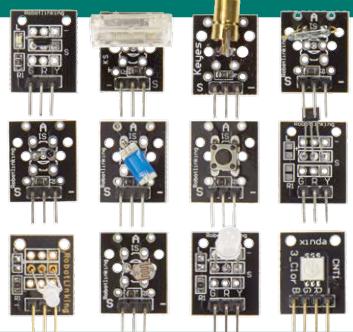


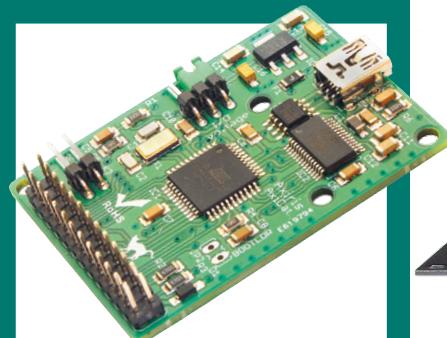


elektor

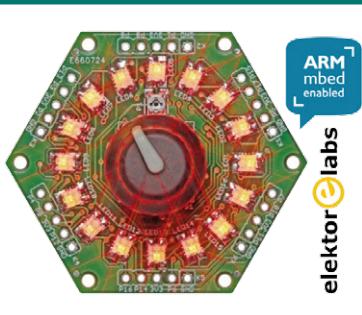
DÉCOUVRIR CRÉER PARTAGER

**capteurs**

pour Arduino et Cie

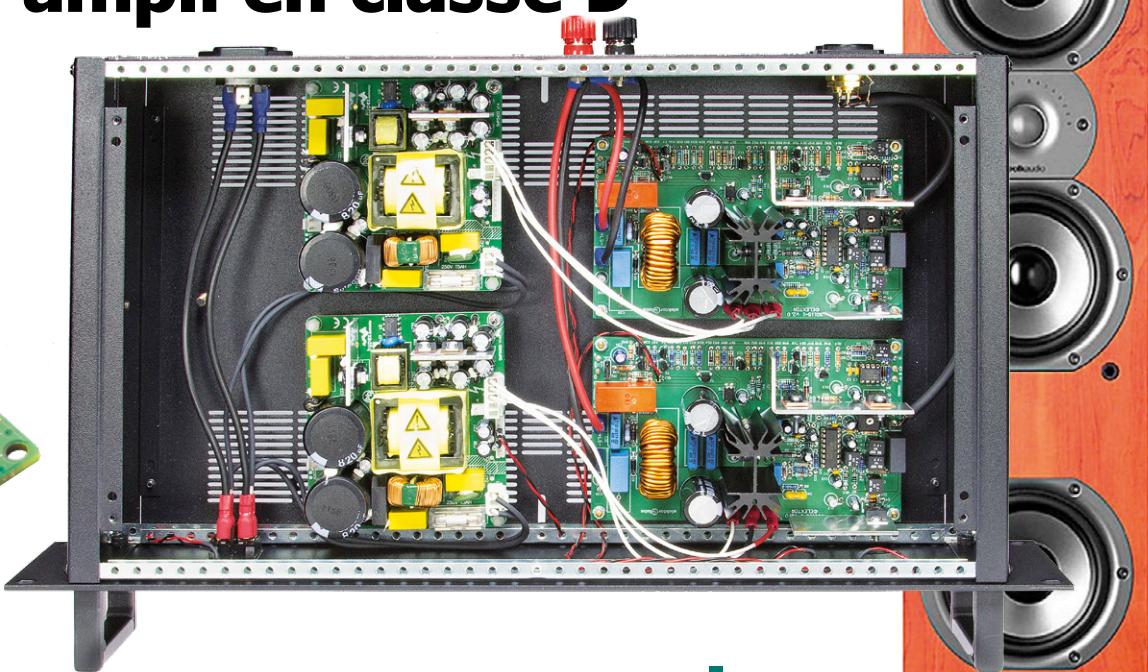
**AxICat**

outil de développement polyvalent sur USB

**interface mbed****Elektor**

CoCo-ri-Co dans les nuages

le déwatteur ampli en classe D



ne consomme que la puissance qu'il fournit

Baroduino - avis de tempête sur écran TFT avec **Arduino** • applis de mesure pour Android • **liaison entre T-Board 28 et BoB-FT232R** • SmartScope Maker Kit - plateforme de développement FPGA ouverte • **isolateur universel pour bus I²C avec adaptateur de niveau** • souder au pas de 0,5 mm • **R. Lacoste - bruit et sensibilité des récepteurs** • Arduino - nombres aléatoires grâce à un générateur de bruit

Dans cette édition :
5 projets du labo
2 projets de lecteur
Android, Arduino,
I²C, mbed ...



elektor PCB Service

le fruit de la coopération d'elektor et d'eurocircuits



**confiez-nous
la production de vos circuits imprimés,
vous avez tout à y gagner !**

➔ le prix !

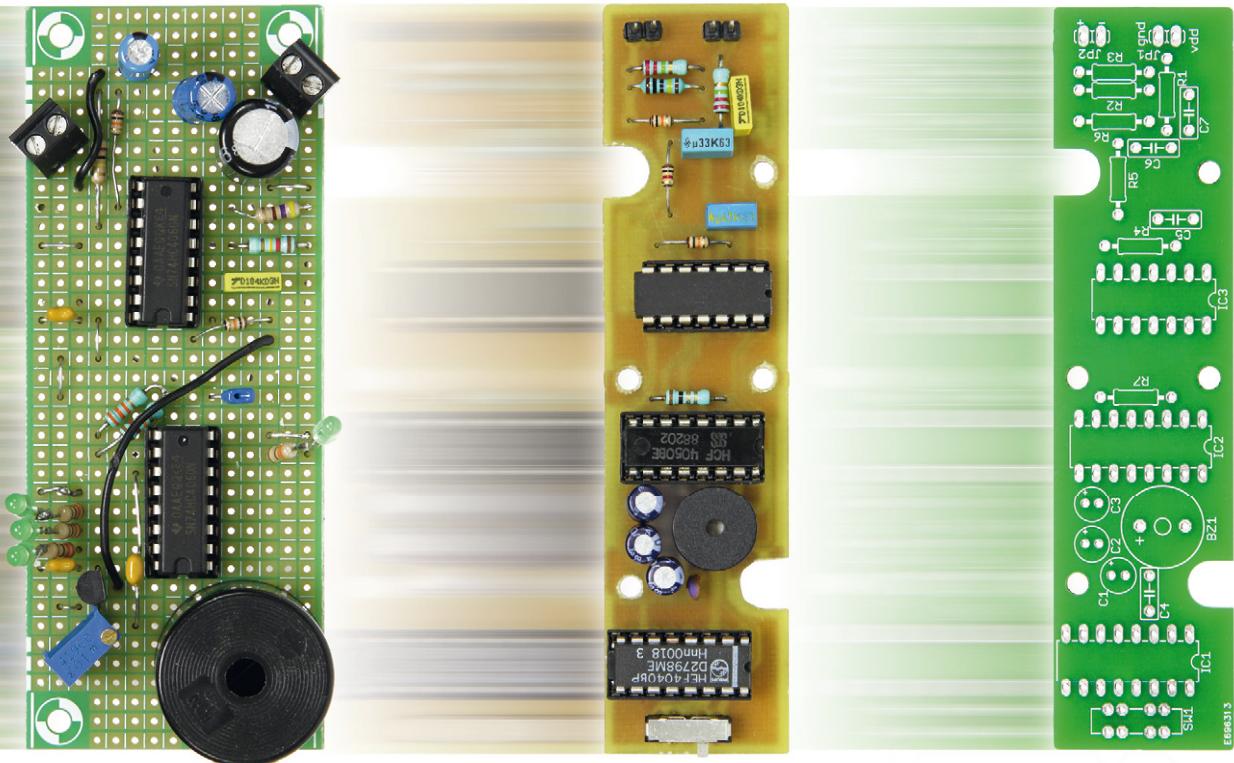
irrésistible...

➔ la qualité !

imbattable...

➔ la fiabilité !

inégalée...



elektor PCB service est, à l'échelle européenne, le service le plus complet de fabrication sur mesure de circuits imprimés. Ce service commence en ligne, par le confort et l'efficacité d'outils faits sur mesure, étudiés pour vous permettre de visualiser votre commande et de l'analyser avant de payer.

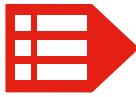
- Pour vos débuts, vous utiliserez éventuellement le service de **prototypage sans masque de soudure** ; dans ce cas, vos circuits imprimés simple ou double face sont nus.
- Pour les utilisateurs exigeants, nous proposons les options sans compromis. Le **PCB Visualizer** montre les circuits imprimés tels qu'ils seront livrés, le **PCB checker** procède à une vérification technique de votre circuits imprimés (*design rules check*), et enfin le **PCB configurator** facilite la préparation de la commande.

Des menus bien conçus et un guidage par options accélèrent le processus de commande sans négliger aucun détail. Au moment de passer votre commande, vous savez exactement ce qui sortira de nos machines.



Qu'il soit perso ou pro, confiez votre prochain PCB à :

www.elektorPCBservice.com



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 :

Fabio Romagnoli +32 485 65 40 90
fabio.romagnoli@eimworld.com

DROITS D'AUTEUR :

© 2016 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 Seneffeler Misset – Doetinchem
Distribué en France par M.L.P.
et en Belgique par A.M.P.



La loi de la yaourtière

- Vous en avez fait quoi de celui de l'année dernière ?
- De quoi ?
- De l'objet connecté de Noël dernier ?

Je viens de lire que la plupart des objets connectés en circulation (bracelets, pèse-personnes, montres...) ont été offerts à leurs possesseurs. Pas étonnant qu'ils finissent souvent au fond d'un tiroir, c'est la *loi de la yaourtière* (ou de la machine à pain).

Pour éviter ce triste sort à ses produits, le patron de Google, avant de décider s'il investira ou pas ses milliards dans une nouvelle acquisition, y applique le *test de la brosse à dents*. L'objet ou le service convoité sera-t-il utilisé plusieurs fois par jour et par beaucoup de gens ? Améliorera-t-il sensiblement leur vie ? La fréquence d'usage d'un produit semble un indicateur fiable de sa rentabilité à long terme.

À propos de long terme, si je ressors aujourd'hui l'objet connecté de l'an dernier, fonctionnera-t-il encore ? Qui se soucie encore de sa compatibilité avec la version actuelle du système d'exploitation de mon ordiphone ? Adieu la connexion ! Nous autres mordus d'électronique avions autrefois le plaisir de désosser ces gadgets déchus, de les recycler ou d'en récupérer les composants au lieu de les envoyer à la poubelle.

Alors, cette yaourtière pour Noël : connectée ou pas ?
Bonnes fêtes de fin d'année !

Marilene Thiebaut-Brodier

Notre équipe

| | |
|----------------------------|--|
| Rédactrice en chef : | Marilene 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 : | Pascal Duchesne, Yves Georges, Robert Grignard, Émilie Hentges, Jean-Louis Mehren, Denis Meyer, Hervé Moreau, Kévin Petit, Guy Raedersdorf |
| Service de la clientèle : | Cindy Tijssen |
| Graphistes : | Giel Dols, Mart Schroijen, Patrick Wielders |
| Elektor en ligne : | Daniëlle Mertens |

- 5 Bientôt dans Elektor
- 6 Elektor : guide de connexion(s)
- 13 agenda
décembre 2016
- 26 ElektorBusiness
- 64 l'e-choppe d'Elektor
- 80 des nouvelles du monde d'elektor
- 82 hexadoku
casse-tête pour elektorniciens

DÉCOUVRIR CRÉER PARTAGER

- 8 bienvenue dans la section DÉCOUVRIR
- 9 référence de tension à barrière de potentiel drôle de composant n°28
- 10 interfaçage simplifié des capteurs de position analogiques et numériques pour systèmes de commande industrielle
- 14 hors-circuits avec R. Lacoste
bruit et sensibilité des récepteurs : une introduction
- 18 capteurs (1)
pour Arduino et Cie
- 28 CAP sur l'innovation
PME dopées à l'Internet des Objets

DÉCOUVRIR CRÉER PARTAGER

- 32 bienvenue dans la section CRÉER
- 33 nombres aléatoires en analogique grâce à un générateur de bruit et une carte Arduino
- 36 le déwatteur, ampli en classe D
ne consomme que la puissance qu'il fournit
- 47 atelier minute
relier une T-Board 28 & un BoB-FT232R
- 48 Baroduino
Arduino dessine l'avis de tempête sur écran TFT

le déwatteur

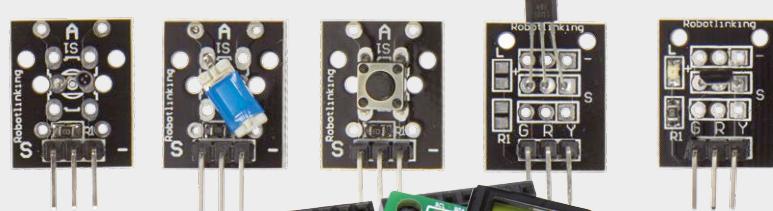
36

CAPTEURS

POUR ARDUINO ET CIE

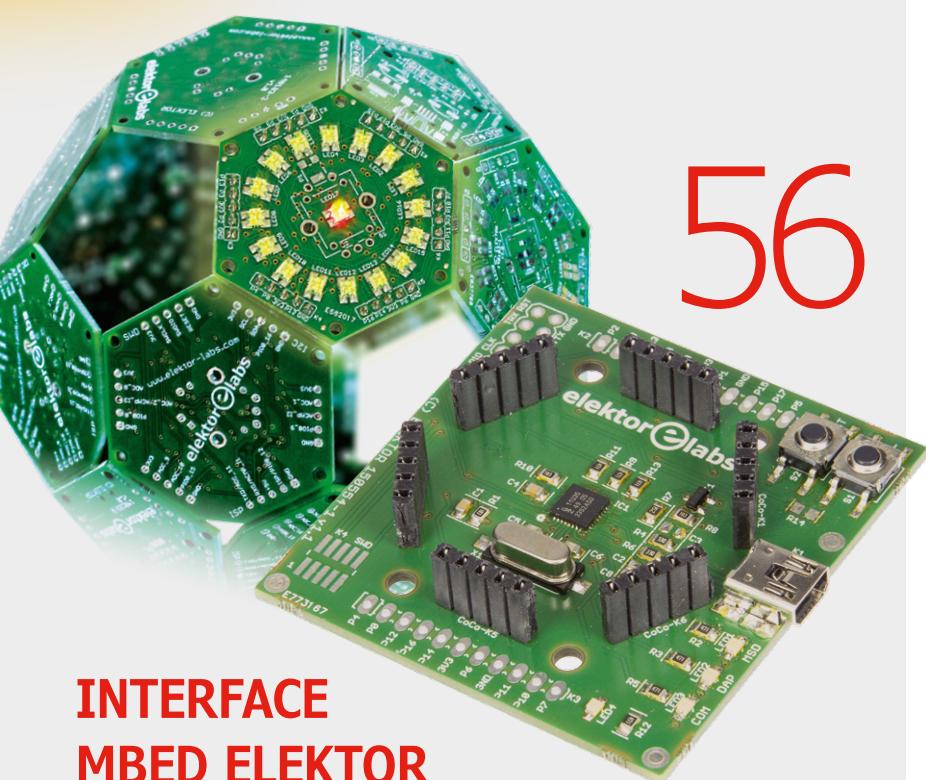
18

Depuis un certain temps, Elektor propose un kit de 35 capteurs et actionneurs. Ce kit permet de réaliser les applications les plus diverses dans les domaines de la métrologie, la robotique et la domotique. Qu'il s'agisse d'une carte Arduino ou d'un autre microcontrôleur, les possibilités sont sans limites.



ampli en classe D

ne consomme
que la
puissance
qu'il fournit



INTERFACE MBED ELEKTOR

COCO-RI-CO DANS LES NUAGES

La plateforme de prototypage rapide mbed de la société ARM (faut-il dire Softbank maintenant ?), avec ses nombreuses bibliothèques à sources ouvertes et son compilateur en ligne, est un excellent outil pour développer des applications sur du matériel tiers. Saviez-vous que vous pouvez créer votre propre plateforme mbed Enabled et ajouter la programmation par glisser/déposer à votre carte ?

- 50 AxiCat
outil de développement polyvalent sur USB
- 54 isolateur universel pour bus I²C
avec adaptateur de niveau
simple et compact
- 56 interface mbed Elektor
CoCo-ri-Co dans les nuages

DÉCOUVRIR CRÉER PARTAGER

- 68 bienvenue dans la section PARTAGER
Nixie « Canada Dry », épisode 3
- 69 applis de mesure pour Android
découvrez les talents de votre ordiphone
- 72 SmartScope Maker Kit
plateforme de développement FPGA ouverte
- 77 bruits de labo...
- 78 souder au pas de 0,5 mm
144 broches ni plus ni moins
- 79 projet 2.0
corrections, mises à jour et courrier des lecteurs

 bientôt sur ces pages

Le prochain numéro combinera comme toujours théorie et pratique pour apprendre, concevoir et partager une électronique qui étonne.

Extrait du sommaire du prochain numéro :

- Adaptateur SO8-DIP8
- Brainbox Arduino
- Contrôle de température avec ESP8266
- Chaîne de LED avec ML1
- Débogage Arduino M0
- Logiciel pour Swiss-Pi
- OBD avec Raspberry Pi
- Prototype Tabula
- Radio Raspberry Pi
- Sablier
- etc.

Sous réserve de modification.

Le numéro de janvier-février 2017 paraîtra le 28 décembre 2016.

la communauté d'Elektor

DÉCOUVRIR

CRÉER

PARTAGER

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 grotte d'Ali Baba des électroniciens ! 10 % de remise permanente pour les membres GREEN et GOLD. www.elektor.fr



Elektor Magazine : dix numéros par an d'électronique inédite (projets, banc 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.elektorpbservice.com



Elektor GRATUIT & SANS PAPIERS : 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



Elektor livres & DVD : 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

- ✓ l'accès à l'archive d'Elektor
- ✓ 10% de remise dans l'e-choppe
- ✓ 10 x magazine numérique
- ✗ 10 x magazine imprimé
- ✓ des offres exclusives
- ✓ l'accès à **ElektorLabs**
- ✗ un DVD annuel

▶ **connectez-vous**

www.elektor.fr/formule-greencard

formule

GOLD 127,50 € par an

- ✓ l'accès à l'archive d'Elektor
- ✓ 10% de remise dans l'e-choppe
- ✓ 10 x magazine numérique
- ✓ 10 x magazine imprimé
- ✓ des offres exclusives
- ✓ l'accès à **ElektorLabs**
- ✓ un DVD annuel

▶ **connectez-vous**

www.elektor.fr/formule-goldcard

formule

GRATUITE

- ✗ l'accès à l'archive d'Elektor
- ✗ 10% de remise dans l'e-choppe
- ✗ 10 x magazine numérique
- ✗ 10 x magazine imprimé
- ✓ des offres exclusives
- ✓ l'accès à **ElektorLabs**
- ✗ un DVD annuel

▶ **connectez-vous**

www.elektor.fr/inscription

82

248153

1040

489

235332

pays

membres actifs

experts & auteurs

publications

visiteurs (par mois)

www.elektormagazine.fr

Explorez le monde de l'électronique

Entièrement rénové, notre site offre aux mordus d'électronique tout un monde de projets, d'articles et vidéos. Un bouton en haut du menu donne accès aux versions française, néerlandaise, allemande et anglaise du site. Le moteur de recherche intelligent permet de trouver rapidement informations et articles. Avec l'abonnement GREEN ou GOLD, vous pouvez naviguer dans toutes les archives d'Elektor et profiter de services complémentaires : offres et remises exclusives... Vous avez également accès aux préférences de votre compte, y compris l'abonnement au magazine papier et à la lettre d'information Elektor.



Elektor : gratuit & sans papiers

Restez informé, restez passionné !

Comme plus de 120 000 autres électroniciens, grâce à notre lettre d'information gratuite Elektor, vous êtes au courant des dernières tendances et des récents développements de l'électronique.

En outre, les abonnés à Elektor reçoivent régulièrement des offres et remises spéciales pour la boutique en ligne.

Pour vous abonner :

www.elektor.fr/inscription



Elektor
DÉCOUVRIR CRIER PARTAGER

Elektor.POST NUMÉRO #155
20 décembre 2015



PAR LE RÉDACTEUR

LimiFrog : une grenouille qui va faire un bœuf !

par Denis Meyer
catégorie : composants
20 décembre 2015



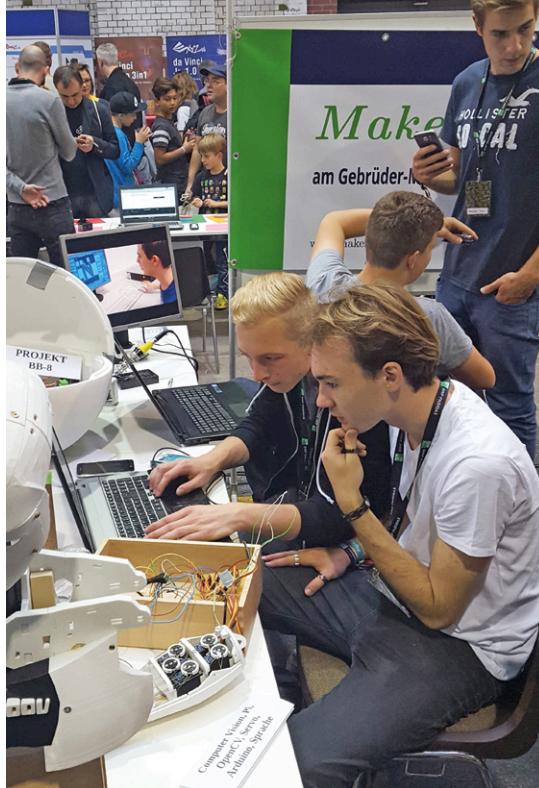
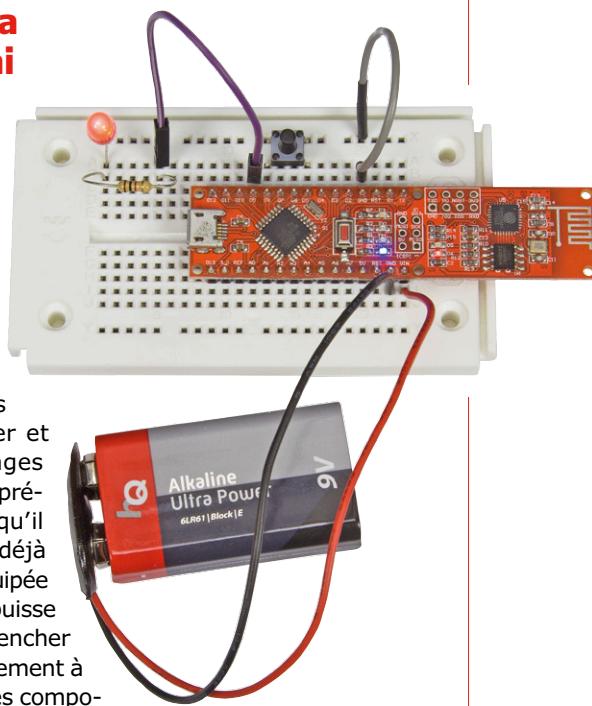
Le module programmable ultra-compact LimiFrog a été conçu pour inventer et prototyper des objets « intelligents », grâce à un µC à 32 bits, une mémoire flash de 64 Mbits, de nombreux capteurs, de la connectivité vers les smartphones et les PC, un écran OLED en couleur et une batterie rechargeable. Avec tout ça, cette petite grenouille ne pèse même pas 25 g !

bienvenue dans la section DÉCOUVRIR



À propos de la plaque d'essai

Au cours de mon voyage dans le nuage, sur les traces de l'Internet des Objets (voir les différents épisodes ici : www.elektormagazine.fr/tags/mon-voyage-dans-le-nuage) j'ai écrit quelques programmes sur PC pour envoyer et recevoir des messages MQTT. Je souhaite à présent écrire le microprogramme du microcontrôleur, pour qu'il acquière son autonomie. Avec la carte Pretzel, je dispose déjà d'une plateforme d'expérimentation adéquate, car elle est équipée d'un ATmega328 et de la puce WLAN ESP8266. Pour que je puisse contrôler ce que le microcontrôleur reçoit et également déclencher des actions, je dois brancher deux des lignes GPIO respectivement à une LED et à un bouton. La carte Pretzel accompagnée de ces composants et d'une plaque d'essai se trouve dans le *Maker Kit Internet des Objets* (ref. 17579) disponible dans la boutique en ligne d'Elektor. Peut-être était-ce par paresse, ou à cause de ma hâte de programmer... j'ai cependant trouvé dommage que le kit ne contienne pas quelques câbles prêts à être branchés sur la plaque d'essai : il ne contenait qu'une petite bobine de fil de câblage. Par chance, j'ai trouvé dans mon propre stock quelques fils de connexion adéquats et j'ai commencé la programmation. Toutefois je regrette que la plaque d'essai ne soit pas un peu plus grande, avec quelques LED pour l'utilisateur, des boutons et un écran. Hé oui, c'est comme ça, avant de programmer, je n'ai pas envie de m'occuper de problèmes de matériel. Peut-être que vous êtes aussi exigeant.



À propos de l'événement Maker Faire Berlin

Berlin, capitale, mérite toujours le détour : cette fois c'était pour le second Maker Faire qui s'y est tenu. Ça valait vraiment le coup de faire ce long voyage, il y avait dans ce hall de l'ancienne gare plein de projets excitants à découvrir. Une carte qui tourne toute seule avec une matrice de LED RVB capable de produire non seulement des anneaux hauts en couleurs, mais aussi un vrai petit feu d'artifice de table. Un miroir piloté par un microcontrôleur qui renvoie toute la lumière du soleil directement dans le séjour d'une maison. Un gant Bluetooth pour DJ et producteurs de musique. Une impressionnante batterie acoustique pilotée par programme séquenceur qui s'exécute sur une tablette. Un microordinateur à 1 bit construit avec de simples circuits logiques. Et plein d'autres choses encore. J'ai rapporté tout un tas de cartes de visite et de prospectus, je ne suis pas près d'être à court d'idées pour mes projets. ▶

(160211 - version française : Yves Georges)

référence de tension à barrière de potentiel

drôle de composant n°28

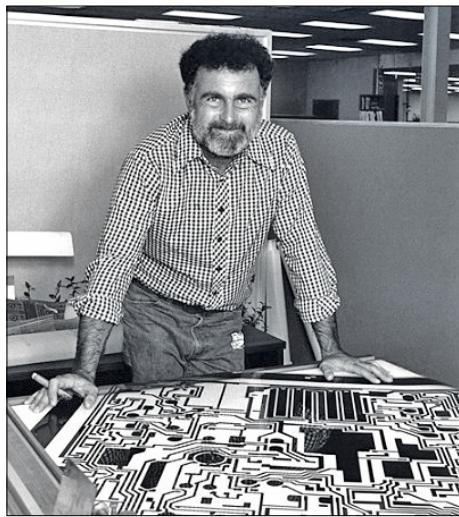


Figure 1. Robert John (Bob) Widlar (1939–1991), plaisantin à plein temps et enfant terrible de la Silicon Valley durant de nombreuses années.

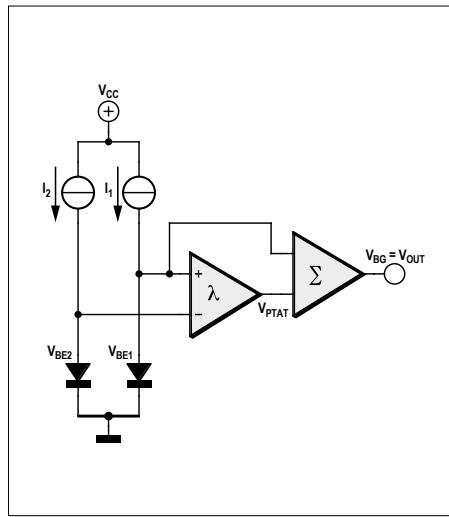


Figure 2. Circuit d'une référence de tension à barrière de potentiel (source : Texas Instruments).

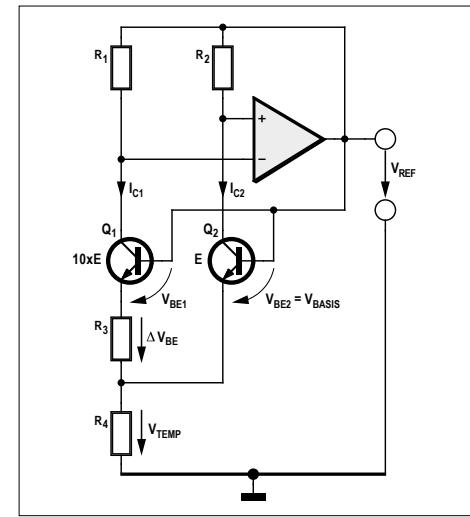


Figure 3. La version améliorée de Paul Brokaw.

Neil Gruending (Canada)

Les références de tension sont indispensables dans les régulateurs de tension, les circuits d'acquisition de données et bien d'autres circuits analogiques. Un type de référence en particulier, dit à barrière de potentiel, est typiquement utilisé pour sa haute précision due à la compensation en température. Cachée dans les circuits intégrés, personne ne lui accorde l'attention qu'elle mérite, personne à part *drôle de composant*.

Une des premières méthodes pour obtenir une référence de tension précise utilisait les lampes au néon. Une fois ionisées, la tension à leurs bornes est d'environ 48 à 80 V selon la lampe. Elles ne nécessitent pas beaucoup de courant, mais si la tension descend un peu trop, l'ionisation s'arrête et il faut une tension plus élevée (66 à 200 V) pour la redémarrer. Malgré ces limitations, on trouvait dès 1966 des lampes capables de réguler leur tension à ± 0.5 V près.

Cependant il n'a pas fallu bien longtemps avant que les diodes Zener ne les rem-

placent. Les régulateurs à diode Zener atteignent une précision bien meilleure en tirant avantage de la tension de claquage des jonctions PN polarisées en inverse. Grâce à leur large gamme de tensions, les diodes Zener s'adaptent à tous les types de régulateurs. Dans les années 70, elles sont utilisées dans les références de tension intégrées, où elles sont mises bien à l'abri au milieu des puces pour réduire leur niveau de bruit intrinsèque.

À l'époque tout le monde voulait des régulateurs de tension monolithiques, mais les diodes Zener ne convenaient pas. Bob Widlar (fig. 1), ingénieur chez National Semiconductor, publie même un article dans EEE disant qu'il est impossible de réaliser un régulateur monolithique à cause de l'influence thermique du transistor de puissance sur la référence de tension de la puce. Un an plus tard, il publie le circuit du premier régulateur de tension monolithique, le LM109. Pour s'affranchir de tous les problèmes thermiques, il a recours à une référence à barrière de potentiel comme celle de la figure 2. L'astuce de ce circuit est de polariser les diodes avec des courants différents

pour créer un courant proportionnel à la température absolue ou PTAT (*Proportional-To-Absolute-Temperature*). Les coefficients de température des diodes s'annulent alors, ce qui compense automatiquement en température la tension de sortie de 1,2 V.

Paul Brokaw améliore le circuit en 1974 en ajoutant une boucle de retour pour augmenter la précision (fig. 3). Son circuit utilise un amplificateur à rétroaction négative pour égaliser les courants de collecteur des transistors ; quand les courants sont égaux, les coefficients de température des transistors s'annulent exactement. C'est le rapport des surfaces des émetteurs des transistors qui définit ce comportement.

J'espère que cela vous donne un bon aperçu des références à barrière de potentiel et de leur naissance. Elles sont un bloc fonctionnel incontournable pour beaucoup de circuits. ▶

(160074 – version française : Kévin Petit)



Envoyez-moi vos idées en quelques lignes ou sous forme d'un article déjà rédigé : neil@gruending.net

interfaçage simplifié des capteurs de position analogiques et numériques pour systèmes de commande industrielle

Brian Fortman, marketing des commandes industrielles et de l'automatisation, microcontrôleurs C2000™, Texas Instruments

Dans les systèmes de commande industrielle, les éléments « auxiliaires » tels que les blocs fonctionnels de commande et de connexion posent de nombreux défis : cycles de développement allongés, plus grande surface de carte ou encore liste de composants plus coûteuse. Les concepteurs en oublient des caractéristiques essentielles :

meilleures performances, précision accrue ou boucle de commande améliorée. Toutefois les nouvelles technologies peuvent leur faciliter la tâche.



Un exemple type est l'interfaçage des microcontrôleurs avec des capteurs de position. Ces capteurs, linéaires, angulaires ou multiaxes, sont habituellement utilisés pour détecter la position relative ou absolue d'un système mécanique animé par un moteur. La position détectée est convertie en un signal électrique analogique ou numérique, ensuite transmis au circuit de commande.

L'interfaçage d'un capteur de position avec un µC, tâche généralement chronophage, implique souvent l'intégration d'un protocole de communication dans un FPGA ou la programmation d'un autre µC avec les protocoles de décodage. Pire encore, ces protocoles sont nombreux, chacun adapté à certains sous-systèmes/fonctions. Le concepteur est parfois obligé de développer un FPGA spécifique par protocole, difficilement transposable à une autre application. Bien entendu, la mise en œuvre des FPGA augmente le prix du système (du coût en composants électroniques, de l'espace requis sur le circuit

imprimé et de la durée des phases de développement), sans compter les tests poussés de conformité aux normes industrielles.

Il faut une solution qui simplifie l'interfaçage des capteurs de position avec les éléments de commande dans les systèmes de commande industrielle ; les concepteurs pourront alors se concentrer sur les caractéristiques et fonctions qui rendront leurs systèmes uniques, ce qui augmentera leur compétitivité sur le marché.

Intégration de l'asservissement de position

À partir de la gamme de µC C2000™ Delfino™, Texas Instruments fournit une plateforme complète pour systèmes de commande industrielle. Basés sur les fonctions de traitement requises par les systèmes de commande sophistiqués et précis, les µC C2000 Delfino F28379D et F28379S sont dotés de ressources sur puce totalement complémentaires, dont la tech-

nologie *DesignDRIVE Position Manager* qui prend en charge les interfaces pour capteurs de position analogiques et numériques les plus populaires. Un soulagement pour les concepteurs : ils sont dispensés des tâches élémentaires répétitives et donc gagnent du temps.

TI dispose d'une expertise approfondie dans l'interfaçage des capteurs de position avec des contrôleurs numériques. Après les interfaces autonomes pour les résolveurs numériques (cf. TMDRSRLVR), TI a ajouté une interface pour l'asservissement de position. Les coûteux jeux de puces « résolveurs numériques » sont remplacés par les fonctions sur puce des µC C2000, qui exploitent les imposantes fonctions des convertisseurs N/A et A/N. La puissante fonction mathématique trigonométrique des µC C2000 est idéale pour traiter le calcul d'angle et extraire des informations à haute résolution sur la vitesse à partir des signaux sinusoïdaux à modulation d'amplitude des résolveurs. Plusieurs µC C2000 supportent des modules améliorés à impulsions codées en quadrature (eQEP), capables de réaliser des interfaçages avec des codeurs linéaires ou rotatifs incrémentaux. Ces codeurs comptent les pulsations pour en tirer des informations de position (une fois le point de référence connu), de direction et de vitesse des machines en rotation utilisées dans des systèmes de commande de mouvement et de position haute performance. Par ailleurs, les eQEP peuvent être utilisés pour l'interfaçage de signaux de sortie à train d'impulsions (PTO) généralement émis par un automate programmable industriel (API) dans des applications de commande de mouvement en automatisation industrielle.

Les eQEP peuvent également être interfacés avec des signaux de sens horaire ou antihoraire (CW/CCW) qui servent typiquement à commander des moteurs pas-à-pas, des servomoteurs ou d'autres dispositifs mobiles. Les µC C2000 F28379 (**fig. 1**) supportent jusqu'à trois modules eQEP.

Les fonctions de résolveur et de QEP sont des solutions rapides, efficaces et intégrées pour l'interfaçage de capteurs de position avec des µC C2000 Delfino. Prochaine étape : des solutions de connexion directe du µC à des capteurs de position numériques et analogiques plus sophistiqués.

Technologie *DesignDRIVE Position Manager*

Disponible via la plateforme *DesignDRIVE* de TI, la technologie *Position Manager* exploite les ressources matérielles des µC C2000 Delfino F28379S et F28379D pour l'interfaçage avec les capteurs de position numériques et analogiques les plus populaires. *Position Manager* comprend déjà des codeurs incrémentaux (eQEP), la communication CW/CCW et des résolveurs autonomes, mais elle apporte aussi des solutions de détection de position analogique, intégrant à la fois l'activation du résolveur et la détection, ainsi qu'un gestionnaire de transducteur SinCos.

Propre aux µC C2000, *Position Manager* supporte à la fois les capteurs analogiques et les codeurs absolus numériques répandus, EnDat 2.2 et BiSS-C (**fig. 2**), d'où un large choix de capteurs de position.

Grâce à *Position Manager*, le concepteur accélère les cycles de développement et réduit le coût en composants (suppression du FPGA pour l'interfaçage d'un codeur spécifique avec le µC ou réduction de la taille du FPGA occupé à d'autres tâches). La **figure 3** montre comment *Position Manager* soulage les concepteurs : plus besoin de développer des pilotes logiciels

| TMS320F28379D | | Temperatures | 105C | 125C | Q100 |
|---|------------------------------|---|------|------|------|
| Position Manager | Processing | Actuation | | | |
| EnDat, BiSS, Resolver... | C28x™ DSP core 200 MHz | 12x ePWM Modules (Type 4) 24x Outputs (16x High-Res) | | | |
| Sensing | FPU | Fault Trip Zones | | | |
| ADC1: 16-bit, 1.1-MSPS 12-bit, 3.5 MSPS | TMU | 3x 12-bit DAC | | | |
| ADC2: 16-bit, 1.1-MSPS 12-bit, 3.5 MSPS | VCU-II | | | | |
| ADC3: 16-bit, 1.1-MSPS 12-bit, 3.5 MSPS | CLA core 200 MHz | Connectivity | | | |
| ADC4: 16-bit, 1.1-MSPS 12-bit, 3.5 MSPS | FPU | 4x UART | | | |
| 8x Windowed Comparators w/ Integrated 12-bit DAC | 6ch DMA | 2x I2C | | | |
| 8x Sigma Delta Channels | Up to 512 KB Flash | 3x SPI | | | |
| Temperature Sensor | Up to 102 KB SRAM | 2x McBSP | | | |
| 3x eQEP | 2x 128-bit Security Zones | 2x CAN 2.0 | | | |
| 6x eCAP | Boot ROM | USB 2.0 OTG FS MAC & PHY | | | |
| System Modules | 2x EMIF | uPP | | | |
| 3x 32-bit CPU Timers | | | | | |
| NMI Watchdog Timer | | | | | |
| 2x 192 Interrupt PIE | | | | | |
| Memory | Memory | Power & Clocking | | | |
| Up to 512 KB Flash | Up to 512 KB Flash | 2x 10 MHz OSC | | | |
| Up to 102 KB SRAM | Up to 102 KB SRAM | Ext OSC Input | | | |
| 2x 128-bit Security Zones | | | | | |
| Boot ROM | | | | | |
| 2x EMIF | | | | | |
| System Modules | Debug | | | | |
| 3x 32-bit CPU Timers | Real-time JTAG | | | | |
| NMI Watchdog Timer | | | | | |
| 2x 192 Interrupt PIE | | | | | |

Figure 1. Entrailles du µC C2000™ F28379D à double cœur avec technologie *DesignDRIVE Position Manager*.



Figure 2. La technologie *DesignDRIVE Position Manager* prend en charge la plupart des capteurs de position numériques et analogiques.

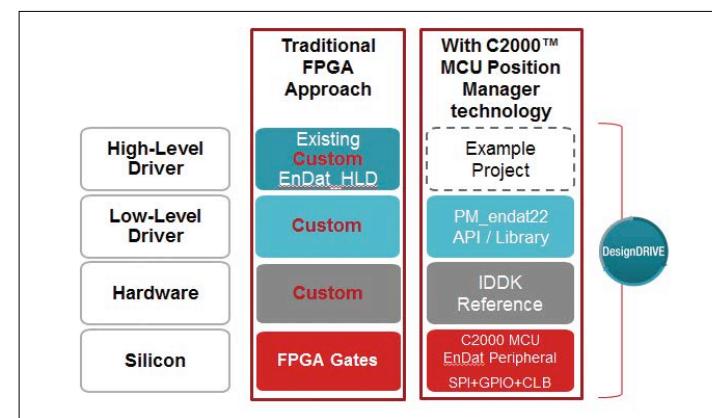


Figure 3. Exemple de solution EnDat 2.2 : empilage vs. FPGA.

de haut et bas niveau, ou encore de matériel ou de logique personnalisés, implantés sur un FPGA externe. De plus, *DesignDRIVE* propose des exemples de commande asservie avec capteur de position pour les intégrer dans ses propres projets. Les

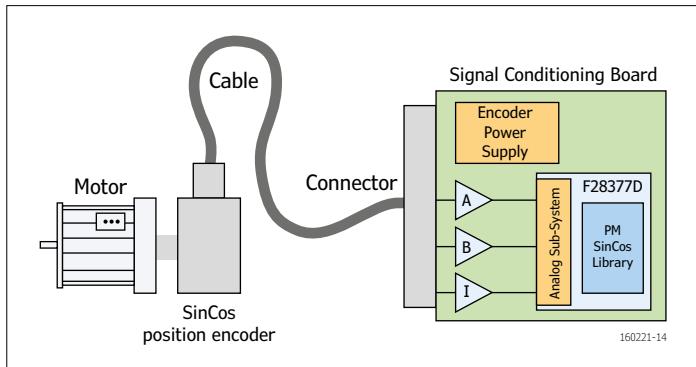


Figure 4. Commande industrielle avec interface de codeur de position SinCo.

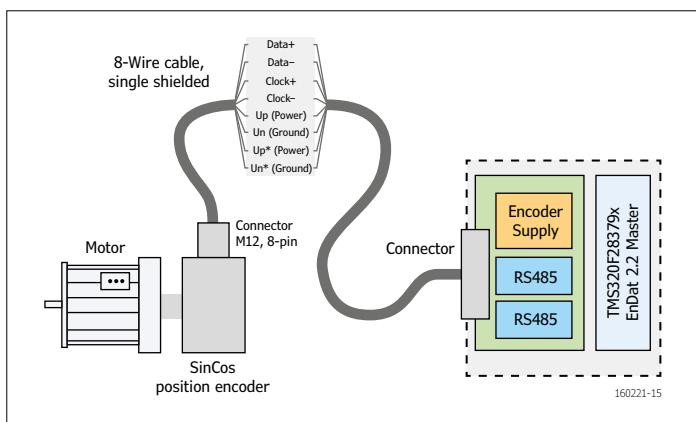


Figure 5. Commande industrielle avec interface de codeur de position EnDat 2.2.

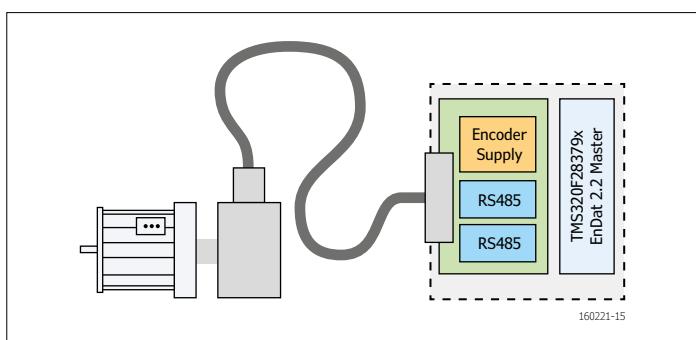


Figure 6. Commande industrielle avec interface de codeur de position BiSS-C

couche les plus basses du système sont fournies sur la puce ou par le biais de projets de référence et d'une bibliothèque de modules de type API, prête à l'emploi.

Outre la durée de développement, Position Manager raccourcit également les tests de conformité et d'interopérabilité menés par les fabricants de systèmes dans le passé. Elle est intégralement testée pour de nombreux types de capteurs. Consultez le guide de l'utilisateur pour plus d'informations sur les résultats. Les futures révisions et mises à jour pour se conformer aux normes en vigueur seront également prises en charge par Position Manager.

Nouvelles fonctions d'interfaçage de capteurs de position

TI a enrichi sa gamme d'interfaces pour capteurs de position avec des fonctions et des caractéristiques améliorées. Découvrez ci-dessous les perfectionnements récemment apportés aux fonctions des produits TI grâce à la technologie *Design-DRIVE Position Manager*.

SinCos

SinCos est une méthode d'asservissement intégrée dans les interfaces de codeurs comme Hiperface® ou d'autres interfaces propriétaires. Ces codeurs absolus dits sinusoïdaux offrent habituellement de bien meilleures résolutions en matière de position et de vitesse que les résolveurs ou les codeurs incrémentaux. Dans les codeurs en quadrature conventionnels, les informations sur l'angle sont obtenues en comptant les fronts d'une paire d'impulsions en quadrature.

La résolution angulaire est fixée par le nombre d'impulsions de chaque tour mécanique. Cependant, dans les transducteurs SinCos, la précision de la mesure angulaire augmente en calculant l'angle entre les fronts au moyen du lien entre une paire de sorties sinus et cosinus du capteur. En réalité, une interpolation est faite entre les fronts pour obtenir un angle « fin ». L'angle « fin » est calculé en appliquant la fonction arc tangente aux deux entrées sinusoïdales. Pour que le calcul soit correct, il doit être effectué sur les deux entrées simultanément.

Plusieurs milliers de tours électriques de signaux sinusoïdaux se produisent généralement à chaque tour mécanique de l'arbre du codeur.

Le sous-système interne analogique des µC F28379 Delfino est idéal pour l'interfaçage avec des transducteurs SinCos. La présence de plusieurs CA/N déclenchables par la même source permet d'effectuer des mesures simultanées sur les deux voies d'entrée. Par ailleurs, les µC F28379 disposent d'une instruction native ARCTAN dans leur Unité Mathématique Trigonométrique (TMU), qui permet de calculer un angle en moins de 70 ns ! Autre considération : la vitesse de rotation du moteur (**fig. 4**). Il n'y a plus besoin d'information précise sur l'angle ; l'algorithme de mesure a seulement besoin de compter le nombre de tours sinusoïdaux complets pour déterminer une mesure d'angle « approximative ». Cette mesure est d'habitude effectuée par une paire de comparateurs analogiques qui comparent les sinusoïdes entrantes à un seuil qui symbolise le point de passage par zéro. Les sorties des comparateurs correspondent au signe de chaque sinusoïde et les signaux numériques qui en découlent sont similaires à ceux produits par un codeur en quadrature. Les µC F28379 comportent jusqu'à huit paires de comparateurs analogiques, chacune avec son propre seuil de tension programmable. Celles-ci permettent de produire des impulsions en quadrature qui alimentent ensuite en interne l'un des modules périphériques à codeur en quadrature (QEP) pour les mesures d'angle et de vitesse approximatives.

EnDat

EnDat est une interface numérique à quatre fils, bidirectionnelle, développée par l'entreprise allemande HEIDENHAIN. Un capteur avec codeur EnDat délivre des valeurs de position, transmet et met à jour les informations stockées dans le codeur ou

les sauvegarde. Les données sont envoyées avec des signaux d'horloge. Le µC C2000 peut sélectionner le type de données que le codeur doit transmettre, notamment les valeurs de position, paramètres, diagnostics, etc.

Position Manager réalise un interfaçage direct entre le µC C2000 F28379 et le codeur EnDat (fig. 5). Les seuls composants externes au µC sont les deux émetteurs-récepteurs RS-485 et le circuit d'alimentation du codeur. Le maître EnDat est implanté en utilisant le bloc logique configurable du µC C2000, siège de la gestion du protocole de communication.

Position Manager a été testée avec une gamme de codeurs HEIDENHAIN rotatifs, linéaires et multitours pour des résolutions de 13 bits à 35 bits à 70 m de distance ou plus.

BiSS-C

L'interface numérique à code source ouvert BiSS (bidirectionnelle/série/synchrone) s'appuie sur un protocole de communication en temps réel. La spécification initiale a été développée par l'entreprise allemande iC-Haus GmbH.

Le mode BiSS continu (BiSS-C) est utilisé dans des applications industrielles. La spécification tire son origine dans l'interface série synchrone (SSI). L'interface BiSS-C est dotée de deux lignes unidirectionnelles ou bidirectionnelles pour l'horloge et les données. Comme pour toutes les interfaces supportées par Position Manager, un maître BiSS-C exécuté sur un µC C2000 F28379 se connecte directement à un codeur esclave BiSS-C sur un capteur de position (fig. 6). L'interface transmet des valeurs de position ainsi que d'autres informations du codeur au µC directement.

Le µC lit et écrit directement dans la mémoire interne du codeur. Position Manager de TI comprend une bibliothèque de fonctions BiSS-C auxquelles que le concepteur peut faire appel. La fréquence d'horloge de 8 MHz est supportée sur des câbles jusqu'à 100 m de long. De plus, l'interface BiSS du µC C2000 peut être adaptée pour une meilleure commande des fonctions modulaires et une meilleure synchronisation lors du transfert des informations de position des codeurs à chaque cycle de commande.

Systèmes sur puce de commande industrielle

Des µC performants et programmables tels que les C2000 Defino F28379 de TI sont la prochaine étape vers les systèmes sur puce (SoC) de commande industrielle. Ils offrent des architectures système plus efficaces en supprimant les FPGA externes pour les traitements accessoires requis ou en réduisant de manière significative la taille des FPGA.

En permettant de connecter directement un µC C2000 et un capteur de position, Position Manager libère les concepteurs des tâches de moindre intérêt s'agissant de la connectivité de l'appareil. Ils peuvent ainsi se concentrer sur les caractéristiques et des fonctions qui, par leurs avantages concurrentiels, mettront véritablement en avant leurs solutions sur le marché. ▶

(160221 – version française : Émilie Hentges)

C2000 et Delfino sont des marques déposées de Texas Instruments. Toutes les autres marques déposées appartiennent à leurs propriétaires respectifs.



décembre 2016

◆ Journée Régionale de l'Électronique

01/12/2016 – Biot Sophia Antipolis

www.acsiel.fr/JRE%20Sophia-Antipolis2016.aspx

◆ Salon de la moto

01 au 06/12/2016 – Paris

<http://lesalondelamoto.com/>

◆ NAUTIC

Salon nautique de Paris

03 au 11/12/2016 – Paris

www.salonnautiqueparis.com/

◆ Connect+ Event

Solutions d'identifications novatrices et objets connectés (RFID, NFC, Bluetooth, Sigfox, LoRa...)

06 au 09/2016 – Paris

www.connectplusevent.com/

◆ MIDEST + Smart Industries + Forum Industrie du futur

Salon de tous les savoir-faire en sous-traitance industrielle

06 au 09/12/2016 – Paris

www.midest.com



LE SALON MONDIAL DE TOUS LES SAVOIR-FAIRE EN SOUS-TRAITANCE INDUSTRIELLE



midest

6 - 9 DEC. 2016 PARIS
FOIRE VERSOULIÈRE - FRANCE

www.midest.com

◆ CAP URBA + CAP CITIES CONGRESS

Salon et congrès de l'aménagement et des projets urbains

08 au 09/2016 – Lyon

www.capurba2016.com/



◆ ForumLED Colloque + exposition entièrement dédiés à la technologie des LED

08 au 09/12/2016 – Lyon

www.forumled.com



De 10 h à 17 h - Palais des Congrès de Paris - Porte Maillot - 17^e

Métro ligne 1: Château Vincennes - La Défense

◆ Toymania Salon du jouet ancien de collection

11/12/2016 – Paris

www.toymania.org/



11^e Salon international du jouet ancien

Dimanche 11 décembre 2016

06 64 78 69 07
www.toymania.org/



◆ Energiaïa Salon international des énergies renouvelables - avec conférences

14 au 15/12 – Montpellier

<http://energiaia.fr>

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.

bruit et sensibilité des récepteurs

une introduction

Depuis quelques années, nous sommes inondés d'annonces sur des technologies radio plus épatantes les unes que les autres, censées porter dix fois plus loin que leurs concurrents et consommer dix fois moins, ou présenter des débits tels que le texte d'une encyclopédie arriverait sur votre ordiphone en quelques secondes (si tant est que cela soit utile). Un retour aux notions de physique s'impose, il vous aidera à séparer les véritables progrès des laïus commerciaux.

Robert Lacoste (Chaville)

D'où vient la sensibilité d'un récepteur radio, principal facteur qui limite la portée d'une liaison une fois la puissance d'émission fixée ? Quels paramètres influent sur cette sensibilité ? Pourquoi le téléchargement d'une vidéo sur votre ordiphone est-il beaucoup plus lent à la campagne qu'en plein centre-ville ? Si la réponse à ces questions n'est pas évidente pour vous, cet article vous aidera à y voir plus clair. Promis, je n'utiliserai aucune formule mathématique qui ne soit pas à la portée d'un lycéen...

Bruit thermique ?

Les notions de sensibilité et de bruit sont intimement liées. Commençons par une petite expérience virtuelle. Prenez une résistance parfaite, disons de $1\text{ k}\Omega$. Si vous connectez un multimètre à ses bornes, vous mesurez bien sûr zéro volt. Est-ce bien sûr ? Eh bien non ! Si vous passez le multimètre en mode alternatif (et si celui-ci est assez sensible), vous lirez une tension non nulle, qui correspond à la tension de **bruit thermique** produite dans la résistance. Ce bruit thermique dépend de la température ambiante : il est créé par les mouvements aléatoires des électrons, qui augmentent avec la température (**fig. 1**). Ce bruit thermique est un bruit blanc, ce qui

signifie qu'il est « plat » dans le domaine fréquentiel : il y a autant de puissance de bruit entre 0 et 1 MHz qu'entre 100 et 101 MHz. Le bruit mesuré dans notre expérience dépend donc de la bande passante, notée BW , de notre multimètre : plus la bande passante est large, plus la tension de bruit est élevée. Plus précisément, la formule suivante permet de calculer la tension efficace (U_{RMS}) du bruit thermique qui apparaît aux bornes d'une résistance R :

$$U_{\text{THERMIQUE}} = \sqrt{(4 \times k \times T \times R \times BW)}$$

Dans cette formule, $U_{\text{THERMIQUE}}$ est en volts, T est la température ambiante en degrés Kelvin, R est la résistance en ohms, BW est la largeur de bande en hertz du récepteur (ici le multimètre) et k est la constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ joules par Kelvin). Si vous faites le calcul, vous trouverez $4\text{ }\mu\text{V}$ pour notre résistance de $1\text{ k}\Omega$ à température ambiante (20°C) et pour une largeur de bande de 1 MHz. Faible, mais facilement mesurable...

Dans cette rubrique, j'ai déjà plusieurs fois parlé d'adaptation d'impédance. Vous savez donc que pour obtenir un transfert de puissance maximal, il faut raccorder la résistance source à une charge de même résistance. Connectons notre résistance R à une charge de même valeur R (**fig. 2**). La tension de bruit sera alors divisée par deux entre les deux résistances, et la puissance de bruit dissipée dans la charge peut être simplement calculée avec la loi d'Ohm :

$$P_{\text{THERMIQUE}} = U^2 / R, \text{ avec } U = U_{\text{THERMIQUE}} / 2.$$

De là on trouve facilement :

$$P_{\text{THERMIQUE}} = \sqrt{(4 \times k \times T \times R \times BW)^2 / 4R}$$

$$P_{\text{THERMIQUE}} = k \times T \times BW$$

Et voilà : la puissance de bruit est indépendante de la valeur de la résistance ; elle est simplement proportionnelle à la température T et à la largeur de bande BW . À température ambiante (20°C ou 294 K), on obtient $P_{\text{THERMIQUE}} = 4,05 \times 10^{-21} \text{ W}$ par

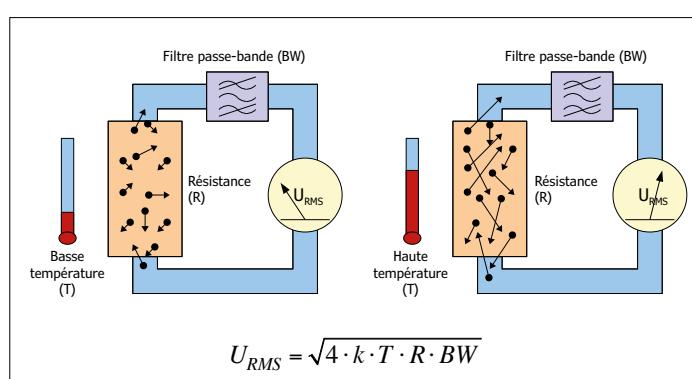


Figure 1. Toute résistance produit du bruit thermique.

hertz de la bande passante. Passons en décibels, ce sera plus pratique. Par définition, $dB = 10 \log_{10}(P/P_{\text{réf.}})$. Si l'on exprime cette puissance de bruit en dBm (puissance de référence = 1 mW), on obtient $P_{\text{THERMIQUE}}$ (dB) = $10 \log_{10}(4,05 \times 10^{-21} \text{ W} / 1 \text{ mW}) = -174 \text{ dBm}$ par hertz. Ce résultat est fondamental : étant donné qu'une antenne de réception se comporte comme une résistance, le plancher de bruit du meilleur récepteur du monde à température ambiante sera de -174 dBm par hertz de bande passante. Prenons un exemple : le Wi-Fi utilise dans ses variantes classiques des canaux de 20 MHz de large. Le bruit capté par un récepteur Wi-Fi sera donc de $-174 + 10 \log_{10}(20.000.000) = -101 \text{ dBm}$.

Facteur de bruit ?

Imaginons que ce récepteur Wi-Fi reçoit un signal utile de puissance -90 dBm . Le rapport signal/bruit (SNR) du signal capté par l'antenne sera donc de $-90 - (-101) = 11 \text{ dB}$. Sur n'importe quel récepteur, ce signal traverse d'abord une chaîne d'amplification, focalisons-nous sur le premier étage de celle-ci (fig. 3). L'amplificateur n'a aucun moyen de distinguer le signal utile du bruit appliqué à son entrée, il va donc amplifier dans la même proportion les deux. Par contre, comme il n'est pas parfait, il va aussi créer son propre bruit, qui va s'ajouter au signal de sortie. C'est pourquoi le SNR en sortie d'un ampli est toujours moins bon qu'à son entrée. Par définition, le rapport entre ces deux SNR est appelé le **facteur de bruit** de l'amplificateur, noté NF (pour *Noise Figure* en anglais) :

$$NF = SNR_{\text{entrée}} / SNR_{\text{sortie}}$$

Pour exprimer le facteur de bruit, passons en dB (parce que les logarithmes transforment comme par magie les produits en additions et les quotients en soustractions) :

$$\begin{aligned} NF [\text{dB}] &= 10 \log_{10}(NF) \\ &= 10 \log_{10}(SNR_{\text{entrée}} / SNR_{\text{sortie}}) \\ &= 10 \log_{10}(SNR_{\text{entrée}}) - 10 \log_{10}(SNR_{\text{sortie}}) \\ &= SNR_{\text{entrée}} [\text{dB}] - SNR_{\text{sortie}} [\text{dB}] \end{aligned}$$

Ainsi, le facteur de bruit d'un ampli est simplement la différence (en décibels) entre le rapport signal/bruit de son entrée et celui de sa sortie. Pour revenir à l'exemple de notre récepteur Wi-Fi, si le premier amplificateur du récepteur a un facteur de bruit de 1 dB alors le SNR est égal à $11 - 1 = 10 \text{ dB}$ en sortie. Simple, non ?

Cascade de gains

En réalité, un récepteur comporte plusieurs étages d'amplification successifs, mais le principe reste le même : le facteur de bruit d'un récepteur complet est le rapport entre SNR d'entrée et SNR de sortie, ou la différence des deux si on les exprime en dB. Comme chaque étage apporte du gain, vous comprendrez facilement que le bruit produit par le premier étage est le plus critique, car il va être amplifié par tous les suivants. Pour votre culture, le facteur de bruit d'une chaîne se calcule aisément avec une formule baptisée *formule de Friis* (fig. 4), à la mémoire d'Harald T. Friis (un chercheur danois des Bell Labs, 1893-1976) :

$$F = F_1 + (F_2 - 1) / G_1 + (F_3 - 1) / (G_1 \times G_2) + F_4 - 1 / (G_1 \times G_2 \times G_3) + \dots$$

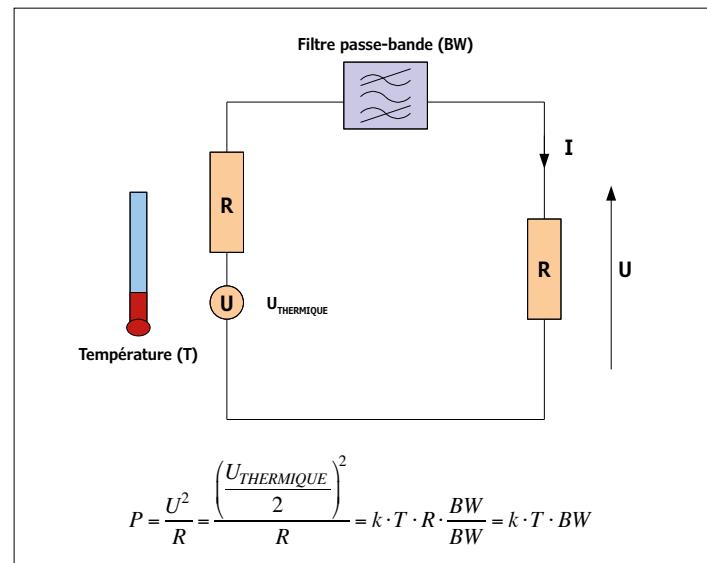


Figure 2. La puissance de ce bruit est simplement égale à $k \times T \times BW$, elle dépend donc de la température ambiante et de la largeur du canal de réception.

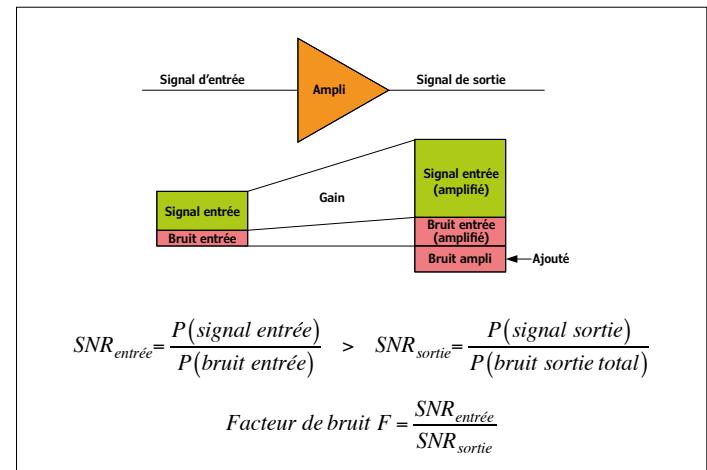


Figure 3. Le facteur de bruit d'un amplificateur exprime la puissance du bruit ajoutée par celui-ci au signal d'entrée.

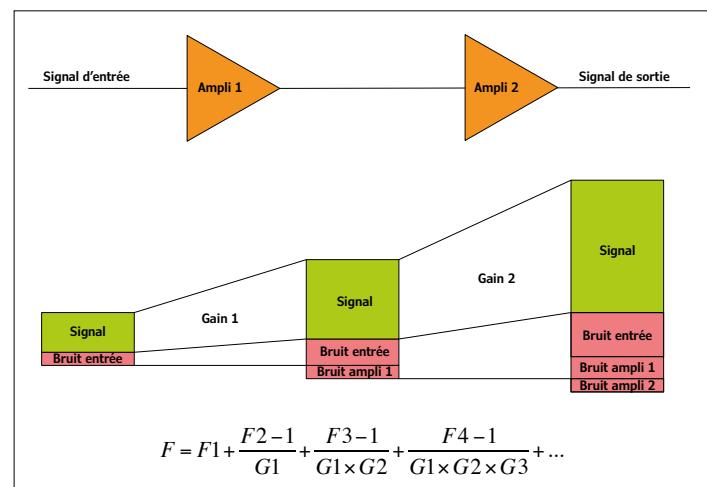


Figure 4. Dans le cas d'une chaîne d'amplification, la formule de Friis permet de calculer le facteur de bruit global ; le bruit du premier ampli est en général largement prédominant.

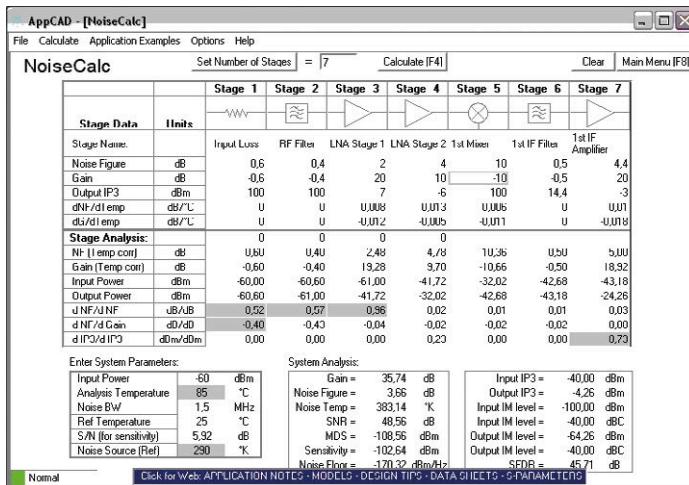


Figure 5. Un exemple de logiciel gratuit de calcul de chaîne radio : AppCad (Agilent Technologies).

Dans cette formule, F1, F2, etc. sont les facteurs de bruit de chaque étage, et G1, G2, etc., leurs gains respectifs. Attention, cette formule est exprimée en facteurs de bruit linéaires et non en dB, ce qui rend les calculs un peu pénibles. Heureusement, vous trouverez sans problème des logiciels qui calculent les caractéristiques d'une chaîne en fonction de celles de chaque élément, sous forme de feuilles de calcul ou d'applications. Le logiciel AppCad d'Agilent en est un exemple simple et gratuit (**fig. 5**).

Bien entendu, en laboratoire, il est facile de mesurer le facteur de bruit d'un amplificateur. Un analyseur de spectre permet de le quantifier directement en utilisant sa définition, sous réserve que le bruit soit assez élevé pour être mesurable. Il est aussi possible d'avoir recours à une méthode astucieuse avec un analyseur de spectre, mais il faut aussi ce qu'on appelle une source de bruit. Cherchez sur la toile la note d'application 57-2 d'Agilent Technologies pour en savoir plus... Enfin, pour les plus riches, des appareils spécialisés sont disponibles, comme l'antique, mais toujours performant « noise figure analyzer » HP8970B de Hewlett Packard, qui applique cette seconde méthode, mais de manière automatique.

Du bruit à la sensibilité...

Nous en savons maintenant assez sur le bruit pour passer

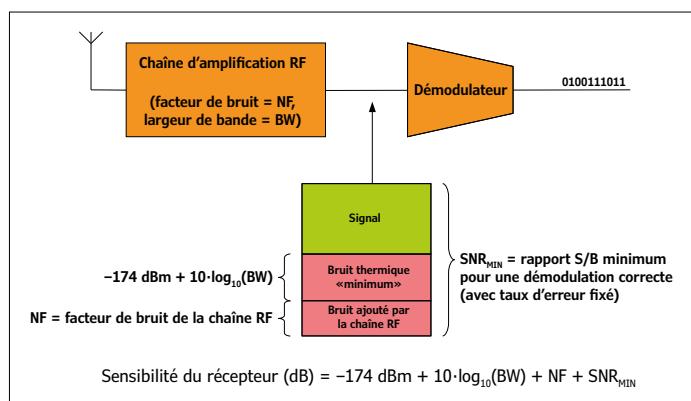


Figure 6. La sensibilité d'un récepteur s'exprime très simplement...

à LA question : qu'est-ce qui influence la sensibilité d'un récepteur ? En résumé, un récepteur comprend une antenne, quelques étages d'amplification et de filtrage, puis un démodulateur (**fig. 6**). Le démodulateur a pour mission de déterminer si chaque bit reçu est un 1 ou un 0. Par définition, la sensibilité du récepteur est la puissance minimale du signal capté par l'antenne qui permet une réception correcte des 1 et 0, c'est-à-dire avec un taux d'erreur inférieur à un certain seuil considéré comme acceptable (ce qu'on appelle BER, pour *Bit Error Rate*).

Vous me croirez volontiers si je vous dis que le démodulateur aura un taux d'erreur d'autant plus faible que le SNR à son entrée est bon. En effet plus il y a de bruit en entrée, plus difficile sera la distinction entre les 0 et les 1. Le seuil de sensibilité sera donc atteint avec un certain SNR minimal à l'entrée du démodulateur, que je note SNR_{\min} . Ce SNR_{\min} dépend du taux d'erreur voulu, mais aussi de la structure interne du démodulateur, voire de la modulation utilisée.

Maintenant réfléchissons deux minutes : le seuil de **sensibilité** du récepteur est atteint lorsque le SNR en entrée du démodulateur est égal à SNR_{\min} . Mais ce SNR est l'écart entre le niveau de puissance du signal reçu (par définition égal à la sensibilité) et du bruit à l'entrée du démodulateur. Ce dernier est la somme du bruit capté par l'antenne ($-174 \text{ dBm} + 10 \log_{10}(\text{BW})$) et du bruit produit par la chaîne d'amplification du récepteur, égal par définition au facteur de bruit NF. De là on obtient :

$$\text{SNR}_{\min} = \text{sensibilité} - (-174 + 10 \log_{10}(\text{BW}) + \text{NF})$$

d'où :

$$\text{sensibilité [dB]} = -174 \text{ dBm} + 10 \log_{10}(\text{BW}) + \text{NF} + \text{SNR}_{\min}$$

Regardez bien cette formule, elle est fondamentale (même si elle sera remplacée par une autre dans quelques lignes). La sensibilité de n'importe quel récepteur ne dépend que de la largeur du canal de réception (BW), de son facteur de bruit (c'est-à-dire de la qualité de l'électronique) et du SNR minimal tolérable pour décoder correctement les bits reçus.

Largeur de bande et débit de transmission

Jusqu'à présent je n'ai parlé que de la largeur de canal (BW), mais pas d'un autre élément fondamental : le débit utile de la transmission que j'appelle B (c'est-à-dire le nombre de bits transmis par seconde). Sur un canal large de 1 MHz par ex., il est beaucoup plus facile de décoder sans trop d'erreurs un flux à 100 bps plutôt qu'une vidéo en continu à 10 Mbps. Plus précisément, les mathématiciens ont montré que ce qui compte c'est le rapport B/BW, c'est-à-dire le nombre de bits par seconde à transporter divisé par la taille du tuyau (la largeur du canal utilisé en Hz). Autrement dit, avec un même type de démodulateur, il est aussi facile de décoder correctement 1 bps en utilisant un canal de 1 Hz que 1 Mbps dans un canal de 1 MHz. Il est donc légitime de supposer que SNR_{\min} est égal au produit B/BW avec une constante. Chaque type de modulation est caractérisé par une courbe de taux d'erreur théorique en fonction du rapport Eb/N0 pour un démodulateur parfait. Le facteur Eb/N0 (*energy per bit to noise power spectral density*

*ratio) est une sorte de « rapport signal/bruit par bit » où Eb est l'énergie par bit et N0 la densité spectrale de bruit. Par ex. une modulation de type GMSK (utilisée par les réseaux 2G) permet un Eb/N0 plus faible qu'une modulation FSK (utilisée dans les télécommandes de portes de garage et consorts). De même les techniques de codes correcteurs d'erreur permettent d'améliorer ce facteur Eb/N0. À titre d'exemple la **figure 7** montre la valeur d'Eb/N0 pour une modulation de type FSK « classique ». Comment lire ce graphe ? Choisissez le taux d'erreur acceptable (BER), par ex. 1 bit sur 1000, soit 10^{-3} , et vous en déduisez la valeur d'Eb/N0, ici de l'ordre de 11 dB.*

Revenons donc à notre hypothèse. Si l'on considère que ce qui est important c'est le rapport B/BW, et que la constante de proportionnalité est notée Eb/N0, on peut écrire :

$$\text{SNR}_{\min} = \text{Eb/N0} \times B / \text{BW}$$

ou en décibels :

$$\text{SNR}_{\min} [\text{dB}] = \text{Eb/N0} (\text{dB}) + 10\log_{10}(B) - 10\log_{10}(\text{BW})$$

Rien de magique jusqu'à présent, on a juste introduit une nouvelle notation, qui a le bon goût de ne plus être uniquement dépendante de B et BW. La magie, c'est maintenant : que se passe-t-il si on réintroduit cette expression de SNR_{\min} dans la formule trouvée pour la sensibilité d'un récepteur ?

$$\text{sensibilité} [\text{dB}] = -174 \text{ dBm} + 10\log_{10}(\text{BW}) + \text{NF}_{\text{chaîne}} + \text{SNR}_{\min}$$

donc

$$\text{sensibilité} [\text{dB}] = -174 \text{ dBm} + 10\log_{10}(\text{BW}) + \text{NF}_{\text{chaîne}} + \text{Eb/N0} (\text{dB}) + 10\log_{10}(B) - 10\log_{10}(\text{BW})$$

Les termes en « BW » s'annulent, et donc :

$$\text{sensibilité} [\text{dB}] = -174 \text{ dBm} + \text{NF}_{\text{chaîne}} + \text{Eb/N0} (\text{dB}) + 10\log_{10}(B)$$

Nous y sommes ! Regardez attentivement cette formule. La sensibilité d'un récepteur ne dépend que de trois facteurs :

- la qualité de son électronique, via son facteur de bruit NF
- le débit binaire de la transmission (B)
- la constante Eb/N0, caractéristique intrinsèque au démodulateur.

Rien de plus ! La largeur du canal n'a aucune importance, ni le gain des étages d'amplification ! L'âge de votre grand-mère encore moins !

Maintenant vous comprenez pourquoi une liaison radio peut porter plus loin si le débit est plus lent : la sensibilité du récepteur est d'autant plus grande ! Voilà pourquoi votre téléphone cellulaire et votre adaptateur Wi-Fi réduisent automatiquement le débit quand vous vous éloignez de la station de base. Ces systèmes sont suffisamment intelligents pour ne pas interrompre la liaison lorsque la sensibilité devient trop faible, il leur suffit de diminuer le débit en conséquence. C'est pour cela que les premières sondes spatiales transmettaient quelques bits par minute ou encore que des technologies à bas débit comme LoRa ou Sigfox couvrent de grandes distances sans

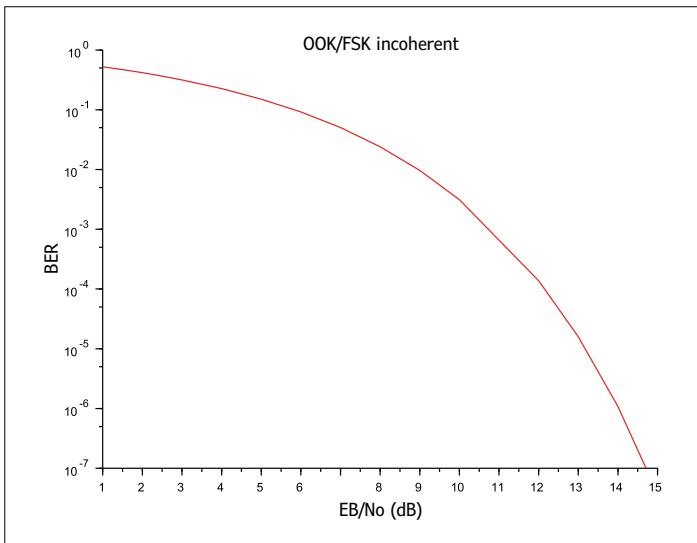


Figure 7. Voici la valeur d'Eb/N0 en fonction du taux d'erreur toléré, dans le cas d'une modulation simple de type FSK.

pour autant consommer trop, simplement en réduisant le débit à quelques centaines de bits par seconde.

Conclusion

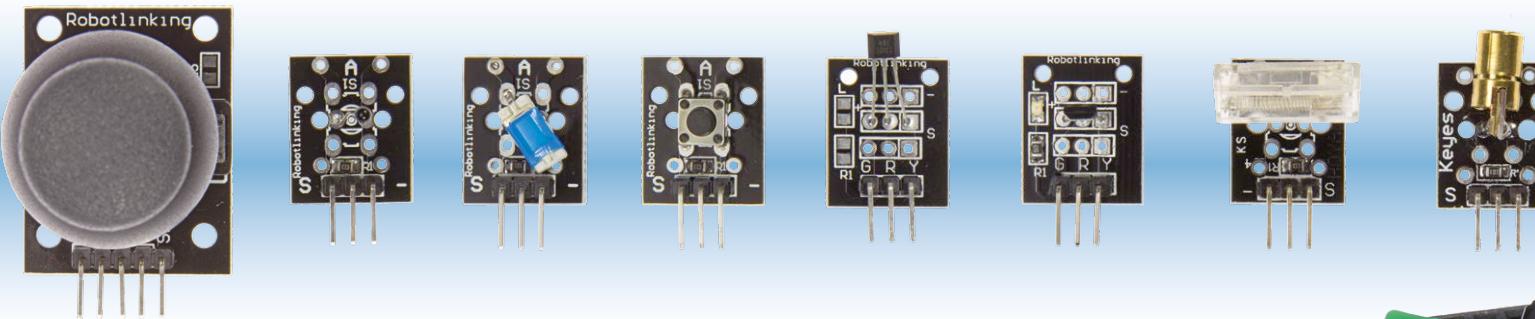
Voilà, j'espère que vous avez saisi la substantifique moelle de tout cela. La sensibilité d'un récepteur n'est pas miraculeuse, elle est très simple à exprimer et elle est principalement liée au débit des données transférées. Si vous n'en êtes pas convaincu, lisez la fiche technique de n'importe quel produit radio, par exemple votre interface Wi-Fi, vous devriez trouver des chiffres bien moins bons pour les débits les plus élevés... Le mois prochain, je continuerai dans le même esprit en vous présentant une solution à faible débit, mais avec une grande portée : LoRa. ▶

(160307)

Cet article a été publié dans la revue Circuit Cellar (n°249, avril 2011).

Liens et références

- [1] Logiciel AppCad (Agilent Technologies) : www.hp.woodshot.com
- [2] *Noise reduction techniques in electronic systems*, Henry W. Ott, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-85068-3
- [3] *Short-range Wireless Communication*, Alan Bensky, Newnes/Elsevier, ISBN 0-7506-7782-1
- [4] Johnson-nyquist noise, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Johnson%20Nyquist_noise
- [5] *Noise Figure Measurement Accuracy – The Y-Factor method*, note d'application 57-2, Agilent technologies
- [6] *Spectrum analysis – Noise figure measurement*, note d'application 150-9, Hewlett Packard
- [7] *Three methods of Noise Figure measurement*, note d'application 2875, Maxim
- [8] *Noise Figure* : www.microwaves101.com/encyclopedias/noise-figure



capteurs (1)

pour Arduino et Cie

Burkhard Kainka

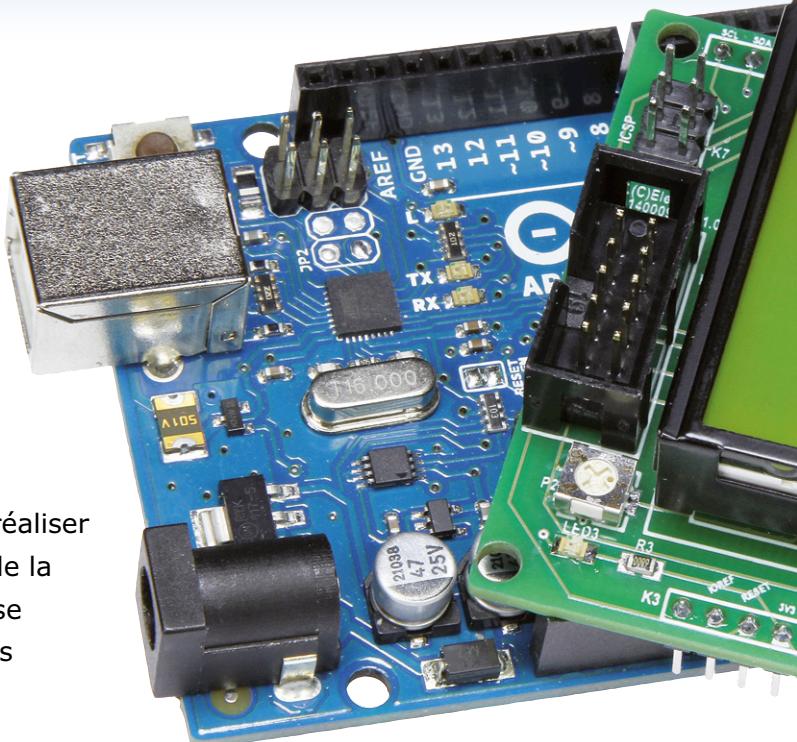
Depuis un certain temps, Elektor propose un kit de 35 capteurs et actionneurs [1]. Ce kit permet de réaliser les applications les plus diverses dans les domaines de la métrologie, la robotique et la domotique. Qu'il s'agisse d'une carte Arduino ou d'un autre microcontrôleur, les possibilités sont sans limites.

Avec autant de capteurs (du joystick au capteur de température en passant par le capteur d'humidité) et d'éléments de sortie (du relais au laser), il est facile de perdre le nord. Cette série d'articles qui présente des applications pratiques vous permettra de vous y retrouver. Ce kit est utilisé avec une carte Arduino Uno programmée en langage C (Arduino) ou Bascom.

Aperçu des capteurs et actionneurs

Ce premier article met en vedette les capteurs analogiques. Les capteurs de lumière, température et champ magnétique ainsi que le joystick doté de deux potentiomètres sont plus faciles à découvrir lorsqu'ils sont reliés, dès le départ, aux bons actionneurs : relais, LED bicolores, LED RVB et laser. Les capteurs numériques serviront pour quelques comparaisons. La **figure 1** montre tous les capteurs et actionneurs de cet article avec schéma et brochage. La désignation est celle du kit de capteurs ; idem pour le repérage des bornes qui correspondent à celui des platines. Cette figure donne une vue d'ensemble pour s'orienter plus facilement. Pour les exemples de programme, les broches de raccordement à l'Arduino Uno sont indiquées sur la droite.

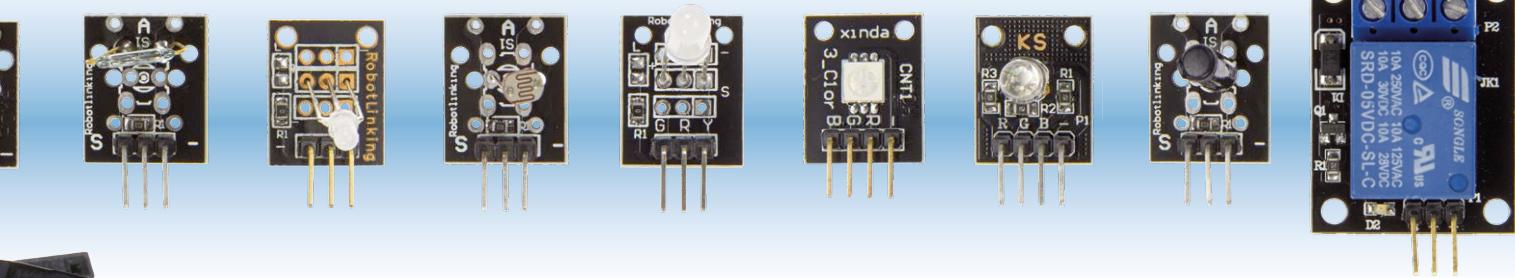
Si on regarde de près les capteurs du kit, on s'aperçoit que beaucoup sont équipés des mêmes platines. Non seulement c'est économique, mais c'est également logique, puisque ces circuits reposent sur des principes similaires. Par ex., le capteur



de température CTN et la photorésistance ont des câblages identiques. La résistance de ces deux capteurs change en fonction de la grandeur mesurée (température ou luminosité). De plus, tous les deux sont généralement utilisés avec un diviseur de tension avec une résistance fixe.

Même s'il est particulièrement simple, le diviseur de tension présente l'avantage d'être précis. En effet, les erreurs dues à une tension imprécise s'annulent si la tension du diviseur de tension est identique à la tension de référence du convertisseur analogique-numérique (CA/N). Si on utilise la sortie 5 V de l'Arduino, on obtient une tension relativement précise si la carte est alimentée par le secteur, et une tension variable si elle l'est par USB. Que la tension soit précise ou pas, le CA/N délivre la même valeur, qui résulte du rapport tension de mesure/tension de référence. De cette façon, on connaît le rapport des résistances dans le circuit du capteur, pour ainsi dire, de manière directe.

Avec les deux capteurs reliés comme cela, la tension baisse dès que la luminosité ou la température augmente. Il faudra en tenir compte au moment de la programmation. On pourrait inverser la masse (GND) et l'alimentation (VCC) pour que la tension croisse lorsque les grandeurs de mesure augmentent. C'est plutôt déconseillé, car certains capteurs ne le supportent pas et en plus, il vaut mieux parer aux sources d'erreur potentielles vu la diversité des capteurs. Par ex., le capteur magné-



tique analogique (capteur à effet Hall) est, en principe, relié de cette manière. Toutefois il comporte un amplificateur de mesure intégré qui requiert une tension d'alimentation avec une polarité correcte. Attention, le raccordement se fait dans un ordre différent de celui de la photorésistance et du capteur CTN.

En examinant les capteurs numériques, on constate qu'ils ont un circuit identique à celui de la photorésistance et du capteur CTN. Il en est de même du bouton-poussoir (*button*) et de l'interrupteur à lames souples (*mini switch*). Là aussi, on a un diviseur de tension composé d'un interrupteur et d'une résistance de $10\text{ k}\Omega$. Suivant son état, l'interrupteur a une résistance infinie ou nulle, la tension de mesure s'élève soit à 5 V soit à 0 V. C'est pourquoi on peut également procéder à la lecture de ces capteurs en mesurant la tension sur une entrée analogique, même si, dans ce cas, une entrée numérique suffirait.

En général, les capteurs analogiques sont

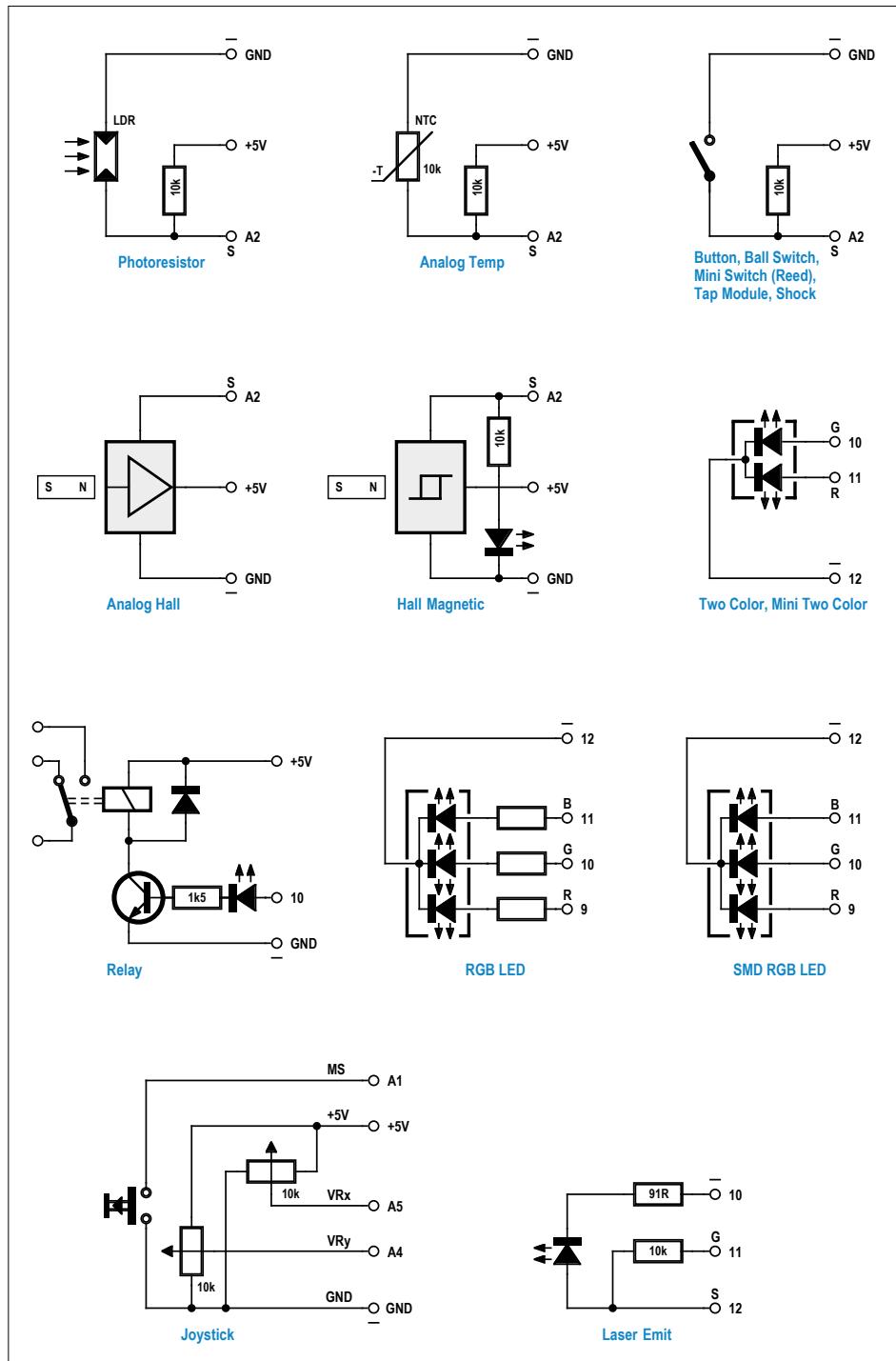


Figure 1. Schémas et brochages des capteurs et actionneurs utilisés.

faciles à utiliser. Le CA/N permet de mesurer, évaluer et afficher une tension ; voir le cours sur Bascom publié en 2014 [2], qui détaille comment programmer une carte Arduino Uno en Bascom. On peut soit piloter directement le chargeur d'amorçage Arduino soit « flasher » (programmer rapidement) un chargeur d'amorçage adapté dans le µC. Pour cette série, nous avons utilisé deux Unos. L'une a été laissée telle quelle, tandis que l'autre a été dotée du *bootloader MCS* qui travaille sans difficulté en Bascom.

On se sert de nouveau de la carte d'extension Elektor [3]. Les éléments de réglage et d'affichage tels que les boutons-poussoirs, les LED et l'affichage de texte permettront d'élargir nos possibilités.

Cette fois-ci, tous les exemples sont présentés en langage C Arduino. Ainsi le lecteur programmera dans l'environnement de son choix. Toutefois il devra respecter le brochage de la carte d'extension, rappelé sur la **figure 2** :

- port B (broches Arduino 8 à 13) : libre
- port B.2 (broche Arduino 10) : LED2 via cavalier, également comme sortie MLI (PWM)
- port B.5 (broche Arduino 13) : LED de l'Arduino
- port D (broches Arduino 0 à 7) : occupé par l'UART et le LCD
- AD0 et AD1 : boutons S1 et S2 reliés à la masse (GND), susceptibles de servir également d'entrées analogiques
- AD2 : LED1 via cavalier, sinon libre, entrée privilégiée des capteurs analogiques
- AD3 : potentiomètre du *shield* LCD
- AD4 et AD5 : libres, parfois utilisées comme bus de données I²C.

Prudence avec bornes AD0 et AD1 ! En effet, comme les boutons-poussoirs sont reliés à la carte et qu'ils ne peuvent être déconnectés, il est possible de court-circuiter par inadvertance la tension de mesure. La plupart des capteurs y sont insensibles, mais certains le prennent très mal. Avec ses deux potentiomètres, le joystick est particulièrement vulnérable. Si le curseur d'un potentiomètre est relié à la masse (GND), dans ce cas via un bouton-poussoir, et qu'une des bornes est maintenue à +5 V, lorsque le curseur est tourné vers cette borne, la résistance diminue alors que le courant augmente. Comme l'Arduino dispose d'un fusible réarmable, un court-circuit complet ne serait pas dramatique.

En revanche, il existe un point en fin de course du potentiomètre susceptible de créer une surchauffe. Plus d'un potentiomètre a ainsi passé l'arme à gauche en laissant derrière lui un petit nuage de fumée. Il est donc préférable de laisser de côté AD0 et AD1. Il en est de même avec AD3 puisque le potentiomètre interne du *shield* est branché en parallèle et qu'on risque ainsi de détruire deux potentiomètres en même temps. Il vaut mieux relier le joystick aux broches AD4 et AD5, en tout cas, tant qu'on n'a pas besoin de l'I²C.

Affichage de la tension en Bascom

Voici notre premier exemple (tous les programmes sont téléchargeables en [4]). Pour tester différents capteurs, un affichage simple de la tension à l'aide de l'entrée analogique ADC2 sera utile. Pour cela, il faut ouvrir le cavalier de la LED1 du *shield*. Les données brutes livrées par le CA/N dans une plage de 0 à 1 023 sont converties en tensions, délivrées sur la liaison série et affichées sur le LCD.

Listage 1. Affichage de la tension

```
'-----
'ADvolt.BAS    0...5 V
'-----

$regfile = "m328pdef.dat"
$crystal = 16000000
$baud = 9600
$hwstack = 16
$swstack = 16
$framesize = 64

Dim D As Word
Dim U As Single
Dim S As String * 10

S1 Alias Pinc.0
S2 Alias Pinc.1

Config Adc = Single , Prescaler = 64 , Reference = Avcc
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portd.4 , Db5 = Portd.5 , Db6
= Portd.6 , Db7 = Portd.7 , E = Portd.3 , Rs = Portd.2
Config Lcd = 16 * 2

Waitms 50
Portc.0 = 1          'Pullup
Portc.1 = 1          'Pullup
Config Portb = Output

Cls
Cursor Off

Do
    D = Getadc(2)
    U = D * 5.0
    U = U / 1023
    U = U * 1000
    D = Int(u)
    'Print D
    S = Str(d)
    S = Format(s , "0.000")
    Print Chr(13);
    Print S ; " V      ";
    Locate 1 , 1
    Lcd S ; " V      "
    Waitms 500
Loop
```

L'envoi des mesures de tension vers le terminal Bascom présente une particularité dans le programme en Bascom (**listage 1**). Comme chaque affichage d'une valeur se termine par un retour chariot (CR, ASCII 13) et un saut de ligne (LF, ASCII 10), les valeurs sont affichées les unes en dessous des autres, ce qui est souvent encombrant. Néanmoins il est possible de remplacer ces caractères de contrôle par des « ; » à la fin de chaque ligne contenant un « print » et de placer seulement un CHR(13) avant chaque impression. Chacune apparaît alors dans une seule et même ligne, ce qui permet d'avoir un affichage permanent (**figure 3**).

La fonction **Format** constitue une autre particularité. Le nombre entier **D** est tout d'abord converti en chaîne de caractères (**String S**). Ensuite, on applique le masque « 0.000 » pour avoir trois décimales. Pour que tout cela fonctionne correctement, il faut d'abord multiplier par 1 000 une tension de 1,234 V pour qu'on puisse délivrer une tension de 1 234 mV en volts. La chaîne ainsi préparée est envoyée au terminal série ainsi qu'à l'afficheur LCD. Si vous voulez utiliser le programme sans le *shield*, c'est possible sans aucune modification, dans la mesure où les envois au LCD partent aux oubliettes si aucun afficheur n'est raccordé (il n'y a pas de signal de retour). À l'inverse, il est possible d'utiliser le programme, une fois qu'il a été chargé, sans PC et de n'observer les valeurs que sur l'afficheur LCD. Un programme peut être testé même sans capteur en ponctant AD2 et AD3 à l'aide d'un fil. Le réglage d'une quelconque tension entre 0 et 5 V ainsi que l'affichage se feront grâce au potentiomètre du *shield*.

Maintenant le voltmètre universel peut être utilisé avec n'importe quel capteur.

- Le capteur CTN indique une tension de 2,5 V à 25 °C. La tension baisse lorsque la température monte. Pour une évaluation plus précise, voir plus bas.
- La photorésistance délivre une vaste plage de tension entre une valeur proche de zéro (très clair) et presque 5 V (très foncé).
- En marche à vide, le bouton-poussoir et l'interrupteur à lames souples fournissent 5 V. Si on appuie sur le bouton-poussoir ou si on met un aimant fort devant l'interrupteur à lames souples, la tension tombe à 0 V.
- Au repos, le capteur à effet Hall analogique délivre à peu près 2,5 V. À cause du champ magnétique terrestre, une simple rotation ne provoque pas de modification significative. Approcher des aimants forts est à l'origine, suivant la direction, de valeurs entre 1 et 4 V.
- Le capteur à effet Hall numérique se relie de la même façon, mais il comporte une bascule de Schmitt. Au repos, on mesure plus de 3 V. À l'état actif et en présence d'un aimant, on a pratiquement zéro, à condition d'être dans le bon sens.

Il est possible d'ouvrir un fichier journal dans le terminal Bascom et de le refermer à la fin des tests pour ensuite traiter les données mesurées. Dans ce cas, il vaut mieux utiliser l'instruction **Print D** (en commentaire dans le listage 1). D contient des nombres entiers qui correspondent à la tension en mV pour éviter les confusions entre point décimal et virgule décimale. Toutes les données reçues sont ensuite sauvegardées pour

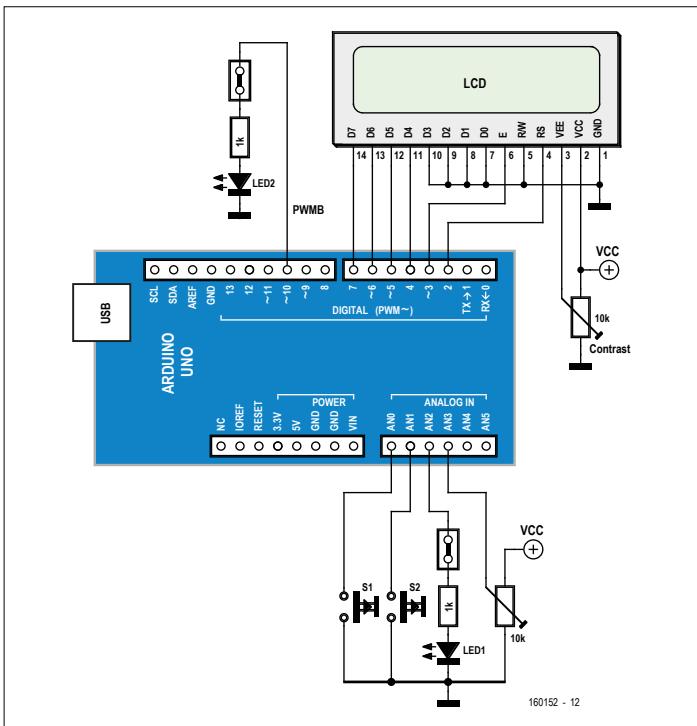


Figure 2. La carte d'extension permet d'ajouter des LED, des boutons-poussoirs, un potentiomètre et un afficheur.

pouvoir être analysées, par ex. dans un tableur, ce qui permet également de créer des graphiques (**fig. 4**).

Mesure de tension avec Arduino

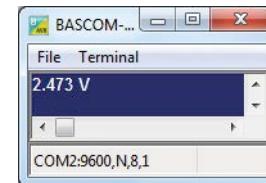


Figure 3. Affichage de la tension dans le terminal Bascom.

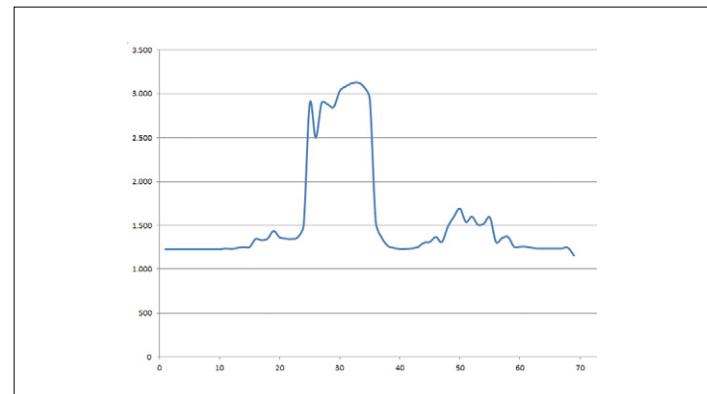


Figure 4. Courbe de luminosité réalisée sous Excel.

Il n'y a pas de grande différence entre la programmation en C avec l'EDI Arduino et la programmation en BASIC dans Bascom. Le programme à usage universel **VoltageAD2.ino** (**Listage 2**) convertit également les valeurs brutes (**value**) du CA/N en tension en mV (**voltage**). Cet exemple montre le pilotage de l'afficheur LCD du *shield* Elektor. La tension est indiquée en volts sur le LCD. Le résultat est affiché avec deux décimales.

Les mesures envoyées (tensions en mV) peuvent être affichées dans le moniteur série (**fig. 5**). Arduino 1.6.8 (et sup.) dispose d'un traceur série (**fig. 6**) qui permet également de recevoir et d'afficher des suites de nombres. Il en résulte une courbe comme sur du papier d'impression pour traceur. La plage de mesure s'adapte aux données envoyées. La plus petite plage de mesure va de -10,0 à +10,0.

Listage 2. Mesure de tension et affichage sur LCD avec Arduino

```
//VoltageAD2 0...5000 mV at AD2
#include <LiquidCrystal.h>
int sensorPin = 2;
int value = 0;
float voltage;
LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,6,7);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop() {
  value = analogRead(sensorPin);
  voltage = value;
  voltage = voltage * 5000 / 1023;
  value = voltage;
  Serial.println(value);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(voltage/1000);
  lcd.print (" V ");
  delay(500);
}
```

Listage 3. Calcul de température avec capteur CTN

```
Dim D As Integer
Dim B As Integer
Dim R As Single
Dim T As Single
Dim S As String * 10
...
Do
  D = Getadc(2)
  B = 1023 - D
  R = D / B           'R = 1 @ 10k
  T = Log(r)
  T = T / 3900        'B25/85=3900
```

```
T = T + 0.0033557  '1(273+25)
T = 1 / T
T = T - 273
T = T * 100
D = Int(t)
S = Str(d)
S = Format(s , "+0.00")
Print Chr(13);
Print S ; " " ; Chr(248) ; "C " ;
Locate 1 , 1
Lcd S ; " C "
Waitms 500
Loop
```

Listage 4. Mesure de température avec Arduino.

```
//NTCtempAD2 10 k NTC at AD2
#include <LiquidCrystal.h>
int sensorPin = 2;
int relaisPin = 10;
int value;
float fvalue;
float resist;
float temp;
LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,6,7);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(relaisPin, OUTPUT);
}
```

```
void loop() {
  value = analogRead(sensorPin);
  fvalue = value;
  resist = fvalue / (1023-fvalue);
  temp = 1/(log (resist) / 3900 + 0.0033557) - 273;
  Serial.println(temp);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(temp);
  lcd.print (" C ");
  if (temp > 25 ) digitalWrite (relaisPin, HIGH);
  if (temp < 20 ) digitalWrite (relaisPin, LOW);
  delay(500);
}
```

Mesure de température avec un capteur CTN

Les capteurs CTN atteignent leur résistance nominale à 25 °C. La valeur B correspond à la pente de leur courbe caractéristique. Grossièrement, la modification de la résistance suit la variation de température de manière exponentielle. Cela signifie que la variation de tension est tellement grande qu'on obtient une résolution assez bonne, sans amplificateur de mesure.

En général, les capteurs de précision ont une résistance nominale de 10 kΩ et une valeur B de 3 900. Ces données permettent de mesurer la température (**listage 3**). Le calcul se fait en deux étapes. D'abord, on calcule la résistance R du capteur à partir de la valeur de mesure D , c.-à-d. une valeur brute comprise entre 0 et 1 023. Ensuite, on détermine la température en °C par calcul logarithmique et autres opérations.

Le résultat de la conversion fournit, également sans étalonnage, une température relativement précise (**fig. 7**). En général, le capteur a une précision de 1 %. Il en résulte un écart maximal inférieur à 1 K. Pour peaufiner le projet, on utilise ici également un affichage permanent sur le terminal, tout en gardant la possibilité d'un affichage sur LCD. Ce n'est pas pour la forme qu'on affiche la température au centième de degré près, c'est simplement pour avoir un meilleur aperçu des moindres variations de température. Pour des températures moyennes, un pas du CA/N correspond à environ 0,1 K. La résolution devient plus grossière dès que les températures sont très basses ou très élevées.

En principe, la conversion fonctionne en langage C Arduino (**listage 4**) comme en Bascom. La différence la plus notable est qu'en langage C, le calcul se fait sur une ligne tandis que Bascom ne peut traiter qu'une seule opération par ligne, contrairement au langage C et aux autres dialectes BASIC.

Le programme Arduino offre une fonction supplémentaire puisqu'il permet de piloter le module à relais du kit de capteurs. Piloté par un transistor, le relais fonctionne avec du 5 V. La résistance dans la base, de 1,5 kΩ, avec sa LED témoin connectée en série est directement reliée à une broche du port. Ici, c'est la broche 10 qui a été choisie comme sortie, car elle permet de piloter également la LED2 du *shield*. Le relais est utilisé avec le capteur CTN pour piloter un ventilateur. Lorsque la température dépasse 25 °C, le relais déclenche le ventilateur. Ce dernier s'arrête dès que la température descend au-dessous de 20 °C. Il s'agit donc d'un tout ou rien avec une hystérésis de 5 K.

LED RVB au joystick

Le kit de capteurs contient deux LED RVB. L'une est logée dans un boîtier de LED standard avec trois résistances talons de 150 Ω chacune tandis que l'autre est une version CMS sans résistance talon. Il est vrai que certains raccordent les LED aux piles ou aux ports sans résistance talon. « Ça marche, j'ai déjà essayé, il ne s'est rien passé. » Mais on dépasse de loin les seuils limites des LED et du microcontrôleur. Ce type de surcharge réduit considérablement la durée de vie des LED. On ne risque pas de se tromper en choisissant des résistances talons de 150 Ω, sous 5 V, le courant de la LED est alors limité à 20 mA. Si l'on ne veut courir aucun risque, on connectera des résistances en série également à la LED CMS.

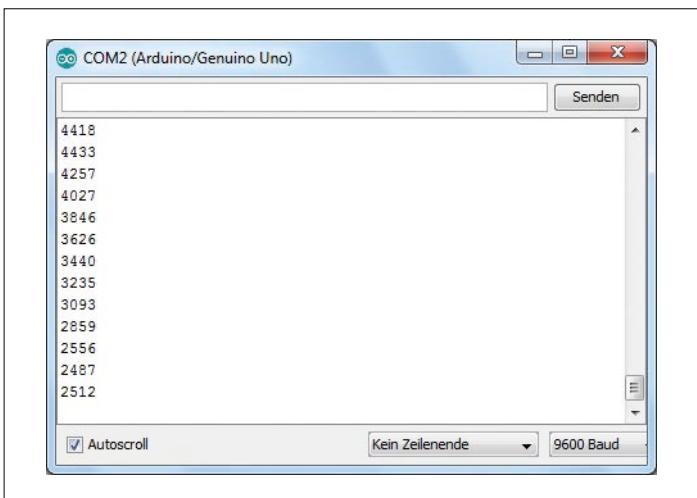


Figure 5. Valeurs mesurées dans le moniteur série.

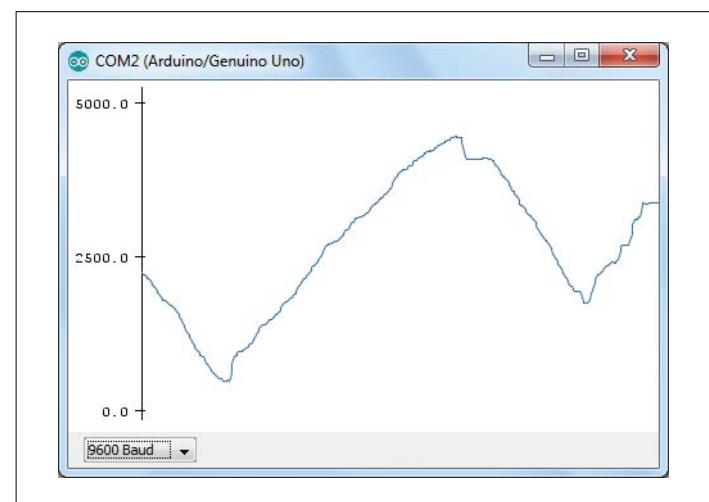


Figure 6. Valeurs mesurées dans le traceur série.

Un compromis est possible, certes il ne vous permettra pas de gagner un prix en matière de conception, mais il reste néanmoins acceptable. On connecte la cathode commune de la LED RVB, non pas à la masse (GND), mais à une autre broche du port qui elle est réglée sur *Low*. Le courant est ensuite limité par la résistance interne du port. Chaque broche de port a une résistance interne d'environ 20 Ω. Étant donné qu'une LED se trouve entre deux broches de port, on a une résistance talon

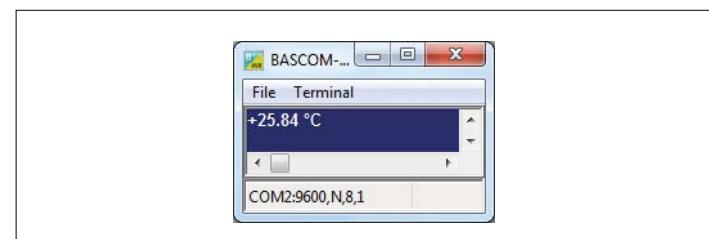


Figure 7. Affichage de la température avec un capteur CTN.

Listage 5. Pilotage de LED RVB avec le joystick.

```
//JoystickRGB
#include <LiquidCrystal.h>
int joyX = A4;
int joyY = A5;
int red = 9;
int green = 10;
int blue = 11;
int cathode = 12;
int value;
int midX;
int midY;

LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,6,7);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  midX = analogRead(joyX);
  midY = analogRead(joyY);
  pinMode(cathode, OUTPUT);
  digitalWrite(cathode, LOW);
}

void loop() {
  value = analogRead(joyX);
  value = constrain(value, 35, 980);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(value);
  lcd.print("    ");
  if (value >(midX+200)) {
    analogWrite(red , 0);
    analogWrite(green , 0);
    analogWrite(blue , 0);
  }
  if (value <(midX-2)) {
    analogWrite(blue, (midX - value)/2);
  }
  value = analogRead(joyY);
  value = constrain(value, 35, 980);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(value);
  lcd.print("    ");
  if (value > midY) {
    analogWrite(red, value -midY);
  }
  if (value > (midY+2)) {
    analogWrite(red, (value - midY)/2);
  }
  if (value < (midY-2)) {
    analogWrite(green, (midY - value )/2);
  }
  delay(500);
}
```

Listage 6. Extrait du programme JoystickRGB.bas.

```
Do
  D = Getadc(4)
  Locate 1 , 1
  Lcd D ; " "
  If D > 980 Then D = 980
  If D < 35 Then D = 35
  D = D - 2
  If D > Midx Then
    Pwm = D - Midx
    Pwm = Pwm / 2
    Print Pwm
    Pwm = 200 - Pwm
    Print Pwm
    If Pwm < 0 Then Pwm = 0
    If Pwm < Red Then Red = Pwm
    If Pwm < Green Then Green = Pwm
    If Pwm < Blue Then Blue = Pwm
  End If
  D = D + 4
  If D < Midx Then
    Pwm = Midx - D
    Pwm = Pwm / 2
    If Pwm > Red Then Red = Pwm
  End If
  D = Getadc(5)
  Locate 2 , 1
  Lcd D ; " "
  If D > 980 Then D = 980
  If D < 35 Then D = 35
  D = D - 2
  If D > Midy Then
    Pwm = D - Midy
    Pwm = Pwm / 2
    If Pwm > Blue Then Blue = Pwm
  End If
  D = D + 4
  If D < Midy Then
    Pwm = Midy - D
    Pwm = Pwm / 2
    If Pwm > Green Then Green = Pwm
  End If
  Pwm1a = Red
  Pwm1b = Green
  Pwm2a = Blue
  Waitms 10
Loop
```

effective de $40\ \Omega$. Pour une tension de LED de 3 V et une tension de service de 5 V, on aura un courant de LED de 50 mA. Bon, ça peut encore aller. Lorsque les trois LED sont allumées, la chute de tension sur le port de cathode commune est plus élevée. On a mesuré ici une tension de 1,2 V, ce qui correspond à un courant total de 60 mA. Or, sur une broche de port, il ne faut pas dépasser 40 mA. 60 mA c'est trop, mais pas assez pour causer des dommages. Ensemble, les ports peuvent supporter jusqu'à 200 mA.

Le programme Arduino **Joystick RVB** ([listage 5](#)) utilise les sorties MLI 9, 10 et 11 (B1, B2, B3) pour piloter les différentes LED. La cathode commune va sur la broche 12 (B4) qui est configurée pour cela en sortie.

Le joystick va permettre de régler la luminosité de chaque couleur. Pour les raisons indiquées plus haut, on utilise les entrées A4 et A5 pour procéder à la lecture des deux potentiomètres. La commande se sert du joystick pour diviser chaque axe en deux moitiés. À droite, à gauche, en haut et en bas correspondent à quatre fonctions, de sorte qu'en plus des trois couleurs, il est possible de piloter la luminosité. Le retour à la position 0 permet d'éteindre le tout. La commande fonctionne comme suit : chaque couleur est réglée à la luminosité souhaitée. Si on relâche brusquement la manette de commande, elle retourne en position de repos et la dernière valeur est conservée, étant donné que la mesure ne se renouvelle que toutes les 500 ms. Le dernier canal (vers le bas) permet d'éteindre toutes les LED. Les positions moyennes neutres `midX` et `midY` sont mesurées au démarrage du programme. Un certain écart susceptible d'aller jusqu'à 30 pas à partir du milieu de la plage de mesure (512 ou 2,5 V) est normal. Il faudra donc en tenir compte dans le programme. C'est là qu'intervient la fonction `constrain(value, 35, 980)` qui permet de délimiter la plage de valeurs entre 35 et 980. De plus, pour la commande, il faut tenir compte du fait que chaque sortie MLI est pilotée dans une plage comprise entre 0 et 255 tandis que la moitié de la plage du potentiomètre couvre une étendue double de valeurs. Pour finir, au moment de la comparaison, il convient d'admettre certaines tolérances selon qu'on se trouve au-dessous ou au-dessus de la position médiane.

Pilotage du laser

Ce programme permet de tester des LED bicolores. Le rouge et le vert peuvent être réglés séparément avant d'être mélangés. Le logiciel permet également de régler le laser sans difficulté. La luminosité s'ajuste à volonté. Comme la MLI délivre un signal tout ou rien, rapide, il est facile de « peindre » les murs avec ce type d'oscillogramme. Si le mouvement du laser est rapide, on voit des traits rouges et des vides qui indiquent le rapport cyclique. Par défaut, le logiciel Arduino utilise une fréquence MLI faible de sorte que les

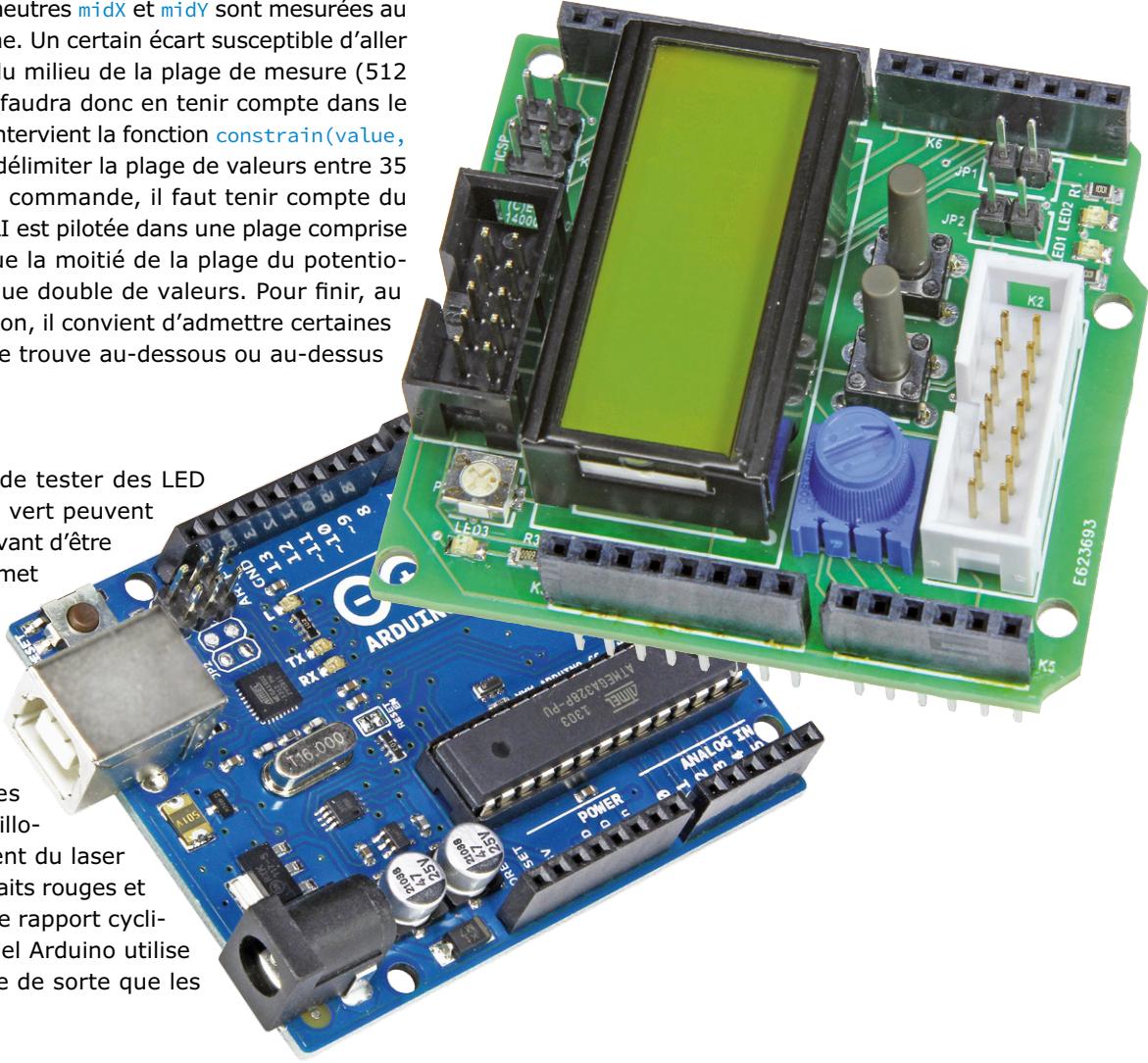
processus de commutation se distinguent facilement. L'exemple écrit en Bascom utilise, quant à lui, la fréquence MLI maximale de sorte qu'il nécessite un oscilloscope pour pouvoir détecter les signaux à MLI.

Le programme écrit en Bascom [JoystickRGB.bas](#) ([listage 6](#)) est comparable. La différence se situe uniquement dans la commande. Les mouvements du joystick affectés aux couleurs permettent uniquement d'augmenter la luminosité de la LED en question. Pour cela, on utilise la valeur maximale de la valeur réelle et le réglage. La boucle de mesure peut ainsi être exécutée très rapidement parce qu'il n'y a plus besoin de tenir compte du retour à la position 0. La commande devient plus souple et moins saccadée. Il en est de même lorsque la luminosité doit être diminuée. Ceci permet de régler à volonté les couleurs bicolores. ►

(160152 – version française : Pascal Duchesnes)

Liens

- [1] www.elektor.fr/arduino-sensor-kit
- [2] www.elektormagazine.fr/120574
- [3] www.elektormagazine.fr/140009
- [4] www.elektormagazine.fr/160152





Modules déphaseurs analogiques de 5 à 18 GHz



Pasternack lance une nouvelle série de déphaseurs analogiques qui permettent de piloter les caractéristiques de phase dans le traitement de signaux micro-ondes ou, comme modulateurs de phase, de commander un signal de modulation dans la bande de base. Ces déphaseurs analogiques polyvalents fournissent une réponse en phase à variation continue, pilotée par une source de tension unique à résolution presque illimitée avec une caractéristique monotone. La commande analogique est courante dans les applications de communication, systèmes radar

et appareils d'essai. Le PE82P2000 couvre la bande de fréquences de 5 à 18 GHz avec un déphasage variable et monotone, typiquement entre 0° et 400°, et une perte d'insertion de 7 dB. La tension de commande analogique est comprise entre 0 et +10 V et prend en charge une largeur de bande de modulation de 50 MHz. Le PE82P2001 quant à lui couvre la bande de 6 à 15 GHz avec un déphasage variable et monotone, typiquement entre 0° et 800°, et une perte d'insertion de 6 dB. La tension de commande analogique varie de 0 à +5 V, pour une largeur de bande de modulation de 50 MHz. Ces deux modèles sont logés dans des boîtiers en Kovar™, hermétiques, robustes, revêtus d'une couche d'or sur nickel. Certifiés conformes aux conditions d'essai d'environnement MIL-STD, les déphaseurs analogiques sont extrêmement fiables. Les boîtiers compacts et polyvalents sont compatibles avec des connecteurs SMA remplaçables à chaud, pour interface coaxiale. Le boîtier à broches peut être monté sur un circuit imprimé.

www.pasternack.com/pages/RF-Microwave-and-Millimeter-Wave-Products/analog-phase-shifters.html (160217-2)

Nouvelle membrane filtrante pour capteurs d'humidité SHT3x

Pour protéger l'orifice de certains capteurs d'humidité de la série SHT3x de la poussière et de l'eau conformément à l'indice de protection IP67, Sensirion vient de sortir une nouvelle membrane filtrante en PTFE. Elle permet d'utiliser ces capteurs dans des conditions ambiantes sévères, là où la poussière et les projections d'eau risquent de nuire à la précision du capteur. Conçue pour rester sur le capteur toute sa vie, la membrane de protection est fixée au corps du capteur à l'aide d'une bande adhésive double face. L'ensemble peut résister à plusieurs cycles de refu-

sion. En raison du faible volume de la membrane et de sa grande perméabilité à la vapeur d'eau, le temps de réponse du signal de température et d'humidité relative est identique à celui qu'on obtient avec un capteur sans membrane filtrante. Même si la membrane assure une parfaite protection contre l'eau et la poussière conformément à l'indice de protection IP67, elle ne protège pas des contaminations causées par des substances chimiques volatiles.

www.sensirion.com/humidity-download
(160217-1)



E-paper trois couleurs

Pervasive Displays (PDI) vient de sortir les deux premiers produits de la gamme Spectra d'e-paper tricolores : noir, blanc et rouge. L'écran e-paper



Spectra est un afficheur à cristaux liquides à matrice active sur un substrat de verre, doté d'un angle de vision extra-large de 180°. Actuellement, ces écrans sont disponibles en deux tailles : E2287ES051 avec un écran de 2,87 pouces, une résolution de 296 x 128 et une densité de pixels de 112 dpi ; E2417ES053 avec un écran de 4,2 pouces, une résolution de 400 x 300 pour 120 dpi. Dotés d'un traitement anti-reflet, ces deux écrans ont un agencement des pixels vertical. Par conséquent, les écrans e-paper

La rubrique ElektorBusiness contient des articles, nouvelles et autres contributions d'entreprises et institutions qui participent au développement de l'électronique.

Leur publication est laissée à la discréption d'Elektor.

Contributions : newsdesk@elektor.com

Rédacteur d'ElektorBusiness : **Jan Buiting**



Spectra permettent de visualiser des graphiques et des motifs extrêmement fins, de maximiser la visibilité, la reconnaissance et l'impact. Comme il

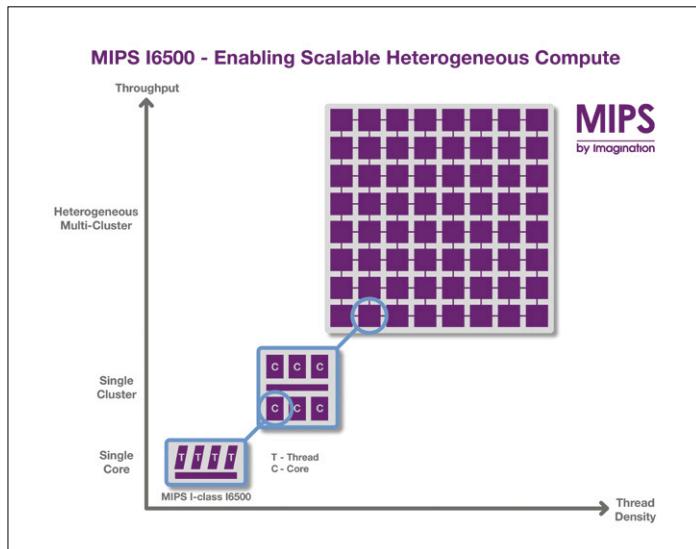
s'agit de systèmes bistables, les e-papers Spectra ne requièrent pratiquement aucune énergie pour la mise à jour et zéro énergie pour conserver une

image. Les écrans supportent une température ambiante entre 0 et 40 °C et détectent les cassures.

www.pervasivedisplays.com (160217-5)

Processeur MIPS « hétérogène, intérieur et extérieur »

Le MIPS Warrior I-class I6500 de la société Imagination Technologies est un nouveau multiprocesseur multicoeur et multifil qui permet d'atteindre



de nouveaux sommets en matière d'efficacité du système et de calcul à échelle variable pour les conceptions hétérogènes multicoeur. Les applications cibles incluent les systèmes avancés d'aide au conducteur (ADAS), les véhicules autonomes, la mise en réseau, les drones, l'automatisation industrielle, la sécurité, l'analyse vidéo, l'apprentissage automatique et tout ce qui dépend de l'informatique hétérogène. L'unité centrale I6500 sera au cœur des grappes de traitement cohérentes, hétérogènes, dans la prochaine génération de SoC EyeQ5® de la société Mobileye, conçu afin de servir d'ordinateur central pour la fusion des capteurs, pour la conduite totalement autonome de véhicules à partir de 2020. L'EyeQ5® sera doté de huit coeurs de processeur MIPS, multifil, couplés de manière cohérente avec dix-huit coeurs de processeurs de vision (PV) de Mobileye. Les PV fournissent une puissance de calcul exceptionnelle à consommation réduite en combinant la large gamme d'algorithmes de Mobileye pour les systèmes autonomes ou d'aide au conducteur, mono ou multi-caméras, appuyés par ses accélérateurs de vision spéciaux et les processeurs MIPS d'Imagination Technologies pour un traitement et une commande en temps réel ultra-efficaces. L'unité centrale I6500 est désormais disponible pour la cession de licences et sera disponible pour le grand public à partir du premier trimestre 2017.

<http://imgtec.com/mips/> (160217-4)

Une première chez Yokogawa : analyse du bus PSI5 sur oscilloscope

Yokogawa annonce que ses oscilloscopes DLM4000 à 8 canaux et DLM2000 à 2 et 4 canaux permettent d'analyser le bus *Peripheral Sensor Interface 5* (PSI5). C'est une première dans l'industrie, les oscilloscopes d'Yokogawa seront très utiles pour les concepteurs et ingénieurs automobiles. L'interface PSI5 qui repose sur des normes ouvertes est largement utilisée dans l'industrie automobile pour la communication intra-véhicule. La commande des airbags constitue l'une de ses principales applications. Ces systèmes qui jouent un rôle essentiel dans la sécurité des passagers continuent d'augmenter en capacité et complexité, de sorte qu'il est essentiel d'avoir un bus de communication fiable. Un airbag qui fonctionne mal, voire pas du tout, peut causer de sérieuses blessures et mettre des vies en danger. Le nouveau micrologiciel de test PSI5 vient s'ajouter aux autres micrologiciels « spécial automobile » disponibles sur les oscilloscopes DLM d'Yokogawa. Les ingénieurs automobiles n'ont plus qu'un seul appareil pour exécuter différentes tâches, du simple affichage d'une forme d'onde à l'analyse de bus série automobile (CAN, LIN & SENT). L'analyse PSI5 peut être



installée sur un nouveau modèle DLM4000 ou DLM2000, ou ajoutée sur un ancien. Les utilisateurs d'appareils DLM Yokogawa peuvent tester gratuitement la nouvelle fonction de test PSI5 pendant 30 jours.

<http://tmi.yokogawa.com/scopes> ; www.psi5.org (160217-3)

CAP sur l'innovation PME dopées à l'Internet des Objets

Marilene Thiebaut-Brodier (Elektor)



Le 6 octobre dernier, le Ministère de l'Économie et des Finances (Paris Bercy) accueillait la 10^e édition de la journée *CAP sur l'innovation*, organisée par CAP'TRONIC et la Direction Générale des Entreprises (DGE). Cette journée d'échanges et de témoignages de chefs d'entreprises fut largement consacrée au numérique et aux objets connectés.

Trophées CAP'TRONIC 2016

Pour mémoire : fondée par le CEA et Bpifrance, et financée par le Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, l'association JESSICA France est chargée de la mise en œuvre du programme CAP'TRONIC. Ce programme national d'accompagnement a pour objectif d'aider les PME françaises, quel que soit leur secteur d'activité, à améliorer leur compétitivité grâce à l'intégration de solutions électroniques et de logiciel embarqué dans leurs produits. Au cours de l'année écoulée, parmi les 1060 sociétés adhérentes, 760 ont fait appel aux ingénieurs CAP'TRONIC.

Chaque année, les Trophées CAP'TRONIC récompensent les plus belles innovations des PME accompagnées par le programme CAP'TRONIC et qui se sont engagées à développer le produit concerné. Après une présentation rapide de leurs projets, un trophée a été remis à l'une des trois sociétés retenues, dans chacune des quatre catégories. Un cinquième trophée a été attribué suite au vote du public. Voici ces projets.

Catégorie *Produit à l'usage du grand public*

- **CASTALIE** (Boulogne-Billancourt, [1]) : **lauréat du vote du public** : les appareils **Castalie** microfiltrent et gazéifient l'eau du réseau pour offrir aux hôtels, restaurants et entreprises, une « eau de gamme ». C'est une alternative durable aux bouteilles d'eau qui parcourent en moyenne 900 km entre la source et le lieu de consommation et qui finissent dans les déchets plastiques. Grâce à la technologie SAFE (*Système Antibactérien de Filtration de l'Eau*), le système Castalie permet d'éliminer toutes les particules et impuretés présentes dans l'eau du réseau et propose aux consommateurs une eau de qualité, pure, au goût parfaitement neutre. Les appareils Castalie sont éco-conçus et fabriqués en France.

- **GALLUCHA** (Rixheim, [2]) : Gallucha a mis au point une gamme de **sacs connectés** pour localiser les objets présents ou absents dans un sac. Les objets surveillés sont munis d'une puce. Le circuit électronique, intégré au sac, dresse un inventaire des objets présents (trousseau de clés, porte-monnaie,

portefeuille, porte-cartes, chéquier, trousse de maquillage, agenda, carte d'accès/transport, médicaments...) et l'envoie à un ordiphone. L'appli qui surveille le contenu du sac permet de signaler un oubli, de détecter une tentative de vol ou encore de programmer une alarme pour rappeler de prendre un objet de façon ponctuelle (le carnet de santé de bébé le jour de visite chez le pédiatre...). Les services de maintenance aérienne s'intéressent à ce système pour éviter l'oubli d'outils dans les réacteurs – une alarme sera déclenchée si la caisse à outils du mécanicien n'est pas complète.

- **Production Functional Factory** (Béziers, [3]), **lauréat 2016** : **BIMP'Air** est le premier système de gonflage à air comprimé haute pression, rechargeable, nomade pour les vélos et les motos. Il s'agit d'une capsule d'air comprimé haute pression pour gonfler pneus, fourches, amortisseurs et *claquer les tubeless de vélo* (soit l'ensemble des besoins en un seul système). La capsule est rechargeable directement sur le vélo (énergie mécanique de la roue) ou avec un chargeur électrique : plus besoin de cartouches de CO₂ coûteuses et polluantes.

Catégorie Industrie & Services

- **iTK** (Clapiers, [4]) : iTK conçoit des *Outils d'Aide à la Décision* (OAD) pour l'agriculture grâce à des algorithmes issus de la modélisation agronomique. Le volume d'eau distribué pour l'irrigation d'une parcelle prend en compte la durée d'ouverture de la vanne, la pression du réseau, le nombre de goutteurs ou d'asperseurs, leurs débits théoriques... Mesurer les débits réels est donc un impératif pour iTK qui a conçu son propre **débitmètre connecté de précision**, **WinFlow**, qui transmet les mesures par radiofréquence.
- **SUNIBRAIN** (Colomiers, [5]) : SUNIBRAIN a développé un **système de régulation thermique** en temps réel pour les centrales solaires existantes. **SUNiBrain™** arrose les panneaux solaires avec l'eau de pluie récupérée sur ces derniers, cela permet



d'améliorer le rendement de la production électrique (env. +12%). Ce système s'intègre de manière non intrusive.

- **SuriCog** (Paris, [6]), **lauréat 2016** : SuriCog apporte un savoir-faire unique, multidisciplinaire, à la croisée de l'optique, de l'opto-électronique, des neurosciences et de l'informatique qui en fait le spécialiste de l'œil connecté, depuis ses aspects interactifs jusqu'au neurocognitif. Son **pointeur oculaire, EyeDee**, analyse les mouvements de l'œil, les traite et les transmet sans fil, en temps réel au système cible, cela permet une interaction entre les données du regard et l'environnement cible. C'est une nouvelle génération d'interface homme-système.

Catégorie Santé & Bien-être

- **Light Vision** (Courbevoie, [7]) : la DMLA (dégénérescence maculaire liée à l'âge) se manifeste par une perte de la vision centrale et une altération de la vision de précision. C'est un véritable handicap dans la vie courante. Light Vision propose une **paire de lunettes intelligentes** basée sur l'utilisation des capacités fonctionnelles restantes des patients. Elle permet de projeter sur une zone non dégradée de la rétine (rétine périphérique) une scène soit issue d'une caméra frontale montée sur les lunettes, soit issue d'images vidéo internes.



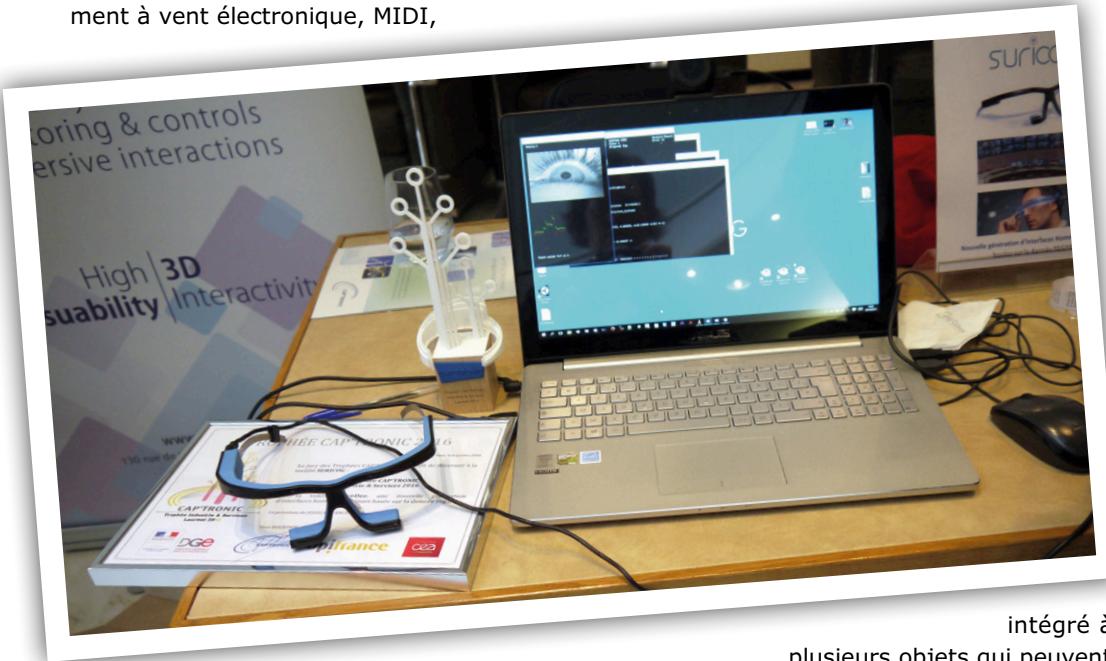
- **NatéoSanté** (Ste Pazanne, [8]) : **EOLIS** est un purificateur d'air ultra-connecté, éco-conçu et fabriqué en France. Grâce à un système de filtration haut de gamme et à un logiciel de *monitoring* intégré, il permet une maîtrise totale de la qualité de l'air de la pièce dans laquelle il est placé. La société propose également un système de gestion de parcs de purificateurs et des filtres.

- **Resilient Innovation** (Montpellier, [9]), **lauréat 2016** : **WalkMe®**, une oreillette à conduction osseuse, est un dispositif embarqué qui aide les personnes âgées, notamment les personnes atteintes de la

maladie de Parkinson (symptôme du *freezing*), à retrouver une marche quasi normale pour reprendre une vie sociale. Cette autonomie motrice leur permet de reprendre confiance en eux et de renforcer leurs capacités musculaires et locomotrices. Ce dispositif diminue également le stress lié au risque de chute.

Catégorie Jeune Entreprise

- **AODYO** (Villeneuve d'Ascq, [10]) : **Sylphyo** est un instrument à vent électronique, MIDI,



sans fil, qui permet de retrouver les sensations et les possibilités d'expression d'un instrument à vent acoustique. Léger et compact, il offre également de nouvelles possibilités d'expression grâce à ses capteurs complémentaires (capteur de mouvements, *slider* capacitif...).

- **Groupeer Technologies** (Paris, [11]) : **Groupeer** est un système qui permet au responsable d'un groupe d'être alerté quand un membre du groupe s'éloigne. En outre il compte en permanence le nombre de présents. Tous les membres doivent être équipés d'un boîtier radio robuste et d'utilisation intuitive. Ce système est utile pour tous les accompagnateurs chargés de la sécurité d'enfants (sorties scolaires, cours de ski...). Les boîtiers sont dotés d'un port micro-USB pour le chargement, d'un haut-parleur et d'un micro pour la communication, et d'un connecteur jack pour des communications par oreillettes.

- **BlendBow** (Neuilly-sur-Seine, [12]), **lauréat 2016** : **Barmate** est le premier robot connecté capable de réaliser plus de 300 cocktails. Il coupe les citrons, broie les glaçons, pile et *shake* la préparation, dose tous les ingrédients... et prépare ainsi n'importe quel cocktail en moins de 30 s, devant le client. Même son nettoyage est automatisé. La version One du Barmate est spécialisée dans les mojitos.

Objet connecté : c'est quoi exactement ?

Même si les vedettes du jour étaient les lauréats des Trophées CAP'TRONIC, les différentes tables rondes qui ont eu lieu tout au long de la journée n'en étaient pas moins intéressantes.

Dans la matinée, Olivier Ezratti a présenté sa vision des grands défis du marché des objets connectés. Il est conseil en stratégies de l'innovation et publie chaque année un volumineux rapport de visite du CES de Las Vegas. Il semblerait que la prévision de 50 milliards d'objets connectés en 2020 doive être revue à la baisse, on parle désormais d'*Internet of Fewer Things* (= l'internet des objets moins nombreux). En fait il faudrait s'entendre sur le sens de ces mots. Aujourd'hui n'importe quel objet sous prétexte qu'il contient au moins un capteur est qualifié de connecté, de l'ordiphone à la voiture en passant par le lit. Dans dix ans, plus personne ne s'étonnera qu'un lit mesure la qualité de votre sommeil. Vous constaterez peut-être que vous dormez mal, mais ce n'est pas le lit qui vous dira quoi faire pour y remédier. En outre, ce lit amélioré ne permet pas d'augmenter considérablement la marge et le chiffre d'affaires du vendeur, les profits espérés avec l'IdO ne sont donc pas aussi mirobolants que ce qu'on annonce. Un objet ne devrait pas être dit *connecté* s'il n'est relié qu'à une seule appli ; il doit être

intégré à un système d'orchestration de plusieurs objets qui peuvent interagir entre eux. L'objet connecté parfait devrait même être extensible par des tiers. Dans le domaine grand public, les objets connectés répondent rarement à ces critères, ce sont la plupart du temps des accessoires pour téléphone mobile. La baisse de prix des composants (capteurs, connexions) grâce à la vente massive d'ordiphones a profité à ces accessoires.

Aujourd'hui nombre de jeunes pousses proposent de nouveaux objets connectés grand public, dont elles escomptent des ventes massives. Toutefois il reste à convaincre les acheteurs ; il est parfois difficile d'expliquer le bénéfice apporté par l'objet, surtout quand il n'est pas immédiat. Enfin le principal frein, ce sont les peurs liées à l'IdO : sécurité informatique, données sans fil (nocivité des ondes ?), anonymat des données...

Dans l'après-midi, la question de la cybersécurité a été à nouveau abordée : Benjamin Morin, chef adjoint de la division scientifique et technique de l'ANSSI [13], a exposé les exigences et les solutions pour contrer les menaces qui pèsent sur les objets connectés. L'ANSSI ne travaille pas directement avec les entreprises, mais elle publie des référentiels et des guides à leur intention.

Encore une fois : qu'est-ce qu'un objet connecté ? C'est un objet capable de stocker un nombre limité de données, alimenté par batterie. Ses fonctions de traitement sont également restreintes, c'est pourquoi l'exploitation des données a lieu dans le nuage. Cette définition correspond à un nombre incalculable d'objets dans des domaines très variés (santé, transport, énergie, loisirs...) avec des fonctions et des caractéristiques hétérogènes.

Côté sécurité, il est évident que l'impact d'une panne ou d'un piratage est variable d'un objet connecté à un autre, idem si le service dont dépend un objet est attaqué ou définitivement stoppé (faillite de l'entreprise par ex.). Récemment des pirates chinois ont réussi à prendre le contrôle des freins d'une voiture Tesla via sa connexion Wi-Fi. À votre avis, les risques sont-ils les mêmes que si on prend le contrôle à distance de la caméra de votre frigo connecté ? Non, bien sûr, c'est pourquoi les exigences de sécurité diffèrent d'un objet à un autre.

Pour l'anecdote : Tesla a dû remplacer le micrologiciel du bus CAN pour supprimer cette faille. À cette occasion, ils ont ajouté une fonction qui vérifie l'authenticité de la mise à jour transmise à la voiture. Incroyable ! Jusqu'alors il était possible de la reprogrammer.

Les exemples d'attaque d'objets connectés se multiplient : un inconnu qui parle à un bébé via le babyphone, le mot de passe du réseau Wi-Fi domestique récupéré en passant par une lampe connectée, un drone qui prend le contrôle d'autres drones, la montre connectée utilisée pour écouter ce que l'on raconte sur son téléphone sécurisé...

Il est clair qu'aujourd'hui les développeurs doivent prendre en compte la question de la sécurisation dès le début de la conception. Les mécanismes de sécurité appliqués aux systèmes embarqués ne suffisent plus. Il faut maintenant protéger les données pendant leur transport et sur leur lieu de stockage (confidentialité), empêcher que la fonction d'un objet soit détournée (intégrité) et ajouter des mécanismes de résistance aux attaques (résilience). Toutefois les mesures doivent être proportionnées et ne sont pas du même ordre pour une voiture que pour un réfrigérateur. Dans tous les cas, il faut au préalable analyser les menaces. Les choses se compliquent lorsque des antagonismes apparaissent : faut-il donner au médecin urgentiste la possibilité de prendre le contrôle du stimulateur cardiaque du patient victime d'un infarctus ? Que fait la voiture « autonome » si l'ordre de freiner envoyé par la pédale n'est pas authentifié ? Combien de tentatives d'authentification faudra-t-il avant que la voiture heurte l'obstacle devant lequel elle devait freiner ?

Conclusion

On a des idées en France : les projets soutenus par CAP'TRONIC sont toujours aussi variés. Les concepteurs ont rendu possibles des choses que l'on n'imaginait même pas. Espérons que la commercialisation de leurs produits sera également un succès.

Les différentes présentations ont montré que l'écosystème de l'Internet des Objets est loin d'être mature. La cybersécurité soulève nombre de questions. Des réflexions sont en cours pour établir des normes, des systèmes

d'évaluation et de certification de la sécurité des objets connectés. ►

(160305)

Liens

- [1] www.castalie.com
- [2] www.gallucha.com
- [3] www.bimpair.com
- [4] www.itk.fr
- [5] www.sunibrain.com
- [6] www.suricog.fr
- [7] www.lightvision.fr
- [8] www.nateosante.fr
- [9] www.resilient-innovation.com
- [10] www.aodyo.com
- [11] www.groupeer.fr
- [12] www.blendbow.com
- [13] ANSSI, agence nationale de la sécurité des systèmes d'information : www.ssi.gouv.fr
- [14] Dualo : dualo.org/fr



bienvenue dans la section CRÉER

Clemens Valens, labo d'Elektor



Joseph Henry (1797 – 1878)

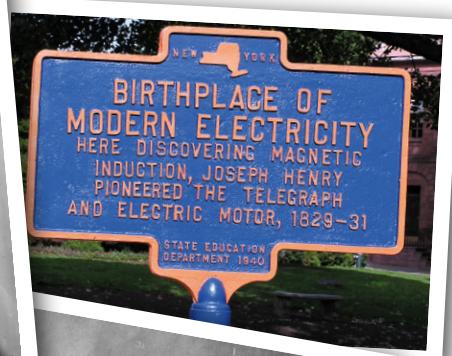
Né à Albany dans l'état de New York de la jeune République fédérée des États-Unis, Joseph Henry est officiellement Américain mais, fils d'immigrants écossais, a aussi sa place auprès des V, A, Ω, W et F du cercle européen des membres du SI. Curieux de nature, doté d'une grande souplesse d'esprit, Joseph pouvait saisir n'importe quel concept. Embauché comme apprenti horloger et forgeron à l'âge de 13 ans, il rêva d'une carrière d'acteur jusqu'à ce que la lecture d'un livre de philosophie expérimentale avive son intérêt pour la science. Pauvre mais intelligent, il s'inscrivit alors comme lycéen à l'*Albany Academy* et réussit à survivre en assistant ses professeurs. Cette expérience lui permit plus tard de décrocher un poste de professeur de mathématiques et de philosophie naturelle dans ce même lycée. Il occupait ce poste lorsqu'il fit ses premières expériences sur le magnétisme et améliora grandement les électroaimants dont il se servait. Si le *Livre Guinness des records* avait existé à l'époque, Henry y aurait d'ailleurs figuré en tant que concepteur de l'électroaimant le plus puissant du monde. Il créa l'ancêtre du moteur

à CC, la sonnette de porte et le relais électrique, même si certains attribuent cette dernière invention à Edward Davy. En 1832, Henry fut nommé professeur de philosophie naturelle au *New Jersey College*, l'actuelle université de Princeton. Il y découvrit l'induction propre et, à peu près en même temps que Faraday, l'induction mutuelle. Gloire et lauriers revinrent à Faraday qui avait publié le premier ses travaux, mais l'obligéant savant n'oublia pas son confrère et se servit plus tard de sa renommée pour faire nommer Henry au premier poste de secrétaire de la *Smithsonian Institution*.

Désormais à la tête de cette institution et auréolé d'une solide réputation scientifique, Joseph s'impliqua dans toutes sortes d'activités. Il mit en place le *Service météorologique national des États-Unis* et devint l'un des conseillers scientifiques du président Lincoln, fonction qui l'amena à gérer des budgets militaires durant la guerre civile. Il testa

également des lentilles de Fresnel pour le *Bureau des phares américains*, et chercha des substituts au spermaceti utilisé pour alimenter les lampes à huile des phares. Il améliora même les systèmes d'éclairage et de chauffage du Sénat et de la Chambre des représentants. Les contributions d'Henry au télégraphe et au téléphone furent essentielles, non seulement par ses propres découvertes et inventions, mais aussi parce qu'elles inspirèrent des ingénieurs comme Morse et Graham Bell. L'unité SI de l'inductance fut nommée en son honneur et de nombreuses écoles et salles portent bien sûr son nom. Même une chaîne de montagnes de l'Utah, les monts Henry, honore sa mémoire. Les parcourir, c'est se percher sur les épaules d'un géant. ▶

(160214 – version française : Hervé Moreau)



nombres aléatoires en analogique

grâce à un générateur de bruit et une carte Arduino

Kurt Diedrich (Allemagne)

Aujourd’hui, produire des nombres aléatoires avec un logiciel est un jeu d’enfant, mais ce n’est pas plus difficile en analogique, avec le bruit d’un transistor appliqué à une carte Arduino. Et surtout, ce générateur peut vous emmener dans le domaine de l’ésotérisme avec des expériences insolites.

Il n'y a pas que les adeptes de l'ésotérisme qui se creusent les méninges pour savoir s'il existe une conscience universelle à laquelle nous sommes tous connectés et sur laquelle nous entretenons inconsciemment des échanges. À l'université de Princeton (États-Unis d'Amérique), des chercheurs travaillent actuellement sur un projet de réseau planétaire de générateurs de nombres aléatoires, à la recherche d'indices d'une connexion qui pourrait exister entre la conscience humaine et le comportement des électrons dans une jonction PN bruyante (cf. encadré). Récemment, quand je me suis construit un générateur de bruit tout simple pour un synthétiseur analogique, l'idée m'est venue de reproduire l'expérience de Princeton en concevant du matériel et du logiciel appropriés.

Les nombres aléatoires issus d'ordinateurs sont le résultat de calculs mathématiques, donc déterministes et impropre à un tel projet. Mieux vaut utiliser une voie analogique, telle que le bruit produit par les électrons dans la jonction PN d'une diode polarisée en inverse. La tension de bruit ainsi obtenue est alors amplifiée et échantillonnée dans un CA/N ; le résultat est une série rapide de nombres aléatoires imprévisibles.

Le projet

Mon matériel se compose d'un générateur de bruit qui approvisionne un microcontrôleur Arduino, lequel transmet par USB à un PC les nombres aléatoires produits analogiquement, pour en tracer des courbes. Le logiciel pour le PC n'est certes pas exhaustif, chacun peut le modifier à sa guise. Les codes sources du programme pour PC et du croquis pour Arduino sont disponibles gratuitement sur le site d'Elektor [1].

Le matériel

Le schéma du générateur de bruit est à la **figure 1**. C'est la diode base/émetteur du transistor T1, polarisée à l'envers, qui produit le bruit. Un signal très faible qu'il faut amplifier en le couplant par C1 à la puce IC1. Puis C2 conduit le signal de bruit, symétrique par rapport au zéro, à l'additionneur IC2 qui, avec le potentiomètre P2, remonte le signal dans le domaine positif, puisque l'entrée analogique d'Arduino ne peut travailler qu'avec des tensions positives. On peut ajuster l'amplitude du bruit à l'aide de P1. Un oscilloscope vous permettra de régler le décalage sur environ +1,4 V et l'amplitude à 1 V_{cc}, à peu près, sachant qu'il n'est pas possible de mesurer avec précision les tensions.

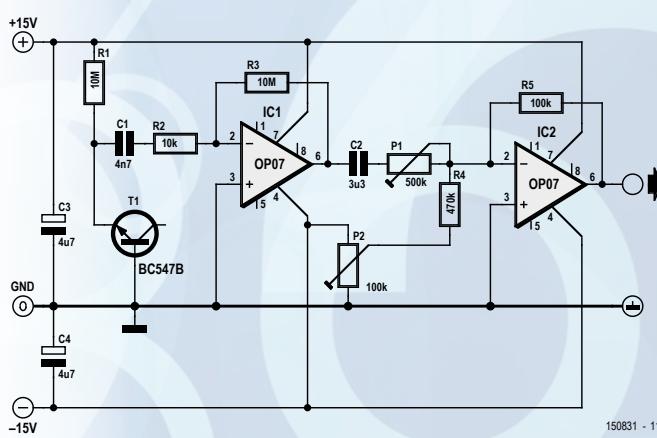


Figure 1. Le schéma du générateur de bruit construit avec un transistor et deux amplificateurs opérationnels.

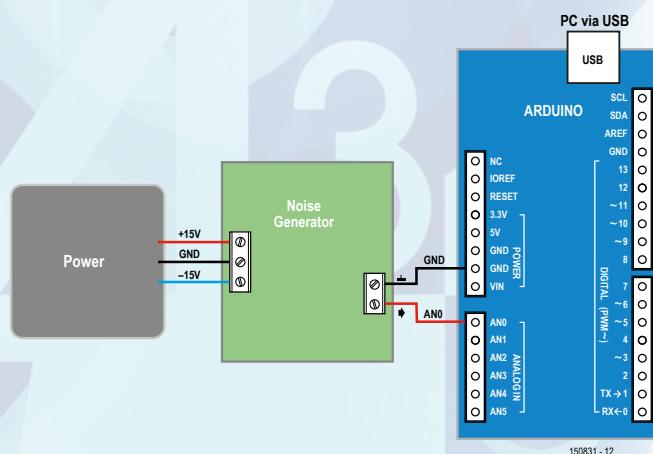


Figure 2. Les liaisons entre l'alimentation, Arduino et le générateur de bruit.

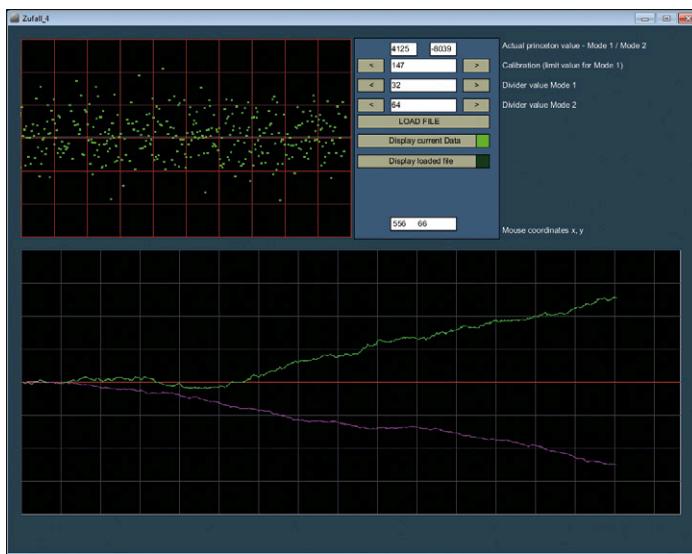


Figure 3. L'interface utilisateur du programme qui commence son travail automatiquement dès le lancement.

sion un signal de bruit. C'est alors que vous pourrez brancher la sortie du générateur à l'entrée d'Arduino (Uno).

La **figure 2** montre comment effectuer ce raccordement. Deux liaisons suffisent, le conducteur du signal va à l'entrée analogique A0 d'Arduino, l'autre unit les masses. Le générateur demande une source de courant externe, par ex. une alimentation secteur de 2x15 V. Arduino, en revanche, prend sous 5 V le courant disponible sur le câble USB qui va au PC.

Le logiciel

Il faut donc deux programmes différents pour ce projet, un pour Arduino et un pour le PC [1]. Celui à lancer sur le PC a été rédigé en *Processing*. L'environnement de développement *Processing* (que j'utilise jusqu'à maintenant sous Windows XP et Windows 7) est disponible gratuitement sur [2]. Un fichier *Processing* doit toujours se trouver dans un dossier du même nom que celui du programme.

Très important : veillez à ce que dans les paramètres d'installation du code *Processing*, le numéro de port COM renseigné soit celui que Windows a attribué à Arduino, vérifiez-le dans le gestionnaire de périphériques. Exemple :

```
serport = new Serial(this, "COM3", 115200);
```

Il arrive malheureusement que ce numéro de port change de lui-même lors d'expériences.

Après avoir flashé le croquis dans l'Arduino (avec l'EDI Arduino), on peut le brancher sur le PC et lancer le programme *Processing*. Peu après, le signal apparaît symétriquement sur la ligne médiane dans la fenêtre graphique du haut (cf. **figure 3**). Si l'est décalé ou si son amplitude ne convient pas, on remet tout en ordre avec P1 et P2. Une version plus pratique du logiciel de réglage fin paraîtra ultérieurement.

Mode d'emploi

Fenêtre graphique supérieure

Le graphe du haut présente sous forme de points les valeurs aléatoires impulsées par le générateur de bruit. Arduino en produit environ 30 par seconde. Une série complète dure environ 10 s, ce qui donne à peu près 300 échantillons à traiter.

Fenêtre graphique inférieure

Dans la fenêtre du bas, deux courbes sont tracées progressivement, une verte et une violette, qui s'allongent d'un pixel à chaque série dans la fenêtre supérieure. Voici comment les produire :

Courbe violette (mode 2)

Le programme vérifie si la valeur de l'échantillon actuel est paire ou impaire, en fonction de quoi, il incrémente ou décrémente une variable.

Courbe verte (mode 2)

Quand un échantillon se trouve au-dessus de la ligne médiane, le programme ajoute 1 à une variable, s'il est sous la médiane, il lui retranche une unité. Il n'est pas facile de régler avec précision le potentiomètre de décalage et dans tous les cas le décalage variera légèrement avec la température, c'est pourquoi un étalonnage est nécessaire. C'est le rôle des boutons *Calibration*.

Boutons Calibration

Ce sont les deux boutons du haut qui permettent de décaler verticalement la ligne médiane dans le graphe du bas qui distingue les échantillons négatifs des positifs. Selon le réglage, la courbe verte se met à l'horizontale ou s'incline. Il faut régler le potentiomètre de décalage dans le générateur de façon telle que la trace verte dans le graphe inférieur soit la plus horizontale possible quand on règle la valeur 150 avec les boutons. Dans la fenêtre du haut, il faut s'arranger pour que les nombres aléatoires représentés en vert apparaissent comme symétriques autour de la ligne médiane. Reportez la valeur la plus adaptée à votre montage, dans la zone de déclaration des variables du code *Processing*, par exemple :

```
int limit = 150 ;
```

Les boutons Divider

Les paires de boutons en dessous servent à étirer (effet loupe) ou comprimer les courbes dans le sens vertical (axe Y). Les deux champs d'en bas indiquent les valeurs actuelles des courbes.

Les fichiers et le LOAD FILE

Normalement, toutes les 30 min, est enregistré un fichier avec les courbes affichées dans la fenêtre du bas, bien sûr dans le répertoire où se trouve le programme *Processing*. Le nom de fichier est déterminé au démarrage du programme et contient l'heure et la date du moment du lancement. On peut modifier l'intervalle entre les enregistrements dans un nouveau fichier dans le code de déclaration des variables. Vous y trouverez les instructions nécessaires.

D'un clic sur *LOAD FILE*, on ouvre une fenêtre d'exploration où chercher les fichiers enregistrés automatiquement et que l'on peut charger.

Un tantinet d'ésotérisme

Depuis la fin des années 90, une équipe de recherche à l'université de Princeton mène une étude intitulée *Global Consciousness Project* (*GCP*, projet conscience globale), dans laquelle les données produites par 70 générateurs de nombres aléatoires répartis dans le monde entier sont recueillies et analysées.

Théoriquement, la répartition de ces nombres devrait être très homogène. Si l'on décale la courbe des échantillons de bruit de façon à rendre les valeurs symétriques par rapport à une ligne zéro, par ex., alors les valeurs positives et négatives s'équilibreront, en supposant un nombre de valeurs suffisamment élevé. La conséquence de cela est que la courbe obtenue en additionnant un nombre fixe de valeurs oscille autour de la ligne zéro ; cependant si le décalage n'est pas tout à fait correct, la courbe dérivera dans une certaine direction, avec une pente à peu près constante. Curieusement, les chercheurs de Princeton ont toutefois pu rapporter des perturbations significatives de cet équilibre

sur tous les générateurs aléatoires participants, quand dans le monde s'est produit un événement qui a touché émotionnellement une grande partie de l'humanité, comme les attentats du 11 septembre 2001, le décès de la princesse Diana ou les attaques terroristes à Madrid. Dans toutes ces occasions, les courbes des mesures enregistrées ont dévié des valeurs attendues.

Des informations complémentaires sur les fondements de cette étude ainsi que des critiques, vous en trouverez ici :

<http://global-mind.org/>
<http://global-mind.org/results.html#alldata>
<http://global-mind.org/control.distribution.html>
<http://noosphere.princeton.edu/story.html>
<http://subroutine.jimdo.com> (site de l'auteur)

Display actual data / Display loaded file

En cliquant sur l'un de ces boutons, on affiche dans la fenêtre du bas les graphes relatifs aux données actuelles ou au fichier chargé. L'affichage des données actuelles ne s'effectue que si les valeurs dans la fenêtre d'en haut ont atteint le bord droit.

Le champ tout en bas indique les coordonnées du pointeur lors d'un clic – un outil bien utile quand on veut ajouter des éléments à l'interface graphique.

Interprétation

Comme d'habitude, l'interprétation des courbes reste une matière subjective. Quand vous lancerez le programme, vous remarquerez que, malgré les nombreuses déviations dans certaines zones, presque toujours, les courbes tendent vite vers une même direction. Les petites déviations en dents de scie résultent de la nature aléatoire du générateur de bruit, mais elles peuvent aussi être dues à des changements de température. Maintenant, si une courbe dévie soudainement et de façon prononcée par rapport à sa moyenne, peut-être que quelque chose se prépare... Il faudrait peut-être que vous jetiez un œil à votre portail d'information préféré sur l'internet.

En attendant un éventuel événement, vous pourriez modifier

le programme Processing pour enregistrer, afficher et interpréter d'autres données, comme la température.

(150831 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/150831
- [2] <https://processing.org/download>

Listage 1. Extrait du code Arduino

```
void setup()
{
    Serial.begin(115200);
}

void loop() // boucle sans fin
{
    int sensorValue = analogRead(A0);
    Serial.println(sensorValue);
}
```

Conseils pour le code Processing

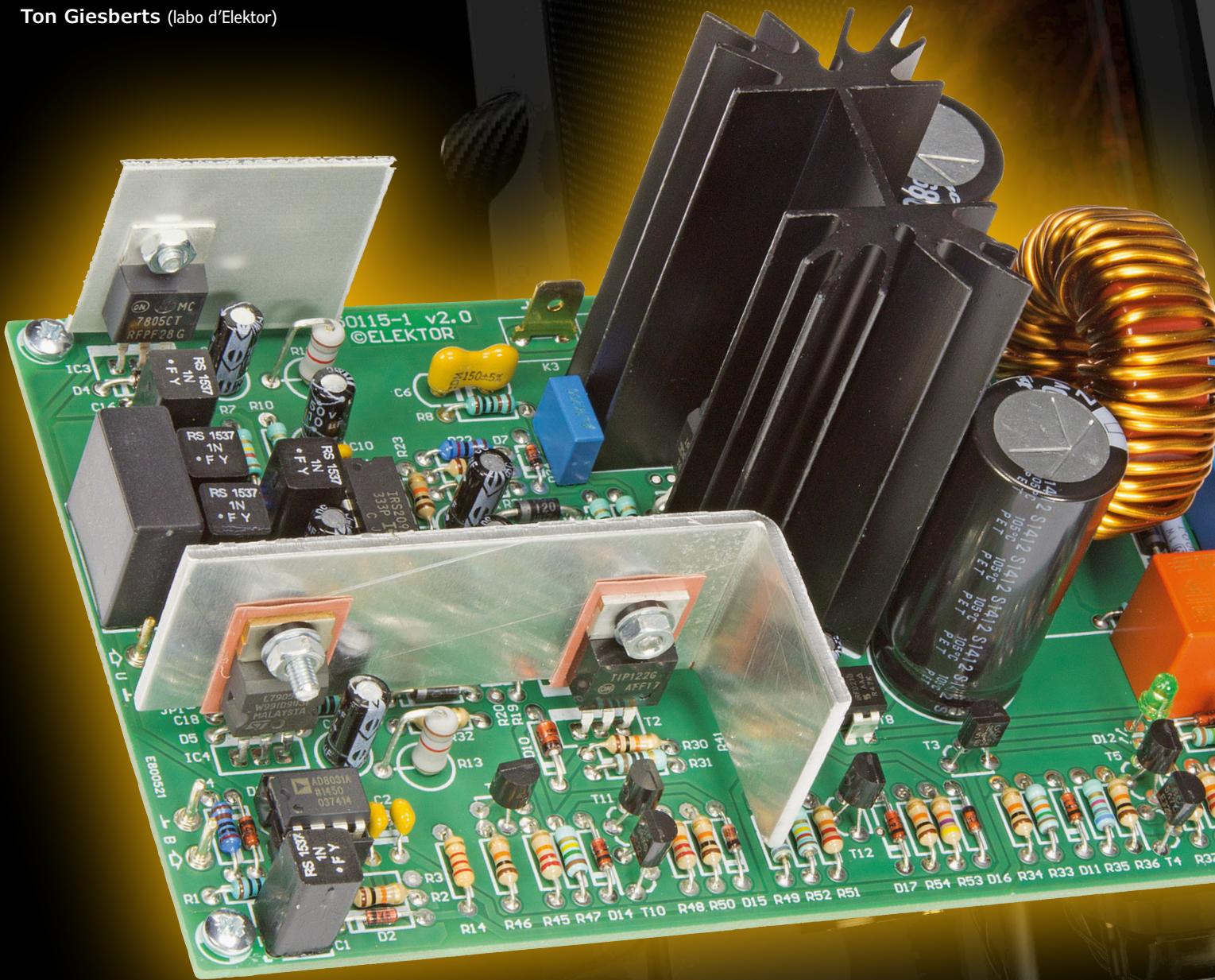
À première vue, le code semble très volumineux, du fait qu'il n'y a en *Processing* aucune interface graphique pour créer le programme. Tous les boutons et toutes les fenêtres de texte, ainsi que les réponses aux clics qui s'y rapportent, c'est à vous de les rédiger en code source « normal ». Cela fonctionne bien et le traitement des graphiques est particulièrement rapide, mais cela n'arrange pas la lisibilité du code. C'est pourquoi je l'ai abondamment commenté (en

anglais) aux endroits nécessaires. Si la programmation en *Processing* vous intéresse, vous trouverez dans le listage de nombreuses indications intéressantes, pour programmer les boutons et les champs de texte par exemple, reproduire le contenu d'un tableau sous forme de diagramme dans une fenêtre graphique ou bien le mémoriser sur un support de données et le récupérer, obtenir l'heure ou créer un explorateur de fichiers.

le déwatteur

ampli en classe D ne consomme que la puissance qu'il fournit

Ton Giesberts (labo d'Elektor)



A large speaker is visible on the left side of the page, its dark grille and silver frame catching some light. In the bottom left corner, a portion of a green printed circuit board (PCB) is shown, featuring various electronic components like resistors, capacitors, and a blue integrated circuit. A yellow glow emanates from behind the PCB, suggesting power or signal flow.

Depuis longtemps, Elektor s'est bâti une renommée dans le domaine des projets audio. Pour les nombreux enthousiastes audiophiles, nous présentons cette fois-ci un nouvel ampli de puissance en classe D à partir d'une puce audionumérique spéciale. Vous voulez de la puissance, 200 W sur 8 Ω, mais pratiquement sans dissipation de chaleur ? Oubliez les gros radiateurs !

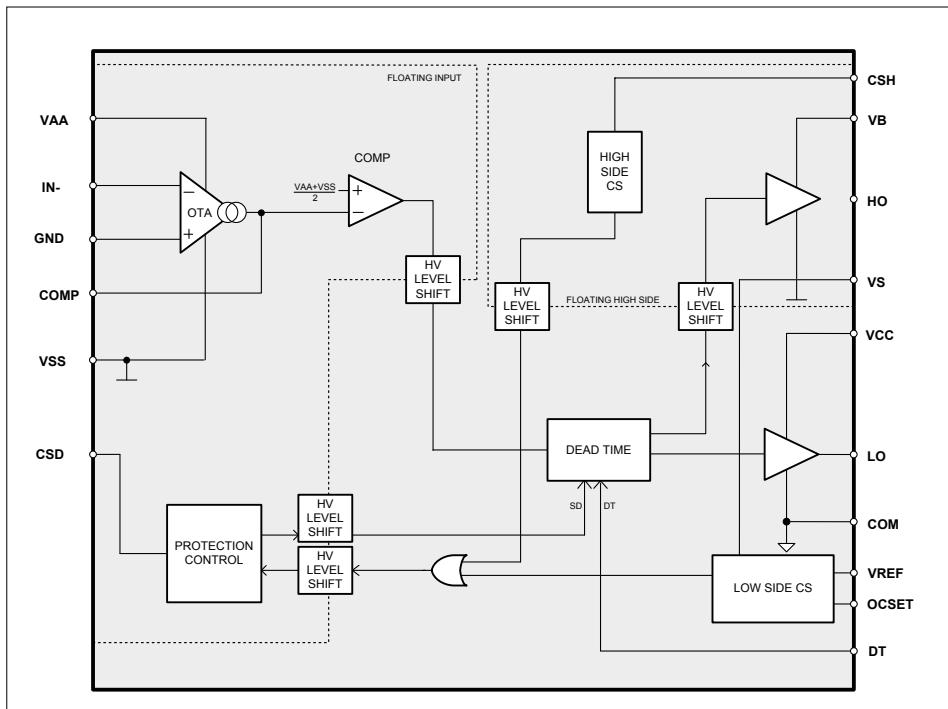


Figure 1. Diagramme fonctionnel de la puce numérique IRS2092 de pilotage de l'amplificateur.

Il y a déjà trois ans que le dernier projet d'amplificateur de sortie audio a été publié [1], *l'ampli de puissance compact*. Un classique étage final en classe AB pour un plein de puissance, la distorsion en moins. Il a depuis lors convaincu de nombreux audiophiles.

Pour changer, ce projet-ci prend le chemin du numérique. Dans un ampli en classe D, les transistors de sortie commutent en permanence à une assez haute fréquence. Un modulateur de largeur d'impulsion traduit la grandeur du signal analogique d'entrée en une largeur équivalente d'impulsions positives et négatives pour constituer le signal de sortie. Là, un filtre éliminera la haute fréquence pour ne laisser passer que le signal analogique amplifié pour le haut-parleur. Avec pareil traitement numérique, on y gagne énormément en rendement, ce qui limite considérablement la dissipation d'énergie et... la dimension du radiateur.

Tout tourne principalement autour d'une puce à 16 broches pour piloter un double MOSFET de puissance. De concert avec une panoplie de sécurités, l'ensemble repose sur un unique circuit imprimé, il ne vous reste qu'à lui fournir l'alimentation (stabilisée). Le projet ne compte aucun CMS, sa construction est donc très facile et vous pourrez encore y ajouter votre grain de sel.

Sélection du projet

On n'a pas attendu l'arrivée des puces spécialisées pour faire des amplis en classe D (les anciens se souviennent encore de Woodstock), mais sans elles, c'est plus compliqué. Par bonheur, différents fabricants proposent une solution mono-puce pour amplificateur en classe D. Pour de petites puissances, on trouve quantité de puces, mais si vous cherchez une grande puissance conjuguée à une bonne qualité, le choix s'amenuise. Nous avons découvert une solution épataante avec une puce développée par International Rectifier (aujourd'hui Infineon), l'IRS2092. Sous l'appellation de *Protected Digital Audio Amplifier*, ce DIP à 16 broches contient tout le nécessaire à la construction d'un ampli de qualité en classe D relativement simple, il ne lui manque que quelques transistors de puissance. Il dispose des pilotes de grille capables de fournir un fort courant aux MOSFET de puissance qui suivent, d'un modulateur MLI à autoamorçage, d'une protection bidirectionnelle en courant, d'une temporisation programmable de temps mort pour la commande de MOSFET, il supporte aussi des fréquences jusqu'à 800 kHz. Son diagramme fonctionnel est à la **figure 1**. Infineon offre, outre la fiche technique [2], une série de notes d'application et de nombreux pro-

jets de référence pour l'IRS2092. Mais pourquoi réinventer la roue quand on vous a déjà mâché la besogne ? D'autant que, vous l'avez deviné, notre projet a finalement abouti à bien mieux qu'un calque du circuit d'exemple.

L'amplificateur

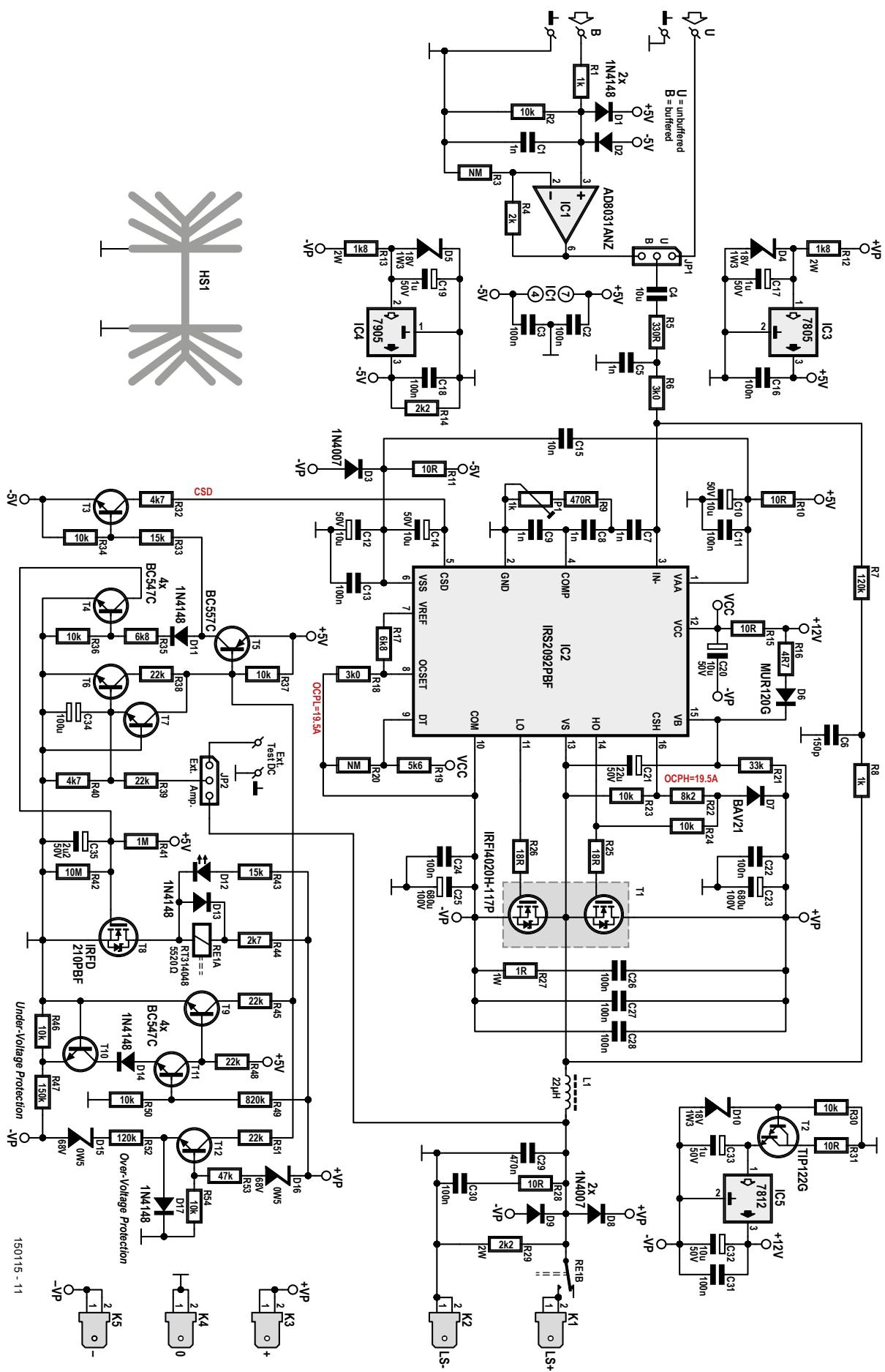
Avec une puce conçue spécialement pour une tâche précise, mieux vaut partir de l'application standard du fabricant, c'est vrai pour l'IRS2092 aussi. La note d'application AN-1138 [3] fournit une description détaillée de la puce.

La **figure 2** vous montre notre version de l'ampli, dans laquelle la configuration autour de l'étage pilote IC2 et du double MOSFET T1 est pratiquement conforme. T1 est d'un type spécial pour ce genre d'applications, avec deux MOSFET à canal N, rassemblés sous un même boîtier. L'IRFI4020H-117P appartient à la famille Digital Audio MOSFET d'Infineon et se caractérise par un $U_{DS\max}$ de 200 V, un $I_{D\text{cont}}$ de 9,1 A et une $R_{DS(on)}$ de 80 mΩ. Il est parfaitement adapté aux étages de puissance de 200 à 300 W sur 8 Ω. Il est bien plus facile de monter ce double MOSFET sur un radiateur et le tout sur le circuit imprimé.

La rétroaction entre la sortie et l'entrée passe par R7/R8, où R8 forme avec C6 un filtre pour les signaux HF. Le gain est déterminé par $(R7+R8)/(R5+R6)$. L'impédance d'entrée dépend sur cet amplificateur inverseur de $R5 + R6$, elle est assez basse, environ 3,3 kΩ. C'est pourquoi il est précédé d'un étage tampon, l'ampli op IC1A, un modèle rapide AD8031ANZ à excursion totale en tension. Le cavalier JP1 définit laquelle des deux entrées est branchée. L'impédance d'entrée de l'ampli op s'élève à 11 kΩ. Le gain est actuellement de 1, mais vous pouvez le modifier en changeant R3 : $A = R4/R3 + 1$. Il est alimenté par les stabilisateurs ±5 V qui fournissent aussi les tensions auxiliaires pour IC2, nous y reviendrons.

Presque chaque composant autour de IC2 détermine un paramètre. Certaines résistances définissent les deux tensions

Figure 2. Le schéma complet de l'amplificateur en classe D. Au-dessus, l'ampli proprement dit, en bas, les sécurités et le circuit de démarrage en douceur.



150115 - 11

limites, le temps mort, le pilotage du MOSFET côté supérieur et la rétroaction depuis la sortie.

Il faut au modulateur deux tensions symétriques de plus et moins 5 V. Elles ne sont pas prélevées simplement des sources principales par résistance et Zener, mais passent par une stabilisation séparée des œuvres de IC3 et IC4 pour leur garantir la qualité suffisante, surtout si l'alimentation principale n'est pas bien stabilisée. Pour limiter à un niveau sûr les tensions d'entrée des stabilisateurs et la dissipation, il y a aux entrées les diodes Zener D4 et D5 (les tensions d'alimentation peuvent s'élever à maximum ± 70 V). Aux raccordements des tensions auxiliaires VAA et VSS sur la puce, un découplage supplémentaire composé de R10/C10/C11 et R11/C12/C13 évite toute influence des commutations à HF sur les deux stabilisateurs. La diode D3 protège

l'IRS2092 en cas de perte de l'alimentation négative.

La tension d'alimentation négative sur la broche VCC, utilisée pour la commande du MOSFET d'en bas, vaut 12 V de plus que $-V_P$, la tension négative principale. Comme cette ligne doit supporter un courant plus élevé que celle des tensions auxiliaires, son circuit de stabilisation comporte en plus, en série avec IC5, un Darlington de puissance (T2). C'est lui qui prend en charge le surplus de puissance à dissiper. La broche VCC de IC2 est découpée localement par C20 et R15. La tension d'alimentation positive (flottante) VB de IC2 sert à la commande du MOSFET du haut. Cette broche est reliée à un circuit auto-élévateur composé de R16/D6/C21 et R21, cette dernière est requise pour la charge de C21 avant le démarrage de la MLI. La résistance R16 limite les pointes de courant.

Le temps mort DT, celui durant lequel on force les deux MOSFET à bloquer pour éviter que de fortes pointes de courant n'y circulent en même temps, est programmé par le diviseur R19/R20 en quatre pas : 105, 65, 40 et 25 ns. Nous avons choisi le temps mort le plus court, 25 ns en éliminant R20. Allonger le temps mort entraîne une augmentation considérable de la distorsion harmonique (DHT) aux fréquences élevées ! Notez toutefois qu'un MOSFET met habituellement deux fois plus de temps à bloquer qu'à conduire. Les résistances R25 et R26 réduisent dans les deux sens les courants de et vers les grilles des MOSFET de puissance. Les courants de court-circuit des pilotes de grille s'élèvent à 1 A fourni et 1,2 A absorbé. Avec 18 Ω pour R25 et R26, les courants de pointe de charge et décharge sont limités aux alentours de 0,5 A.

Le diviseur de tension R17/R18 détermine le seuil de limitation de courant dans le côté bas. La caractéristique $R_{DS(on)}$ des sorties des MOSFET est ici utilisée pour mesurer le courant. Le coefficient de température positif de la $R_{DS(on)}$ du MOSFET a l'avantage de réduire le courant limite quand la température du MOSET s'élève. L'IRS2092 dispose d'une référence de tension interne de 5,1 V (VREF, broche 7) pour le réglage précis du seuil de courant. Il y a malheureusement une assez grande tolérance sur la résistance drain/source d'un MOSFET. Avec une tension de grille à source de 10 V, la $R_{DS(on)}$ du MOSFET utilisé présente une valeur typique de 80 m Ω et maximale de 100 m Ω à 25 °C. La $R_{DS(on)}$ grimpe à plus de 175 m Ω à 125 °C. Sur ce projet, nous avons réglé la tension de seuil à 1,56 V pour laquelle le seuil de courant s'établit typiquement à 19,5 A pour une température de jonction de 25 °C. À 125 °C, le seuil s'abaisse à environ 8,7 A. Si le courant de sortie devient trop fort, l'IRS2092 le bloque et les sorties LO et HO sont mises au niveau bas pour protéger le MOSFET. Le seuil de limitation de courant du côté haut est réglé par la broche 16, CSH. Elle a une tension de seuil fixe à 1,2 V par rapport à VS (broche 13).

En plus de la limitation de courant côté haut par un diviseur de tension, il faut la diode de blocage D7 pour empêcher qu'une tension trop élevée parvienne à la broche CSH en cas de déconnexion du côté haut. En raison de la chute de

Résultats de mesure

Mesures faites sur la version 6/8 Ω avec alimentation ± 60 V (Hypex SMPS400A400), B = 22 kHz, R7 = 100 k Ω

- Sensibilité d'entrée : 1,3 V (189 W/8 Ω , DHT+b = 1 %)
1,25 V (174 W/8 Ω , DHT+b = 0,1 %)
- Impédance d'entrée : 3,33 k Ω /11 k Ω
- Puissance de sortie permanente : 174 W sur 8 Ω (DHT+b = 0,1 %, 1 kHz)
189 W sur 8 Ω (DHT+b = 1 %, 1 kHz)
224 W sur 6 Ω (DHT+b = 0,1 %, 1 kHz)
246 W sur 6 Ω (DHT+b = 1 %, 1 kHz)
- Largeur de bande de puissance : 5 Hz (-3 dB) à 20 kHz (± 1 dB)
- Vitesse de balayage : 15 V/ μ s (8 Ω)
- Temps de montée : 4,4 μ s (8 Ω)
- Rapport signal/bruit : > 77 dB (linéaire, B = 22 Hz à 22 kHz)
(référence 1 W/8 Ω)
> 80 dBA
- Distorsion harmonique + bruit : 0,014 % (1 kHz, 1 W/8 Ω)
0,004 % (1 kHz, 50 W/8 Ω)
0,024 % (1 kHz, 1 W/6 Ω)
0,0046 % (1 kHz, 50 W/6 Ω)
- Distorsion d'intermodulation : 0,013 % (1 W/8 Ω)
(50 Hz : 7 kHz, 4 : 1)
0,023 % (50 W/8 Ω)
0,013 % (1 W/6 Ω)
0,017 % (50 W/6 Ω)
- Distorsion IM dynamique : 0,037 % (1 W/8 Ω)
(3,15 kHz carré + 15 kHz sinus)
0,009 % (50 W/8 Ω)
0,043 % (1 W/6 Ω)
0,008 % (50 W/6 Ω)
- Facteur d'amortissement : 174 (1 kHz, 8 Ω)
- Rendement à pleine puissance : 93 % sur 8 Ω
(THD+N = 0,1 %)
94 % sur 6 Ω
- Protection CC : +3/-4 V
- Décalage CC en sortie : < 0,3 mV
- Retard à l'enclenchement : 6 s



cet étage final de puissance en classe D ne consomme que ce qu'il restitue

tension de 0,6 V quand D7 conduit, la tension drain/source du MOSFET d'en haut se situe encore 0,6 V plus haut. La résistance R24 fournit un courant de polarisation à D7 quand le MOSFET d'en haut est commuté. Le diviseur de tension R22/R23 réduit la tension sur le MOSFET d'en haut et sur D7. Donc, si nous voulons y régler le même seuil qu'en bas, il faut tenir compte de D7. On obtient alors une valeur de 10 kΩ pour R23 et 8 kΩ (arrondi à 8,2 kΩ) pour R22. Vous trouverez le calcul dans la description de cet amplificateur sur le site du labo [4]. Le signal MLI en sortie des MOSFET passe par le filtre du second ordre composé de la bobine à noyau torique L1 et le condensateur C29. Suit encore le réseau de Boucherot R28/C30 qui assure à l'ampli une charge de sortie suffisante aux fréquences élevées.

Les condensateurs C22 à C28 forment le découplage indispensable de l'alimentation. Comme sur tout amplificateur en classe D, il se peut qu'un phénomène de *bus pumping* se produise, qui renvoie de l'énergie du filtre de sortie vers l'alimentation. Il survient surtout à haut niveau, en basse fréquence et avec des impédances de charge basses. Avec une alim à découpage stabilisée, il peut rendre instable la rétroaction de la régulation. La meilleure façon d'étouffer une éventuelle montée de la tension d'alimentation est d'installer de gros condensateurs en parallèle sur les lignes d'alimentation. Commencez par un électrolytique de 10 000 µF/100 V sur chacune d'elles. Faites-le avec diplomatie, la plupart des alimentations à découpage n'apprécient pas les charges capacitives trop élevées, consultez les spécifications du constructeur.

La tension d'alimentation de l'amplificateur se monte à ± 60 V pour une version à 6/8 Ω (pour R7, le mieux est de prendre une valeur de 100 kΩ). Le maximum se situe près de ± 70 V, mais alors, la distorsion augmente du fait de la présence accrue de la composante MLI dans le signal de rétroaction. Si vous utilisez l'ampli avec une charge de 4 Ω, l'alimentation ira régulièrement en limita-

tion. Mieux vaut alors adapter l'ampli et employer une autre tension d'alimentation, comme l'indique l'encadré *Configuration sur 4 Ω*.

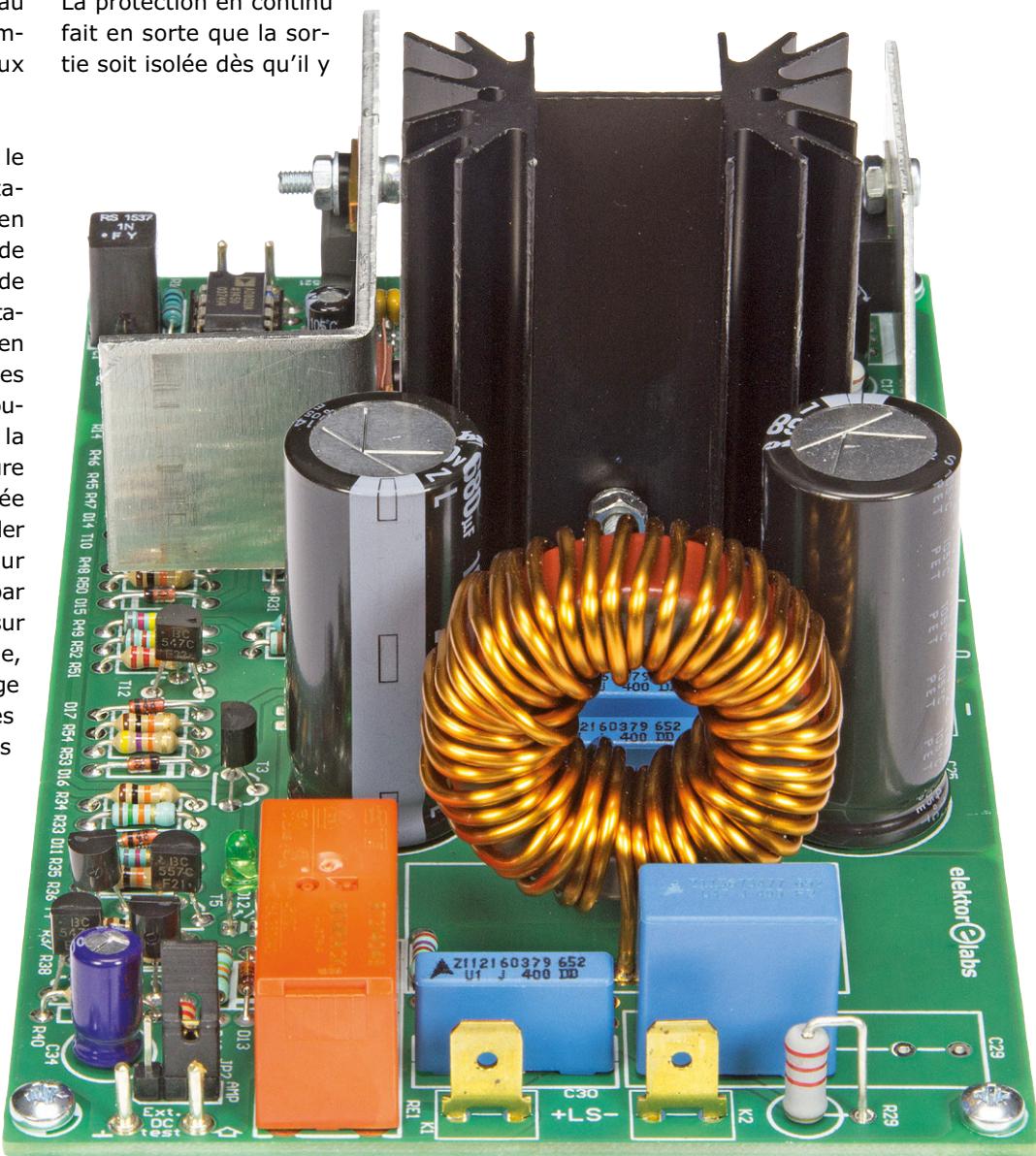
Protections

Nous avons complété les protections incorporées pour l'IRS2092 par quelques circuits supplémentaires : une protection contre les surtensions sur les deux alimentations, une protection contre la sous-tension (en double aussi) et une sécurité en continu par démarrage en douceur. Chacune de ces protections peut faire chuter le relais de sortie et débrancher l'IRS2092.

La protection en continu fait en sorte que la sortie soit isolée dès qu'il y

règne une trop haute tension, en vue de protéger l'enceinte qui y est branchée. La protection en continu réagit sur quelques volts. Cette valeur relativement haute tient compte du fait qu'en sortie de l'amplificateur, toute tension continue ne peut s'y manifester que si aucune charge n'y est connectée et que l'IRS2092 est coupé. Il subsiste manifestement un courant de repos en sortie de la broche VS quand l'IRS2092 est en mode de fermeture.

Ce sont R38/R39/R40/C34/T6/T7 qui charpentent la protection en continu. Le diviseur de tension R39/R40 en définit le seuil d'activation. Avec les valeurs de



Liste des composants

Résistances :

(5 %, 0,25 W, sauf mention contraire)
 R₁, R₈ = 1 kΩ
 R₂, R₂₃, R₂₄, R₃₀, R₃₄, R₃₆, R₃₇, R₄₆, R₅₀, R₅₄ = 10 kΩ
 R₃, R₂₀ = non installées
 R₄ = 2 kΩ, 1 %
 R₅ = 330 Ω
 R₆, R₁₈ = 3 kΩ, 1 %
 R₇, R₅₂ = 120 kΩ
 R₉ = 470 Ω
 R₁₀, R₁₁, R₁₅, R₃₁ = 10 Ω
 R₁₂, R₁₃ = 1,8 kΩ 2 W
 R₁₄ = 2,2 kΩ
 R₁₆ = 4,7 Ω
 R₁₇, R₃₅ = 6,8 kΩ
 R₁₉ = 5,6 kΩ
 R₂₁ = 33 kΩ
 R₂₂ = 8,2 kΩ
 R₂₅, R₂₆ = 18 Ω
 R₂₇ = 1 Ω, 1 W
 R₂₈ = 10 Ω 1 W
 R₂₉ = 2,2 kΩ 2 W
 R₃₂, R₄₀ = 4,7 kΩ
 R₃₃, R₄₃ = 15 kΩ
 R₃₈, R₃₉, R₄₅, R₄₈, R₅₁ = 22 kΩ
 R₄₁ = 1 MΩ
 R₄₂ = 10 MΩ
 R₄₄ = 2,7 kΩ
 R₄₇ = 150 kΩ
 R₄₉ = 820 kΩ
 R₅₃ = 47 kΩ
 P₁ = potentiomètre d'ajustage 1 kΩ vis au-dessus

Condensateurs :

C₁, C₅, C₇, C₈, C₉ = 1 nF/63 V, 1 %, polystyrène, au pas de 7,18 mm (LCR Components EXFS/HR 1 000 pF ±1 %)
 C₂, C₃, C₁₁, C₁₃, C₁₆, C₁₈, C₃₁ = 100 nF/50 V, 10 %, X7R, au pas de 5,08 mm
 C₄ = 10 μF/63 V, 10 %, MKT, au pas de 15 mm
 C₆ = 150 pF/500 V, 5 %, mica argenté, au pas de 5,9 mm (Cornell Dubilier

CD15FD151JO3F)
 C₁₀, C₁₂, C₁₄, C₂₀, C₃₂ = 10 μF/50 V, 20 %, 5×11 mm, au pas de 2 mm
 C₁₅ = 10 nF/100 V, 10 %, X7R, au pas de 5,08 mm
 C₁₇, C₁₉, C₃₃ = 1 μF/50 V, 20 %, 5×11 mm, au pas de 2 mm
 C₂₁ = 22 μF/50 V, 20 %, 5×11 mm, au pas de 2 mm
 C₂₂, C₂₄ = 100 nF/250 V, 10 %, MKT, 4×10 mm, au pas de 7,5 mm (TDK B32520C3104K000)
 C₂₃, C₂₅ = 680 μF/100 V, 20 %, 28 mΩ/2,57 A, 18×40 mm, au pas de 7,5 mm (Rubycon 100ZL680MEFC18X40)
 C₂₆ = 100 nF/200 V, 10 %, X7R, au pas de 5,08 mm (Kemet C330C104K2R5TA)
 C₂₇, C₂₈, C₃₀ = 100 nF/400 V, 5 %, polypropylène, au pas de 15 mm (TDK B32652A4104J000)
 C₂₉ = 470 nF/400 V, 5 %, polypropylène, au pas de 15 mm (TDK B32652A4474J000)
 C₃₄ = 100 μF/10 V bipolaire, 20 %, au pas de 2,5/3,5 mm, diam. max. 8 mm
 C₃₅ = 2,2 μF/50 V, 5×11 mm, au pas de 2 mm

Inductances :

L₁ = noyau torique 22 μH, T130-2 (Micrometals), max. 20×40 mm (2 m fil de cuivre émaillé de 1,5 mm de diam.)

Semi-conducteurs :

D₁, D₂, D₁₁, D₁₃, D₁₄, D₁₇ = 1N4148
 D₃, D₈, D₉ = 1N4007
 D₄, D₅, D₁₀ = BZX85C18 SB00018/E1, diode Zener 18 V/1,3 W
 D₁₅, D₁₆ = BZX55C68-TR, diode Zener 68 V/0,5 W (ou BZX79-C68 de NXP)
 D₆ = MUR120G (200 V/1 A)
 D₇ = BAV21 (250 V/250 mA)
 D₁₂ = LED verte, 3 mm
 T₁ = IRFI4020H-117P
 T₂ = TIP122G
 T₃, T₄, T₆, T₇, T₉, T₁₀, T₁₁, T₁₂ = BC547C
 T₅ = BC557C
 T₈ = IRFD210PBF

IC₁ = AD8031ANZ
 IC₂ = IRS2092PBF
 IC₃ = MC7805CTG
 IC₄ = MC7905ACTG
 IC₅ = MC7812CTG

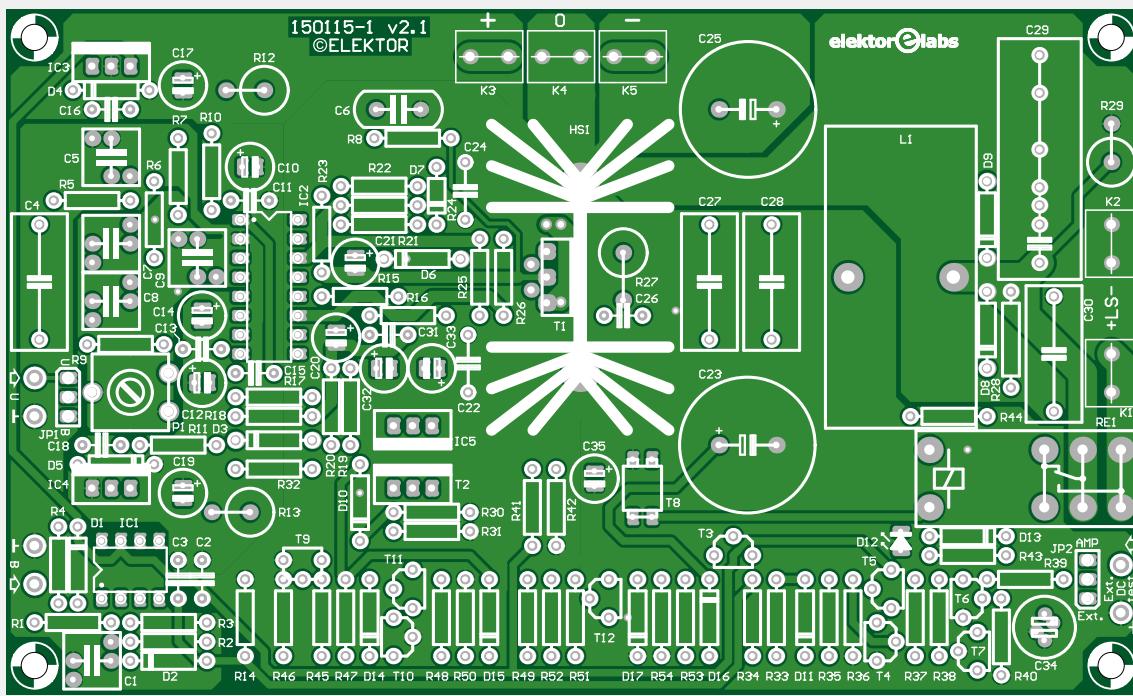
Divers :

K₁, K₂, K₃, K₄, K₅ = connecteur mâle plat Faston encartable, 6,35 × 0,81 mm, au pas de 5,08 mm
 JP₁, JP₂ = embase à 3 picots au pas de 2,54 mm, avec cavaliers RE₁ = relais encartable SPCO, 16 A, 48 V/5,52 kΩ (TE Connectivity/Schrack RT314048)
 HS₁ = radiateur encartable 2,6 K/W, distance entre 2 broches de montage 25,4 mm (Aavid Thermalloy 530002B02500G)
 radiateur pour IC₄/IC₅/T₂ : plaque d'aluminium de 27 × 90 mm, 2 mm d'épaisseur radiateur pour IC₃ : plaque d'aluminium de 30 × 30 mm, 1 ou 2 mm d'épaisseur matériel d'isolation (pastille thermique TO-220 + anneau isolant TO-220) pour T₂, IC₃, IC₄, IC₅
 6× broche à souder diam. 1,3 mm support pour CI DIP-16 support pour CI DIP-8 circuit imprimé 150115-1 ou kit complet avec circuit imprimé (mono), sans alimentation 150115-71

Nécessaire au raccordement

d'une alimentation Hypex SMPS400A400 :

1× boîtier connecteur à 1 rangée droite de 5 contacts femelles JST série VHR pour connecteur encartable au pas de 3,96 mm (RS Components 820-1188, ensemble de 5)
 1× boîtier connecteur JST au pas de 3,96 mm, 1 rangée droite de 3 contacts femelles série VHR encartable, (RS Components 820-1175, ensemble de 5)
 5× cordon JST sertissage vers sertissage (RS Components 820-1135, ensemble de 5)
 3× connecteur isolé Faston femelle, au pas de 6,35 mm



résistances indiquées, il se situe entre +3 V et -4 V. Les niveaux choisis divergent vers le haut par rapport à l'habitude, mais ne risquent pas de porter atteinte au système de haut-parleurs. Si jamais T6 ou T7 entre en conduction sous une tension d'alimentation trop haute, T5 deviendra immédiatement passant et activera à son tour T4, lequel décharge le condensateur électrolytique C35 de manière à bloquer le MOSFET T8 et faire chuter le relais. Simultanément, l'IRS2092 est mis hors tension par la décharge de C14 à travers T3 sur la broche CSD. Ce transistor travaille en adaptateur de niveau. La diode D11 près de T5 est là pour empêcher que T3 conduise en permanence à cause de R35.

C'est un petit MOSFET qui active le relais, il facilite le travail du circuit de temporisation d'allumage, le condensateur C35 peut ainsi garder des proportions raisonnables pour assurer avec R41 la constante de temps voulue et se faire décharger plus vite par T4.

L'embase JP2 permet de tester la sécurité du courant continu. En service normal, le cavalier est mis sur « Amp ». Pour changer le niveau du continu ou essayer une autre valeur pour R40, on le place sur « Ext. Test DC » pour y brancher une alim continue réglable.

Le courant maximal de drain du double MOSFET IRFI4020H-117P est de 9,1 A ($T_c = 25^\circ\text{C}$). À une température de 100 °C, il n'est plus que de 5,7 A. Aussi, avons-nous ajouté une sécurité anti-surtension qui limite la dissipation pour une tension d'alimentation supérieure. Cet amplificateur est conçu pour tolérer une tension maximale de ±70 V. La sécurité anti-surtension, basée sur les deux diodes Zener D15 et D16, réagit à environ ±75 V. Selon les résistances en série R52 et R53, le transistor T12 se met à conduire pour une trop forte tension positive ou négative et, comme pour la protection en continu, met T5 en conduction pour désactiver le relais par T4 et T8. La diode D17 permet la détection côté positif ; sans elle, la tension sur l'émetteur de T12 monterait effectivement lors

Figure 3. L'amplificateur au grand complet se trouve sur le même circuit imprimé, radiateurs compris. Il n'a besoin d'aucun refroidissement complémentaire.



Figure 4. Il y a deux petites plaques d'aluminium de 1 et 2 mm d'épaisseur à faire soi-même, la plus petite pour IC3, la plus grande pour IC4, IC5 et T2.

d'une surtension, mais pas suffisamment pour le faire conduire.

La protection contre la sous-tension est plus complexe, elle est aussi responsable de faire chuter le relais lors de l'extinction de l'amplificateur pour éviter le bruit de choc dans les enceintes. Au lieu de deux Zener, ce sont des transistors, T10 et T11, qui s'occupent ici de la détection. Ils sont tous deux passants tant que les deux tensions d'alimentation sont assez hautes, d'où T9 bloque. Sinon, T9 se met à conduire et, par l'intermédiaire de T5, T4 et T8, le relais est désactivé. D14 empêche la conduction de T11 quand T10 est à saturation, auquel cas, le collecteur de T10 est à -0,6 V, niveau qui serait celui de l'émetteur de T11 en l'absence de D14, avec pour conséquence qu'il continuerait de conduire avec une très basse tension d'alimentation. La sécurité contre la sous-tension positive serait alors compromise. Ce sont les diviseurs de tension R49/R50 pour le positif et R47/R46 pour le négatif qui fixent les seuils de détection. Les valeurs de R49 et R47 dépendent aussi du courant de base de T11 et du courant d'émetteur de T10. Avec les valeurs données dans le schéma, la sécurité réagira à toute tension inférieure à ±40 V environ.

Construction :

trois radiateurs et une bobine

La **figure 3** représente le circuit imprimé pour l'amplificateur en classe D. Il est relativement grand, mais tous les radiateurs nécessaires y sont, nul besoin de grande et lourde plaque de refroidissement à l'extérieur. De plus, il n'y a que

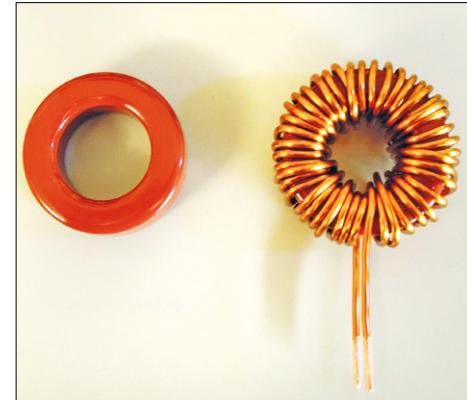


Figure 5. La bobine de 45 spires de fil de cuivre doit être enroulée selon une technique éprouvée pour limiter autant que possible la capacité parasite.

des composants traversants à installer, chacun de vous pourra donc aisément construire l'amplificateur, le modifier, y mener des expériences.

Vous pouvez acheter à l'e-choppe un circuit imprimé nu, mais nous proposons aussi un kit (150115-71) qui comprend le circuit imprimé, tous les composants nécessaires et les radiateurs. Les trous restent à forer.

La plupart des composants se montent sans la moindre difficulté. Il ne faut pas encore installer T1.

Utilisez pour les deux puces, IC1 et IC2, des supports de qualité, de préférence avec des contacts de précision. Pour les condensateurs du modulateur MLI et les découplages HF du signal d'entrée audio (C1/C5/C7/C8/C9), il est important qu'ils soient de la meilleure qualité. Raison pour laquelle il y a sur le circuit imprimé beaucoup de place disponible pour y loger des modèles au polystyrène, au polypropylène ou au polyester ordinaire. Pour le découplage de la ligne de rétroaction (C6), nous préconisons même une version au mica argenté de 150 pF/500 V. Toute autre technologie est déconseillée. Pour le condensateur C4 à l'entrée, il faut bien se résoudre à utiliser une exécution au standard MKT, un polypropylène aurait une trop grande dimension, trop vulnérable aux parasites.

Il ne faut au régulateur de tension IC3 qu'un petit radiateur à fabriquer soi-même dans un morceau d'aluminium de 1 mm d'épaisseur, une surface de 30 × 30 cm suffira. Il n'est pas nécessaire d'isoler le régulateur, la surface de refroidissement est reliée à la masse. Installez

Quelques caractéristiques mesurées

Instrument de mesure : Audio Precision System

Two Cascade Plus 2722 Dual Domain

Image A

Ici, l'amplitude est mesurée en fonction de la fréquence pour des charges de 4, 6 et 8 Ω. La courbe près de 20 kHz montre que les caractéristiques du filtre de sortie constituent un bon compromis pour les différentes impédances. Entre 10 et 20 kHz, la déviation est d'environ ±1 dB. Sur 8 Ω (cyan), la fréquence de résonance du filtre de sortie est facilement identifiable. Sur 6 Ω (vert), la courbe reste pratiquement plate et sur 4 Ω (bleu), la fréquence de coupure est un peu plus basse.

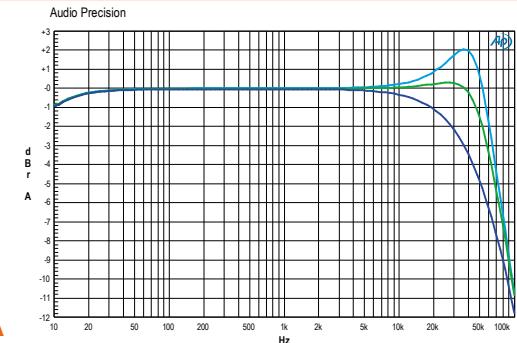


Image B

Distorsion harmonique totale plus bruit (DHT+b) à 1 W et 50 W, sur une charge de 8 Ω et pour des largeurs de bande de 22 kHz et 80 kHz. D'habitude, on ne dévoile pas de larges bandes passantes dans les fiches techniques des étages de puissance en classe D, parce que la fréquence de commutation y joue un rôle prépondérant. L'amplificateur produit effectivement des signaux au-dessus de 22 kHz, il est donc honnête de montrer ce qui s'y passe, même si on ne peut pas l'entendre. La courbe en rouge représente la DHT+b à 50 W, mesurée avec une largeur de bande de 22 kHz. La courbe en bleu est mesurée à la même puissance, mais sur une largeur de bande de 80 kHz. La courbe en cyan montre la DHT+b à 1 W et sur une bande passante de 22 kHz, enfin, la courbe verte présente la DHT+b à 1 W et 80 kHz de largeur de bande. Toutes les mesures ont été effectuées avec un filtre passe-bas elliptique d'ordre neuf dont la fréquence de coupure est de 200 kHz, placé devant l'entrée de l'analyseur, de manière à éliminer les résidus de la modulation de largeur d'impulsion de l'amplificateur.

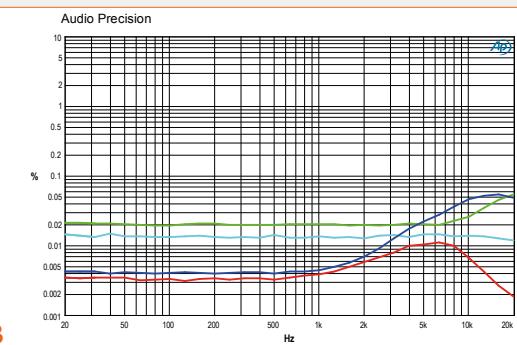


Image C

La FFT de 1 kHz à 1 W/8 Ω. Pas d'harmoniques visibles, sauf à bien y regarder, encore une和谐 deux dans le bruit. La DTH+b est à 0,014 % et là, il n'y a que du bruit. Dans cette FFT et dans la suivante, la fréquence de commutation de l'alimentation Hypex utilisée est bien visible près du 90 kHz (selon la fiche technique du fabricant, elle se situe entre 80 et 120 kHz), mais elle est à très bas niveau, -82 dB, aucun souci à se faire.

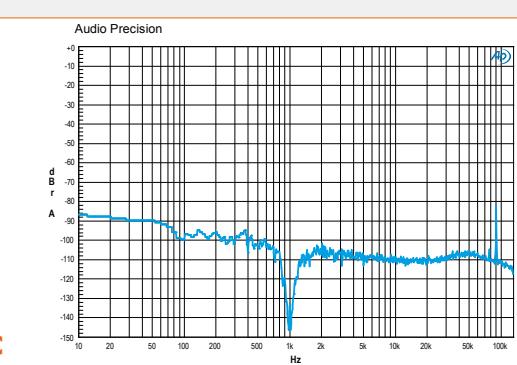


Image D

La même FFT que dans C, mais ici, nous sommes à une puissance de 50 W/8 Ω. Quelques harmoniques sont visibles. La DHT+b est maintenant à 0,004 %. La fréquence de commutation est tombée au niveau insignifiant de -96 dB.

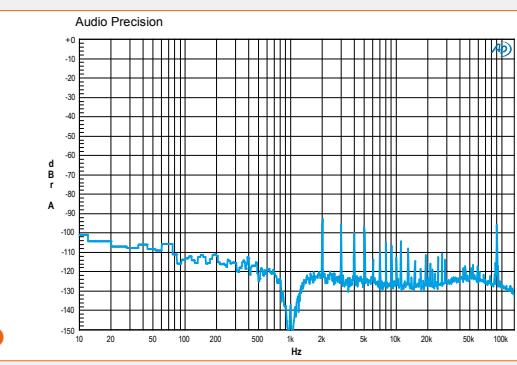
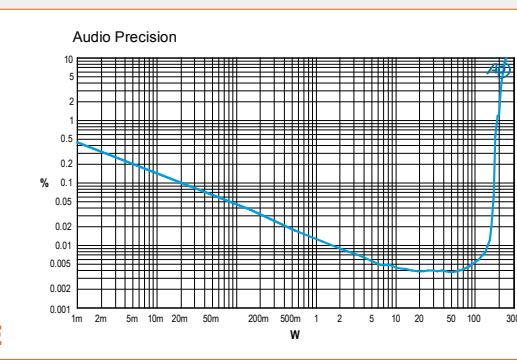


Image E

La DHT+b en fonction de la puissance de sortie (1 kHz/8 Ω, B = 22 kHz). La largeur de bande de mesure est ici réduite pour mieux suivre l'évolution de la distorsion. À partir de 50 W environ, la distorsion s'élève peu à peu. Avec une tension d'alimentation nominale, l'amplificateur peut délivrer un bon 200 W.



la plaque contre le régulateur pour qu'elle vienne quelques millimètres au-dessus du circuit imprimé, sans occulter le trou de fixation du coin (voyez à la **figure 4**).

IC4, IC5 et T2 sont montés sur une même plaque d'aluminium de 2 mm d'épaisseur, dimensions 27 x 90 mm, dont une partie est pliée à 65 mm (figure 4). Installez cette plaque contre les trois semi-conducteurs pour qu'elle vienne au moins 5 mm au-dessus du circuit imprimé pour éviter tout contact avec d'autres composants. Ces trois semi-conducteurs doivent être **isolés**, IC5 et T2 se placent l'un en face de l'autre et se fixent dans le même trou ! La position de ces trous dans la plaque : ils sont distants l'un de l'autre de 40 mm, IC4 se trouve à 14 mm du bord du circuit imprimé. À vous de voir à quelle hauteur les forer.

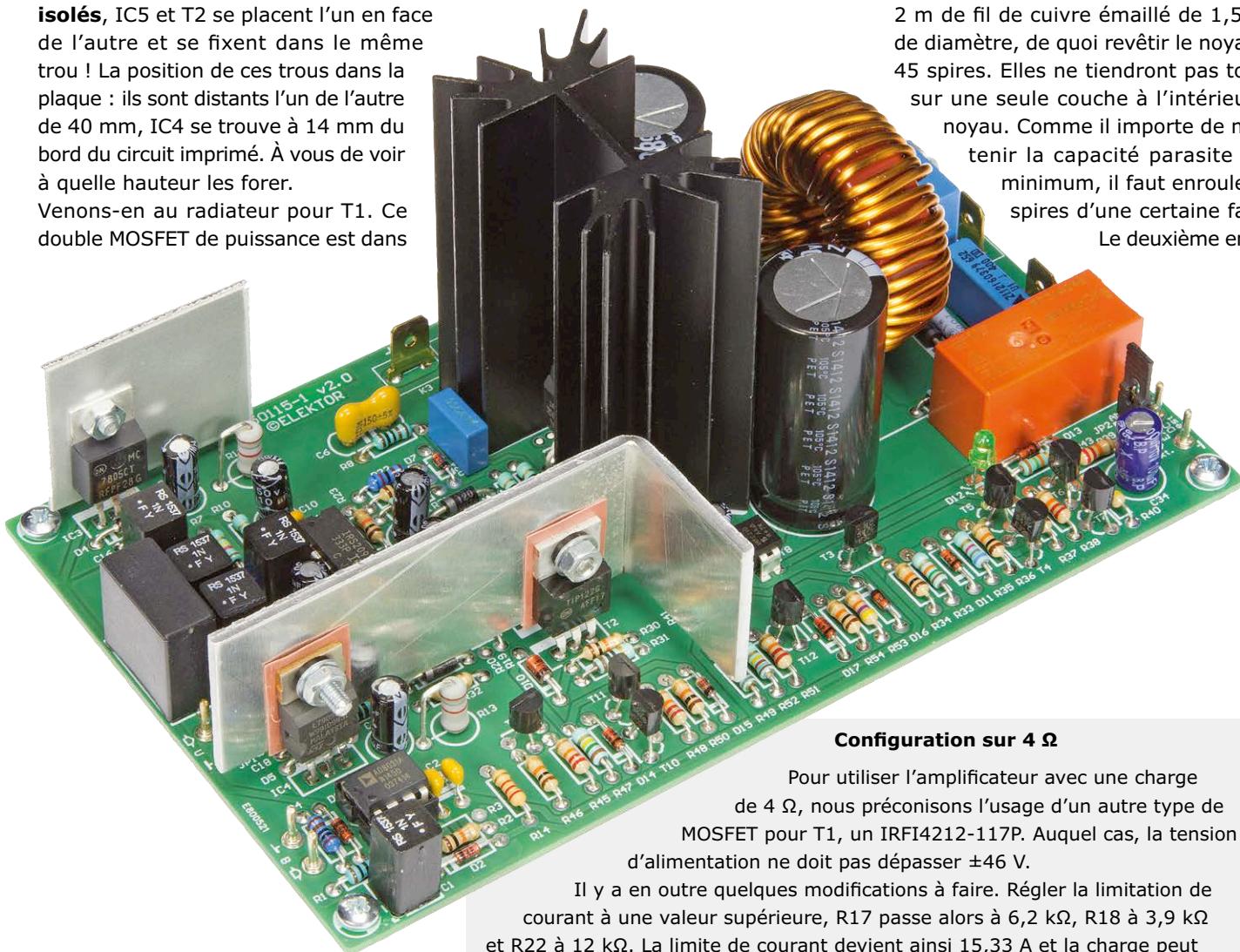
Venons-en au radiateur pour T1. Ce double MOSFET de puissance est dans

un boîtier totalement synthétique, il n'y a donc pas lieu de l'isoler. Montez d'abord le radiateur sur le circuit imprimé, enduez l'arrière de T1 d'une mince couche de pâte thermique et insérez les broches dans les trous appropriés. Appuyez-le contre le radiateur au moyen d'une vis de 12 mm de long, une rondelle plate, une rondelle éventail et un écrou. Vérifiez que ses pattes sont bien dans le circuit imprimé et ne sont pas tordues et fixez-le définitivement. Ce n'est qu'alors que vous pourrez souder les pattes du MOSFET sur le circuit imprimé.

La bobine de sortie

Votre travail le plus « dur » sera sans doute la fabrication de la bobine du filtre de sortie. Vous devrez la bobiner à la main sur un noyau torique de 33 mm de diamètre avec du fil de cuivre émaillé de 1,5 mm. Le noyau Micrometals choisi pour son excellente linéarité est fait de poudre de fer, il ne donne qu'un minimum de distorsion. L'inconvénient de ce matériau est sa faible perméabilité, il lui faut donc un grand nombre de spires pour atteindre la valeur d'inductance requise. Pour réaliser le bobinage, il vous faudra 2 m de fil de cuivre émaillé de 1,5 mm de diamètre, de quoi revêtir le noyau de 45 spires. Elles ne tiendront pas toutes sur une seule couche à l'intérieur du noyau. Comme il importe de maintenir la capacité parasite à un minimum, il faut enruler les spires d'une certaine façon.

Le deuxième enrour-



Configuration sur 4 Ω

Pour utiliser l'amplificateur avec une charge de 4 Ω, nous préconisons l'usage d'un autre type de MOSFET pour T1, un IRFI4212-117P. Auquel cas, la tension d'alimentation ne doit pas dépasser ± 46 V.

Il y a en outre quelques modifications à faire. Régler la limitation de courant à une valeur supérieure, R17 passe alors à 6,2 kΩ, R18 à 3,9 kΩ et R22 à 12 kΩ. La limite de courant devient ainsi 15,33 A et la charge peut descendre à 3 Ω.

Le relais de 48 V peut maintenant se brancher directement sur la source d'alimentation, R44 est remplacée par un pont de câblage. Il convient aussi d'adapter la rétroaction : R7 descend à 75 kΩ.

En service continu à pleine puissance sur 3 Ω, la protection en courant déclenche après quelques secondes, parce que la température du radiateur de IC1 – malgré le haut rendement – s'élève trop. On conseille alors de le doter d'un plus grand radiateur (il n'est pas livrable dans le kit prévu).

Sur le site du labo [4], vous trouverez de nombreuses mesures pour la configuration de 4 Ω. Vous y verrez entre autres que l'amplificateur peut fournir 243 W sur 4 Ω avec 1 % de distorsion et même 297 W sur 3 Ω.

lement est posé sur le premier à l'intérieur du noyau. À l'extérieur, en revanche, les spires sont jointives par rapport au premier. La troisième couche vient de nouveau à côté de la première à l'intérieur du noyau et à côté de la deuxième à l'extérieur. On recommande la même procédure pour la quatrième couche. Quand on est arrivé de cette façon à 45 spires, les deux extrémités du fil de cuivre se trouvent de part et d'autre du noyau. Il faudra peut-être un peu improviser ou bidouiller pour avoir les 45 spires les unes près des autres, vous aurez sûrement compris le but de la manœuvre. Servez-vous aussi de la photo de la bobine terminée à la **figure 5**. Autant le savoir d'avance, du fil de cuivre de 1,5 mm d'épaisseur, c'est assez rigide : il ne se laisse pas facilement plier. Il faut travailler prudemment pour bien serrer les spires autour du noyau, mais sans utiliser d'outil métallique pour ne pas endommager

l'isolant du fil.

Vous aurez alors une bobine d'une induction de 33 µH et d'une résistance d'environ 20 mΩ, à placer verticalement sur le circuit imprimé pour la souder à demeure. Et voilà votre carte d'amplificateur prête !

Alimentation et insertion

Vient le moment de monter le circuit imprimé avec une alimentation adéquate dans un joli boîtier.

Il est évidemment possible de choisir une alimentation classique à gros transformateur, redresseur en pont et condensateurs électrolytiques, mais elle ne sied pas vraiment à une version moderne de l'amplificateur en classe D. En outre, cet ampli donne des résultats de mesure nettement meilleurs avec une alimentation stabilisée. C'est pourquoi nous avons associé notre ampli à une alimentation à découpage de la firme néerlandaise Hypex, développée spécialement pour des amplis de puissance en

classe D. Nous avons retenu le modèle SMPS400A400 qui fournit 400 W à 20 Hz pour une tension nominale de ±64 V. Et avec la faiblesse du secteur dans notre labo, nous arrivons à peine à ±60 V. Avec cette alim, l'amplificateur est à l'aise sous une charge de 6 à 8 Ω tandis qu'à de plus basses impédances, il vaut mieux l'adapter, selon l'encadré, pour éviter d'éventuelles interruptions à forte puissance.

La **figure 6** vous montre comment assembler deux circuits imprimés d'amplificateur et deux alimentations Hypex dans un boîtier standard. Le câblage y est assez succinct, vu que tout est ramené à un seul circuit imprimé.

Nous vous souhaitons beaucoup de plaisir avec ce puissant déviateur finalement très cool ! Vous trouverez sur le site du labo [4] de plus amples informations et encore d'autres résultats de mesure. ▶

(150115 - version française : Robert Grignard)

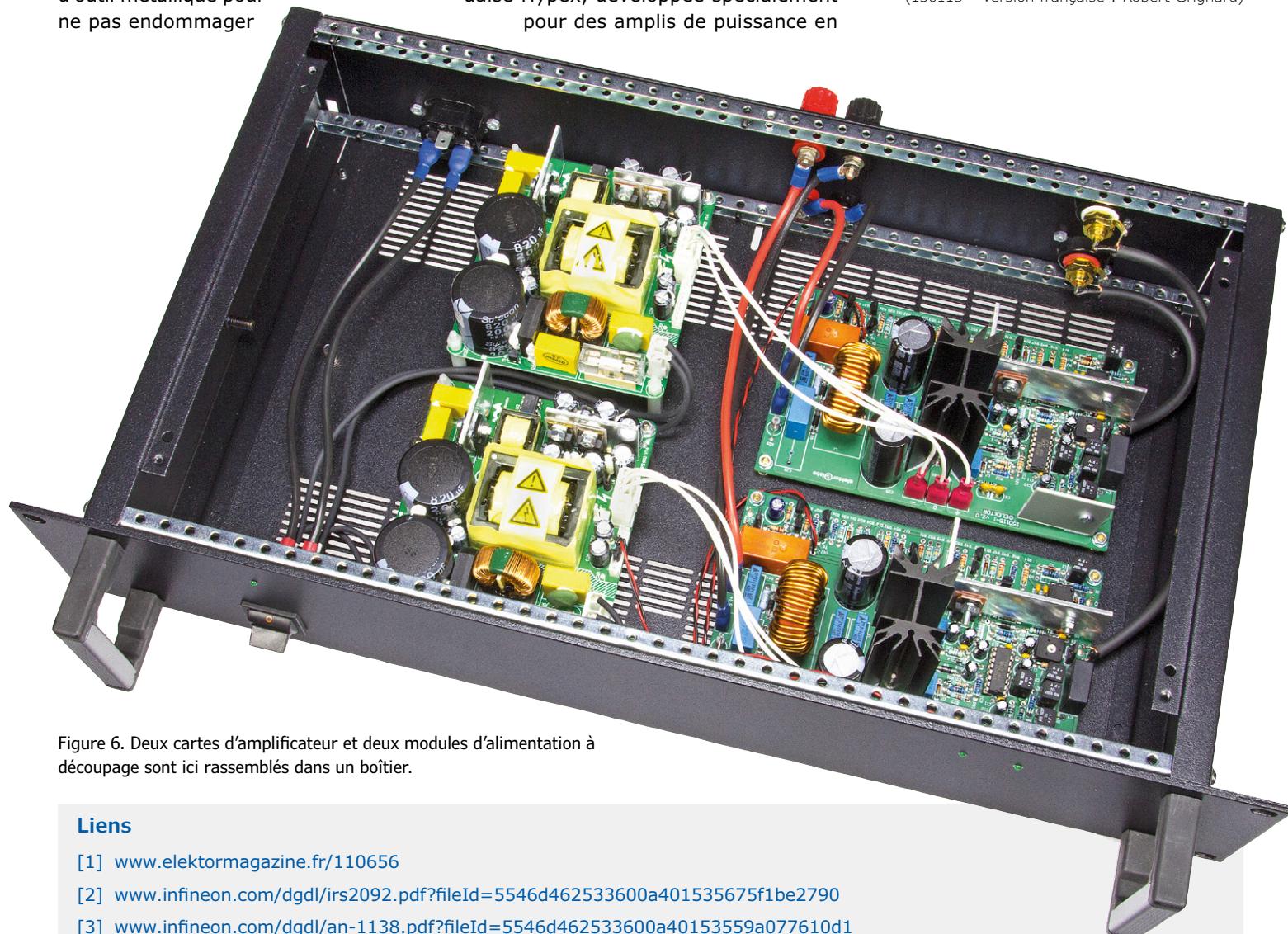


Figure 6. Deux cartes d'amplificateur et deux modules d'alimentation à découpage sont ici rassemblés dans un boîtier.

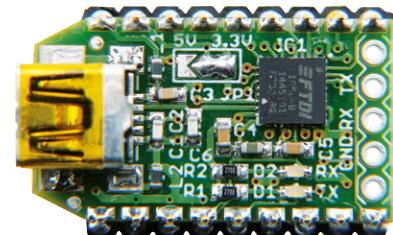
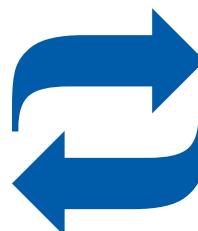
Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/110656
- [2] www.infineon.com/dgdl/irs2092.pdf?fileId=5546d462533600a40153567f1be2790
- [3] www.infineon.com/dgdl/an-1138.pdf?fileId=5546d462533600a40153559a077610d1
- [4] www.elektormagazine.fr/labs/200w-class-d-audio-power-amplifier-150511

atelier minute : relier une T-Board 28 & un BoB-FT232R



Luc Lemmens (labo d'Elektor)



Le premier article sur les moTules T-Board [1] mentionnait la possibilité de relier la passerelle USB-série BoB-FT232R à la T-Board 28 afin d'établir une communication sérielle entre T-Board et un ordinateur. Plusieurs d'entre vous nous ont demandé comment procéder. Voici notre réponse.

La carte T-Board 28 et le convertisseur USB-série BoB-FT232R sont équipés d'un cavalier JP1 qui permet de sélectionner la tension des signaux d'E/S traités par le microcontrôleur. Sa position sur 5 V ou 3,3 V dépendra de la tension qu'utilise la circuiterie autour de votre T-Board. La première étape, cruciale, consiste donc à vous assurer que ces deux cavaliers sont bien configurés.

Pour la liaison série elle-même, peu importe qu'ils soient configurés sur 3,3 V ou 5 V mais, c'est essentiel, ils doivent l'être de façon identique sur les deux cartes. Si par ailleurs vous comptez alimenter votre projet avec le convertisseur BoB, souvenez-vous que celui-ci ne peut pas délivrer plus de 50 mA en 3,3 V, et pas plus de 500 mA en 5 V s'il est relié à un port USB 2.0 (150 mA par USB 1.x). Sur la passerelle BoB, JP1 est imprimé sur la carte et se configure au fer à souder. Sur la T-Board, JP1 est une barrette à trois broches ; laissez JP1 ouvert si vous alimentez la T-Board via K3 ! Si vous utilisez une alimentation externe, laissez ouverte la broche +5V de K3.

Reliez ensuite les broches de l'interface série et – éventuellement – de l'alimentation (**fig. 1**). Notez que *TxD* est reliée à *TxD* et que *RxD* l'est à *RxD* (pas de liaisons croisées). Les broches du connec-

teur K3 de la T-Board prennent le nom des broches correspondantes sur le câble FTDI (qui peut être branché directement sur K3).

Si vous souhaitez exploiter cette configuration pour créer une plateforme de prototypage « à la Arduino », autrement dit utiliser son EDI, n'oubliez pas : 1) de monter un quartz de 16 MHz dans l'embase X1 de votre T-Board. 2) D'utiliser un

chargeur de démarrage (*bootloader*) compatible Arduino pour IC3, sinon la configuration ci-dessus n'aura aucun effet !

(160106 – version française : Hervé Moreau)

Lien

- [1] [moTules T-Board 8/14/28](#), Elektor 09/2014 :
www.elektor.fr/t-board-28-130581-93

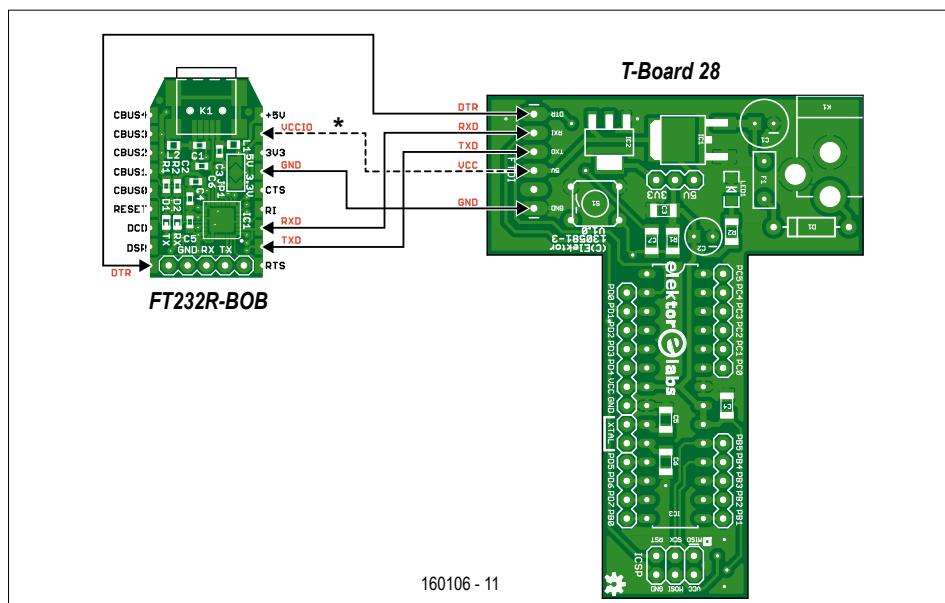


Figure 1. Comment relier la T-Board 28 à la passerelle USB-série BoB-FT232R.

Baroduino



Arduino dessine l'avis de tempête sur écran TFT

Daniel Coppens (Belgique)

Sur un navire, on ne doit jamais ignorer les variations barométriques. Surveiller les sautes d'humeur de la pression atmosphérique des dernières heures donne le temps de se mettre à l'abri avant la tempête. Ce projet offre cette sécurité de navigation puisqu'il enregistre en continu les hectopascals et affiche une courbe pour les dernières 48 h, sur un écran TFT de 5,6 cm.

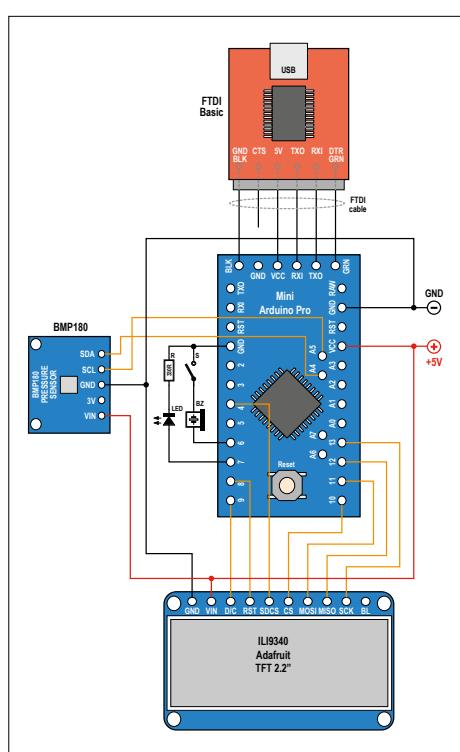


Figure 1. Les composants de base et leurs interconnexions. Remarquez la liaison au BoB FTDI en option pour la programmation du micrologiciel.

Un barographe est un baromètre enregistreur qui affiche la valeur de la pression atmosphérique actuelle et retrace son évolution dans les heures qui précédent. Celui-ci couvre les dernières 48 heures et s'adresse en priorité aux navigateurs, qu'il prévient aussi par vibrer acoustique et alerte visuelle à LED de toute chute de pression supérieure à 140 Pa par heure, signe de l'approche de vents violents.

L'assemblage

Comme le montre la **figure 1**, Barduino se compose d'une carte Arduino Pro Mini 5 V entourée de l'écran TFT de 5,6 cm et du support pour carte micro-SD d'Adafruit, ainsi que du BoB BMP180 de Sparkfun pour mesurer la pression. Pour améliorer la souplesse d'utilisation et la stabilité, on peut ajouter l'alimentation à régulateur de 5 V LM2574 que l'on voit à la **figure 2**. Avec elle, vous pouvez utiliser n'importe quelle source d'énergie entre 5 V et 40 V continus. Sinon, on peut appliquer directement une tension d'alimentation jusqu'à 12 V à la broche RAW d'Arduino, puisque la carte Arduino est équipée d'un régulateur de tension

qui la réduit et la stabilise pour satisfaire les besoins du microcontrôleur. On trouve alors sur la broche 5V d'Arduino la tension nécessaire à l'alimentation de faibles charges comme le capteur de pression et l'écran TFT.

La fonction d'alerte est en option, elle ne demande qu'un vibrer piézoélectrique, une LED avec sa résistance talon et un interrupteur pour arrêter l'alerte. Ne pas les implanter ne requiert aucune modification du logiciel.

Le capteur de pression BMP180 mesure aussi la température. On pourrait également l'afficher à l'écran. L'intérêt est faible, parce que la température à l'endroit où le BoB se trouve n'est pas nécessairement utile à connaître.

Nous avons fait le tour du projet... logiciel mis à part, évidemment.

Le (micro)-logiciel pour le circuit

Un matériel simple ne s'accompagne pas forcément d'un logiciel étiqueté, quand un microcontrôleur y est embarqué. Le croquis Arduino (*sketch*), comme on nomme

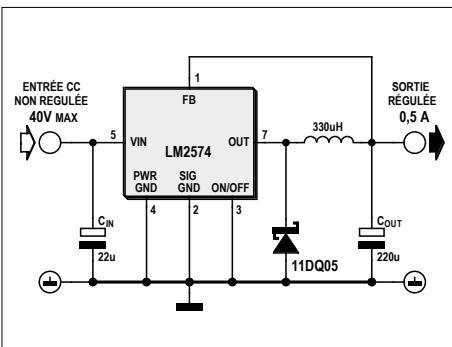


Figure 2. Si la tension disponible à bord du navire dépasse 12 V, ce circuit additionnel permet de faire fonctionner le Baroduino sur des tensions d'alimentation jusqu'à 40 V.

le code pour cette carte, est en effet un peu plus compliqué.

Il s'agit de prendre la pression atmosphérique et la température du capteur toutes les cinq secondes. Ces données brutes, il faut alors les traiter et étalonner les mesures. La routine qui l'accomplit est basée sur les travaux de Jim Lindblom, que je remercie ici pour sa contribution. La pression calculée est alors affichée à l'écran et enregistrée sur la carte micro-SD. Quant au graphe qui en résulte, il est rafraîchi toutes les minutes. Ce n'est bien sûr qu'au bout de 48 heures d'enregistrement que l'écran sera rempli, comme à la **figure 3**.

Bibliothèques logicielles

Le croquis écrit pour ce projet utilise certaines bibliothèques standard spécifiées en tête du code. Il faut en outre deux bibliothèques d'Adafruit : Adafruit_GFX.h et Adafruit_ILI9340.h. Elles sont disponibles au téléchargement sur GitHub, suivez [1] et [2]. Elles doivent être installées avant de pouvoir servir dans l'environnement de développement Arduino, l'IDE [3]. Le lien [4] décrit en détail le processus d'installation. Vérifiez que toutes les bibliothèques sont disponibles avant de charger le croquis dans l'IDE Arduino.

L'assemblage complet

Après avoir câblé le matériel, téléchargé le croquis [5] à ouvrir dans l'IDE Arduino, vous pourrez transférer le croquis dans la carte Arduino et l'exécuter. La carte Pro Mini ne dispose pas d'une connexion USB, il faut donc la relier au PC avec un câble FTDI. Avec une carte Arduino équipée d'un port USB, la liaison est directe



Figure 3. Vous devrez patienter 48 heures avant d'avoir enregistré assez de valeurs pour couvrir tout l'écran.

et la programmation du microcontrôleur peut débuter sur la carte.

Après chargement du croquis, vous verrez rapidement la valeur de la pression actuelle (et éventuellement de la température) sur l'écran TFT et le graphe aura recouvert toute la largeur de l'écran 48 heures plus tard.

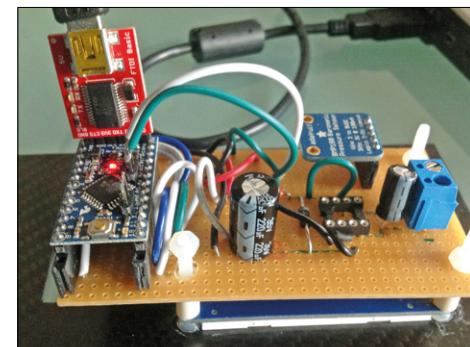


Figure 4. J'ai construit mon circuit sur un morceau de plaque perforée et installé l'écran TFT sur la face inférieure pour faciliter son incorporation au boîtier.

Si vous calez pour une raison ou une autre et désirez des explications techniques sur le projet, n'hésitez pas à visiter le site de notre labo et rejoignez la discussion [6]. La **figure 4** montre une suggestion de construction. ▶

(150425 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] Bibliothèque sur Github : <https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library>
- [2] Bibliothèque sur Github : https://github.com/adafruit/Adafruit_ILI9340
- [3] Environnement de développement Arduino : www.arduino.cc/en/Main/Software
- [4] Installation d'une bibliothèque : www.arduino.cc/en/Guide/Libraries
- [5] Page du projet : www.elektrormagazine.fr/150425
- [6] Le projet sur notre site labs : www.elektor-labs.com/node/4449

Ce qu'il vous faut

Absolument :

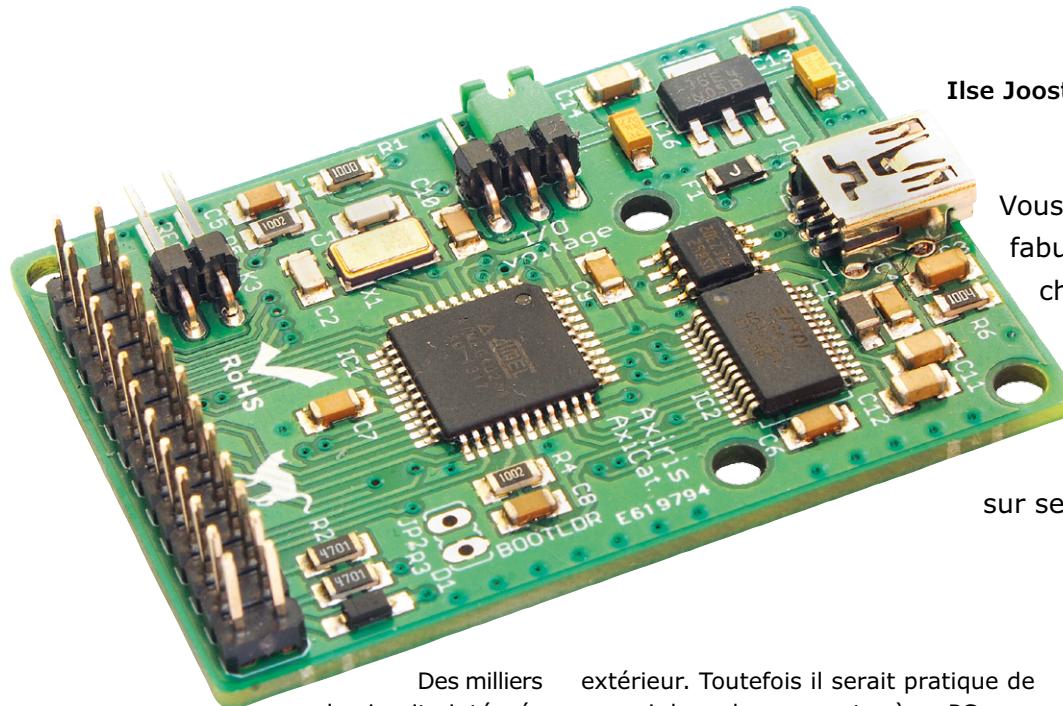
- Arduino Pro Mini 5 V 16 MHz (ou équivalent, mais attention au brochage)
- BoB FTDI pour charger le croquis sur Arduino (par exemple SparkFun FTDI Basic Breakout – 5 V)
- Écran TFT Adafruit 2,2" ILI9340 avec support de carte micro-SD
- Carte micro-SD de 2 Go, formatée en FAT16
- Capteur Sparkfun BMP180
- Deux interrupteurs pour allumer le barographe et arrêter l'alerte
- Deux LED, une verte comme témoin d'alimentation et une rouge pour les éclairs d'alerte
- Deux résistances de 330 Ω pour les LED
- Un vibreur piézoélectrique

En option :

- Alimentation régulée de 5 V avec :
 - LM2574
 - condensateurs de 22 µF et 220 µF
 - diode 11DQ05
 - inductance de 330 µH

AxiCat

outil de développement polyvalent sur USB



Des milliers de circuits intégrés intéressants s'offrent à vous, développeur professionnel ou amateur enthousiaste. Plusieurs d'entre eux sont des CMS, ce qui est malcommode, mais par bonheur, de nombreux distributeurs plus ou moins connus et qui pensent aux constructeurs anonymes, proposent une large gamme de BoB (*BreakOut Board*), des cartes de liaison compactes. La majorité d'entre elles disposent d'une interface I²C ou SPI pour communiquer avec le monde

extérieur. Toutefois il serait pratique de pouvoir brancher ces cartes à un PC sous Linux ou Windows pour tester rapidement leurs fonctions, avant de les inclure dans un projet. C'est possible avec l'adaptateur multiprotocoles AxiCat avec interface USB, sans même devoir écrire une seule ligne de code.

Schéma et construction

On le voit à la **figure 1**, le cœur du dispositif, c'est IC1, un microcontrôleur ATmega164A d'Atmel. D'autres membres de

Ilse Joostens & Peter S'heeren (Belgique)

Vous avez écrit du code pour un fabuleux circuit intégré et vous cherchez comment connecter, rapidement et facilement, votre montage à un PC sous Linux ou Windows. Ne cherchez pas plus : AxiCat retombe toujours sur ses pattes !

cette famille conviennent aussi, comme les 324A, 644A et 1284, la seule différence réside dans la capacité de la mémoire interne. Normalement, l'AxiCat est livré avec le 164A ou le 624A, selon leur disponibilité. La tension d'alimentation est fixée par le cavalier JP1, à 5 V ou 3,3 V. Le choix s'est porté sur une horloge à quartz de 12 MHz plutôt qu'une fréquence plus élevée, ainsi le fonctionnement du microcontrôleur sous 3,3 V reste fiable.

La liaison USB passe par IC2, un FT245RL de FTDI. Contrairement au plus célèbre FT232, il n'a pas d'interface série, mais d'un registre FIFO interne avec bus de données sur 8 bits de large. Son avantage est de travailler à pleine vitesse en USB à 12 MHz pour tenir un débit respectable entre le bus USB et le microcontrôleur IC1. La couche sous-jacente du protocole de communication USB entre le pilote sur le système hôte et le FT245RL assure aussi un transfert exempt d'erreur vers le FIFO du FT245RL. Cela résulte du fait que les données sont lues sans erreur par le microcontrôleur IC1 et arrivent toujours sans erreur par IC1 au système hôte, ce qui rend superflue une procédure de correction d'erreur dans le protocole de communication. Tout bénéfice pour la vitesse. IC3, un USB6B1, protège les lignes USB

Caractéristiques techniques

- basé sur un puissant microcontrôleur ATmega164A à 12 MHz
- convient aussi bien à Windows qu'à Linux
- niveaux logiques : 3,3 V ou 5 V
- 17 lignes d'E/S bidirectionnelles avec résistance de polarisation configurable
- bus I²C avec résistances de polarisation, fonction maître ou esclave, vitesse maximale de 400 kHz
- lignes de sélection SPI maître avec quatre esclaves, vitesse maximale de 6 MHz
- deux ports sériels indépendants
- maître 1-wire avec possibilité de puissante polarisation et accélérateurs intégrés (énumération)
- alimenté par bus USB
- en mode asynchrone, toutes les interfaces sont utilisables simultanément
- peut servir de programmeur *in situ* pour microcontrôleurs AVR
- chargeur d'amorçage pour faciliter la mise à niveau du micrologiciel et charger son propre logiciel
- brochage du connecteur GPIO compatible avec Raspberry Pi A et B.

contre les DES, sécurité supplémentaire pour la carte.

La tension de 3,3 V vient d'IC4, un régulateur LM1117-3,3 à faible déchet. Elle est à disposition sur le connecteur GPIO K2 et peut s'utiliser à votre convenance avec le 5 V de l'USB pour alimenter le microcontrôleur et la section d'E/S de IC2. Le fusible réarmable (polyfuse) F1 limite à 350 mA le débit total pour éviter une surcharge du port USB. Autant dire

que le courant maximal sur le connecteur GPIO doit rester inférieur à 350 mA, lignes d'E/S, alim 5 V et 3,3 V ensemble. La diode D1 dans la ligne d'alimentation 5 V vers les broches 2 et 4 du connecteur GPIO K2 empêche que les cartes d'extension alimentées par un Raspberry Pi puissent injecter du courant en direction de l'AxiCat et du port USB de l'ordinateur. Le connecteur GPIO K2, une embase mâle à 2 × 13 picots, n'est pas choisi

au hasard, de même que la disposition des contacts (cf. **figure 2**), mais ils correspondent *grossost modo* au connecteur GPIO sur les premières versions du RPi (modèles A et B). L'avantage majeur de cette disposition est de pouvoir raccorder sur AxiCat un grand nombre de cartes d'extension et de HAT pour RPi. Les cartes d'extension pour RPi qui utilisent d'autres lignes d'E/S sur le connecteur à 40 contacts des nouvelles versions de

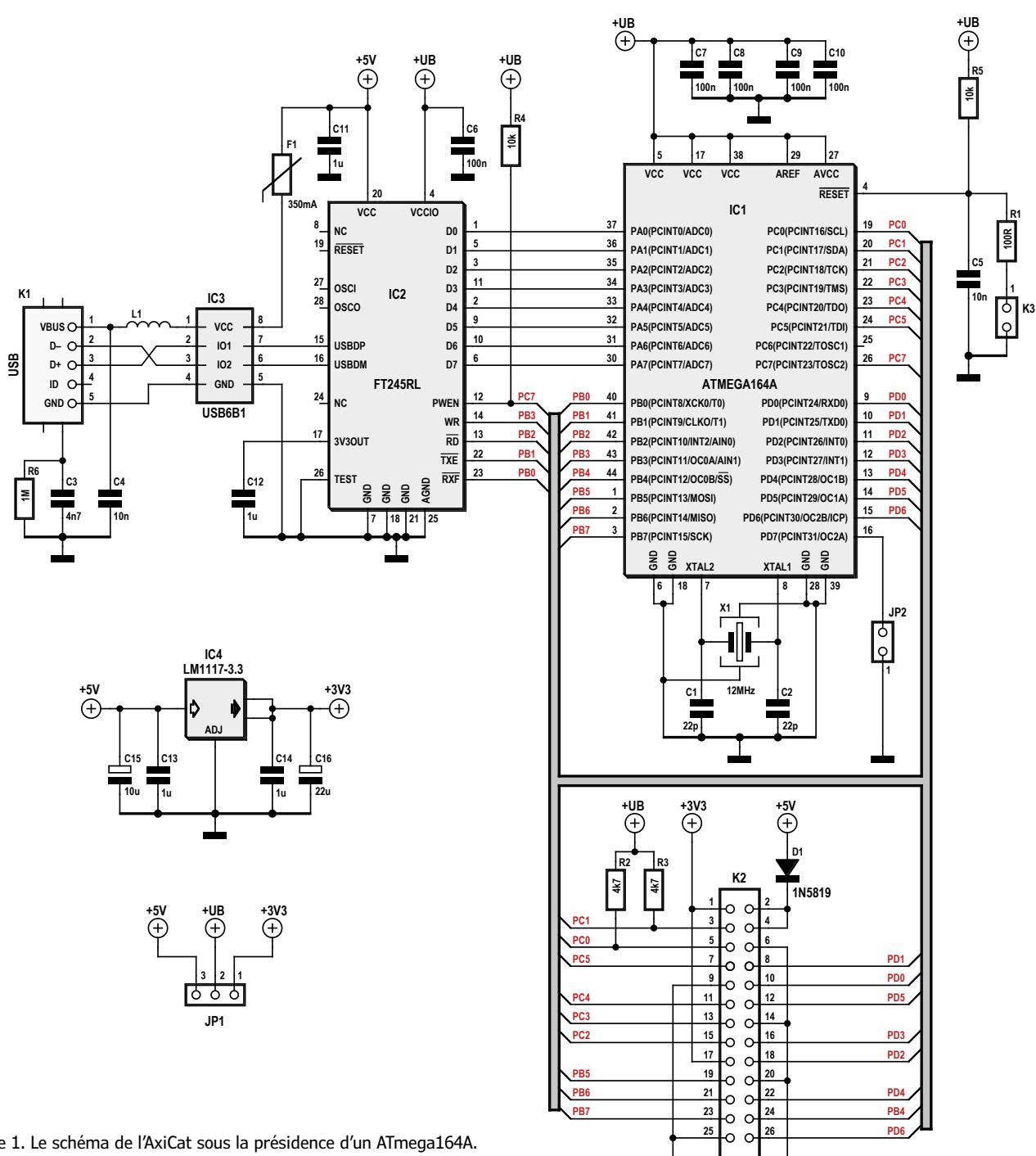


Figure 1. Le schéma de l'AxiCat sous la présidence d'un ATmega164A.

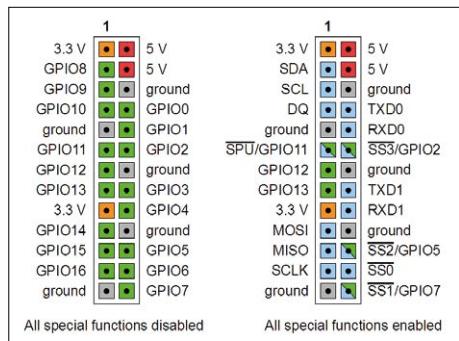


Figure 2. Le brochage du connecteur rend compatible avec les Raspberry Pi modèle A et B. Vous pouvez ainsi connecter directement sur l'AxiCat un grand nombre de HAT Raspberry Pi.

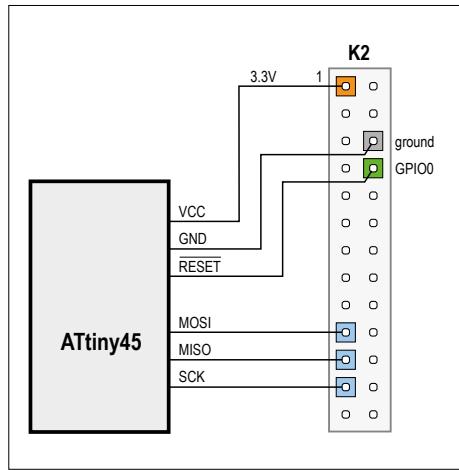


Figure 3. La manière de transformer un AxiCat en programmeur et de le relier à un ATtiny45.

RPi (modèles A+, B+, 2 et 3) ne sont pas utilisables.

Enfin, le connecteur cavalier K3 permet une R&A manuelle d'AxiCat. Si le cavalier JP2 est mis lui aussi, le chargeur d'amorçage interne est activé. C'est ce qui permet d'envoyer à l'AxiCat son propre micrologiciel.

Protocole série

Le protocole série définit le flux de données entre l'hôte et l'AxiCat, à savoir des paquets d'octets transmis en duplex. Les paquets envoyés par l'hôte sont des commandes, ceux de l'AxiCat sont des réponses. Le fichier `axicat.h` disponible sur [1] contient les définitions en langage C.

On discerne des commandes synchrones et des asynchrones. La différence réside dans la manière dont l'AxiCat les exécute après réception. Une commande syn-

chrone s'exécute immédiatement. Si une réponse est définie pour cette commande, l'AxiCat répond tout de suite à l'hôte. Les commandes synchrones concernent entre autres la lecture d'information d'état, la modification de réglages, l'accès aux lignes GPIO.

Certaines commandes demandent plus de temps d'exécution. Ce sont celles qui comportent une transaction de bus, comme un transfert SPI ou l'énumération en 1-wire. Pour éviter un blocage du flux entrant de commandes, l'AxiCat exécute donc en arrière-plan une commande asynchrone longue, et ce n'est que quand elle a été exécutée que l'AxiCat envoie à l'hôte la réponse.

Les commandes asynchrones s'exécutent dans un tampon de travail (*work buffer*). Il y en a pour les composants suivants : I²C maître, I²C esclave Tx, I²C esclave Rx, SPI maître, 1-Wire maître, UART n°0 Tx, UART n°0 Rx, UART n°1 Tx et UART n°1 Rx. Notez que les tampons d'exécution de l'UART ne stockent pas de commandes, mais les octets de données à transmettre (Tx) ou reçus (Rx).

Les tampons de travail permettent à l'AxiCat d'exécuter des transactions de bus sur différentes interfaces en parallèle. La grandeur réelle de chaque tampon est réglable dans le micrologiciel et dépend principalement de la quantité de RAM disponible dans le microcontrôleur.

Il y a aussi des réponses automatiques (*unsolicited responses*). On ne dispose pas de commande par exemple pour lire des octets de données arrivés par l'UART. Alors AxiCat envoie lui-même un paquet de réponses quand un UART reçoit des octets.

Micrologiciel

AxiCat Main est le programme principal qui fait vivre l'AxiCat. Il est écrit en C. C'est là que se trouve l'implémentation du protocole série. Nous utilisons WinAVR-20100110. WinAVR est une version Windows de gcc pour AVR à 8 bits et AVR Libc.

Au cours du développement d'AxiCat, nous avons souvent observé le code assembleur produit et régulièrement réécrit le code source pour obtenir un code machine plus efficace et plus compact. En effet c'était nécessaire d'une part pour atteindre une rapide itération de la boucle principale, cruciale pour les performances d'AxiCat, et d'autre part pour faire entrer le programme principal dans les 16 Ko de

mémoire flash de l'ATmega164A. Nous avons décidé d'utiliser le moins possible des interruptions, parce que le compilateur gcc déclenche souvent des routines d'interruption qui stockent puis récupèrent de nombreux registres sur la pile, ce qui fait perdre beaucoup de temps. Nous préférons utiliser des tâches qui ne paralysent rien, elles font partie de la boucle principale. **TIMER1** est la seule fonction matérielle à routine d'interruption et sert à compter les millisecondes. On choisit la taille des tampons de travail en fonction de la RAM disponible et du code que crée le compilateur. Le programme principal utilise des tampons de 2ⁿ octets avec un maximum de 128 octets pour garder un code compact et efficace avec un AVR à 8 bits.

Le programme principal autorise le réveil à distance par USB. AxiCat peut sortir l'hôte de l'état de veille. L'avantage vient de ce que le système d'exploitation de l'hôte permet le réveil à distance.

Le chargeur d'amorçage **Axicat Boot-loader** s'exécute au démarrage d'AxiCat. Il vérifie d'abord l'état du cavalier JP2. S'il est absent, le chargeur saute vers le programme principal. S'il est là, le chargeur reste actif, on a la possibilité avec lui (**aximcubldr**) de charger un nouveau programme principal de l'hôte vers l'AxiCat.

Logiciel

Axicat Server est un programme qui met à disposition les fonctions d'AxiCat par des ports réseau et des E/S ordinaires, sous la forme d'un protocole de communication. Le serveur accepte des connexions client multiples, de sorte que plusieurs intervenants peuvent travailler en même temps avec AxiCat. Le serveur opère comme un multiplexeur entre plusieurs clients et un seul AxiCat, au profit d'une grande souplesse d'utilisation.

Le protocole de communication repose sur des commandes et les réponses correspondantes. Un client lance une commande, ensuite le serveur lui répond dès que la commande a été effectuée. Le protocole de communication est en code ASCII avec une syntaxe qui permet une utilisation simple, tant manuelle que programmée.

Le serveur propose une cinquantaine de commandes pour travailler avec AxiCat. En voici quelques exemples.

Configurer la broche 1 de GPIO en sortie, la mettre au niveau bas et en lire l'état :

| | |
|----------|----------------|
| commande | iod 1 out |
| réponse | iod ok |
| commande | iow 1 0 |
| réponse | iow ok |
| commande | ior 1 |
| réponse | ior 01 1 0 out |

horloge en temps réel PCF2129A : activer I²C maître, écrire dans le registre index 0, lire les registres 0 à 9 :

| | |
|----------|----------------------------------|
| commande | ime |
| réponse | ime ok |
| commande | imw 81 0 |
| réponse | imw 081 00001 ack |
| commande | imr 081 08h 16h 04h |
| réponse | 30h 22h 16h 06h 00h 08h 16h nack |

activer SPI maître, transférer quatre octets et sélectionner esclave n°2 :

| | |
|----------|--------------------------|
| commande | sme |
| réponse | sme ok |
| commande | smt 2 0FFh 0FFh 10100b 5 |
| réponse | smt 2 000 255 032 005 |

Beaucoup de réponses du serveur sont des valeurs numériques. Le format de ces nombres est totalement réglable. On peut choisir entre binaire, décimal, hexadécimal, avec ou sans zéros non significatifs. Le protocole de communication est purement asynchrone pour que le client ne doive pas attendre de réponse avant d'envoyer la commande suivante. Le client peut même envoyer une salve de commandes pour augmenter l'efficacité du système. Au besoin, on peut attribuer un numéro d'identification à chaque commande, il sera renvoyé dans la réponse.

Le serveur permet d'envoyer directement des octets de données entre chacun des deux UART et un port réseau. Cette option vous permet, avec un terminal comme PuTTY, d'écrire et de lire directement des données par l'UART.

AxiCat Application Layer est un module qui met à disposition une API en C par-dessus le protocole serial. Cette API marche avec toutes les fonctions du protocole serial, y compris le transfert asynchrone, ce qui permet ainsi au programmeur de commander au mieux et en parallèle les différentes interfaces d'AxiCat. Le code source d'AxiCat Server donne un bel aperçu de l'usage de cette API. Le module est utilisable dans différents programmes : AxiCat Server, Axi-

Cat AVR ISP, I/O Card Explorer, 1-Wire Automation Server.

Le programme AxiCat AVR ISP transforme AxiCat en programmeur *in situ* pour les microcontrôleurs AVR à 8 bits. Il peut flasher des mémoires, des EEPROM et régler les fusibles. Il peut lire les fichiers HEX et raw d'Intel.

AVR ISP travaille avec un bus SPI (mais sans *slave select*) et une ligne de RàZ. On relie le bus SPI d'AxiCat au microcontrôleur et une ligne de GPIO (au choix) à la broche de RàZ du microcontrôleur, par exemple comme à la **figure 3**.

L'outil AxiCat Command Line convertit des commandes textuelles simples en paquets d'octets et les envoie directement à l'AxiCat. Il sert principalement à développer et déboguer le programme principal dans l'AxiCat. Il permet d'envoyer à l'AxiCat des paquets non valides pour tester aisément la robustesse du programme principal. C'est aussi un moyen pratique pour étudier le protocole serial.

En conclusion

Au labo d'Elektor, nous utilisons surtout l'AxiCat pour vérifier le micrologiciel et le charger dans nos propres cartes d'extension pour Raspberry Pi (Swiss Pi et PiWire+). Nous développons aussi tout le logiciel à l'aide d'AxiCat. Écrire et déboguer le code C va toujours plus vite sur PC que sur RPi. En fin de parcours, nous compilons et testons le logiciel sur un vrai RPi.

Vous pouvez vous procurer à l'e-choppe l'AxiCat en module assemblé prêt à l'emploi [2] et sur [3], vous trouverez de nombreuses autres informations et tout le logiciel nécessaire. ▶

(150585 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] Téléchargement du logiciel : www.elektormagazine.fr/150585
- [2] AxiCat à l'e-choppe : www.elektor.fr/150585
- [3] Informations et logiciel : www.axiris.eu/en/index.php/i-o-cards/axicat

Liste des composants

Résistances :

(toutes 1206, sauf indication contraire)
 R1 = 100 Ω
 R2, R3 = 4,7 kΩ
 R4, R5 = 10 kΩ
 R6 = 1 M Ω

Condensateurs :

(tous 1206, sauf indication contraire)
 C1, C2 = 22 pF
 C3 = 4,7 nF
 C4, C5 = 10 nF
 C6 à C10 = 100 nF
 C11 à C14 = 1 μF
 C15 = 10 μF 10 V tantale, boîtier A
 C16 = 22 μF 10 V tantale, boîtier A

Inductance :

L1 = perle de ferrite 3 A
 (Farnell réf. 1653393)

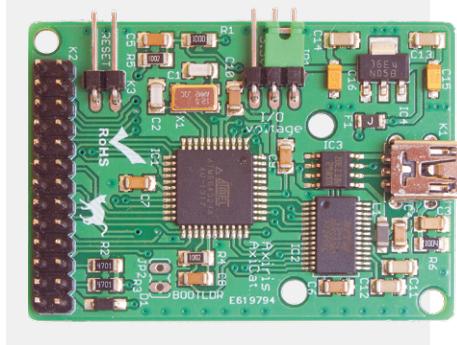
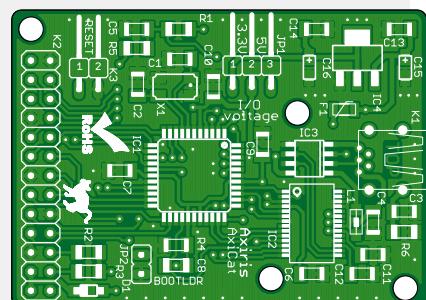
Semi-conducteurs :

D1 = diode Schottky 1N5819, 1 A, 40 V, SOD123
 IC1 = ATmega164A-AU*
 IC2 = FT245RL
 IC3 = USB6B1
 IC4 = LM1117IMP-3.3

Divers :

F1 = polyfuse 350 mA, 1206
 JP1 = embase mâle à 3 picots coudés, au pas de 2,54 mm, avec cavalier
 K1 = connecteur mini-USB type B
 K2 = embase mâle à 2x13 picots, au pas de 2,54 mm
 K3 = embase mâle à 2 picots coudés, au pas de 2,54 mm, avec cavalier
 X1 = quartz 12 MHz

*cf. texte



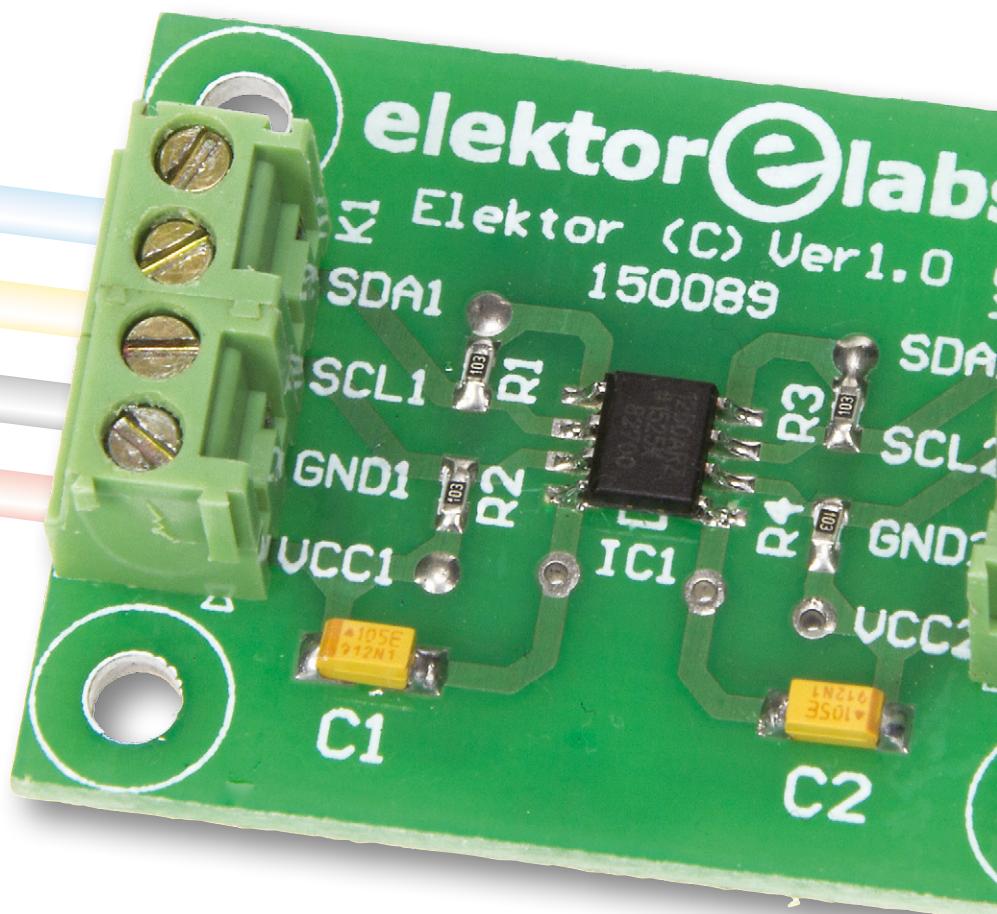
isolateur universel pour bus I²C avec adaptateur de niveau simple et compact

Andre Jordaan (Suisse)

Lorsque l'on veut relier entre eux plusieurs circuits I²C alimentés par différentes sources, il faut parfois réaliser une adaptation du niveau des lignes. Et tant qu'on y est, on peut aussi prévoir une isolation galvanique de ces lignes (presque sans surcoût).

Caractéristiques

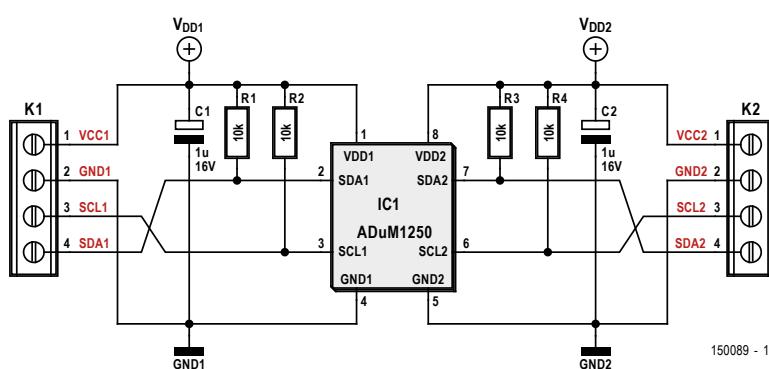
- Adapté à des tensions entre 3,0 et 5,5 V.
- Bidirectionnel
- 2 canaux
- Isolation galvanique des masses et alimentations



Nous présentons ici un adaptateur de niveau de 3,3 à 5 V et vice-versa pour

le raccordement des lignes d'interface I²C avec des alimentations différentes. Nous

avons aussi veillé à l'isolation galvanique des lignes. Cette idée nous est venue



| Tableau 1. Brochage de K1 et K2 | | |
|---------------------------------|------|------|
| broche | K1 | K2 |
| 1 | VCC1 | VCC2 |
| 2 | GND1 | GND2 |
| 3 | SCL1 | SCL2 |
| 4 | SDA1 | SDA2 |

Figure 1. Le schéma montre la simplicité d'emploi de l'ADuM1250.

lorsque nous avons voulu raccorder un Arduino (5 V) à un Raspberry Pi (3,3 V).

Sans optocoupleurs

Nous avions initialement pensé à des optocoupleurs, mais les signaux sont bidirectionnels : il aurait donc fallu les scinder et utiliser des optocoupleurs pour chaque direction. En outre, nous avons lu sur l'internet qu'il y avait un risque de défauts de fonctionnement temporaire (*glitches*, en français « pointes ») et autres problèmes lors de l'utilisation d'optocoupleurs sur un bus de données, suite semble-t-il à de petites variations dans le temps de réaction. Ces défauts seraient sans doute difficiles à identifier, il valait donc mieux chercher une autre solution.

Nous avons trouvé l'ADuM1250 d'Analog Devices, un double isolateur et adaptateur de niveau I²C. L'isolation est galvanique (jusque 2,5 kV) et la fréquence de communication bidirectionnelle peut aller jusqu'à 1 000 kHz. Il accepte des tensions d'alimentation et niveaux logiques de 3,0 à 5,5 V et il n'y a pas de risque de verrouillage.

Avec ce circuit intégré, il n'est donc pas nécessaire de séparer émission et réception, ce qui serait le cas avec des optocoupleurs. Le circuit peut en outre être connecté à un bus en fonctionnement (*hot-swapping*) sans être lui-même alimenté, et sans provoquer des *glitches* sur le bus de données.

Schéma

Le schéma (**figure 1**) est conçu de telle manière que la tension d'alimentation – qui détermine aussi le niveau du signal de transmission (3,3 ou 5 V) – peut être choisie librement de chaque côté. Les lignes de données SDA et SCL sont munies de résistances de rappel de 10 kΩ (R1 à R4), C1 et C2 filtrent les alimentations, et toutes les broches du circuit intégré sont accessibles via des borniers à vis (K1 et K2, dont le brochage est

Liste des composants

Résistances :

R1, R2, R3, R4 = 10 kΩ, 100 mW, SMD0603

Condensateurs :

C1, C2 = 1 µF, 16 V, tantale, case A

Semi-conducteurs :

IC1 = ADuM1250ARZ, SOIC-8

Divers :

K1, K2 = bornier à vis, pas de 3,5 mm

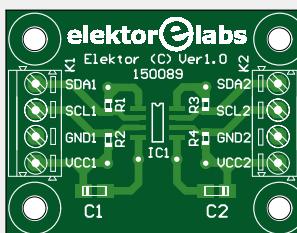


Figure 2. Le circuit imprimé est tout aussi dépouillé que le schéma.

explicite dans le **tableau 1**). L'ADuM1250 connecte SCL1 à SCL2 et SDA1 à SDA2.

Montage

Nous avons dessiné un petit circuit imprimé (**figure 2**), dont le tracé peut être téléchargé sur le site du projet [1]. Le circuit lui-même est disponible sur le site de vente en ligne du magazine [2], de même que le module monté et testé si vous ne vous sentez pas capable de souder les composants CMS. Les borniers sont fournis avec le module, mais vous devrez les monter vous-même.

À l'usage

En principe, il n'y a pas grand-chose qui puisse clocher avec l'ADuM1250, mais nous décrivons tout de même une procédure qui permet de tester le bon raccordement et le fonctionnement de cet isolateur et adaptateur de niveau I²C universel. Nous avons testé la communication avec un Arduino Uno, les croquis sont disponibles sur la page du projet [1].

1^{ère} procédure de test avec un circuit d'horloge DS1307 sous 5 V :

- Ouvrir le croquis « 5V_test_program » à partir de l'environnement de développement (IDE) Arduino et le charger dans l'Arduino Uno.
- Raccorder l'Arduino Uno à K1.
- Raccorder le DS1307 à K2 avec une tension d'alimentation de 5 V (veiller à ce qu'il n'y ait pas de raccord de masse commun entre Arduino Uno et DS1307).

- Brancher le moniteur série de l'Arduino Uno (transmission à 9 600 bauds), la date et l'heure transmises par le DS1307 devraient être visibles.

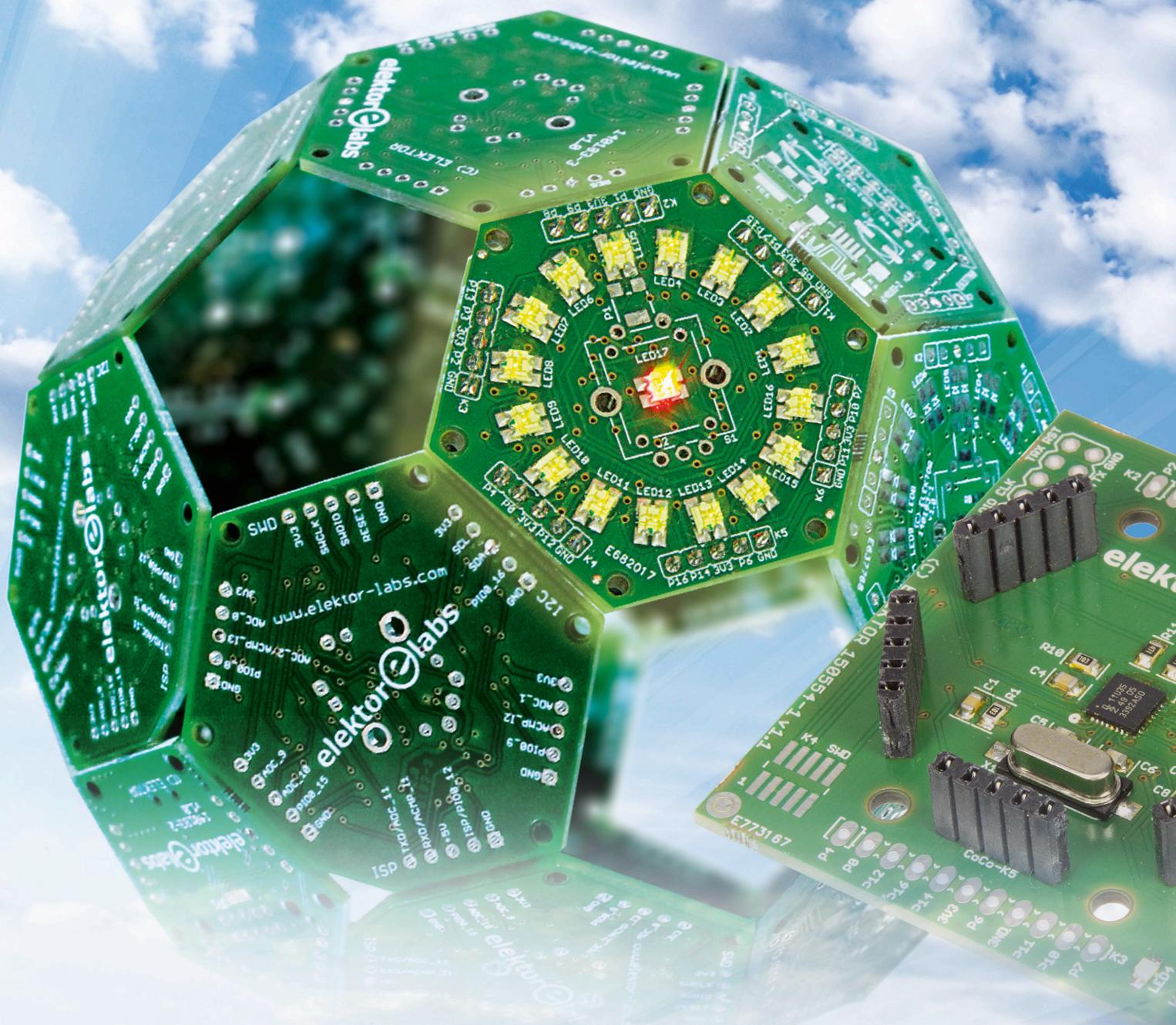
2^e procédure de test avec une EEPROM 24C02 sous 3,3 V :

- Ouvrir le croquis « 3V_test_program » et le charger dans l'Arduino Uno.
- Raccorder l'Arduino Uno à K1.
- Raccorder la mémoire 24C02 à K2 avec une tension d'alimentation de 3,3 V (veiller à ce qu'il n'y ait pas de raccord de masse commun entre Arduino Uno et 24C02).
- Brancher le moniteur série de l'Arduino Uno (transmission à 9 600 bauds).
- Le croquis écrit la valeur 90 à l'emplacement 1 de la mémoire. Cette valeur doit ensuite être visible sur le moniteur lorsque la mémoire est lue par l'Arduino Uno. ▶

(150089 – version française : Jean-Louis Mehren)

Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/150089
- [2] www.elektor.fr/search?cat=0&q=150089



interface mbed Elektor

CoCo-ri-Co dans les nuages

Clemens Valens (labo d'Elektor)

La plateforme de prototypage rapide *mbed* de la société ARM (faut-il dire Softbank maintenant ?), avec ses nombreuses bibliothèques à sources ouvertes et son compilateur en ligne, est un excellent outil pour développer des applications sur du matériel tiers. Saviez-vous que vous pouvez créer votre propre plateforme *mbed Enabled* et ajouter la programmation par glisser/déposer à votre carte ?



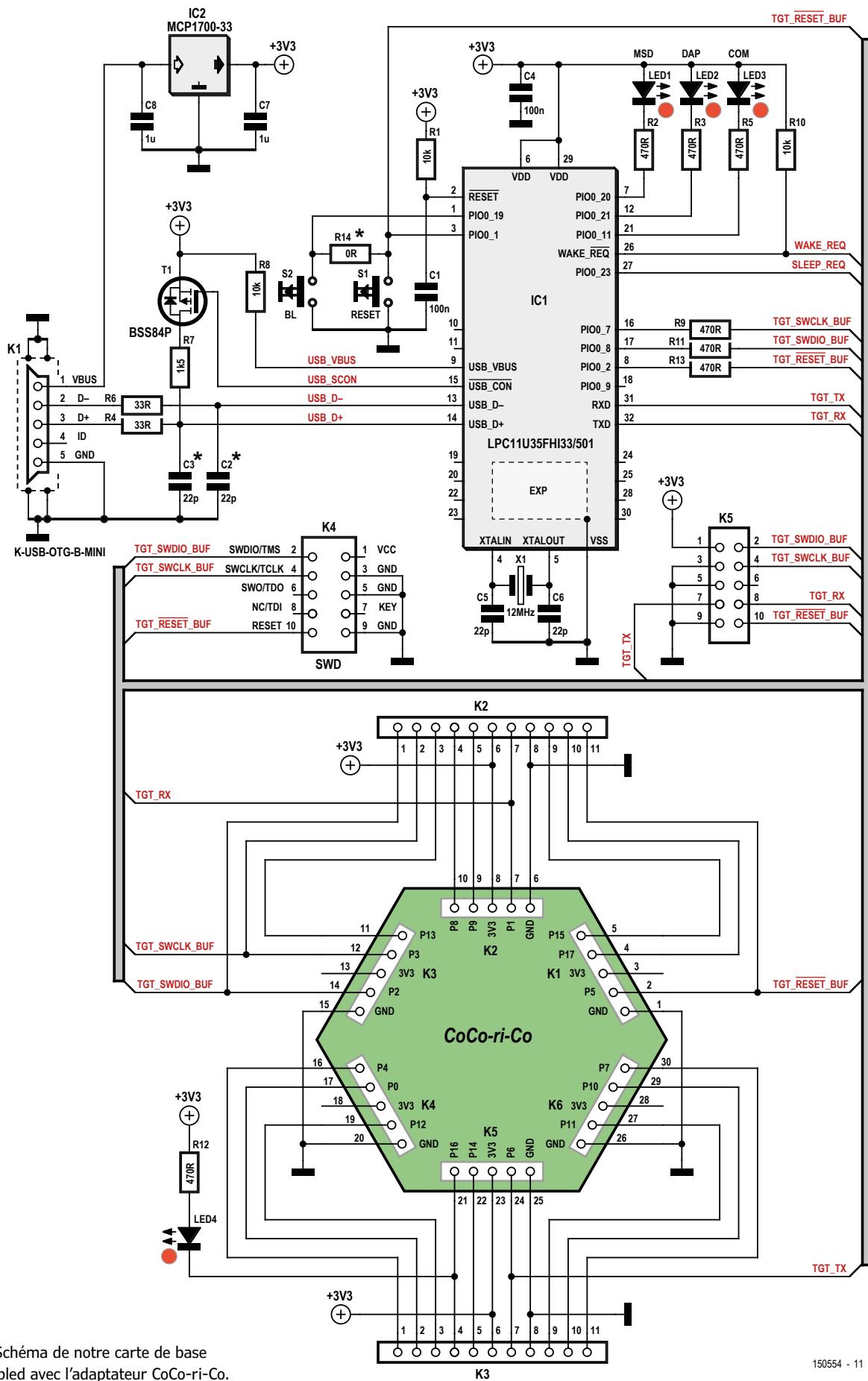


Figure 1. Schéma de notre carte de base mbed Enabled avec l'adaptateur CoCo-ri-Co.

La plateforme mbed a considérablement évolué depuis son apparition dans les colonnes d'Elektor en septembre 2010 [1]. À l'époque, elle n'était que partiellement à sources ouvertes et il n'y avait qu'une seule carte à microcontrôleur prise en charge, la mbed LPC2368. Celle-ci a été rapidement remplacée par la mbed LPC1768, une carte devenue célèbre en peu de temps, grâce à son faible prix (c'était avant le Raspberry Pi) et sa petite taille.

Retour en 2016, le site mbed [2] liste fièrement plus d'une centaine de cartes (plateformes) compatibles, produites par plus de 25 fabricants et utilisant pas moins de neuf familles de microcontrôleurs (cibles).

Mbed n'a pas l'intention de s'arrêter là (voir l'encadré) et fournit des outils et instructions à ceux désireux de créer du matériel ou logiciel compatible. Contrairement au projet à sources ouvertes typique, mbed veut contrôler la qualité de près. N'importe qui peut créer une carte compatible mbed, la vendre et faire ce qu'il en veut, sauf utiliser les logos mbed et se targuer d'être mbed Enabled. Si vous voulez le label, il faudra prouver que votre carte est à la hauteur en suivant une procédure d'acceptation. Si vous respectez la procédure, et que votre carte est acceptée, elle apparaîtra sur le site mbed et n'importe qui pourra la sélectionner pour développer des programmes. La procédure d'acceptation est gratuite. Tout ce qu'il faut faire c'est envoyer dix exemplaires de votre carte à l'équipe mbed et, cela va sans dire, apprendre à utiliser les outils qui détermineront si votre carte est bonne pour le service, ou pas.

Mbed continue de gagner du temps, nous avons donc décidé de concevoir une carte compatible mbed et de l'envoyer à l'équipe mbed pour obtenir le label *mbed Enabled* officiel. Petit avertissement avant de vous lancer : les outils et la documentation n'ont cessé d'évoluer et il se peut que la procédure ait changé significativement quand vous vous y attelerez. Référez-vous systématiquement au site mbed pour avoir des informations à jour sur les kits de développement matériel et la procédure d'acceptation [3].

Après cette longue introduction, entrons dans le vif du sujet. Voici un aperçu des étapes de la procédure :

1. Choisir une cible
2. Créer une plateforme
3. Porter le logiciel de l'interface mbed sur la plateforme
4. Faire fonctionner les tests de plateforme
5. Envoyer dix exemplaires à mbed
6. Faire accepter la plateforme par l'équipe mbed
7. Créer une page web
8. Créer des codes d'exemple
9. Publier

Nous utilisons les termes « cible » et « plateforme » dans leur acception mbed : la cible est le microcontrôleur qui exécute le programme d'application ; la plateforme est la carte sur laquelle la cible est montée.

1. Choisir une cible

Si vous n'êtes pas un fabricant de µC, c'est l'étape facile : vous n'avez qu'à en choisir un déjà pris en charge par mbed. Vous pouvez aussi ajouter une nouvelle cible à mbed si la puce utilise l'architecture ARM, mais attendez-vous à beaucoup de programmation et mise au point en collaboration avec l'équipe mbed. Nous avons choisi la voie facile, et sélectionné une cible déjà prise en charge : le LPC812. Ce n'est pas par hasard, mais bien parce qu'Elektor a déjà une carte pour ce micro : la carte CoCo-ri-Co [4] pour être exact. Nous pouvons créer des programmes pour cette carte avec les outils mbed sans efforts, mais sans bénéficier de la sympathique programmation par glisser/déposer offerte par les cartes prises en charge par mbed.

2. Créer une plateforme

La carte CoCo-ri-Co est compatible avec mbed, mais elle n'est pas *mbed Enabled*.

Pour cela, il faut lui accorder une interface mbed. Cette interface est constituée d'un µC ARM supplémentaire, programmé avec un micrologiciel spécifique, qui permet de programmer la cible simplement en effectuant un glisser/déposer de l'exécutable sur un périphérique USB. La programmation se fait via l'interface *Serial Wire Debug (SWD)* que la plupart des µC ARM récents possèdent.

Lorsque l'interface mbed est reliée à un ordinateur, elle apparaît comme une clé USB et un port série (si le pilote est installé), c'est très pratique pour la mise au point. Le démarrage dans un mode particulier permet de programmer l'interface elle-même ; les mises à jour du micrologiciel sont très simples.

Le *Hardware Development Kit (HDK)* [5] contient toutes les informations nécessaires pour se lancer. Deux options s'offrent à vous pour l'interface mbed :

- Utiliser une des interfaces existantes
- En créer une nouvelle

L'option 2, vous vous en doutez, implique beaucoup plus de travail que l'option 1 que nous avons choisie. Quand nous avons commencé ce projet, l'option 1 était encore plus simple : il n'existait qu'une seule interface mbed pour laquelle tous les fichiers nécessaires à sa programmation et celle de notre LPC812 cible étaient disponibles. Nous avons donc choisi le LPC11U35. Ce µC existe en trois versions : FB, FE et FH. Nous en avons essayé deux (FB et FH, pas FE à cause du boîtier BGA), mais seule la version FH (boîtier QFN) a fonctionné.

Le circuit qui entoure l'interface mbed (**fig. 1**) est presque une copie exacte de celui publié par l'équipe mbed. Nous avons juste ajouté des connecteurs pour notre cible et pour améliorer la connec-

mbed, IdO et le nuage

À l'origine, mbed était un compilateur en ligne gratuit et facile à utiliser avec des bibliothèques pour développer des applications pour microcontrôleurs ARM, sans avoir à installer d'outils. Cependant, mbed 3.0 a transformé mbed en une plateforme pour l'internet des Objets (IdO) et les services dans le nuage.

Extrait du site web : *La plateforme ARM mbed IdO offre un système d'exploitation, des services dans le nuage, des outils et un écosystème pour développeurs qui facilitent la création et le déploiement à grande échelle d'applications IdO commerciales basées sur les standards.* Le mbed (pour développeur) des débuts a plus ou moins disparu. Il n'y a pas si longtemps, mbed OS 5.0 a été lancé comme *système d'exploitation de plateforme conçu pour l'Internet des Objets*. Le « vieux » mbed s'appelle maintenant mbed OS 2.0. La version 3.0 existe aussi, mais la 4.0 a été sautée sans explication. www.mbed.com

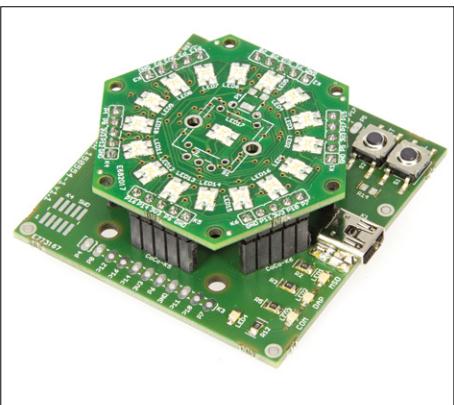


Figure 2. Le sandwich Elektor *mbed Enabled* & CoCo-ri-Co assemblé et prêt à être savouré.

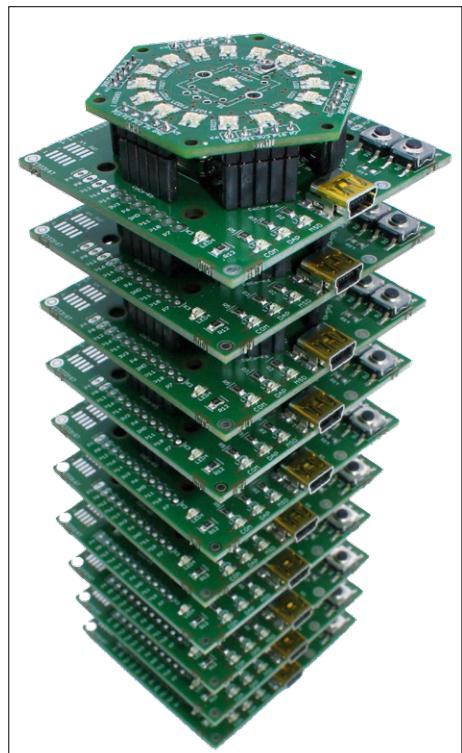


Figure 3. Nous avons envoyé cette pile de dix cartes à ARM pour validation.

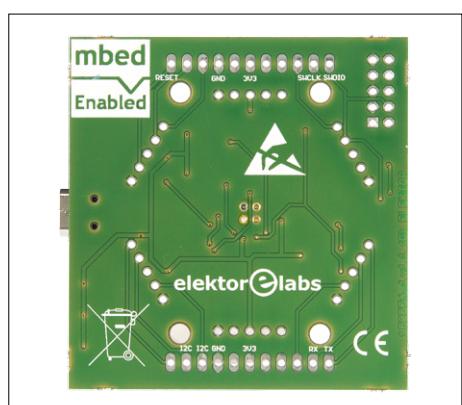


Figure 4. Notre carte affiche fièrement le logo *mbed Enabled*.

tivité de la carte en général. Le résultat est un sandwich composé d'une carte interface mbed coiffée d'une carte CoCo-ri-Co (**fig. 2**). Les connecteurs K2 et K3 donnent accès aux connecteurs d'E/S de la carte CoCo-ri-Co. K4 est un connecteur SWD à pas étroit qui permet de relier la carte de base à une autre cible. K5 est un connecteur similaire, mais au pas traditionnel de 2,54 mm. Il comporte aussi les signaux du port série.

Pour utiliser K4 afin de programmer une cible autre qu'un LPC812, il faut d'abord adapter le micrologiciel de l'interface mbed. Nous n'avons pas essayé, mais vous devrez obtenir de l'équipe mbed des routines de programmation pour votre cible.

3. Porter le logiciel de l'interface mbed sur la plateforme

Fainéants que nous sommes, nous avons sauté cette étape. Les binaires précompilés que nous avons utilisés pour programmer l'interface mbed IC1 sont compatibles avec notre cible LPC812.

4. Faire fonctionner les tests de plateforme

Il faut tout d'abord lire avec attention la documentation [6]. Le dépôt GitHub [7] a changé de nom après que nous avons terminé le projet. Vous aurez besoin de ce dépôt pour les séries de tests qu'il contient, dans le dossier *tools*. Suivez la documentation avec soin pour créer les scripts de test pour votre MUT (*Mbed Under Test*). La série de tests, écrite en Python, est très étendue et capable de tester plusieurs MUTs à la fois. Nous ne testons qu'une carte et nos scripts ne contiendront que quelques lignes. En supposant que Python est déjà installé sur votre PC, commencez par installer les outils avec le script `setup.py` dans le dossier principal :

```
setup.py install
```

Lancez un test rapide :

```
cd tools  
build.py -S >> platforms.txt
```

Si tout s'est bien passé, vous aurez un fichier baptisé `platforms.txt` ; il contient les noms des µC requis par le script `muts_all.json`, lui-même nécessaire au script `singletest.py` [4]. Vérifiez le fichier `settings.py` et éditez (ou

créez) `private_settings.py` pour configurer le chemin d'accès au compilateur à utiliser pour les programmes de test qui tourneront sur notre cible CoCo-ri-Co. Reliez la carte et lancez `singletest.py` pour créer un rapport de test :

```
singletest.py -i test_spec.json -M  
muts_all.json >> test_results.txt
```

Cela va prendre du temps, 7 min sur mon PC. Une fois prêt, le rapport contient un tableau avec tous les tests exécutés ainsi que leur résultat. Les résultats peuvent être OK ou TIMEOUT. Certains tests échouent à cause de matériel manquant ; les tests *Real Time Clock* (RTC) avortent, car la carte CoCo-ri-Co ne possède pas d'horloge en temps réel.

Important : assurez-vous que le port SWD et la broche RESET ne sont pas désactivés dans le micrologiciel du LPC812 ! Ils sont désactivés par défaut dans le micrologiciel préprogrammé sur nos cartes CoCo-ri-Co. Utilisez Flash Magic ou un autre outil de programmation de LPC812 pour effacer entièrement la flash avant de tester.

Si un test échoue alors qu'il ne devrait pas, vous pouvez le réexécuter tout seul, sans avoir à lancer tous les autres tests. Par exemple, la commande

```
singletest.py -i test_spec.json -M  
muts_all.json -n MBED_10
```

ne lancera que le test nommé MBED_10. Conservez les résultats des tests, l'équipe mbed vous les demandera.

5. Envoyer dix exemplaires à mbed

Si vous ne l'avez pas déjà fait, contactez l'équipe mbed pour les informer de vos plans [3]. Ils vous présenteront un formulaire à remplir et vous donneront une adresse à laquelle expédier dix exemplaires de votre carte (**fig. 3**). Assurez-vous qu'ils aient tous passé les tests de plateforme.

Une fois que l'équipe mbed aura testé et accepté votre carte (cela prendra sans doute quelques semaines), vous serez prévenu par courriel. Ne vous méprenez pas toutefois : il reste du chemin à parcourir. Tout ce que vous venez d'obtenir, après avoir signé et renvoyé un contrat, c'est le droit d'utiliser le logo

Démarrage rapide avec mbed

Reliez la carte *mbed Enabled* à un port USB sur votre ordinateur. L'OS détectera un *mbed Composite Device* et démarrera l'installation des pilotes correspondants. Sur Windows, il faudra peut-être commencer par installer un pilote de port série nommé *mbedWinSerial_xxxxxx* (*xxxxxx* est un nombre, 16466 au moment où l'article a été écrit) que vous trouverez sur le site *mbed*. Une fois l'installation de la carte terminée, vous devriez voir un périphérique de stockage de masse, sans doute nommé *DAPLINK*, et un port série *mbed*. Ouvrez le périphérique de stockage de masse et double-cliquez sur *mbed.htm*.

Cela lancera votre navigateur web qui vous redirigera vers la page d'identification ; vous pourrez y créer un compte gratuit si vous n'en avez pas. Une fois connecté, vous serez redirigé vers la page de la plateforme. (Vous n'aurez pas à

vous identifier si vous l'étiez déjà.) En ce qui concerne la carte décrite ici, vous atterrirez sur [8]. Vous trouverez sur cette page tout ce que vous avez besoin de savoir sur la plateforme. Après avoir lu attentivement ces informations, vous pourrez cliquer sur le bouton *Compiler* en haut de la page pour ouvrir le gestionnaire d'espace de travail où vous pourrez créer des programmes. Cela fonctionne à peu de choses près comme avec un compilateur hors ligne à la différence que lorsqu'un programme sera compilé avec succès, il sera téléchargé sur votre ordinateur. Copiez ce fichier sur le périphérique de stockage de masse *mbed* et redémarrez la carte pour lancer votre programme (certaines cartes comme la BBC micro:bit redémarreront automatiquement). Ça y est, facile, rien à installer, et pas besoin de matériel.

mbed Enabled (sans tiret et avec un E majuscule) (**fig. 4**).

6. Faire accepter la plateforme par l'équipe *mbed*

Ce n'est pas de tout repos et j'espère

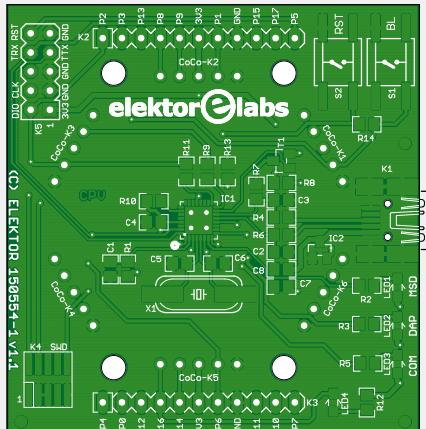
sincèrement que la procédure a été améliorée. Il y a deux choses à accomplir :

intégrer votre plateforme au dépôt *mbed* et modifier le code de l'interface *mbed* pour qu'il pointe à la page de votre plateforme

sur le site *mbed*

L'étape A correspond à l'ajout de vos fichiers au dépôt *mbed* sur GitHub [7]. L'objectif est d'annexer votre cible à la branche `hal/targets/hal` du dépôt.

Liste des composants



Résistances (5%, 0,1 W, 0805)

R4, R6 = 33 Ω
R2, R3, R5, R9, R11, R12, R13 = 470 Ω
R7 = 1,5 k Ω
R1, R8, R10 = 10 k Ω
R14 = 0 Ω (*ne pas monter)

Condensateurs (0805)

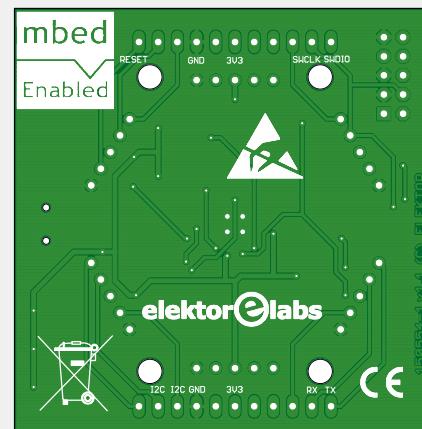
C2, C3 = 22 pF
C5, C6 = 22 pF (*monter en cas de problèmes de CEM)
C1, C4 = 100 nF
C7, C8 = 1 μ F

Semiconducteurs

T1 = BSS84P
IC1 = LPC11U35FHI33
IC2 = MCP1700-33
LED1, LED2, LED3, LED4 = LED, rouge

Divers

X1 = résonateur à quartz, 12 MHz
S1, S2 = interrupteur tactile, 6x6 mm
K4 = connecteur, 2x5 contacts
au pas de 1,27 mm, CMS
K5 = connecteur 2x5 contacts
au pas de 2,54 mm
K2, K3 = barrette mâle sécable, 11 contacts,
au pas de 2,54 mm
K1 = connecteur USB mini-B
CoCo-K1, CoCo-K2, CoCo-K3, CoCo-K4, Co-Co-K5, CoCo-K6 = barrette femelle, sécable,
5 contacts, au pas de 2,54 mm
circuit imprimé réf. 150554-1 (www.elektor.fr)



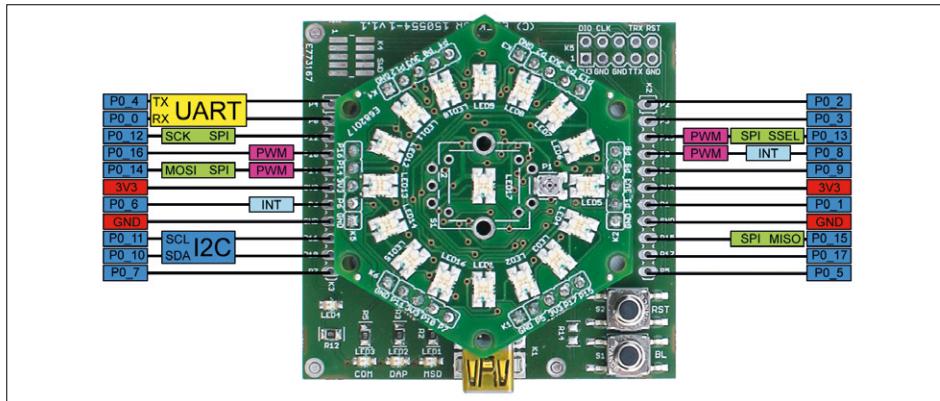


Figure 5. Le brochage de notre plateforme, style mbed.

Vous serez en contact avec des ingénieurs en logiciel qui font ça tous les jours et ont tendance à communiquer en utilisant des formules énigmatiques et des acronymes ; ils n'hésiteront pas à supposer que vous êtes un expert Git. Je n'en suis pas un

et je n'ai toujours pas compris ce dont ils parlaient, mais, en jouant l'idiot, j'ai réussi à leur faire faire une partie du travail. Si vous vous avancez suffisamment loin dans le dépôt, vous trouverez le dossier [hal/targets/hal/TARGET_NXP/TARGET_LPC81X/TARGET_ELEKTOR_COCORICO](#), preuve de notre réussite.

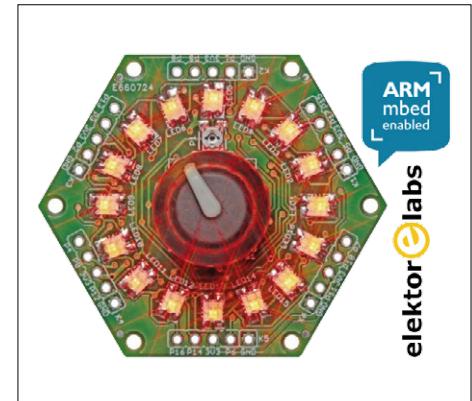


Figure 6. La photo utilisée par le compilateur en ligne pour représenter notre plateforme.

sera reliée à un ordinateur. L'équipe mbed créera un modèle de la page pour vous.

7. Créer une page web

Si vous êtes arrivé là, c'est presque fini. Si vous avez tout fait correctement, ce sera rapide. Vous rédigerez les spécifications de votre carte et ajouterez d'autres informations utiles et des photos. Le plus important, ce sont les schémas de brochage de votre carte dans le style mbed (**fig. 5**) et la photo qui sera utilisée dans le compilateur en ligne pour représenter votre plateforme (**fig. 6**). Faites attention à fournir une photo claire ; elle sera réduite en une petite vignette sur la majorité des pages. Ajoutez autant d'informations que possible à cette page : plus il y en aura, mieux ce sera. Référez-vous à la page de la plateforme CoCo-ri-Co pour vous faire une idée [8].

8. Créer des codes d'exemple

Les exemples sont importants pour les nouveaux utilisateurs et l'équipe mbed vous en demandera. Créez-en quelques bons. Déplacez-les dans votre espace utilisateur mbed et publiez-les lorsqu'ils sont prêts. Vous pourrez ensuite les lier à la page de votre plateforme.

9. Publier

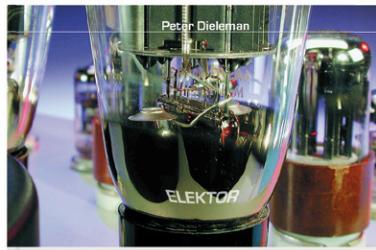
C'est fini ! Ou presque. Si vous pensez que votre plateforme est fin prête, contactez l'équipe mbed. Ils jetteront un œil à votre travail, une fois de plus, et, s'ils sont satisfaits, ils rendront la page de votre plateforme publique. Félicitations ! Vous avez créé une plateforme mbed Enabled. ►

(150554 – version française : Kévin Petit)

Liens

- [1] <https://www.elektormagazine.fr/100501>
- [2] <https://developer.mbed.org/>
- [3] <https://www.mbed.com/en/about-mbed/mbed-enabled/>
- [4] <https://www.elektormagazine.fr/140183>
- [5] <https://developer.mbed.org/handbook/mbed-HDK>
- [6] <https://developer.mbed.org/teams/SDK-Development/wiki/Mbed-SDK-automated-test-suite>
- [7] <https://github.com/ARMmbed/mbed-os>
- [8] <https://developer.mbed.org/platforms/CoCo-ri-Co/>
- [9] <https://www.elektormagazine.fr/150554/>

nos ouvrages de référence sur les tubes audio

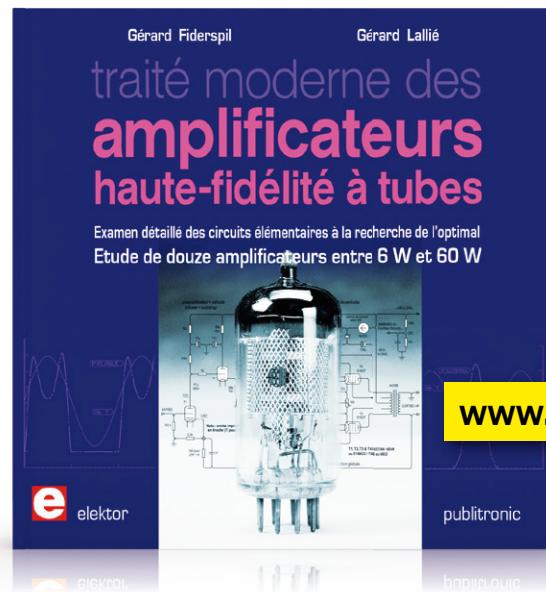


**théorie & pratique des
amplificateurs audio
à tubes**

nouvelle édition
revue par l'auteur



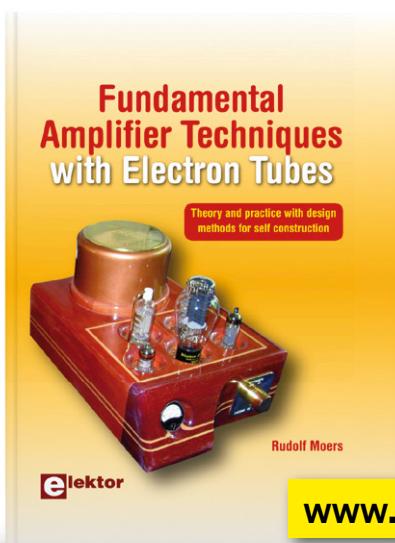
www.elektor.fr/tpaat



**traité moderne des
amplificateurs
haute-fidélité à tubes**

Examen détaillé des circuits élémentaires à la recherche de l'optimal
Etude de douze amplificateurs entre 6 W et 60 W

www.elektor.fr/tmahft

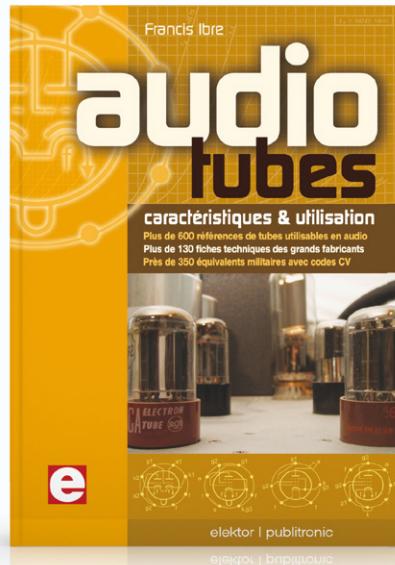


**Fundamental
Amplifier Techniques
with Electron Tubes**

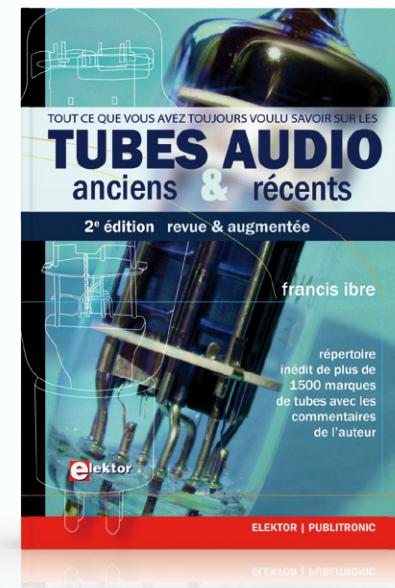
Theory and practice with design
methods for self construction

www.elektor.fr/fundamp

**les deux sommes de
paléo-électronique
de Francis Ibre**



www.elektor.fr/audiotubes



www.elektor.fr/nos

elektor

bienvenue dans votre e-choppe

Elektor recommande



Serveur multimédia Kodi sur Raspberry Pi 3

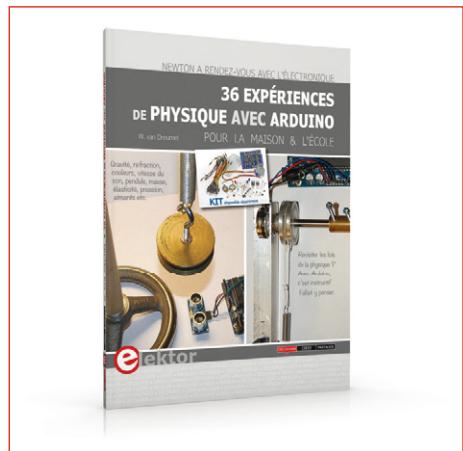
Depuis quelque temps, un serveur multimédia remporte un franc succès dans l'e-choppe d'Elektor. L'ensemble proposé comprend un nano-ordinateur Raspberry Pi 3, un boîtier robuste, un bloc d'alimentation (2 A), un câble HDMI et une carte micro-SD (classe 10) avec des logiciels préinstallés (dont OpenELEC). Raccorder et démarrer le serveur ne prennent qu'un instant : insérez la carte micro-SD dans la fente prévue à cet effet (le mieux est de ne jamais la retirer ensuite, c'est compliqué lorsque le RPi est logé dans son boîtier). Ensuite connectez le câble HDMI au RPi et à un téléviseur/décodeur surround. Enfin branchez l'alimentation. OpenELEC démarre automatiquement. Il ne reste plus qu'à régler les paramètres de la connexion au réseau sans fil dans le menu de configuration.

Harry Baggen
labo d'Elektor



www.elektor.fr/rpi-3-media-player

36 Expériences de Physique avec Arduino



Ce livre n'est pas un manuel de physique : pas d'équations différentielles ni de courbes abstraites, mais des phénomènes physiques de la vie quotidienne. C'est une approche nouvelle et créative des leçons de physique grâce aux techniques modernes de mesure et de traitement des données. L'électronique utilisée (Arduino) est simple. Ajoutez-y le logiciel gratuit CoolTerm pour enregistrer les mesures et les retrailler ensuite sous Excel.



Prix (membres) : 22,41 €

www.elektor.fr/arduino-36-experiences

Kit de démarrage



du livre 36 Expériences de Physique avec Arduino.

Ce kit a été spécialement conçu pour réaliser les expériences décrites dans le livre « 36 expériences de physique avec Arduino ». Profitez de cette offre pour acquérir le livre et le kit. La physique rébarbative, c'est fini !



Prix (membres) : 26,96 €

www.elektor.fr/kit-demarrage-36-experiences-arduino

Vos favoris :

1. Mooshimeter

www.elektor.fr/mooshimeter



2. Anaren Bluetooth Smart Development Kit

www.elektor.fr/anaren-bluetooth-kit

3. 36 Expériences de Physique avec Arduino

www.elektor.fr/arduino-36-experiences

4. BBC micro:bit

www.elektor.fr/bbc-micro-bit

5. Elektor Uno R4

www.elektor.fr/elektor-uno-r4

6. Swiss Pi

www.elektor.fr/swiss-pi

DVD Elektor 2010-2014



Ce DVD-ROM contient tous les numéros d'Elektor des années 2010 à 2014. Elektor propose à ses lecteurs des montages électroniques de conception professionnelle et aisément reproduisibles, dans les domaines de l'électronique et de l'informatique appliquées. Il leur apporte également des informations sur l'évolution technologique et les nouveaux produits.



Prix (membres) : 62,10 €

www.elektor.fr/dvd-elektor-2010-2014



Détecteur de chauve-souris^{PLUS}

Le détecteur de chauve-souris publié dans le numéro de novembre 2016 utilise un microphone MEMS (microsystème électromécanique) très sensible aux ultrasons. Le détecteur produit un signal sinusoïdal pour le haut-parleur. Ce signal est modulé par le signal d'amplitude afin de reproduire le volume sonore du cri de la chauve-souris. Ce détecteur pallie les inconvénients des détecteurs hétéodyniques et à diviseur.



Des commutateurs DIP permettent de régler les quatre fréquences de coupure des filtres passe-bas (8 kHz, 15 kHz, 18 kHz, 25 kHz), les quatre rapports de division (16, 17, 23 et 31)...

Le kit proposé ici permet de réaliser ce détecteur de chauve-souris. Il ne restera qu'à ajouter une pile.



Prix (membres) : 59,46 €

www.elektor.fr/detecteur-chauve-souris

Détecteur de chauve-souris

avec diviseur de fréquence et extraction d'amplitude

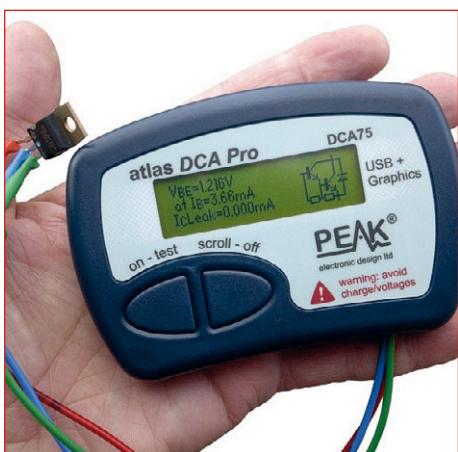
plateforme de développement FPGA

un Smartscope préconfiguré, deux programmeurs et tous les câbles nécessaires

e-choppe Elektor en ligne

Votre panier d'achats pour l'électronique

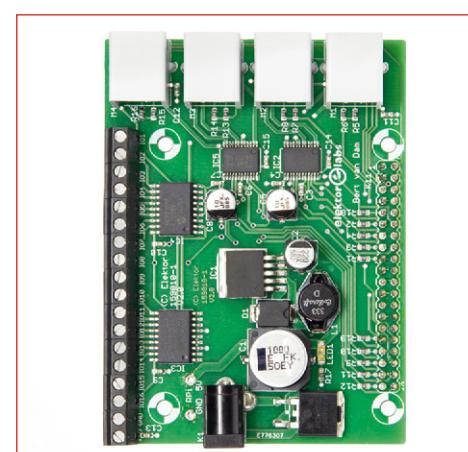
Atlas DCA75 Pro



Tuto Arduino Uno 45 projets électroniques originaux



Carte de commande LEGO pour RPi



Cet instrument d'analyse des semi-conducteurs dernier cri affiche les caractéristiques des composants sur son écran graphique ou sur PC. Reliez les sondes à n'importe quel composant pour voir sur l'écran LCD les résultats de test (brochage, caractéristiques). Cet instrument reconnaît les transistors IGBT, MOSFET, JFET entre autres, les régulateurs de tension, les diodes, les LED, les triacs (jusqu'à 10 mA), les thyristors (jusqu'à 10 mA), etc.



Prix (membres) : 112,46 €

www.elektor.fr/atlas-dca75-pro

Alarme silencieuse, détecteur de présence, luxmètre, commande de moteur, accès depuis l'internet, commande sans fil sont quelques-uns des projets Arduino Uno brillants et passionnantes de ce livre, vérifiés et testés par l'auteur. Ces 45 projets sont faciles à réaliser et bien décrits (schémas, photos). Les explications et la description des composants utilisés facilitent l'adaptation des montages à ses besoins.



Prix (membres) : 31,32 €

www.elektor.fr/tuto-arduino-uno

Cette carte pour Raspberry Pi met à disposition 4 lignes de commande pour des moteurs LEGO EV3 Mindstorms ainsi que 16 lignes d'entrée-sortie avec tampon. En tant que HAT (= hardware attached on top), cette carte conforme à des critères bien définis est reconnue par le RPi dès sa connexion. La configuration des entrées-sorties polyvalentes et des pilotes est automatique. De quoi se lancer dans de superbes réalisations combinant RPi et LEGO.



Prix (membres) : 40,46 €

www.elektor.fr/159010-91

Rejoignez la communauté Elektor

Devenez membre GOLD maintenant !



Également disponible
abonnement « zéro papier » GREEN !

www.elektor.fr/membres

formule GOLD

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

formule GREEN

- ✓ 10x magazine numérique
- ✓ accès à l'archive d'Elektor (des milliers d'articles)
- ✓ accès à plus de 1 000 fichiers Gerber
- ✓ 10% de remise dans l'e-choppe
- ✓ des offres exclusives

layar
INTERACTIVE PRINT

- 1 Téléchargez l'appli gratuite Layar
- 2 Scannez cette page
- 3 Découvrez le contenu interactif

PiTop - Unboxing, Assembly and First use

SCANNEZ CETTE PAGE ET REGARDEZ LA VIDÉO

Celektortv

Order your PiTop at Elektor.



Le SmartScope n'est pas qu'un excellent oscilloscope USB utilisable avec un ordiphone, une tablette ou un ordinateur, c'est aussi une formidable carte de développement FPGA. Ajoutez quelques connecteurs à la carte et vous voilà prêt à expérimenter, aidé par un logiciel facile à utiliser. Elektor propose un *Maker Kit* avec un Smartscope préconfiguré (version exclusive), deux programmateurs (JTAG et PICKIT3), les câbles nécessaires ainsi que deux sondes analogiques.



Grâce à l'accès aux fichiers VHDL de la plateforme FPGA, il devient très facile de compiler et charger son propre code dans le FPGA du SmartScope et d'utiliser son pont USB pour le commander depuis un PC, tablette ou téléphone.



Prix (membres) : 269,10 €
www.elektor.fr/smartscope-maker-kit

Détecteur de chauve-souris

avec diviseur de fréquence et extraction d'amplitude

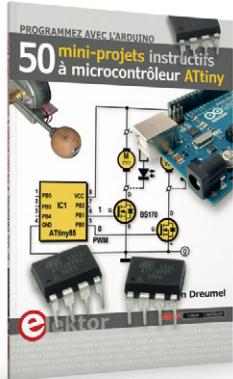
plateforme de développement FPGA

un Smartscope préconfiguré, deux programmateurs et tous les câbles nécessaires

e-choppe Elektor en ligne

Votre panier d'achats pour l'électronique

50 mini-projets instructifs à µC ATTiny



Pour mettre au point des montages à microcontrôleur, la carte Arduino est parfaite. Ensuite, on peut obtenir le même résultat avec un autre µC, plus petit et moins cher, comme l'ATTiny. Ce livre montre comment faire à l'aide de 50 applications originales, voire déjantées. Dans ces pages, ni théorie ni mathématiques, que de la pratique ! ATTiny programmé avec une carte Arduino ; croquis disponibles sur cette plateforme transposables pour l'ATTiny.



Prix (membres) : 22,41 €

www.elektor.fr/50-mini-projets-attiny-arduino

Red Pitaya for Test & Measurement



Red Pitaya est un instrument de mesure à code source ouvert, de la taille d'une carte de crédit. Il peut remplacer nombre d'instruments de mesure de laboratoire coûteux. Avec ce livre (en anglais), les débutants découvriront les principes de l'électronique et leurs applications, tout en expérimentant avec Red Pitaya : théorie, mais aussi utilisation des composants électroniques, le tout accompagné d'expériences amusantes et intéressantes.



Prix (membres) : 31,45 €

www.elektor.fr/red-pitaya-livre

kit Bluetooth Smart Development d'Anaren



Le kit d'Anaren repose sur le module BCM20732 WICED Smart Bluetooth Low Energy (BLE) de Broadcom, il est idéal pour se familiariser rapidement avec ARM et BLE, en se passant de câble. La carte est dotée de multiples capteurs et actionneurs : accéléromètre, magnétomètre, capteur de température infrarouge, buzzer, LED tricolore (RVB) et bouton de navigation. Possibilité de souder un connecteur (16 broches) pour commander un circuit externe.



Prix (membres) : 29,95 €

www.elektor.fr/anaren-bluetooth-kit

bienvenue dans la section **PARTAGER**



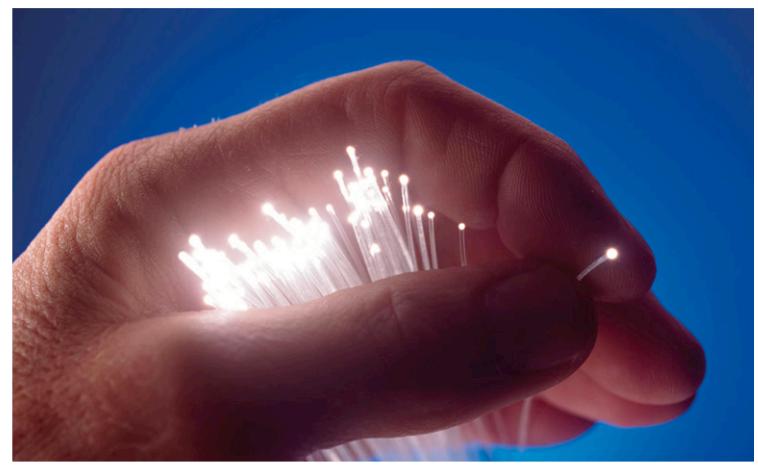
Thijs Beckers (Elektor)

Nixie « Canada Dry », épisode 3

La fois dernière, j'ai expliqué ici comment construire autrement un afficheur Nixie et j'avais dit qu'il y aurait du nouveau. Du 4 au 7 octobre dernier s'est tenu à Utrecht (Pays-Bas) le WoTS 2016 (*World of Technology and Science*), un salon consacré à différents domaines, dont l'électronique, l'automatisation, les moteurs ou encore le matériel de laboratoire. Les quelque 25.000 visiteurs qui s'y sont pressés ont pu visiter le stand d'Elektor. En tant que rédacteur en chef de l'édition néerlandaise, j'étais bien entendu à leur disposition, mais j'ai quand même réussi à m'échapper du stand pour aller à la recherche de nouveautés.

J'ai été ravi de rencontrer M. Welschen, dont j'ai reproduit le courrier ici même le mois dernier. Nous avons forcément parlé

des afficheurs de type Nixie de Philips. Parmi toutes les idées émises lors de notre conversation, l'une me semble vraiment digne d'intérêt : pour représenter un chiffre, on peut aussi se servir de conducteurs de lumière ou de fibres optiques. Pour chaque chiffre, prenez un faisceau de fibres. Exposez l'une des extrémités à la lumière intense d'une LED ; à l'autre extrémité, détaillez le faisceau « en éventail » pour composer le chiffre. Aidez-vous d'une fine grille ou d'un morceau de moustiquaire pour quadriller les porteurs de lumière et reconstituer tous les chiffres de 0 à 9. C'est un peu comme dans un tube Nixie ou une matrice de points. Avec neuf LED RVB, on peut ainsi obtenir de très beaux effets. L'enthousiasme communicatif que M. Welschen a montré à ce sujet me donne à penser que nous y reviendrons prochainement.



WoTS 2016

Cette année, dans le cadre du WoTS 2016, le FHI (*Federatie Het Instrument*, association néerlandaise de différentes branches industrielles), en collaboration avec des parrains (dont Elektor), a organisé un véritable *hackathon* ; ce marathon pour développeurs avait pour thème la domotique (*Smart Home*). Dans une maison moderne, il est assez facile de tout associer et de tout commander. Le défi était circonscrit à une salle de séjour équipée de lampes, prises de courant, capteurs, thermostat, LoRa et un réseau de localisation. Chaque équipe a reçu une carte de développement enfouie, un kit de capteurs, des outils et gadgets de localisation pour améliorer cette pièce. Le plus dur fut de déterminer quelle équipe s'était montrée la plus novatrice.

Pour attiser l'intérêt des visiteurs, la communication des progrès comptait aussi dans l'évaluation. Chaque équipe avait désigné un porte-parole qui présentait leurs idées et réalisations. Le récapitulatif quotidien des résultats obtenus permettait de découvrir ce que tous ces étudiants avaient bien pu imaginer. À la fin, les équipes gagnantes ont pu repartir avec tous les outils sponsorisés et la technologie présente dans la salle de séjour. Comme le jury n'a pas pu se décider, deux équipes ex aequo, celle d'Odisee (Gand, B) et de Windesheim (Zwolle, NL), sont montées sur le podium. Vous trouverez un court reportage vidéo ici : <https://youtu.be/KeBOOoXdB9Y>. ▶

(160223 – version française : Robert Grignard)

applis de mesure pour Android

découvrez les talents de votre ordiphone



Harry Baggen (labo d'Elektor)

Téléphoner avec un appareil moderne est devenu accessoire, il sert à bien d'autres fonctions. Dommage de négliger son énorme puissance de calcul et ses nombreux capteurs. Il est capable d'effectuer de multiples mesures sans matériel supplémentaire. Il ne lui faut que des applis spécialisées. En voici quelques-unes.

On se rend bien peu compte de la foule de services que l'on peut obtenir de son ordiphone. Dans la main, c'est tout un système informatique que l'on tient, avec écran et interface. L'électronicien sait qu'il peut s'en servir pour des usages variés avec du matériel de mesure externe ou pour télécommander d'autres appareils. Mais on peut faire plus simple. Rien qu'avec les connexions et les capteurs présents sur un appareil Android, on peut effectuer de nombreuses mesures. Voici quelques applis pratiques disponibles sur Google Play. Elles ne sont pas toutes gratuites, certaines applis contiennent de la

publicité tant que l'on ne les a pas achetées, ce qui peut parfois être embarrassant. Il peut se révéler plus agréable, le cas échéant, de dépenser quelques euros pour disposer d'une appli sans pub.

Photométrie

Pour réaliser de simples mesures de lumière, vous pouvez utiliser le capteur de lumière ou celui d'image de votre téléphone, différentes applis le permettent. Le [Lux Meter](#) de [Waldau Webdesign](#) [1] est une appli efficace qui indique l'éclairement en lux ou en candela par pied carré. Elle dispose d'une fonction d'éta-

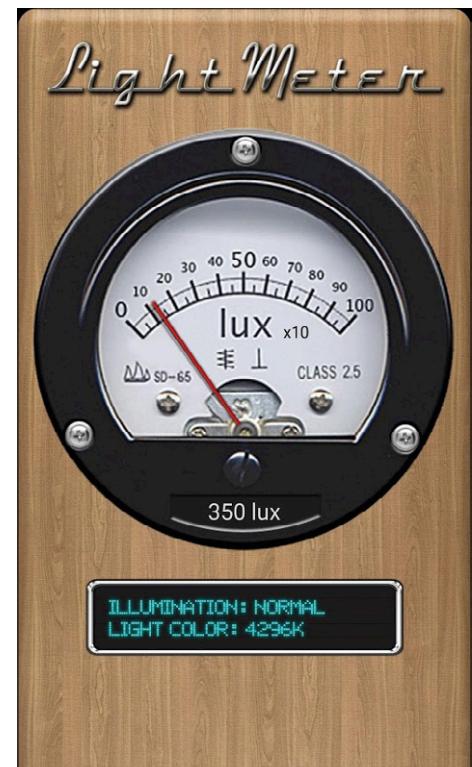
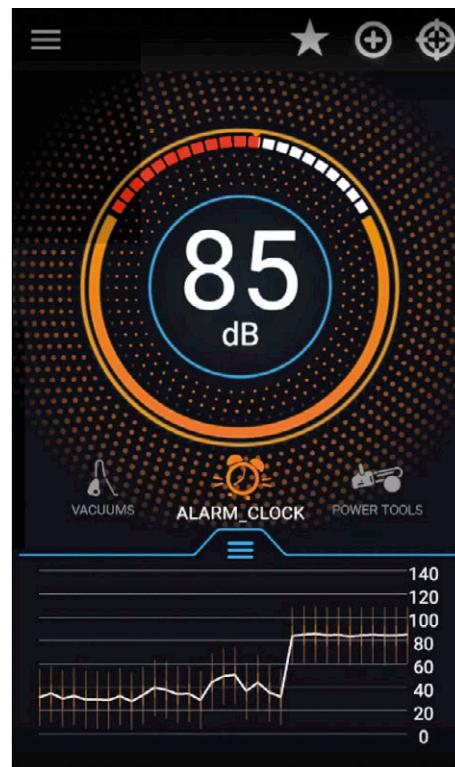
lonnage et indique le capteur de lumière intégré. Le [Lux Meter](#) de [Crunchy Byte-Box](#) [2] fait pareil, mais offre en plus un graphe qui montre son évolution dans le temps. Si vous souhaitez une belle présentation graphique sur votre téléphone, vous serez sûrement conquis par l'appli de [BorisTrajkovski](#) [3] qui affiche l'éclairement sur un bon vieux galvanomètre dont on peut même voir la structure interne. On trouve sur l'internet quelques tests de photomètres. Il en ressort que ces luxmètres ne sont pas très précis par manque de possibilité d'étalonnage. À réservier aux mesures indicatives.

Audiométrie

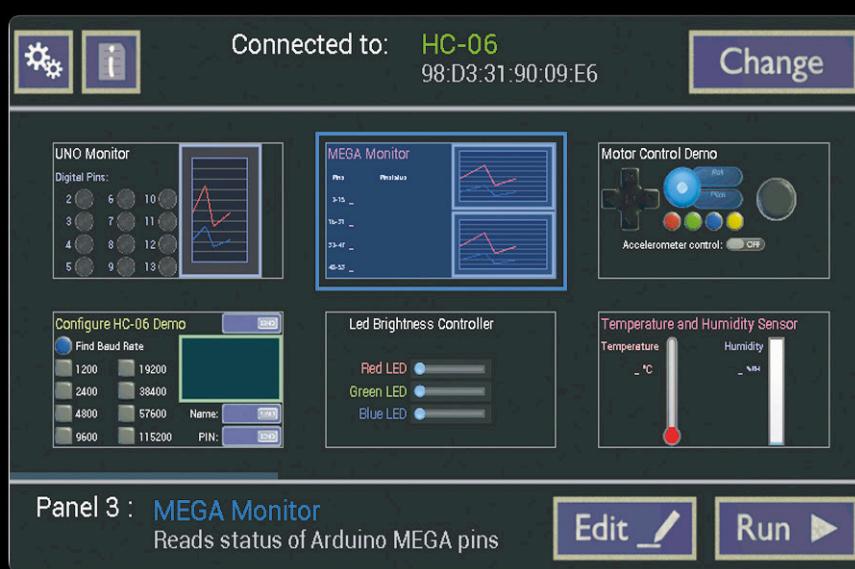
Pas de téléphone sans microphone, bien entendu. Alors, pourquoi pas une appli de sonomètre ? C'est un sujet très répandu, sur Google Play, on en trouve plus d'une centaine. Nous y avons sélectionné quelques applis utilisables. Le [Sound Meter](#) de [Netigen Utilities](#) [4] montre à l'écran la valeur chiffrée de l'intensité, aussi sous forme circulaire avec, en dessous, un graphique de son évolution. Vous pouvez aussi en demander la mesure en pondération A.

L'appli [deciBel](#) de [BSB Mobile](#) [5] donne trois graphiques différents. Le programme utilise un algorithme de FFT pour les mesures de son en pondération A. Au-dessus du graphe, il donne la valeur instantanée, le minimum et le maximum. Lorsqu'on dirige le microphone vers la source sonore, l'affichage peut tourner de 180°, c'est pratique.

Pour des informations plus détaillées sur les signaux audio, par le microphone ou



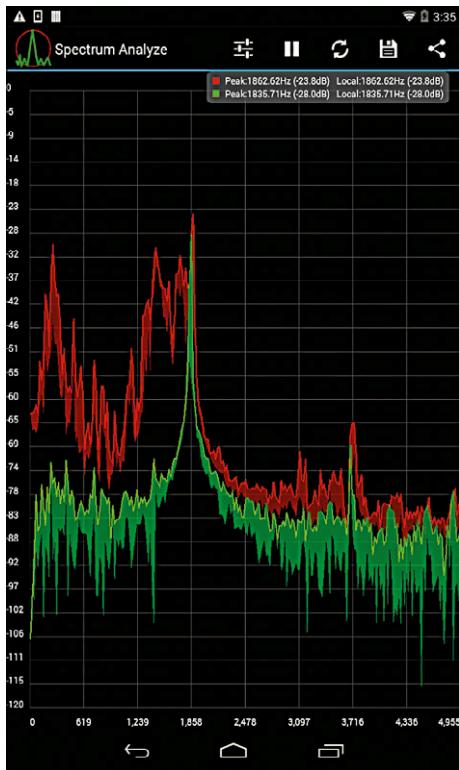
analyseur de spectre, générateur de fonctions, indicateur de force de champ, l'ordiphone peut tout faire



une liaison analogique par câble, il y a par exemple l'analyseur de spectre de [Raspberrywood](#) [6]. Cette appli présente l'analyse spectrale en temps réel à un taux d'échantillonage

de 44,1 kHz, pour peu que le téléphone le permette. Il y a une fonction de mémorisation du maximum ; le taux d'échantillonage et le nombre d'échantillons FFT sont réglables.

Pour toutes ces applis, il faut aussi retenir que les valeurs mesurées sont peu



fiables sans un étalonnage approprié et que souvent la dynamique du microphone subit une limitation interne.

La sortie pour écouteur se prête bien à la production de signaux de test dans la gamme audio. L'une des applis les plus étoffées dans ce domaine est le générateur de fonctions de [Keuwsoft](#) [7]. On y trouve pratiquement tout, autant que sur un vrai générateur de fonctions et cela se voit à l'écran. Deux signaux de sortie réglables séparément, le balayage, les salves, les bruits blanc et rose, différentes sortes de modulation, tout y est. Le seul inconvénient réside dans la limitation de fréquence d'échantillonnage maximale à 44,1 kHz, à cause du téléphone ou de la tablette.

Autres capteurs

Il est encore plus intéressant de se servir des autres capteurs inclus dans le téléphone. Ainsi, le détecteur [Ultimate EMF de MRE Programming](#) [8] peut mesurer les champs magnétiques. Cette appli indique la force du champ magnétique H (en A/m) et la densité du flux B (au choix, en Tesla ou en Gauss).

Une appli similaire, mais dans un tout autre but, est le [Metal Detector](#) de [Smart Tools](#) [9]. Cette appli se base sur le fait que le champ magnétique est influencé par la présence de métal à proximité. À

l'écran, on voit la mesure de la densité de flux ainsi qu'un graphe de l'intensité en fonction du temps. Selon les concepteurs, cette appli permet de détecter les câbles et les tuyaux métalliques dans les murs. Le [WiFi Radiation Meter](#) de [Yannisa-sael](#) [10] détecte les réseaux Wi-Fi aux alentours du téléphone et donne la force du champ de chaque réseau. Difficile de vérifier l'exactitude des mesures, mais on peut se faire une bonne idée de la quantité de rayonnement électromagnétique émise par tous ces réseaux dans l'environnement.

Pour finir, encore une belle appli à expérimenter avec le Bluetooth. Il y faut un peu d'électronique extérieure, mais très simple et tout est à code source ouvert. Avec [Bluetooth Electronics](#) de [Keuwlsoft](#) [11], vous pouvez télécommander des circuits en Bluetooth. L'appli contient dix projets d'exemple pour Arduino, parmi lesquels on utilise un module HC05 ou HC06 pour la liaison Bluetooth. Et vous pouvez configurer vous-même les panneaux de commande. ▶

(160226 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] https://play.google.com/store/apps/details?id=de.waldau_webdesign.app.luxmeter
- [2] <https://play.google.com/store/apps/details?id=crunchybytebox.lightmeter>
- [3] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bti.lightMeter>
- [4] <https://play.google.com/store/apps/details?id=pl.netigen.newsoundmeter>
- [5] <https://play.google.com/store/apps/details?id=bz.bsb.decibel>
- [6] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.raspw.SpectrumAnalyze>
- [7] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.functiongenerator>
- [8] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mreprogramming.ultimateemfdetector>
- [9] <https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.metal>
- [10] <https://play.google.com/store/apps/details?id=gr.ic3man.wifiradiation>
- [11] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.keuwl.arduino bluetooth>

SmartScope Maker Kit

plateforme de développement FPGA ouverte

Riemer Grootjans, LabNation (Belgique)

Le SmartScope n'est pas seulement un excellent oscilloscope USB utilisable avec un ordiphone, une tablette ou un ordinateur, c'est aussi une formidable carte de développement FPGA. Ajoutez quelques connecteurs à la carte et vous voilà prêt à expérimenter, aidé par un logiciel facile à utiliser. Elektor propose un *Maker Kit* avec un Smartscope préconfiguré, deux programmateurs et tous les câbles nécessaires.

LabNation a récemment publié les sources de sa pile logicielle et présenté son SmartScope comme une plateforme de prototypage idéale pour les FPGA. Grâce à l'accès aux fichiers VHDL de la plateforme, il devient très facile de compiler et charger votre propre code dans le FPGA du SmartScope et d'utiliser son pont USB pour le commander depuis votre PC, tablette ou téléphone.

En partenariat avec LabNation, Elektor a créé le *SmartScope Maker Kit* : une version exclusive du SmartScope avec les connecteurs montés, deux programmateurs et plusieurs câbles de connexion. Ce kit en édition limitée est disponible à prix spécial dans notre boutique en ligne.

Pour qui est ce kit ?

Pour les amateurs avec une expérience des kits de développement basés sur des processeurs qui souhaitent mettre un pied dans le développement FPGA. Il existe beaucoup de didacticiels sur le web pour aider à écrire son premier module VHDL (il y en a un dans cet article). Mais, il faut un FPGA dans lequel charger ses créations. C'est là que le SmartScope Maker Kit intervient : il contient un FPGA ainsi que les programmateurs requis pour y charger vos programmes.

En outre, la plateforme ouverte SmartScope permet de démarrer avec une chaîne de communication complète : du FPGA à l'appli sur tablette/PC, via USB. Vous pourrez ajuster les paramètres de votre module VHDL en temps réel.

Pour les ingénieurs en électronique expérimentés qui savent bien que la commande de registres dans les modules VHDL est très utile et apprécieront la facilité d'intégration de cette liaison USB. De plus, il est possible d'automatiser l'accès aux registres avec la bibliothèque PC à code source ouvert ; le code de l'application sera un point de départ. Enfin, comme l'accès à cette banque de registres a été implémenté sous forme d'un périphérique I²C, le projet VHDL pourra facilement être porté sur d'autres cartes.



Pourquoi devrais-je être intéressé par le développement FPGA ?

Les kits à base de processeurs permettent de commander la plupart des périphériques simples : capteurs I²C, moteurs à c.c. ou petits afficheurs à cristaux liquides. Cependant, pour commander des périphériques plus gourmands en bande passante, tels que les capteurs RVB, CA/N ou afficheurs full-HD, il faut plus pour s'y interfaçer. C'est typiquement la tâche d'un FPGA : servir de logique intermédiaire entre diverses interfaces à haute vitesse. Toutes les broches d'E/S d'un FPGA sont 100% configurables : c'est vous qui programmez, en VHDL, leur comportement.

Vous pouvez par ex. relier la sortie d'un capteur d'image aux connecteurs du SmartScope, y lire une image de 5 Mpx à 48 Mo/s, et envoyer le résultat par USB. Comme la liaison USB est plus lente, il faudra certainement ajouter un petit tampon FIFO, à l'intérieur du FPGA peut-être, ou bien utiliser la RAM du SmartScope, bien plus vaste. Félicitations, vous venez de créer une webcam à 5 Mpx !

Avantages de la plateforme ouverte SmartScope

Il existe tout un tas de kits de développement FPGA, mais la plateforme ouverte SmartScope offre un certain nombre d'avantages :

- Démarrage avec une chaîne USB complète qui fournit, dans le FPGA, une banque de registres que l'on commande depuis une appli sur téléphone. Les modules VHDL personnalisés ont un accès total à ces registres.
- Le pont USB servira pour charger le projet VHDL sur le

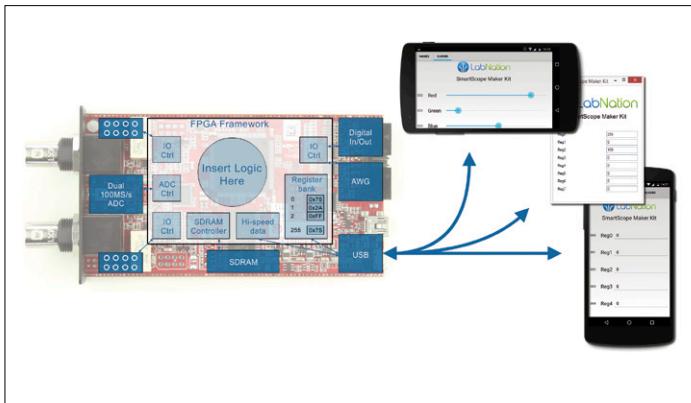


Figure 1. Architecture de la plateforme FPGA ouverte du SmartScope.

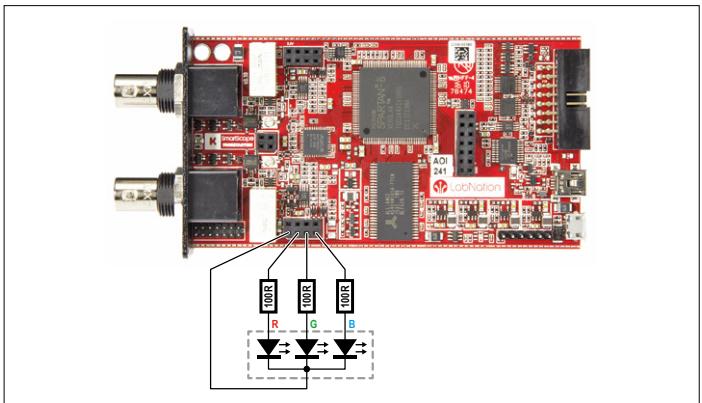


Figure 2. Connexion de la LED RVB au connecteur AUX du SmartScope.

FPGA ; pas besoin de câbles supplémentaires.

- L'application SmartScope Maker Kit, compatible avec Win/Lin/OSX/Android/iOS, permet de commander les registres sans une ligne de code.
- Alimentation du circuit à travers le SmartScope depuis le téléphone/la tablette !
- Livré avec des pilotes et une pile logicielle éprouvée compatible avec tous les OS ; jamais vous n'aurez pu démarer si facilement.
- Il suffit de créer les modules VHDL pour les commander depuis C#, MatLab, LabView ou autre.
- Le module VHDL possède un accès direct à tout le matériel contenu dans le SmartScope, un puissant étage à double CA/N, une RAM et une liaison USB. Les circuits de commande VHDL pour ces périphériques sont déjà présents, nul besoin de passer du temps à les réécrire.
- Entièrement gratuit si vous possédez déjà un oscilloscope SmartScope. Vous ne risquez pas d'écraser le micrologiciel d'origine du SmartScope. Ouvrez le SmartScope si vous

le souhaitez, mais ce n'est pas obligatoire ; vous pourrez aussi programmer le FPGA via la liaison USB.

But de cet article

La suite de cet article vous aidera à démarrer avec votre plate-forme ouverte SmartScope ; il ne s'agit pas d'un cours sur les FPGA ou le VHDL. Mais, afin de ne pas perdre les débutants en FPGA, cet article utilise le plus simple des périphériques à commander : une LED RVB (**fig. 2**).

Pour des exemples plus élaborés qui utilisent les autres composants de la carte SmartScope, voir la page Maker Kit du site LabNation [1].

Tour d'horizon de l'architecture

Le cœur de la plateforme SmartScope (**fig. 1**) est un FPGA Xilinx Spartan 6. Chargez-y votre projet pour lire/écrire les E/S, commander l'analyseur logique du SmartScope, utiliser le générateur de signaux arbitraires ou encore le CA/N à deux voies et la RAM. Tous ces composants ont été rendus directement uti-

SmartScope Maker Kit

Afin de protéger le FPGA d'un SmartScope conventionnel, le port AUX comporte des broches qui sont soit des entrées (ports d'analyseur logique), soit des sorties (ports de générateur numérique). Cependant, certaines applications (maître I²C par ex.) requièrent un accès bidirectionnel.

Elektor propose maintenant le **SmartScope Maker Kit**, qui contient une **version spéciale du SmartScope**. Dans cette version, tous les connecteurs internes ont été montés et donnent accès (lecture/écriture) à plus de broches du FPGA. Les connecteurs sont au pas de 2,54 mm et il est facile de les relier à une plaque d'essai. Un autre connecteur donne accès aux deux entrées analogiques : le SmartScope peut numériser des tensions depuis votre plaque d'essai sans qu'il ne faille utiliser des câbles de mesure.

De plus, le Maker Kit est livré avec un **programmateur JTAG** que vous pourrez relier directement au FPGA. Le programmateur JTAG peut être utilisé pour charger vos micrologiciels dans le FPGA et exploiter l'outil ChipScope de Xilinx. Avec ChipScope, vous pouvez surveiller en temps réel le comportement de tous les signaux à l'intérieur du FPGA ; c'est



un analyseur logique à l'intérieur du FPGA. Cette supervision facilite la mise au point, cruciale pour les projets les plus complexes. Le programmateur JTAG peut également être utilisé avec d'autres puces et cartes de développement Xilinx. Enfin, le Maker Kit est livré avec un **programmateur PICKIT3** pour le contrôleur USB, ce qui permet d'expérimenter avec le contrôleur USB de la carte.

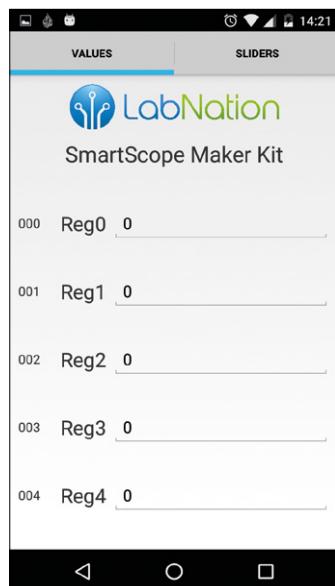


Figure 3. L'appli *SmartScope Maker Kit* (version Android ici) permet de commander les registres du FPGA.



Figure 4. L'application sous Windows.

Linux/Windows ». Une fois le (long) téléchargement terminé, extrayez le tout dans un dossier temporaire (peut-être avec un outil comme 7zip [2]) et installez ISE en exécutant *xsetup.exe* (Windows). Lors du processus d'installation, sélectionnez l'édition « *ISE WebPack* », cela vous permet d'obtenir une licence gratuite un peu après.

L'installation terminée, il faut demander une licence. Pour cela, sélectionnez *Get Free WebPack license* dans la fenêtre *License Manager* ; vous êtes dirigé vers le site de Xilinx. Dans la liste *Certificate Based Licenses*, choisissez *ISE WebPack License* puis cliquez sur le bouton *Generate*. Sauvegardez le fichier *Xilinx.lic* reçu par courriel sur votre ordinateur. Enfin, de retour dans le *License Manager*, ouvrez l'onglet *Manage Licenses*, cliquez sur le bouton *Load License* et sélectionnez le fichier reçu.

Télécharger les sources



Le *SmartScope Maker Kit* contient une version spéciale du SmartScope avec les connecteurs montés, un programmeur JTAG et un programmeur PIC

lisables depuis le fichier VHDL principal : il ne manque plus que votre module.

De l'autre côté se trouve la liaison USB, utile pour charger votre configuration pour le FPGA et envoyer des données à un PC/une tablette. De plus, votre module VHDL a accès à une banque de registres à 8 bits. La valeur de ces registres peut être lue ou modifiée directement depuis un PC/une tablette, avec l'appli *SmartScope Maker Kit* précompilée (**fig. 3 et 4**). Pas même besoin d'écrire une seule ligne de code !

Il est même possible de personnaliser le nom des registres dans l'appli *Maker Kit* en éditant un fichier YAML très lisible ; le nouveau nom sera visible au démarrage suivant de l'appli.

Préparation

Installer Xilinx ISE

Pour compiler les fichiers VHDL pour le Spartan 6 du SmartScope, il faut commencer par installer le *WebPack ISE* de Xilinx. Cherchez sur Google ou utilisez le lien [1]. Faites attention à bien télécharger le « *Full Installer for*

Lors de l'installation d'ISE, jetez déjà un œil aux fichiers source du SmartScope sur la page github de LabNation [3]. Cliquez sur le bouton *Clone or download* pour télécharger les fichiers sur votre PC, soit en clonant le dépôt, soit en téléchargeant le tout (fichier zip).

Examen du canevas VHDL

Une fois le tout téléchargé, rendez-vous dans le dossier *hdl* qui contient tous les fichiers VHDL. Cherchez le fichier *SmartScopeMakerKit.vhd* ; c'est le fichier d'ensemble dans lequel vous ajouterez votre module. Avant cela, examinons ses différentes parties :

Déclarations des ports

C'est une liste des noms logiques de chacune des broches du FPGA du SmartScope, ainsi qu'une courte description de leur fonction. En voici un résumé, vous trouverez plus d'info dans le schéma du SmartScope [3].

- Section générale : horloge issue de l'oscillateur et broches de commande I²C depuis le contrôleur USB
- Port RAM : signaux pour la puce RAM
- Port PIC : signaux de données et de disponibilité pour le contrôleur USB
- Port ADC : signaux d'interface pour le double CA/N
- Voie analogique A : tous les signaux pour configurer la voie A (division/gain/couplage)
- Voie analogique B : tous les signaux pour configurer la voie B (division/gain/couplage)
- Générateur de formes d'ondes arbitraires / analyseur logique / sortie numérique / circuit de déclenchement
- Divers : E/S supplémentaires telles que les signaux des connecteurs internes et les deux signaux du port micro-USB

Définitions des signaux

Il s'agit de signaux que vous utiliserez dans votre module VHDL : horloges, banque de registres et interface de données avec le contrôleur USB. La banque de registres (variable *sig_regs_user*) contient 256 octets utilisables dans votre module.

PLL

Elle offre quatre horloges à différentes fréquences (12 MHz, 24 MHz, 48 MHz, 100 MHz) utilisables dans votre module.

Remise à zéro

Délivre une courte impulsion à la mise sous tension, essentielle à l'initialisation de votre logique.

Esclave I²C

La communication entre le contrôleur USB et la banque de registres du FPGA se fait par une interface I²C standard. Le FPGA devient donc un périphérique I²C ; cela facilite le portage du code vers une autre plateforme si nécessaire.

Ce composant gère la communication I²C vers le FPGA depuis le PC/la tablette via l'USB et permet au contrôleur USB de lire ou écrire dans la banque de registres ([sig_regs_user](#)).

Commande pour ROM, RAM, voies analogiques

Pour cet exemple simple, tous ces signaux auront des valeurs fixes.

Contrôleur CA/N

Il faut configurer le CA/N avant utilisation. Ce module fait office d'interface entre le contrôleur I²C USB et le CA/N, afin que le CA/N puisse être configuré depuis un PC/une tablette. Référez-vous à l'exemple *ADC Controller* de la page Maker Kit [1].

Contrôleur PIC USB

Ce dernier module fournit un chemin à haute vitesse pour les données entre votre FPGA et votre PC/tablette. Référez-vous à l'exemple *USB transfer* de la page Maker Kit [1].

Installation de l'appli Maker Kit

L'appli *Maker Kit* fournie précompilée pour toutes les plateformes est normalement facile à installer. Sur les périphériques Android, téléchargez l'appli depuis Google Play ; pour tous les autres systèmes, rendez-vous sur la page [1] qui contient aussi un lien vers les fichiers source.

Chargez votre premier projet FPGA sur le SmartScope

Création du micrologiciel du FPGA

Dans cette partie, vous ouvrirez le projet ISE d'exemple et créerez le micrologiciel pour le FPGA (*bitstream*).

Remarque : sur Windows 8 et ultérieur, ISE présente un bug. L'outil se plante lorsque vous essayez de naviguer dans le système de fichiers. Pour résoudre ce problème, cliquez avec le bouton droit sur l'icône ISE sur le bureau, sélectionnez Pro-

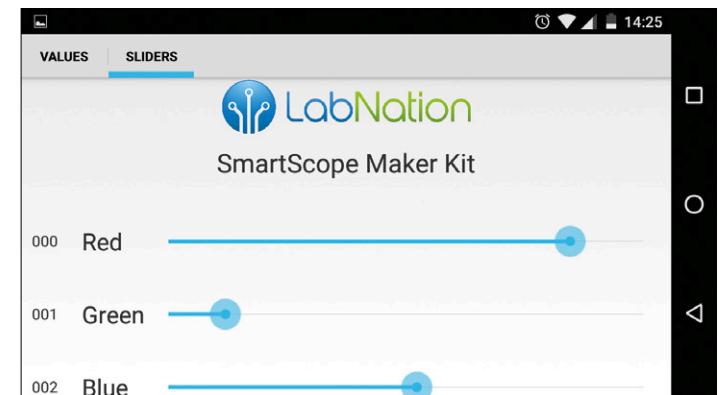


Figure 5. Commande des trois couleurs de la LED RVB dans l'appli *Maker Kit*.

perties et changez settings64.bat pour settings32.bat et \ISE\bin\nt64\ise.exe en \ISE\bin\nt\ise.exe.

Depuis le dossier du dépôt FPGA, ouvrez *SmartScopeMaker-Kit.xise* avec ISE.

Cliquez sur *Process → Implement Top Level Module*. Comme c'est la première fois que vous compilez ce projet, il faudra peut-être confirmer la production des fichiers .xco.

Ajouter votre module

Toujours avec nous ? Si oui, votre projet devrait se compiler, même s'il ne fait pas grand-chose. Pour changer cela, ajoutons un petit module qui produira trois signaux MLI pour commander l'intensité des couleurs de la LED RVB.

Nous créons un compteur qui s'incrémentera de 0 à 255, et qui compare sa valeur à trois octets de la banque de registres pour produire les signaux MLI. Cela permet de changer le rapport cyclique de chacun des signaux à l'exécution depuis le PC/la tablette.

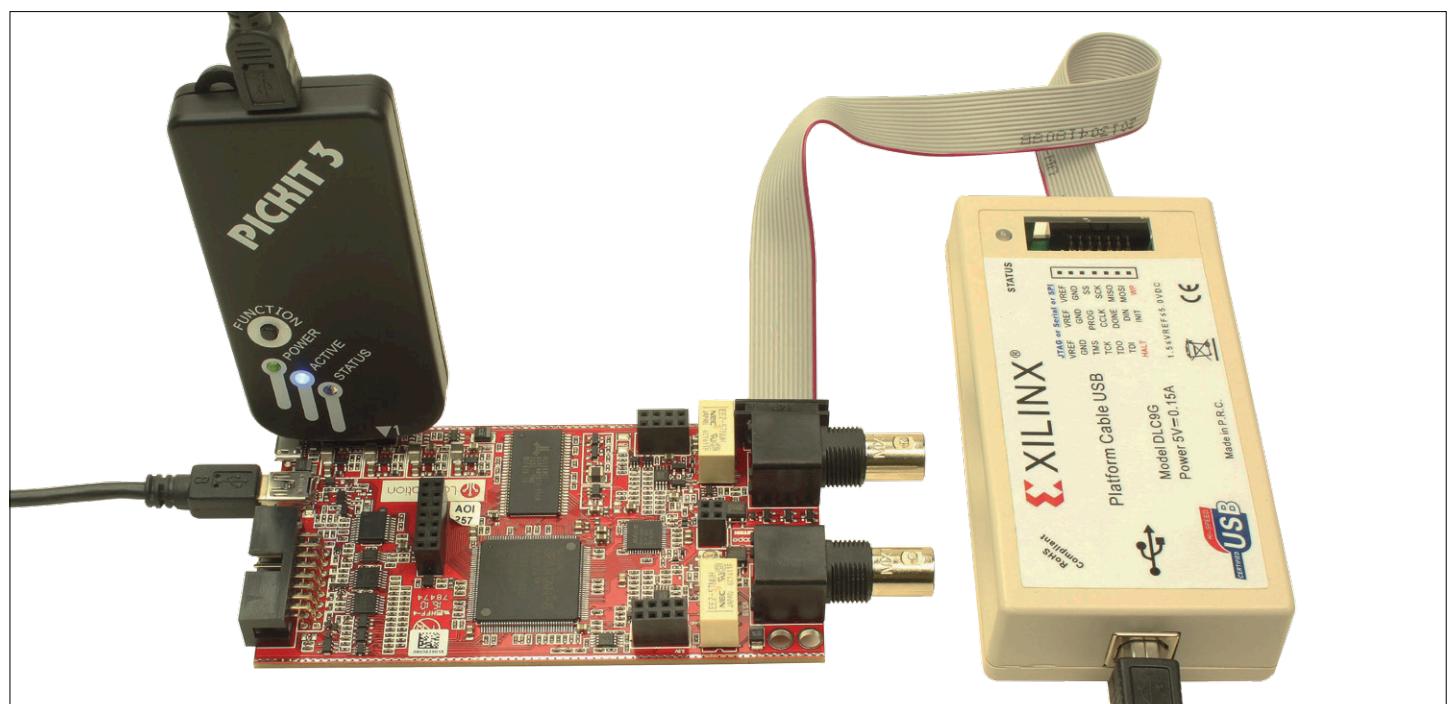


Figure 6. Le programmeur JTAG et le programmeur PICKIT3 reliés à la carte SmartScope.

Ouvrez le fichier *SmartScopeMakerKit.vhd* avec un double-clic en haut à gauche. Ajoutez ensuite la ligne suivante au bloc de définition des signaux ; cela crée une valeur à 8 bits :

```
signal sig_counter : unsigned(7 downto 0);
```

Ensuite, pour pouvoir assigner une valeur au port *out_digital* (sorties numériques du connecteur AUX du SmartScope), localisez et effacez ou commentez la ligne suivante :

```
out_digital      <= (others => '0');
```

Enfin, ajoutez le **process** du **listage 1** à l'implémentation de votre architecture (c.-à-d. avant le dernier *end* du document). Ce module incrémente la valeur de *sig_counter* à chaque front montant de *sig_clk_input*, une horloge à 100 MHz produite par la PLL. Comme cette variable ne possède que 8 bits, elle déborde automatiquement après 255 et revient à 0. Simultanément, sa valeur est comparée à celle de trois registres de la banque. Le résultat de la comparaison produit un signal à l'état haut ou bas pour trois sorties numériques du connecteur AUX du SmartScope.

Chargement et test

Une fois le code prêt, cliquez sur *Process* → *Implement Top Module* pour compiler le projet. Enfin, cliquez, en bas à gauche de l'écran, sur *Generate Programming File* pour produire le micrologiciel à charger dans le FPGA.

Listage 1.

```
process(sig_clk_input, sig_reset, sig_regs_user)
begin
    if (sig_reset = '1') then
        sig_counter <= (others => '0');
        out_digital <= "0000";
    elsif rising_edge(sig_clk_input) then
        sig_counter <= sig_counter + 1;

        if (sig_counter > sig_regs_user(0)) then
            out_digital(0) <= '0';
        else
            out_digital(0) <= '1';
        end if;
        if (sig_counter > sig_regs_user(1)) then
            out_digital(1) <= '0';
        else

            out_digital(1) <= '1';
        end if;
        if (sig_counter > sig_regs_user(2)) then
            out_digital(2) <= '0';
        else
            out_digital(2) <= '1';
        end if;
    end if;
end process;
```

Le chargement peut se faire, avec un contrôle précis, depuis les programmes Xilinx et via le programmeur JTAG inclus dans le SmartScope Maker Kit. Pour ce faire, il suffit de relier le programmeur JTAG au SmartScope, et de cliquer sur *Configure Target Device* en bas à gauche dans ISE.

Vous pouvez également charger le *bitstream* avec l'application Maker Kit. Ouvrez le dossier contenant votre projet ISE et localisez le fichier *smartscopemakerkit.bin* (faites attention à bien choisir le fichier .bin et pas .bit !). Copiez-le dans le répertoire de travail de l'appli Maker Kit, renommez-le en *SmartScopeCustom.bin*, lancez l'application Maker Kit et dès que le SmartScope sera détecté, le micrologiciel personnalisé y sera chargé !

Remarque : pour les PC, le répertoire de travail est le répertoire où se trouve le fichier exécutable. Sur Android, c'est le dossier /sdcard/LabNation/MakerSpecial/.

Personnaliser les noms des registres de l'appli Maker Kit

Par défaut, l'appli Maker Kit affiche une liste des 256 registres, simplement baptisés Reg0 à Reg255. Vous pouvez facilement les renommer en modifiant le fichier *register_map.yml* dans le répertoire de travail de l'appli Maker Kit. Pour notre exemple, changeons quelques noms :

- **I2CAddress:** 22
- Name:** userBank
- Registers:**
- Rouge
- Vert
- Bleu

Dès que vous redémarrerez l'appli Maker Kit, vous ne verrez que trois registres avec les noms que nous venons de choisir.

En résumé

Félicitations ! Vous venez de créer un module VHDL, certes élémentaire, mais personnalisé. Mieux encore, vous pouvez le commander depuis n'importe quel PC, tablette ou même téléphone doté d'un connecteur USB.

La prochaine étape est sans doute de jeter un œil à des exemples un peu plus complexes. Vous trouverez sur [1] les exemples suivants :

- ADC to LED
- USB data link

Amusez-vous bien avec votre kit de développement FPGA SmartScope ! ↶

(160166 – version française : Kévin Petit)

Liens

- [1] www.lab-nation.com/makerkit
- [2] www.7-zip.org/
- [3] <https://github.com/labnation/fpga>
- [4] <http://wiki.lab-nation.com/index.php/Sources>

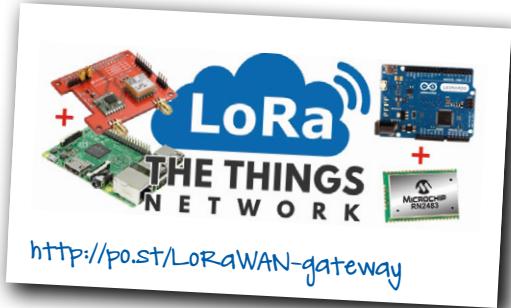
bruits de labo...



Petits et grands projets dans tous les sens du terme se côtoient dans le labo d'Elektor : de la petite plaque d'essai à la télémétrie sur très grandes distances.

Répéteur LoRa pour télémétrie à grande distance

Les centrales électriques au charbon se classent dans les premiers rangs des plus gros pollueurs. En Inde, le rôle du *National Green Tribunal (NGT)* est essentiel dans la surveillance de ces sources de pollution à très grande échelle. Entre autres fonctions, il est chargé d'effectuer des mesures à (grande) distance. Pour cette forme de méga-télémétrie, il fait appel à un répéteur LoRa.



Plaques d'essais améliorées

Des plaques à trous peuvent germer des idées nouvelles, parfois géniales. On les apprécie pour leur facilité d'utilisation et leur capacité à s'adapter à toutes sortes de situations ; on les déteste pour leur exigüité et les drôles de tours que nous jouent leurs mauvais contacts, notamment sur les lignes d'alimentation. Le concept initial des *T-boards* d'Elektor était de favoriser l'expérimentation avec les microcontrôleurs en réduisant au minimum l'encombrement de la plaque d'essai. Ce principe peut être étendu à d'autres fonctions, comme la connexion des lignes d'alimentation ou des sondes de mesure. C'est précisément toute l'ambition de ce projet.

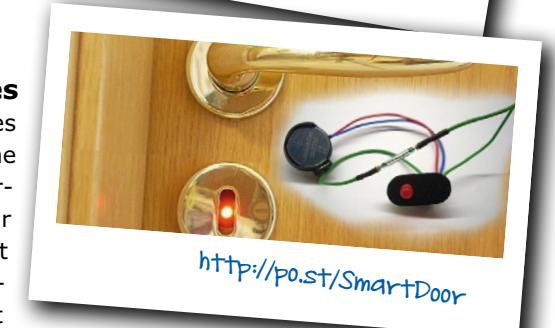
Instrument à vent électronique

Un instrument à vent est un truc dans lequel on souffle. En soufflant dans REMI, pour *Rudimentary Electronic Musical Instrument*, vous pourrez commander directement un synthétiseur de musique à commande MIDI. En fait, vous n'aurez même pas besoin de souffler : pour que REMI réagisse, il suffit de poser les doigts sur ses contacts disposés comme ceux d'une flûte. REMI n'est pour l'instant qu'un contrôleur MIDI, pas encore un instrument de musique, mais l'adjonction d'un véritable synthétiseur musical est prévue. Un filtre à commande MLI et un étage amplificateur audio sont déjà proposés, avec bien sûr les étages de commande par pression d'air et de commande tactile, le tout construit autour d'un PIC32.



Portes (qui ont l'air) intelligentes

Le créateur de ce projet vit dans une maison dont les occupants laissent les portes entrouvertes, une porte fermée signifiant que la pièce est occupée par quelqu'un ne souhaitant pas être dérangé. Comme il peut être difficile de distinguer une porte fermée d'une porte entrebâillée lorsqu'on s'en trouve à une certaine distance, l'auteur a conçu un système élégant pour distinguer l'une de l'autre. Ainsi est né le projet *Smart Door*. Le système est simple : un aimant et un relais à lames souples forment un détecteur classique de porte ouverte/fermée. Un microcontrôleur lit l'état du détecteur et fait clignoter une LED si la porte est fermée. Un microcontrôleur n'est bien sûr pas vraiment nécessaire pour ça, mais il permet d'une part d'avoir un circuit très simple, d'autre part d'avoir un circuit suffisamment petit pour qu'il puisse être dissimulé dans une porte normale sans altérer celle-ci.



(160184 – version française : Hervé Moreau)

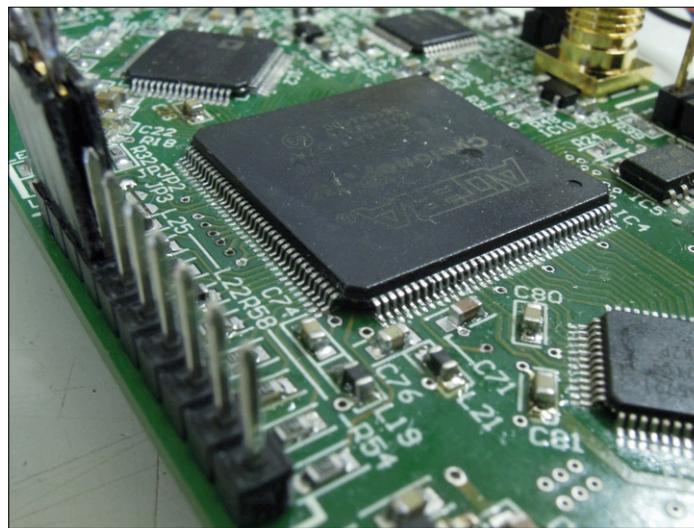
souder au pas de 0,5 mm

144 broches ni plus ni moins

Tradition oblige, chez Elektor, la construction des prototypes se fait... à la main et cela se passe presque toujours bien. Tomber les lunettes et poser l'œil sur la platine (l'un des rares avantages de la myopie). Mais cela ne suffit pas toujours.

Thijs Beckers (Elektor)

Au « Labo », nous œuvrons à une nouvelle carte à FPGA (**Field Programmable Gate Array**) avec un EP4CE10 Cyclone IV d'Altera, beau « carreau » intégré à 144 broches au pas de 0,5 mm. Des E/S à ne plus quoi savoir en faire, mais le soudage du FPGA demande du doigté. Le placement précis de la puce sur la carte exige une extrême concentration et des calmants (contre le tremblement des mains). Heureusement, le laboratoire dispose d'un local au sous-sol (au calme) qui permet de se concentrer et de construire les prototypes en paix, sans être dérangé par les bavardages et conversations téléphoniques des collègues.

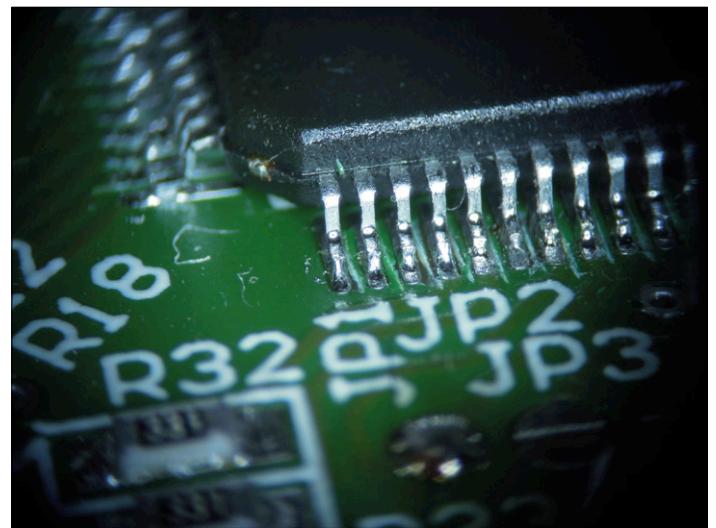


Quoi qu'il en soit, après une petite séance de bronzage dans le four à souder et un contrôle visuel positif (sans lunettes), les deux prototypes ne voulaient pas démarrer à cause de courts-circuits du côté de l'alimentation et autres misères. Comme le labo d'Elektor ne possède pas d'équipement à rayons X coûteux pour l'examen de telles cartes et que nous tenions à disposer d'un prototype fonctionnel, il fallait trouver une autre solution.

L'un des concepteurs se souvint alors qu'il avait, dans sa collection personnelle d'outils pour l'électronique, un couteau à lame fine, pointue et longue ; il devrait permettre d'éliminer les courts-circuits entre les broches... C'est du moins ce que nous pensions. Une minuscule bille de soudure (le fil à sou-

der est constitué de petites billes d'étain, jetez donc un coup d'œil au microscope) blottie derrière une broche, il n'en faut pas plus pour créer un court-circuit ; même dans le cas d'un FPGA de « seulement » 144 broches, vérifier et nettoyer toutes les connexions prend un « certain » temps.

En tant que rédacteur, j'aime bien me tenir au courant de ce qui se passe au labo ; il m'arrive d'y faire un tour, c'est à cette occasion que mes collègues m'ont expliqué leur problème. Avec mon expérience des CMS (les condensateurs 0201 se laissent fort bien souder avec les bons outils !), je propose (d'essayer) de les aider. Armé de mon microscope stéréo, d'une station d'air chaud et d'une seringue de flux, je me mets au travail. Après avoir vu ma « cuisine » durer un certain temps, les concepteurs pensaient que le FPGA avait indéniablement rendu



l'âme, mais la quasi-totalité des courts-circuits des alimentations avait été éliminée, ce que l'on porta à mon crédit. Il restait cependant une résistance têtue de cinq ohms quelque part dans une ligne d'alimentation ; quelques rainures faites avec la mince lame longue dans les deux zones entre les broches encore suspectes l'éliminèrent.

La carte fonctionnait ! FPGA grillée ? Que nenni !

Il ne reste plus qu'à venir à bout du reste du projet... Bientôt vous apprendrez le fin mot de l'histoire. Nous ne doutons pas d'être en mesure de terminer ce projet et de faire en sorte qu'il fonctionne. Patience et longueur de temps... ↗

(160145 - version française : Guy Raedersdorf)

ma mini-radio s'accorde à trois plateformes

Elektor 9/2016, p. 52 (150587)

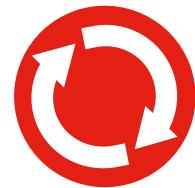
Le logiciel Arduino est prévu pour tourner sur un ATmega328 avec son horloge interne à 8 MHz et non, comme souvent, avec un quartz à 16 MHz. Il n'y a d'ailleurs pas de quartz dans le schéma de la figure 5.

Pour faire fonctionner le logiciel, il faut au préalable loger un chargeur d'amorçage à 8 MHz dans IC1. La méthode est décrite ici : www.arduino.cc/en/Tutorial/ArduinoToBreadboard. De là, faites défiler vers le bas jusqu'à « *Minimal Circuit (Eliminating the External Clock)* », puis suivez les instructions.

Mais nous avons aussi compilé un fichier hexadécimal à programmer directement, sans chargeur d'amorçage, dans IC1. Vous le trouverez, avec le réglage des fusibles, sur : www.elektormagazine.fr/150587

projet 2.0

corrections, mises à jour et courrier des lecteurs



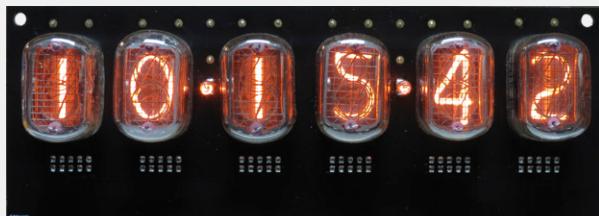
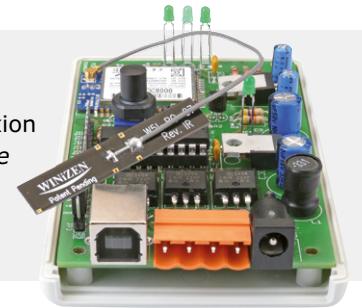
carte Wi-Fi de commande à distance

Elektor 6/2013, p. 22 (120718)

Au bout d'un certain laps de temps, la carte Wi-Fi de commande à distance perd sa connexion avec le réseau WLAN. La solution pour éviter cela consiste à déconnecter le mode *Power Safe* du module WizFi220. La commande AT correspondante est : « AT+WRXPS=0 ».

Hans

Commentaire original : www.elektormagazine.com/labs/elektor-wifi-rgb-ledstrip-120718



nouvelle horloge Nixie pilotée par GPS

Elektor 5/2016, p. 36 (150189)

Certains lecteurs voudraient aussi faire fonctionner leur horloge GPS dans des conditions de réception peu propices. Nous ne l'avons pas essayé, mais l'idée serait d'éloigner le capteur GPS et de le relier par câble à l'horloge.

Il faudrait d'abord dessouder le module de la platine et le monter sur une plaque à trous. On y câblerait alors comme il faut R10, R20 et C2, on connecterait toutes les broches de masse et finalement on ajouterait un condensateur électrolytique réservoir de 10 µF en parallèle sur C2.

Après avoir réalisé toutes les liaisons autour du module comme indiqué sur le schéma, on pourrait acheminer le signal à l'horloge par un câble réseau ordinaire CAT5 ou bien par un câble téléphonique blindé d'une longueur maximale de 10 m. Il est recommandé d'en doter les deux extrémités de noyaux de ferrite, comme sur les câbles USB ou VGA, pour affaiblir les parasites HF. Les signaux Rx et Tx transiteraient sur des paires torsadées et le blindage serait mis à la masse du côté de l'horloge. Si vous le souhaitez, installez un connecteur rond approprié sur l'horloge pour y brancher le câble.

On peut loger le capteur GPS dans un boîtier protégé de la pluie et le monter à l'extérieur, par exemple au bord d'un soupirail de cave.

Remarque : le laboratoire n'a pas eu l'occasion de tester cette solution. Il se pourrait qu'elle occasionne des perturbations dans le voisinage. Si vous la mettez en œuvre, nous serions heureux d'en connaître le résultat.

Ralf Schmiedel, service des lecteurs d'Elektor

Elektor Uno R4

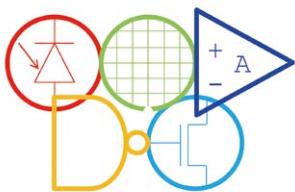
Elektor 06/2016, p. 40 (150790)

Pour vous faciliter la tâche, nous avons écrit un petit guide (en français) d'installation et de test de la carte Elektor Uno R4. Vous le trouverez à la page du projet : www.elektormagazine.fr/150790



compilées par Robert van der Zwan

Électroniad : le podium !



Le 14 octobre dernier se tenait dans la ville belge de Malines une compétition appelée Électroniad. Dans un esprit olympique, mais sans shorts, vingt équipes de quatre électroniciens se sont affrontées au travers

d'un quiz portant sur de nombreux domaines de l'électronique. Les vainqueurs ont gagné un abonnement gratuit au magazine Elektor. Voici le tiercé gagnant, dans l'ordre et par ailleurs belge à cent pour cent : *Moore or Less, Unity Gain Team et Team ON-gezien.*



Ça vous vaudra sûrement une bière du cru

Cela fait si longtemps que Leon Bemelmans lit Elektor qu'il ne se souvient plus depuis quand il est *elektornicien*. Leon possède une brasserie dans le village de Jabeek qui, pure coïncidence, est comme Elektor situé dans la province hollandaise du Limburg. Leon cherche de l'aide pour améliorer le thermomètre Nixie qu'il a lui-même, comme sa bière, fabriqué. Intéressé(e) ? Contactez Leon via fbemelmans@gmail.com.

READ ONLY MEMORY

Le magazine Elektor et son éditeur sont fiers de leur histoire. Cette rubrique montre pourquoi.

En novembre 2000, Elektor présentait un circuit imprimé en forme de cloche qui « n'attire pas l'attention qu'à Noël ».



Le battant était représenté par 16 LED oscillant en rythme, tandis qu'un circuit intégré, le SAE800, faisait office de gong. L'article recommandait de ne pas surcadrer l'oscillateur afin que le battant reste en phase avec le « délicat tintement de clochette en verre » du circuit. Il était également conseillé de régler le SAE800 sur un seul ton afin qu'il n'évoque pas « l'appel profond d'un clocher d'église ».

INDISCRÉTIONS • Diane Stalder aide le labo d'Elektor à moderniser son infrastructure informatique vaste à Aix-la-Chapelle, Allemagne • Margriet Debeij souhaite agrandir son équipe Clients ; si vous êtes accueille tout nouveau membre, y compris des entreprises des secteurs matériel et logiciel (ou des agences travaille sur une nouvelle formule d'Elektor Business Magazine



projet EiE: embarqués dans

Connaissez-vous le projet *Embedded-in-Embedded* (EiE) ? Initié par le Canadien Jason Long avec l'aide de nombreux collègues et en partenariat avec Elektor, ce programme « extrascolaire » est destiné aux établissements universitaires.

Le projet EiE fournit des systèmes embarqués qui permettent aux élèves de faire le pont entre leurs cours théoriques et les applications industrielles de l'embarqué. L'accès aux cours est gratuit pour les étudiants, les établissements s'engagent uniquement à mettre une salle d'informatique à disposition des élèves. Les entreprises et partenaires membres de l'EiE (y compris Elektor) se chargent du financement, soit 15.000 \$ annuels par établissement.

L'initiative EiE rencontre un large succès. Plus d'une vingtaine d'universités d'Amérique du Nord y participent pour leurs licences et masters. Le nombre d'établissements canadiens et américains ne cesse d'ailleurs d'augmenter depuis que l'EiE a revu le contenu de son programme afin de réduire encore plus le fossé existant entre théorie et pratique. Selon Jason, « ce qui différencie EiE des autres programmes est qu'il s'agit d'un projet de long terme axé sur l'engagement de l'individu, qui ne se focalise pas seulement sur les compétences techniques, mais aussi sur la communication et la capacité à diriger un projet. »

En juin, Jason a donné un cours de 80 h devant 20 étudiants de l'université Nanjing Tech de la ville chinoise de Nanjing. Dixit Jason : « Les retours ont été excellents. Nous avons programmé un autre cours avec l'université Nanjing Tech, et nous nous appuierons sur cette expérience pour inciter d'autres universités chinoises à adopter notre programme. »

Et en Europe ? Des initiatives seront sans doute lancées ici ou là, mais cela ne veut pas dire que le contenu du programme EiE tel qu'il a été écrit et revu pour l'Amérique du Nord et la Chine soit ou puisse être aussi utile en Europe. C'est là qu'inter-



les Chinois l'embarqué



vient Elektor. « Le cours approfondi que je donne en Chine correspond au contenu du ou des livres « EiE » que j'ai promis à Elektor. » Affaire à suivre !

embeddedinembedded.com

- Alex Politis est en quête d'un siège social neuf et plus intéressé(e) ou connaissez quelqu'un... • Raoul Moreau de marketing)
- Le rédacteur en chef Jan Buiting

PROFIL D'EXPERT

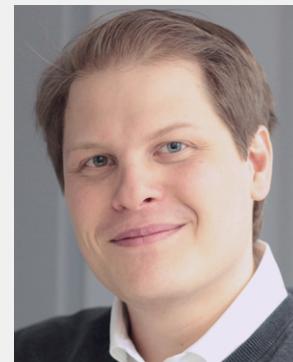
Elektor est au cœur d'un réseau de plus de 1 000 experts et d'auteurs engagés dans la publication de livres, d'articles, de DVD, de webinaires et autres événements. Coup de projecteur !

Nom : **Benedikt Sauter**

Âge : 33 ans

Formation : **Master en informatique et ingénieur en Technologie de l'information, Université des sciences appliquées d'Augsburg**

Intérêts professionnels : **GNU/Linux, marier matériel et logiciel**



Qui êtes-vous, Benedikt Sauter ?

Après mes études, j'ai choisi la voie de l'indépendance en fondant la société *embedded projects*, ici, à Augsburg, en Allemagne. J'aime être à la croisée des chemins entre matériel et logiciel. J'en veux pour preuve deux de nos principaux produits. Le premier est un progiciel de gestion intégré fournissant une solution complète aux PME. L'autre est un boîtier USB permettant de flasher un micrologiciel depuis le navigateur d'un ordinateur. Cela dit, nous ne créons pas seulement des produits, nous organisons aussi des ateliers, comme celui sur le routage rapide sur CI ou FPGA destiné aux débutants.

Selon vous, quel progrès notable attendre de l'électronique de demain ?

Une réduction de la consommation énergétique, en particulier des petits appareils. C'est de ce côté que viendront les progrès les plus importants. Mais n'oublions pas que l'électronique peut aider l'homme en toutes circonstances. Je songe à des dispositifs capables d'aider les personnes âgées à se mettre au lit, ou encore à des incarnations d'intelligence artificielle pouvant accompagner des personnes parfois seules.

Qu'est-ce qui différencie l'Allemagne des États-Unis en matière d'innovation électronique ?

À mes yeux la principale différence vient de ce que les Allemands se montrent assez sceptiques dès qu'ils rencontrent quelque chose de nouveau. Ils n'achètent que ce qui est éprouvé. Aux États-Unis, la nouveauté est acceptée beaucoup plus rapidement.

Quel est le projet dont vous êtes le plus fier, et pourquoi ?

Notre société est composée de fans de GNU/Linux. Contribuer à cette communauté est très gratifiant. La coopération y est ce que devrait être toute coopération : ouverte, honnête et, par conséquent, très efficace. Nous travaillons actuellement sur une carte embarquant Linux.

Qu'espérez-vous accomplir ces cinq prochaines années ?

J'ai 33 ans, je fais donc partie de la génération qui va reprendre le flambeau de l'ancienne génération et des responsabilités qui lui incombaient. Les vingt prochaines années s'annoncent passionnantes : comment initier des projets qui nous aideront tous ?

Qui sont vos idoles scientifiques ?

À cette question je ne peux que citer ces entreprises bien connues qui ont créé d'immenses ressources de connaissances et d'expériences. Elles sont un exemple pour nous tous.

(160218 – version française : Hervé Moreau)

hexadoku casse-tête pour elektorniciens

Au mois de décembre, les sollicitations sont nombreuses et chronophages : course aux cadeaux, préparation des repas de fête, pot de fin d'année au bureau, week-ends en famille, visites aux proches... Vivement la trêve des confiseurs ! Vous aurez enfin un peu de temps pour remplir la dernière grille d'hexadoku de l'année.

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 **trois** 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 **26 décembre 2016** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

Les gagnants

La solution de la grille du numéro d'octobre est **23976**

Les trois bons Elektor d'une valeur de 50 € vont à :

Fabrice **Neithoffer** (France), Hermann **Pusch** (Allemagne), Anton **Schönauer** (Autriche).

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | | C | 7 | | | A | 5 | | 2 |
| | | | 1 | | F | | | | |
| 2 | 4 | | F | | | C | | 0 | 1 |
| 7 | 1 | B | 6 | 2 | 8 | | 5 | 3 | 4 |
| | 9 | B | | | | | | 7 | F |
| 0 | 2 | 1 | B | A | | D | 7 | 9 | 5 |
| D | 3 | | | 4 | 1 | | | A | C |
| E | | F | 7 | 9 | D | C | 5 | 0 | B |
| 6 | | 3 | 5 | D | 0 | A | 9 | F | E |
| F | 0 | | | | A | 7 | | 3 | 6 |
| A | 8 | F | 1 | 2 | | B | 6 | D | 9 |
| C | 9 | | | | | | | F | 8 |
| 0 | 6 | 8 | A | 4 | 9 | 3 | 2 | E | F |
| 3 | E | | | 8 | | D | | 5 | 9 |
| | | | E | | 4 | | | | |
| 5 | | 2 | 0 | | | F | 4 | | 8 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 7 | 9 | 0 | 4 | 8 | B | 1 | C | 5 | D | 2 | 6 | F | E | 3 |
| B | 3 | 6 | D | 7 | E | 5 | 9 | 4 | F | 0 | A | 2 | C | 8 | 1 |
| 8 | C | E | 1 | F | D | 2 | 3 | 9 | 7 | 6 | B | A | 0 | 4 | 5 |
| F | 2 | 4 | 5 | A | 6 | C | 0 | 3 | E | 8 | 1 | D | B | 9 | 7 |
| C | 9 | 5 | 4 | 0 | F | 8 | 6 | B | 3 | 2 | 7 | 1 | A | D | E |
| 6 | 8 | A | 3 | E | B | D | 4 | 5 | 9 | 1 | F | 7 | 2 | C | 0 |
| D | B | 0 | 2 | 9 | 7 | 1 | C | E | 4 | A | 6 | F | 3 | 5 | 8 |
| E | F | 1 | 7 | 2 | A | 3 | 5 | 8 | 0 | C | D | 4 | 6 | B | 9 |
| 2 | 4 | B | 9 | 3 | 0 | 6 | 7 | A | 8 | 5 | E | C | 1 | F | D |
| 0 | A | 8 | C | 5 | 1 | F | D | 6 | 2 | 4 | 3 | 9 | E | 7 | B |
| 1 | 6 | 3 | F | 8 | 9 | A | E | D | B | 7 | C | 5 | 4 | 0 | 2 |
| 5 | D | 7 | E | C | 2 | 4 | B | F | 1 | 9 | 0 | 3 | 8 | A | 6 |
| 7 | E | D | 6 | B | C | 9 | 2 | 0 | A | 3 | 4 | 8 | 5 | 1 | F |
| 3 | 5 | C | 8 | D | 4 | 0 | F | 1 | 6 | E | 9 | B | 7 | 2 | A |
| 4 | 1 | 2 | B | 6 | 5 | E | A | 7 | D | F | 8 | 0 | 9 | 3 | C |
| 9 | 0 | F | A | 1 | 3 | 7 | 8 | 2 | C | B | 5 | E | D | 6 | 4 |

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.

- Plus de 45 ans d'expérience
- Envoi en 24 heures
- Plus de 65 000 produits



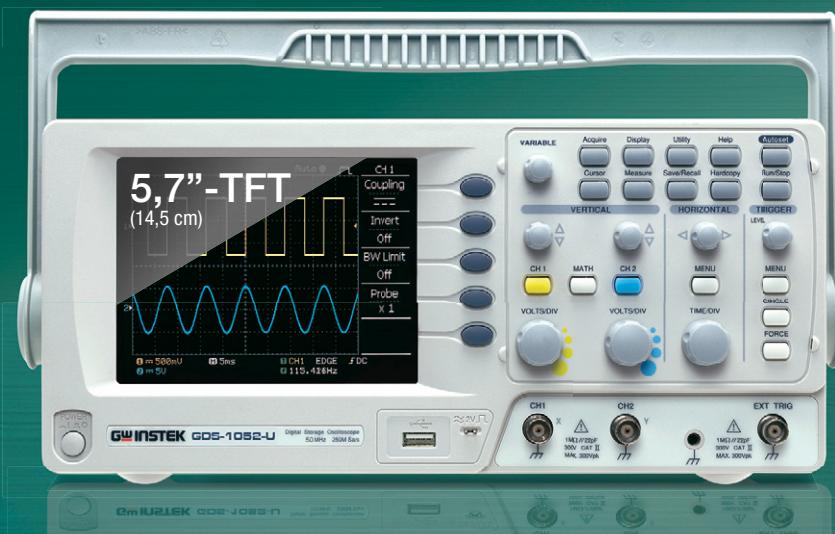
NOUVEAU !

OSCILLOSCOPE À MÉMOIRE NUMÉRIQUE 2 CANAUX

- Largeur de bande 50 MHz
- Taux d'échantillonnage en temps réel 250 MS/s
- Longueur d'enregistrement par canal 4 k
- Sensibilité verticale de 2 mV/div–10 V/div
- Base temps horizontale : 1 ns/div–50 s/div
- Enregistrement/appel des 15 réglages panneau avant et formes de signaux
- Fonction data-logger (acquisition de données)
- 19 fonctions de mesure automatiques
- Prise USB — pour raccorder au PC

GDS-1052-U

251,26



NOUVEAU ! GÉNÉRATEUR DE FONCTION DDS, 0,1 Hz–5 MHz

- Résolution : 0,1 Hz / Précision : ± 20 ppm
- Sinus, rectangle, triangle, bruit et formes de signaux au choix
- Taux d'échantillonnage 20 MS/s, résolution verticale 10 bits et mémoire à points 4k pour formes d'ondes
- Rapport d'échantillonnage réglable 1 %–99 % pour formes d'ondes rectangulaires
- Ecran LC 3,5" (8,9 cm) intégré pour amplitude, offset DC
- Interface appareil USB pour télécommande et traitement des formes d'ondes

GW INSTEK AFG-2005



AFG-2005 242,02

Prix du jour! Prix à la date du: 31. 10. 2016

Prix en € hors T.V.A., frais de port en sus · reichelt elektronik, Elektronikring 1, 26452 Sande (Germany)

Les langues de notre boutique:

MODES DE PAIEMENT INTERNATIONAUX:



ACHETER EN LIGNE TOUT SIMPLEMENT !

LE SPOT PUBLICITAIRE DE REICHELT



rch.lt/vfr

FIND OUT MORE ►

« Chez Reichelt, je trouve des instruments de mesure fiables à des prix justes ! »

NOUVEAU ! MULTIMÈTRE DE TABLE, 50.000 COUNTS, USB

- Afficheur dual fluorescent bicolore
- Taux de mesure réglable allant jusqu'à 40 valeurs mesurées pour V DC
- Précision de base 0,02 % V DC
- Mesure des valeurs efficaces vraies (TRMS) (AC, AC+DC)
- Mesure max./min./REL
- Fonction test des diodes et vérification du passage
- Mesure du courant continu : 0–1000 V DC
- Mesure du courant alternatif : 0–750 V AC

GW INSTEK GDM-8341



GDM-8341 309,24

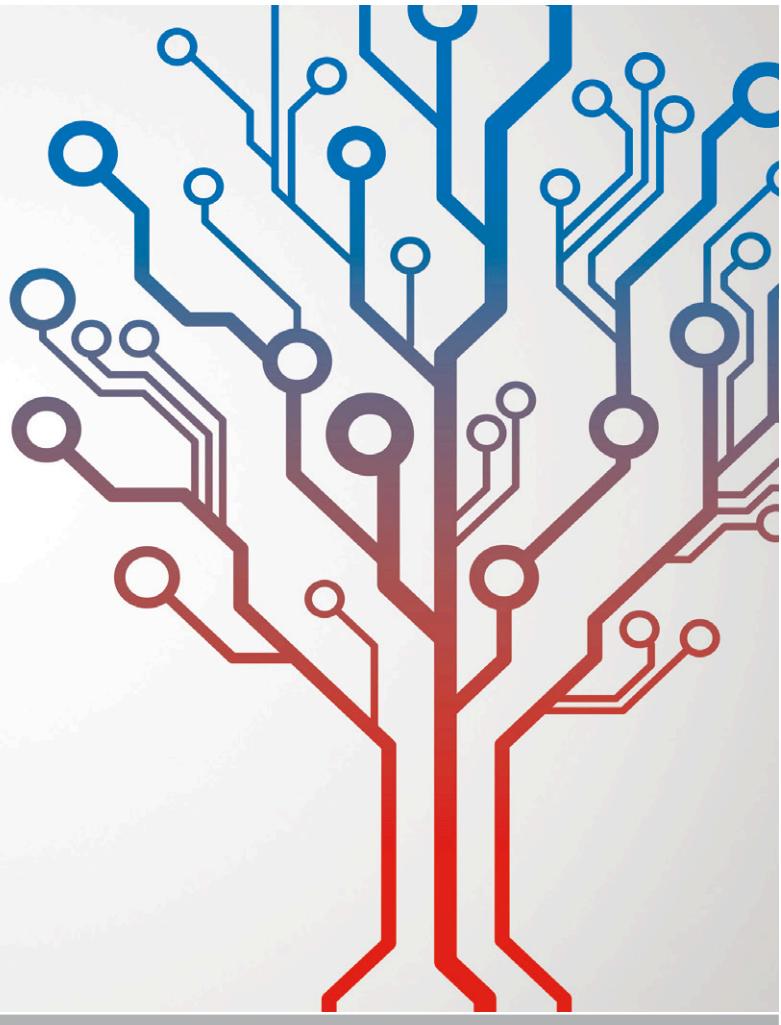
PLUS D'INSTRUMENTS DE
MESURE DE GW-INSTEK



rch.lt/x1

Microcontrôleurs PIC® et AVR®

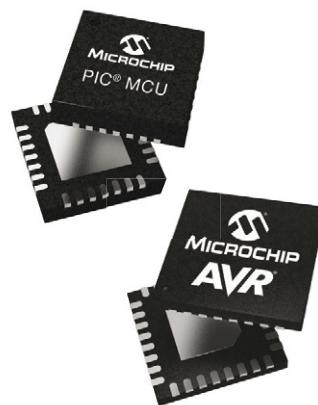
Œuvrer ensemble pour
des possibilités illimitées



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