité médiocre de l'image, il s'agit ici de matériel rare.

sinusoïdal est déformé ou instable. Ce défaut combiné au problème de sensibilité verticale au cœur de l'oscillo ou encore à une ligne de secteur (212 V) un peu faible devient un casse-tête à variables multiples...

En résumé : j'ai dû faire appel à un bon oscillo Tektronix 7633, à un variac MBLE (!) précis et solide ainsi qu'à une alimentation de labo Delta pour atteindre les niveaux minimaux requis pour obtenir une trace sur les tubes cathodiques. Toutefois quel plaisir d'y arriver et de voir applaudir les collègues sortis pour quelques minutes du monde de l'embarqué ! C'est aussi l'occasion de raconter l'histoire de l'électronique belge. ◀

(160303 - version française : Guy Raedersdorf)

Liens

- [1] « boîtes de construction EE de Philips », *Elektor* 07/2007 : www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-200707/10772
- [2] « ampli HiFi à tubes Heathkit AA-100 (1960) », *Elektor* 12/2014 : www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201412/27259
- [3] www.hansotten.com/electronic-kits/ee-series/ee8-ee20-a20/
- [4] Norbert Old : <http://norbert.old.no/kits/ee2000/index.html>
- [5] Société MBLE : www.radiocollection.be/fr/MBLE1_fr.html
- [6] MBLE045 : www.philipsradios.nl/forum/index.php?mode=thread&id=23681



QUESTIONS D'ÉTHIQUE

pourquoi nous avons besoin des hackers

Tessel Renzenbrink (Pays-Bas)

Du 4 au 8 août 2017, quelque 3 500 pirates informatiques se sont rassemblés à Zeewolde – commune néerlandaise située dans la province des polders du Flevoland, au nord-est d'Amsterdam – pour *SHA2017 (Still Hacking Anyway)*, un camp dédié au *hacking*. Cette activité a aujourd'hui une connotation négative, et est souvent assimilée à la cybercriminalité. Initialement, le *hacking* consistait à employer des méthodes ingénieuses pour améliorer un système, quel qu'il soit, ou pour lui trouver de nouvelles applications. Cette ingéniosité se retrouve dans pratiquement tout lors du *SHA*. À la nuit tombée, le camp de tentes a quelque chose de psychédélique, avec des milliers de LED brillant dans l'obscurité, des tours crachant du feu, et des canapés motorisés qui vous renversent (au sens littéral). Un réseau de fibre optique noire (fibre non encore activée) avait été installé, une fois activé il permet une liaison montante de 100 Gbit/s (excusez du peu !). On n'avait pas oublié le réseau électrique, nécessaire à l'alimentation des ordinateurs, robots, drones, réseaux sans fil, imprimantes 3D et fers à souder, ou du sauna des hackers finlandais... Une partie du site avait été réservée aux énergies alternatives, afin d'étudier la possibilité de camps autosuffisants en énergie à l'avenir.

Bâti par des anges

Le *SHA* a été organisé de A à Z par des *anges*, terme désignant des volontaires qui ont travaillé bénévolement pendant deux ans pour que l'événement ait lieu. Les *anges* qui œuvraient au bar ou qui ramassaient les déchets avaient acheté leur ticket d'entrée : au *SHA*, pas de visiteurs, uniquement des participants ! Lors de ce camp, quelques-unes des présentations ont clairement montré que l'ingéniosité et l'implication des pirates sont nécessaires. C'est ce qui ressort des exposés sur la mise en place de systèmes technologiques, sans réflexion en amont et avec de lourdes conséquences pour certaines personnes. Lyndsey Jackson est venue d'Australie pour nous dire comment son gouvernement a lâché un algorithme sur les citoyens, sans supervision et sans se préoccuper des suites désastreuses.

Gouvernés par des algorithmes

Peu avant la Noël 2016, des milliers d'Australiens ont reçu une lettre les informant d'une dette envers *Centrelink*, le programme australien de sécurité sociale ; ces lettres avaient été envoyées par un processus automatisé. *Centrelink* avait introduit un algorithme pour calculer l'imposition des citoyens sur la base des données du fisc et des rémunérations. Les bases de données étaient cependant incompatibles, et les résultats incorrects dans de nombreux cas : le taux d'imposition était trop

élevé pour certains, alors que d'autres ne devaient pas payer d'impôts du tout. Les lettres annonçant aux citoyens la dette envers l'État ont été envoyées automatiquement, sans aucun contrôle humain ; et comme il est malheureusement de mise en pareil cas, c'est au citoyen lésé qu'il appartient de prouver que le fisc s'est trompé...

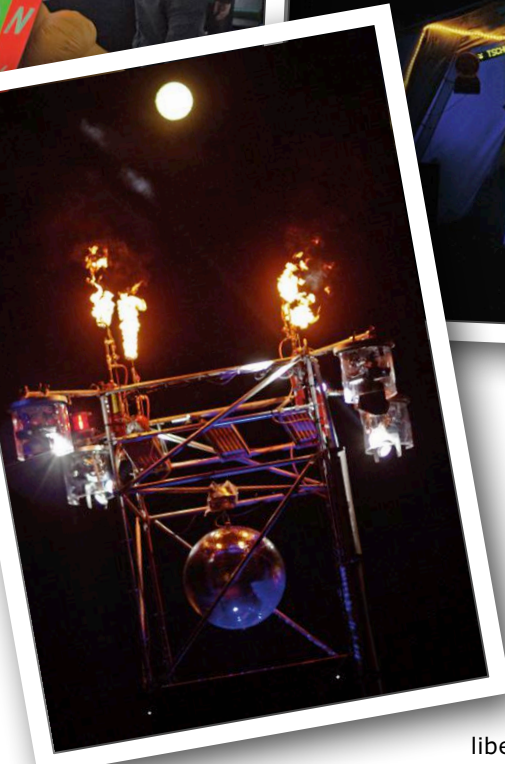
Lyndsey Jackson a lancé une campagne en ligne, *#NotMyDebt*, pour attirer l'attention sur le problème. Suite à la divulgation de l'affaire, les victimes ont réalisé qu'elles n'étaient pas des cas isolés, et un mouvement s'est lancé pour se révolter contre toute forme de gouvernance par des algorithmes.

Jouer avec la fourniture d'électricité

Willem Westerhof, ingénieur sécurité chez *ITsec*, une entreprise de sécurité informatique basée à Haarlem aux Pays-Bas, a attiré l'attention sur un autre problème aux conséquences potentiellement catastrophiques. Début août, il a publié un article dans les journaux pour signaler une faille de sécurité dans les onduleurs connectés des installations photovoltaïques, qui pourrait conduire à un *blackout* à l'échelle du continent.

Lors du *SHA*, il a raconté comment il avait réussi à contourner les protections des onduleurs de la marque SMA, un des leaders du marché, et à couper les installations. Avec de mauvaises intentions, on pourrait mettre simultanément hors service un très grand nombre d'installations et compromettre la stabilité du réseau de distribution. La publication de son article a engendré une discussion entre politiciens et gestionnaires de réseau : « Est-ce qu'un pirate peut vraiment compromettre autant d'installations ? » ; « Le réseau pourrait-il vraiment s'effondrer ? ». Westerhof s'est lamenté de la vanité de ces questions, alors qu'il faudrait plutôt se préoccuper de savoir pourquoi on autorise la connexion d'appareils mal sécurisés au réseau. Sa présentation a déclenché un tonnerre d'applaudissements !





Ce sont les raisons qui poussent Niels à s'investir pour que l'on tienne compte des droits de l'homme lors des développements futurs de l'internet. Le respect de la vie privée serait bien mieux respecté avec un protocole qui chiffre les données en transit, que par un qui les envoie sans la moindre protection sur la toile. Niels insiste pour que les droits de l'homme soient pris en compte dès la phase de conception d'une nouvelle technologie.

« We shape our tools, and thereafter our tools shape us »

La technologie n'est pas neutre, c'est ce qu'affirme Niels ten Oever, membre de l'organisation britannique de défense des droits de l'homme *Article 19*, qui milite pour la liberté d'opinion. Il ajoute :

« Que nous en ayons conscience ou non, nos normes et nos valeurs se retrouvent dans nos créations ; pas seulement en technologie, mais aussi en architecture. Construisez de larges avenues sans trottoirs, bonjour les embouteillages ! Aménagez des parcs avec des arbres et des bancs, les gens sortiront de chez eux pour s'y promener ». Sur le grand écran plasma, il avait affiché une citation du pasteur John M. Culkin : « Nous façonnons nos outils, puis ce sont eux qui nous façonnent ».

L'éthique des hackers

La technologie change notre mode de vie à un rythme effréné, et le besoin d'une éthique des hackers n'en est que plus pressant : pour poser les bonnes questions, comme Willem Westerhof ; pour incorporer les droits de l'homme dans la technologie, comme Niels ten Oever ; et pour éviter qu'un ordinateur prenne les commandes, comme Lyndsey Jackson. Les pirates nous montrent qu'il ne faut pas nécessairement accepter des nouveaux systèmes comme un fait inéluctable, imposé par une instance supérieure et qui détermine nos faits et gestes. Il faut au contraire leur trouver de nouvelles applications avec ingéniosité : nous devons nous approprier ces systèmes et les façonner, pas les laisser nous façonner... ❏

(160535 - version française : Jean-Louis Mehren)

Lien

Les présentations citées dans cet article sont disponibles en ligne : <https://media.ccc.de/b/conferences/sha2017>



bienvenue dans votre e-choppe

la rédaction recommande

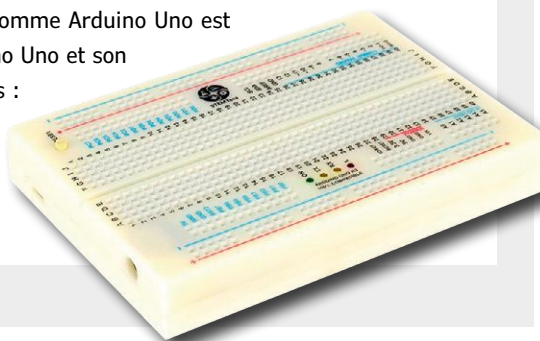


STEMTera

La STEMtera est une plaque d'essai de 40 x 2 x 5 contacts avec un Arduino Uno R3 intégré. Et, si on renverse les rôles, c'est un Arduino Uno R3 intégré dans un boîtier solide qui constitue une plaque d'essai. C'est clairement l'avantage numéro 1 de la STEMtera : une façon durable de bricoler avec Arduino. C'est particulièrement solide et ne risque pas de se casser en tombant. Il est impossible de faire un court-circuit par mégarde avec un morceau de fil ou en fichant un tournevis dans l'Arduino sous tension. Disponible en plusieurs coloris, STEMtera est peut-être la meilleure façon d'utiliser un Arduino à l'école. Vous pouvez les « balancer » sur les tables et quand le cours est fini, les ramasser et les jeter dans une boîte sans les endommager. En outre, le dessous est compatible avec les briques de Lego. L'utilisation de la STEMtera comme Arduino Uno est aussi facile que l'utilisation d'un Arduino Uno et son fonctionnement est identique. Petit plus : le STEMtera offre aussi un accès facile au deuxième micro d'un Arduino Uno.

Clemens Valens (labo d'Elektor)

www.elektor.fr/stemtera



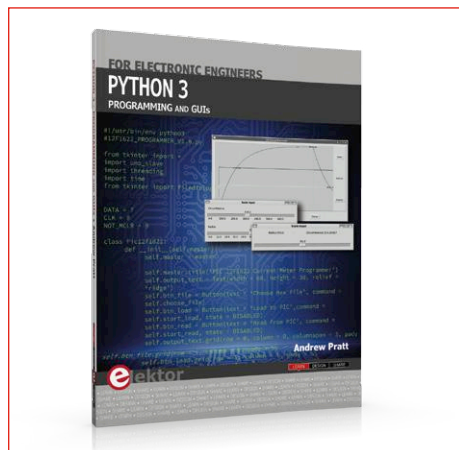
Vos favoris :

1. Python 3 - Programming and GUIs (livre en anglais)
www.elektor.fr/python



2. SmartScope de LabNation
www.elektor.fr/smartscope
3. Convertisseur A/N audio haut de gamme pour RPi
www.elektor.fr/audio-dac-rpi
4. Microscope USB numérique A1
www.elektor.fr/usb-microscope-a1
5. Lampe Peltier
www.elektor.fr/lampe-peltier
6. Horloge de sable Arduino
www.elektor.fr/horloge-de-sable-arduino

Python 3 – Programming and GUIs (livre en anglais)



Si vous développez des interfaces graphiques pour faire communiquer entre eux matériel et divers ordinateurs, apprenez à écrire en Python des applications pour le web ainsi que pour les environnements de bureau. Familiarisez-vous avec les outils Linux grâce à *Linux Live* à télécharger gratuitement et utilisable sur n'importe quel ordinateur, sans avoir à l'installer. La carte utilisée est le module de développement UM245R.



Prix (membres) : 31,46 €

www.elektor.fr/python

Écran tactile de 25 cm pour RPi (HDMI/VGA/BNC/AV)



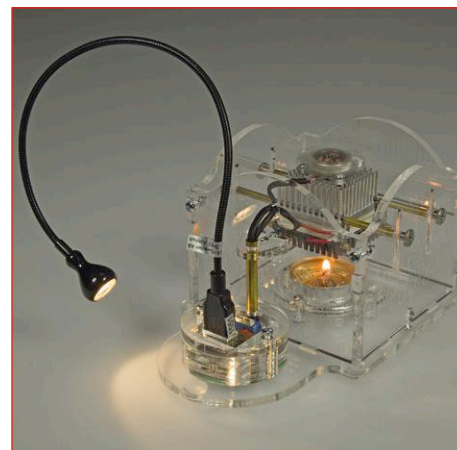
Écran tactile de 25 cm (10 pouces), logé dans un élégant et robuste boîtier métallique avec finition noire mate et dalle à vitre durcie (3H). Au dos de l'écran, une plaque peut recevoir n'importe lequel des ordinateurs monocartes courants (Raspberry Pi, etc). Alimentation par USB ou adaptateur secteur (fourni). Cet écran sert de moniteur de PC standard, grâce à ses connecteurs HDMI et VGA. Le compagnon idéal du microscope HDMI Andonstar ADSM201.



Prix (membres) : 130,46 €

www.elektor.fr/ecran-tactile-rpi

Lampe Peltier

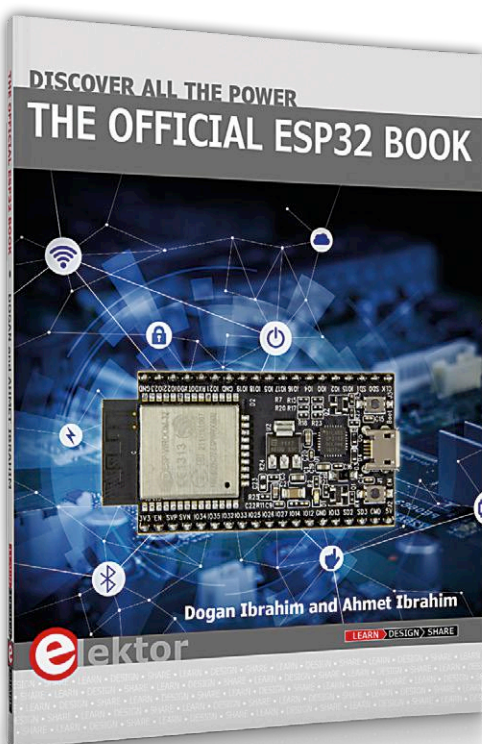


Transformez des modules Peltier en générateur thermoélectrique. Ici, la chaleur de la flamme d'une bougie est transformée en électricité pour alimenter une lampe à LED, ce qui permet de gagner en intensité lumineuse. Le kit comprend toutes les pièces nécessaires pour assembler la lampe : convertisseur CC/CC préassemblé, pièces en acrylique avec tous les accessoires et le matériel, modules Peltier, ventilateur, lampe USB, et même quelques bougies.



Prix (membres) : 107,96 €

www.elektor.fr/peltier-lamp-1



The official ESP32 book

(livre en anglais)

Livre officiel de l'ESP32 - Découvrez toute sa puissance !

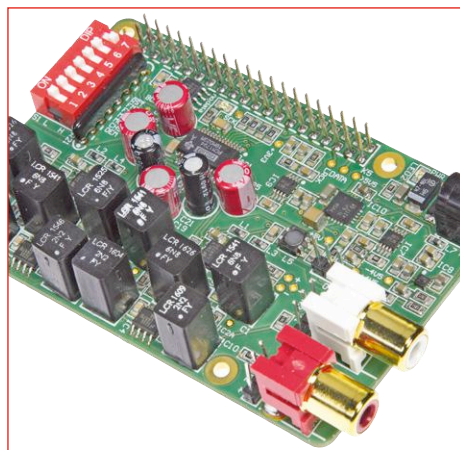
La société chinoise Espressif Systems a récemment conçu un nouveau système sur puce (SoC) nommé ESP32. En plus de toutes les fonctions de l'ESP8266, l'ESP32 peut communiquer par Bluetooth, dispose d'une plus grosse mémoire SRAM, de plus d'E/S à usage général, de plus de signaux d'interface, d'un capteur tactile et d'un capteur de température. Sa CPU est plus rapide et connectable à un bus CAN ; elle comprend des convertisseurs A/N et N/A avec une résolution plus élevée ainsi que des fonctions de sécurité. Ce livre est une introduction à l'ESP32 et décrit les principales caractéristiques matérielles et logicielles de cette puce. L'objectif principal de ce livre est de montrer au lecteur comment utiliser le matériel et le logiciel de l'ESP32 à l'aide de projets pratiques, en particulier avec la carte de développement ESP32 DevKitC. Le livre décrit de nombreux projets simples ainsi que de niveau intermédiaire, autour de la carte de développement ESP32 DevKitC, de l'environnement de développement Arduino et du langage de programmation MicroPython. Le niveau de difficulté des projets est croissant. Un kit ESP32 spécialement préparé pour ce livre est disponible chez Elektor. Il contient tous les composants utilisés dans les projets de ce livre. Il facilitera donc leur réalisation.



Prix (membres) : 29,95 €

www.elektor.fr/esp32-book

Convertisseur A/N audio haut de gamme pour RPi



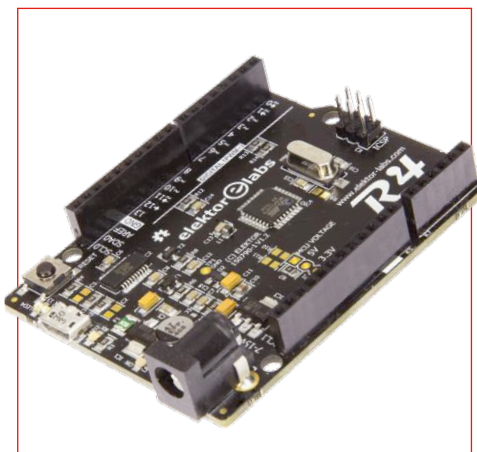
Les mini-ordinateurs, tel le Raspberry Pi, sont vraiment prédestinés à être utilisés comme lecteur audio autonome et sur réseau. Avec une distribution Linux spécifique comme Volumio, c'est pratiquement un jeu d'enfant. Mais qu'en est-il de la qualité du signal audio ? Le quatuor formé par un Raspberry Pi, le C A/N haut de gamme de type PCM1794A (flanqué de remarquables filtres), la commande de volume et l'écran tactile flattera votre ouïe.



Prix (membres) : 134,95 €

www.elektor.fr/audio-dac-rpi

Elektor Uno R4



Quand un fabricant propose la version B d'un produit donné, les différences entre nouveau et ancien produits sont généralement peu significatives. Ce n'est pas le cas pour l'ATmega328P d'Atmel au cœur de l'Arduino Uno R3. La version B de ce µC a tellement de nouvelles fonctions que l'abandon de la version R3 est justifié : passez à l'Elektor Uno R4.



Prix (membres) : 24,95 €

www.elektor.fr/helektor-uno-r4

Maîtrisez les microcontrôleurs à l'aide d'Arduino



3^e édition augmentée avec AVR Playground & Elektor Uno R4

L'ambition de cet ouvrage est de vous faire entrer dans le monde Arduino puis de vous en faire ressortir victorieux pour vous emmener plus loin dans l'apprentissage de la programmation des microcontrôleurs. Il met la théorie en pratique sur une carte Arduino avec l'environnement de programmation Arduino.



Prix (membres) : 32,85 €

www.elektor.fr/maitrisez-les-microcontroleurs-3

Hexadoku casse-tête pour elektorniciens

Votre magazine se termine toujours et encore par une grille de sudoku particulière. Éteignez le fer à souder, oubliez les écrans de PC et d'oscilloscope, 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 €**.

À vos crayons !

Envoyez votre réponse (les chiffres sur fond grisé)

avec vos coordonnées par courriel,

avant le **23 novembre 2017** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

Les gagnants

La solution de la grille du numéro de septembre/octobre est **C3E61**

Les cinq bons Elektor d'une valeur de 50 € vont à :

Gregorio **Ballini** (Italie), Emil **Cugini** (Suisse), Thomas **Lienhard** (Suisse), Eugene **Stemple** (États-Unis) et Han **Welmer** (Pays-Bas).

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

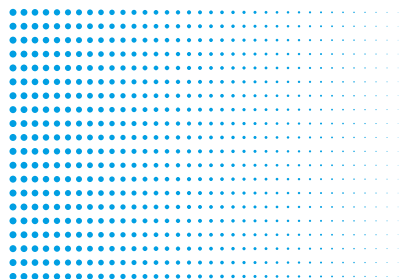
0	4								D	F	3	7	E
		3		7	1								9
		E		D		2	1	F	6	3		4	5
		2		3	E	5			B	C			6
F				C		D	6		5		7	9	4
9	A		5	F	0		B	C		E		1	
	2								3			E	
	5	6			8	B	E		1			A	
		7					4	9		A	E	8	
D	A						0	2	5	1		4	
	E		9	8	A		6		B		2	5	F
	4			6	E				F	8			
	0	9			5						D	F	8
		D	C				F	3	5	0			7
4			F	B	2	C		A					
6	7					4			D	F			1

A	E	2	8	C	4	D	9	0	1	5	B	3	6	7	F
7	B	6	3	5	8	E	F	9	C	4	2	A	D	0	1
C	F	4	5	0	1	7	A	3	6	D	8	9	2	B	E
0	D	9	1	3	6	B	2	7	E	F	A	5	C	4	8
B	0	A	7	9	E	2	1	4	5	3	F	6	8	C	D
D	8	C	2	A	F	3	0	6	7	9	1	B	5	E	4
F	5	1	9	6	B	4	D	E	8	A	C	7	3	2	0
E	4	3	6	7	5	8	C	B	2	0	D	F	1	9	A
9	C	E	F	8	A	5	7	D	B	6	3	0	4	1	2
2	7	5	D	B	0	6	E	F	A	1	4	C	9	8	3
3	A	8	B	1	D	9	4	2	0	C	7	E	F	5	6
6	1	0	4	F	2	C	3	5	9	8	E	D	7	A	B
1	3	F	E	D	7	0	5	8	4	B	9	2	A	6	C
8	9	7	C	E	3	1	6	A	D	2	0	4	B	F	5
5	2	B	A	4	9	F	8	C	3	E	6	1	0	D	7
4	6	D	0	2	C	A	B	1	F	7	5	8	E	3	9

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.

FORUMLED

EUROPE



13 & 14 DECEMBER 2017 | 9^{ème}
Cité Centre des Congrès - Lyon - France | édition

L'événement majeur en Europe dédié à la technologie LED

**N'IMAGINEZ PAS LE FUTUR
VIVEZ LE !**

UN ÉVÉNEMENT GLOBAL POUR L'ÉCLAIRAGE LED

Un congrès référence
du plus haut niveau international
regroupant les meilleurs experts mondiaux



100 exposants
ouvrant toute la chaîne de valeur de l'éclairage LED :
du composant au système d'éclairage technique global



Un espace Start-up et un Forum Investisseurs
pour stimuler la croissance du secteur



FULL LED EXPO
Le salon 100% éclairage LED



LUMIVILLE
Le salon international entièrement dédié
à l'éclairage extérieur et public

UN PROGRAMME DE CONFÉRENCES INTERNATIONALES DÉDIÉ À LA TECHNOLOGIE LED

Pour la 9^{ème} année consécutive, le congrès ForumLED Europe réunit une nouvelle fois les meilleurs spécialistes internationaux. Issus de laboratoires, d'entreprises de pointe et d'instituts publics spécialisés, et sélectionnés pour leurs complémentarités et leurs connaissances indiscutables de la technologie et des applications LED, ces intervenants dresseront, pour vous, un état des lieux sans concession et partageront leur vision d'avenir du marché et de la technologie LED.

CHIFFRES CLÉS

- 150 EXPOSANTS ATTENDUS
- 2 500 VISITEURS ATTENDUS
- 300 AUDITEURS
- 50 CONFÉRENCIERS
- 30 NATIONALITÉS REPRÉSENTÉES (2016)

INFORMATIONS

Caroline Roques
Lionel Leone

+33 (0)4 37 40 31 61
info@forumled.com

WWW.FORUMLED.COM

Dans le cadre des

light
ing
days

CHANGER MAINTENANT POUR TRIPLE ÉCONOMIE !

V-TAC[®]
INNOVATIVE LED LIGHTING

- 1 Un achat durablement avantageux !
- 2 Réduction jusqu'à 85 % de la facture d'électricité !
- 3 Baisse des frais d'entretien grâce à la longue durée de vie !

LAMPE LED

- 9 W, 806 lm
- 2 700 K
- 20 000 h

La pièce à seulement

Référence : VT-7260

1,42
A⁺



Technique LED reichelt de haute qualité et peu couteuse !

SPOT LED

- 3 W, 210 lm
- 3 000 K
- 20 000 h



Référence : VT-7126



A⁺ 0,70

LED À FILAMENT

- 4 W, 400 lm
- 2 700 K
- 20 000 h



Référence : VT-1885



A⁺ 1,76

PROJECTEUR

- 10 W, 850 lm
- 4 500 K
- 20 000 h



Référence : VT-5899

A⁺ 5,84

PROJECTEUR AVEC DETECTEUR

- 20 W, 1 700 lm
- 6 000 K
- 20 000 h



Référence : VT-5802

A⁺ 16,77

LAMPE TUBE

- 36 W, 2 800 lm
- 4 500 K
- 20 000 h



Référence : VT-6200

A⁺ 18,43

Technique LED pour l'intérieur et l'extérieur – découvrez et faites des économies dès maintenant :

www.reichelt.fr/semainesoperationled

**FAITES DES ÉCONOMIES
DÈS MAINTENANT ►**

