

elektor

alim de labo PRO



stabilité & fiabilité régulation ultra-précise

modules de prototypage rapide (AVR) | convertisseur A/N à 16 bits pour Arduino, Linux etc.

récepteur de fréquences extrêmement basses | réflectométrie temporelle

banc d'essai : VirtualBench | **atelier du microcontrôleur : timers**

DesignSpark : placer les composants | drôles de composants : modules Peltier

jauge de contrainte dans un SoC

L 19624 -435- F: 7,80 €-RD





Au service du génie

National Instruments met à la disposition des étudiants le matériel et le logiciel dont ils ont besoin pour développer leur expérience, aller au-delà de la théorie, et réaliser l'importance du rôle de l'ingénieur dans la société.

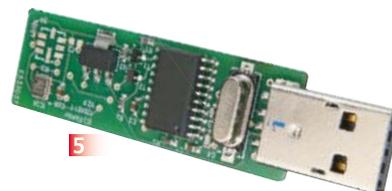
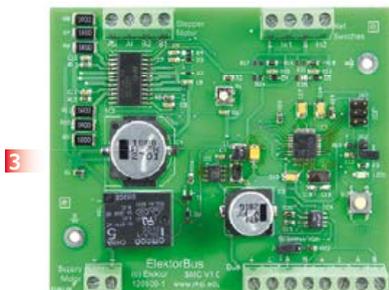
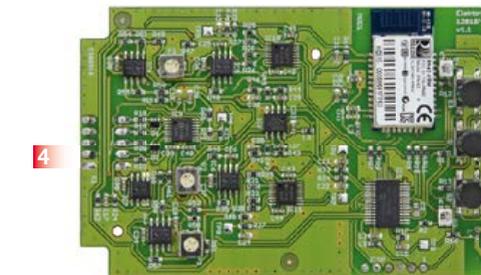
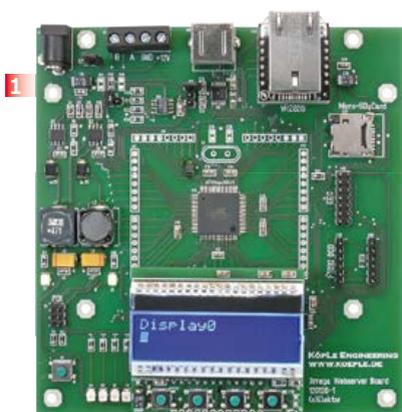
>> Découvrez comment NI supporte la prochaine génération d'innovateurs, en visitant ni.com/academic/f

01 57 66 24 24

NATIONAL INSTRUMENTS France ■ 2 rue Hennape - 92735 Nanterre Cedex, France ■ Tél. : 01 57 66 24 24 ■ Fax : (0)1 57 66 24 14 ■ Société de droit américain - capital social 1 000 dollars ■ US ■ 11500 N Mopac Expwy, Austin-Texas USA - 10056236 - 344 497 649 ■ RCS Nanterre - SIRET B 344 497 649 00048 - APE 516 J - N.J.I. FR 57344497649

©2013 National Instruments. Tous droits réservés. National Instruments, NI, et ni.com sont des marques de National Instruments. Les autres noms de produits et de sociétés mentionnés sont les marques ou les noms de leurs propriétaires respectifs. Pour plus d'informations concernant les marques de National Instruments, veuillez vous référer à la partie Terms of Use sur le site ni.com/legal. 09680

 **NATIONAL
INSTRUMENTS**



1 Xmega sur carte polyvalente

La voici enfin, la carte à microcontrôleur qui mesure, pilote et régule à qui mieux mieux ! Branchons-y un module TCP/IP, il en sortira un serveur internet ou d'autres applications en réseau. Sa mémoire de masse réside dans une micro SD. Pour s'en servir, il y a quatre boutons, autant de LED et un afficheur amovible. Et surtout plein d'interfaces sur la même carte.

Module contrôleur assemblée, testée prête à l'emploi réf 120126-91

Module d'affichage réf 120126-92

2 Andropod

Commandez vos montages avec un smartphone ou une tablette Android

Écran tactile à haute définition, méga puissance de calcul, connexion réseau et fonctions de téléphonie sans fil : les téléphones tactiles et les tablettes Android seraient des centrales de commande

presque idéales pour nos projets d'électronique s'il était plus facile de s'y connecter. Voici AndroPOD, votre interface série TTL et RS485. Décollage vertical garanti ! L'offre de matériel Android (par différents fabricants) et de logiciel est énorme et le code source du système d'exploitation est libre. Le puissant kit de fonctions logicielles ou *framework* d'Android offre accès à presque toutes les fonctions matérielles et permet de programmer des applications élégantes et conviviales.

Réf 110405-91

3 Pilote de moteur pas à pas Pour ElektorBus (module)

Voyager avec l'ElektorBus ouvre de nouveaux horizons. Grâce à sa modularité logicielle autant que matérielle, ce bus accélère le développement d'applications. Exemple pratique : la mise au pas des moteurs !

Réf 120509-91

4 Elektor Cardioscope

Un électrocardioscope à construire soi-même, utilisant une tablette ou un téléphone Android comme terminal sans fil de visualisation des électrocardiogrammes. La réalisation consiste à combiner habilement une petite interface à PIC pour commander un étage d'entrée analogique et beaucoup de logiciel.

Réf 120107-91

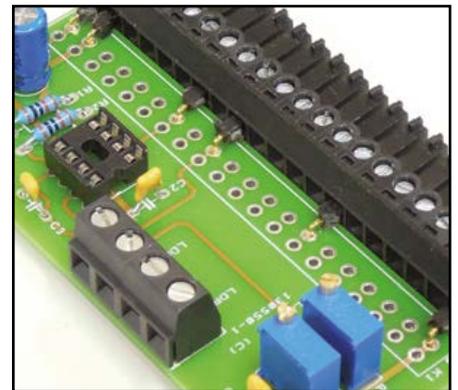
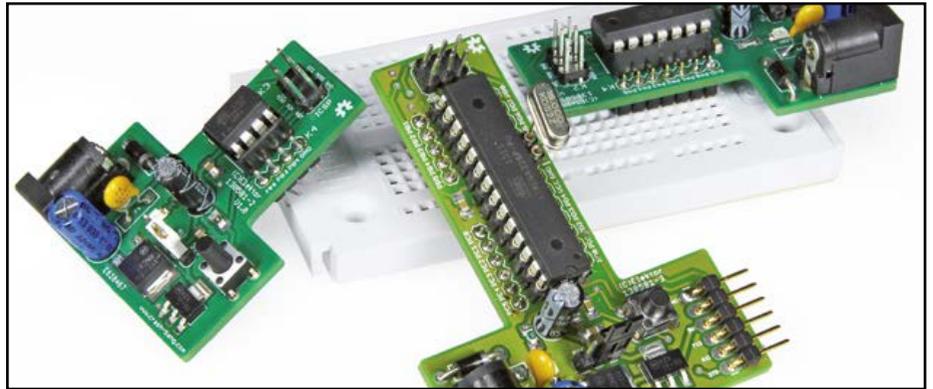
5 Barostick

Clés USB, clés du succès ? Elles sont partout, elles sont notre album d'images, de vidéos, de musiques préférées, d'articles, de fichiers et même de températures. Et la pression atmosphérique, y aviez-vous pensé ? C'est fait : sur un baromètre sans mercure, avec un capteur Bosch, hectopascals et degrés Celsius rejoignent Windows pour se faire tirer le portrait.

Réf 120481-91

Informations et gamme complète sur :

www.elektorpcbservice.com



● industrie

8 pas de contraintes, PSoC s'occupe de tout

Intégration d'un système de mesure pour jauge de contrainte dans un SoC programmable.

● Design Spark

46 drôle de composant n°8 : modules Peltier

76 Design Spark - 13^e jour : placement de composants

Aujourd'hui nous allons parler des outils de placement de composants.

● e-labs

12 Elektor International Makers Made in Munich

Si vous venez à Munich pour le salon Elektronica, passez nous voir.

78 ELPP: Elektor Labs Preferred Parts

Nouvelle liste de composants
Passe-Partout d'Elektor LABS
Avez-vous connu les TUP et TUN d'Elektor ?

80 connecteur de fortune pour MyDAQ

Les meilleures idées pour résoudre un problème ne sont pas toujours celles qui arrivent en premier.

● hors circuit

70 jouons avec la réflectométrie temporelle

Non, ne tournez pas la page persuadé que ce sujet n'est pas pour vous. Restez donc et découvrez comment, avec un simple oscilloscope, observer ces phénomènes de réflexion d'énergie évoqués dans le dernier numéro au sujet de l'adaptation d'impédance.

● projets

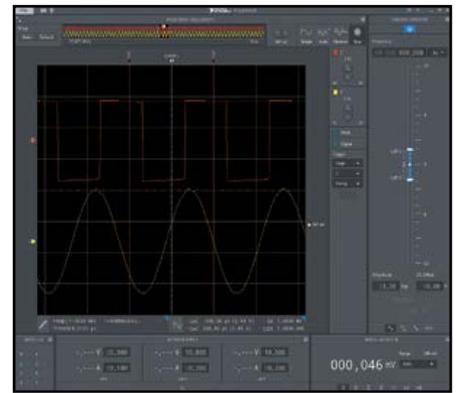
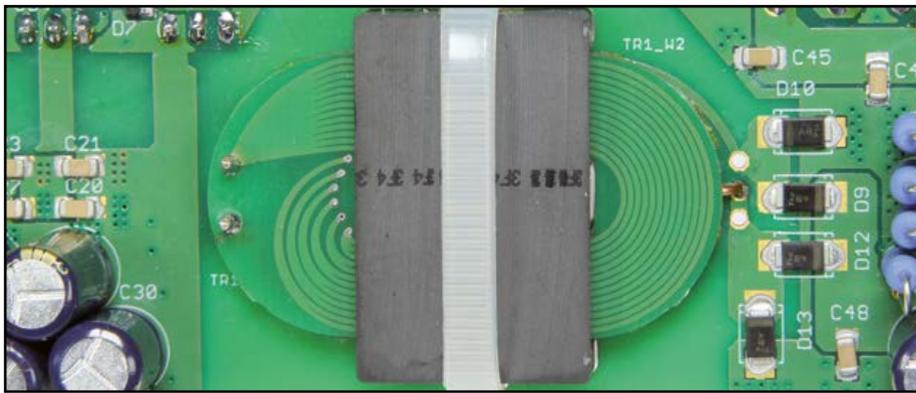
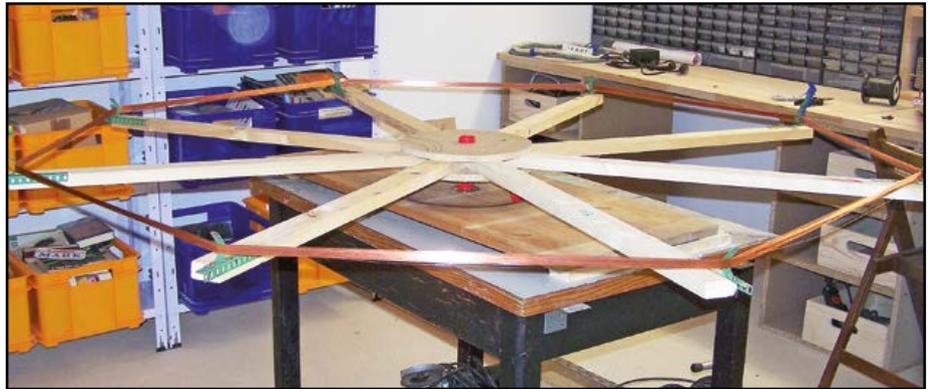
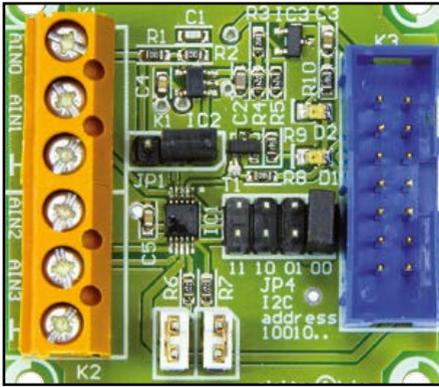
14 T-Board 8/14/28 :

prototypage rapide et bon marché pour AVR
Tee-shirt inclus !

La plateforme Arduino est parfaite pour s'initier aux μ C, surtout si on ne les a pas étudiés à l'école, mais il arrive un moment où l'on bute sur certaines contraintes : alors, le saut vers les microcontrôleurs nus s'impose.

24 alim de labo PRO

Quand on voit l'afflux d'alimentations de labo qui offrent beaucoup de puissance pour peu d'argent, on se pose des questions. Affûtons notre sens critique, tout ce qui brille n'est pas de l'or. Si vous en voulez une de qualité, à haute stabilité et réglage précis, même de faible puissance, mais que vous ne souhaitez pas mettre le prix fort, le mieux est de la construire vous-même.



36 Internet of Things : quel protocole ?

Pour rester terre à terre, il faudrait déjà une syntaxe universelle pour présenter la valeur de mesure retournée par un capteur, ou pour coder la commande adressée à un organe quelconque.

Inventons-la ensemble.

38 réception d'ELFes

avec Arduino et le module CA/N à 16 bits

Dans la bande de fréquences entre 0 Hz et une quinzaine de Hz, il y a des signaux fort intéressants à étudier et qui semblent largement ignorés. Pour les recevoir, les enregistrer et les analyser, j'ai conçu le récepteur présenté ici, auquel j'ai associé le module de CA/N à 16 bits, objet d'un autre article et un logiciel gratuit pour PC.

Veillez nous excuser pour l'interruption de la rubrique Rétronique faute de place dans ce numéro. Vous la retrouverez le mois prochain.

48 Convertisseur A/N à 4 canaux

enregistrer le résultat de mesures sur 16 bits

Le labo d'Elektor a développé une carte équipée d'un CA/N à 16 bits et quatre canaux. Elle peut se connecter directement à la carte Linux d'Elektor, au serveur internet à carte polyvalente à Xmega et au nouveau shield Elektor pour Arduino. Ajoutez-y la bibliothèque universelle en C et... c'est vous qui aurez accès au CA/N !

60 l'atelier du microcontrôleur (5)

temporisateurs / compteurs

L'un des chapitres les plus touffus de la fiche technique de l'ATmega328 traite de ses trois *timers*, ou temporisateurs/compteurs. Leurs applications sont si diverses que nous ne pourrions en présenter que quelques-unes. Les plus courantes concernent les mesures de temps et de fréquence, la production de signaux, et la MLI (PWM)

● banc d'essai

54 VirtualBench :

instrument de mesure multifonction
Avec *VirtualBench*, *National Instruments* réinvente le tout-en-un : dans un boîtier compact, ce nouvel instrument de mesure en combine cinq. Il est entièrement piloté par ordinateur ou tablette. Cet été, Elektor a pu tester dans son labo l'un des tout premiers exemplaires disponibles en Europe.

● magazine

6 de nous à vous

81 hexadoku

casse-tête pour elektornicien(ne)s

82 avant-première

Au sommaire des prochaines éditions

DROITS D'AUTEUR :

© 2014 Elektor International Media B.V.

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

Imprimé aux Pays-Bas
par Senefelder Misset - Doetinchem

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



Les mots sont importants

Tout est dans le schéma ? Bien sûr. Un dessin vaut mille mots ? Bien sûr, mais un dessin ne vaut rien sans quelques mots et le choc des photos dépend du choix des mots.

Le mot *important* est arrivé à remplacer à tout bout de champ n'importe quel adjectif, au point de devenir

insignifiant. On trouve couramment — même ici — important pour qualifier un courant, une tension, une charge, une grandeur physique quelconque. C'est un peu pauvre pour caractériser des grandeurs qui sont quantifiables, dont l'importance peut se mesurer.

Pour savoir si le mot choisi est le bon, il suffit généralement de se demander quel est son contraire. *Important* est à sa place si son contraire est *insignifiant* ou *négligeable*. Un courant n'est pas important, il est fort ou intense, le contraire est *faible*; une tension n'est pas *importante*, elle est forte, élevée, le contraire est *faible, basse, minime*; une charge n'est pas *importante*, elle est lourde ou forte, le contraire est *léger*.

Il se peut qu'une tension élevée soit négligeable, par exemple si la réjection du mode commun est forte; le taux de réjection du mode commun est important parce que sa valeur détermine le comportement de l'amplificateur.

Il se peut qu'un courant faible soit important, s'il s'agit d'un courant de fuite dans une installation reliée au secteur. Ces quelques milliampères, insignifiants au sens de la mesure physique, peuvent être mortels, ce qui leur donne une importance certaine.

Quoi qu'il en soit, soyez assurés, amis lecteurs, que les auteurs, traducteurs, correcteurs et éditeurs de votre magazine connaissent l'importance du mot juste.

Jean-Paul Brodier

Avec Jean-Paul, nous avions pour Elektor un projet de rubrique consacrée aux mots, plus précisément aux maux des mots. Quelques articles étaient en préparation, dont celui que vous venez de lire et qui devait en être le premier. Ce sera le dernier : JP, ami et compagnon de route depuis 1986 d'Elektor, d'Elex et de la plupart de nos publications, a été court-circuité, impitoyablement, en juin dernier, par une maladie foudroyante. **Zéro volt.** Son soutien indéfectible et exigeant a porté nos élans pendant un quart de siècle; il était mon premier lecteur. Ensemble nous avons beaucoup ri et essayé de faire rire, de la branloire pérenne de l'électronique, de tout et de rien. Jean-Paul admirait Robert Pease dont il avait amoureusement traduit le livre *Troubleshooting Analog Circuits* en lui donnant ce titre inoubliable : *un coup ça marche, un coup ça marche pas !* Je laisserai à Jean-Paul le mot de la fin, par lequel il saluait en décembre dernier la disparition de Roland Moreno, autre grande figure de l'électronique admirée par lui :

« Jean-Paul Brodier est mort à l'âge de 66 ans.

Quel bocson, mon vieux Léon ! »

Denis Meyer

Notre équipe

Rédacteur en chef :	Denis Meyer (redaction@elektor.fr)
Rédaction internationale :	Harry Baggen, Jan Buiting, Jaime Gonzalez Arintero, Jens Nickel
Laboratoire :	Thijs Beckers, Ton Giesberts, Wisse Hettinga, Luc Lemmens, Mart Schroijen, Clemens Valens, Jan Visser, Patrick Wielders
Coordination :	Hedwig Hennekens
Ont coopéré à ce numéro :	Jean-Paul Brodier, Rémi Descistes, Robert Grignard, Hervé Moreau, Kévin Petit, Guy Raedersdorf, NN
Service de la clientèle :	Cindy Tyssen
Graphiste :	Giel Dols
Elektor en ligne :	Daniëlle Mertens

**France**

Denis Meyer
+31 46 4389435
d.meyer@elektor.fr

**United Kingdom**

Carlo van Nistelrooy
+44 20 7692 8344
c.vannistelrooy@elektor.com

**USA**

Carlo van Nistelrooy
+1 860-289-0800
c.vannistelrooy@elektor.com

**Germany**

Ferdinand te Walvaart
+49 241 88 909-17
f.tewalvaart@elektor.de

**Netherlands**

Ferdinand te Walvaart
+31 46 43 89 444
f.tewalvaart@elektor.nl

**Spain**

Jaime González-Arintero
+34 6 16 99 74 86
j.glez.arintero@elektor.es

**Italy**

Maurizio del Corso
+39 2.66504755
m.delcorso@inware.it

**Sweden**

Carlo van Nistelrooy
+31 46 43 89 418
c.vannistelrooy@elektor.com

**Brazil**

João Martins
+31 46 4389444
j.martins@elektor.com

**Portugal**

João Martins
+31 46 4389444
j.martins@elektor.com

**India**

Sunil D. Malekar
+91 9833168815
ts@elektor.in

**Russia**

Nataliya Melnikova
+7 (965) 395 33 36
Elektor.Russia@gmail.com

**Turkey**

Zeynep Köksal
+90 532 277 48 26
zkoksal@beti.com.tr

**South Africa**

Johan Dijk
+31 6 1589 4245
j.dijk@elektor.com

**China**

Cees Baay
+86 21 6445 2811
CeesBaay@gmail.com

Notre réseau



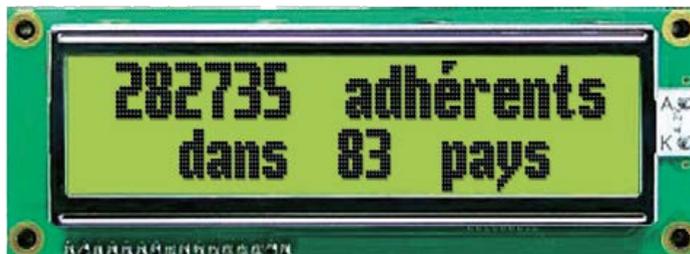
VOICE COIL



audioexpress



vous connecte à



Nos annonceurs

**CadSoft**www.cadsoftusa.com 69**Eurocircuits**www.elektorpcbservice.com 84**CES International 2015**www.cesweb.org 23**National Instruments**www.ni.com/academic/f 2

Pour placer votre annonce dans le prochain numéro d'Elektor

veuillez contacter Mme Ilham Mohammadi par téléphone au (+31) 6.41.42.25.25
ou par courrier électronique : i.mohammadi@elektor.fr

Vos correspondants

Nous sommes à votre service pour toute question relative à votre commande ou votre abonnement
par téléphone au (+33) 01.49.19.26.19 du lundi au jeudi de 8h30 à 17h
et le vendredi de 8h30 à 12h30 ou par courriel : service@elektor.fr

pas de contraintes, PSoC s'occupe de tout

Intégration d'un système de mesure pour jauge de contrainte dans un SoC programmable

Kendal Castor-Perry et Nidhin MS (Cypress Semiconductor)

Beaucoup de capteurs de pression ou de force font appel à des éléments résistifs insérés dans une quelconque variante d'un pont de mesure. Électriquement parlant, un pont est une topologie courante dans laquelle quatre dipôles forment une boucle. Pensez à l'omniprésent pont de diodes ; si vous lisez cet article, vous en avez très probablement déjà utilisé pour une alimentation.

Lorsque les dipôles sont des impédances dont la valeur évolue sous une influence externe, on obtient un sous-circuit incroyablement polyvalent. En mélangeant des impédances qui possèdent différents comportements en fréquence, vous pouvez créer d'intéressants oscillateurs et filtres : vous avez probablement entendu parler de l'oscillateur à pont de Wien (**fig. 1**) [1].

Vous trouverez aussi des ponts dans d'autres réseaux passifs de filtrage, souvent représentés différemment et appelés treillis. Si l'on considère les nœuds à gauche de la **figure 2** (merci Wikipédia) comme des entrées et ceux de droite comme des sorties et que l'on remplace les impédances Z par des condensateurs et Z' par des résistances, on obtient un filtre passe-bas du premier ordre.

Saleté de réalité

Les ponts dont nous allons parler ici sont typiquement faits de résistances dont la valeur change sous l'influence d'un paramètre physique. Il peut s'agir de la température (mesurée intentionnellement ou pas), d'un champ magnétique, de la lumière incidente, de l'humidité ou, très présente dans les applications industrielles, de la contrainte physique dans un système mécanique.

Ceux qui ont étudié la mécanique se rappelleront peut-être que la contrainte est ce qui arrive à un objet physique qui subit une pression : un changement dimensionnel de l'objet. Il peut s'agir d'un changement de longueur, de surface de coupe ou des deux. Cela affecte les propriétés structurales du matériau dont l'objet est fait et donc le passage d'un courant électrique qui le traverse ; en d'autres termes, ça change sa résistance. Un pont de résistances, dont une ou plus sont attachées à un objet, afin que leur résistance soit affectée par les changements mécaniques de l'objet, est habituellement appelé *jauge de contrainte*. Souvent, ces résistances sont constituées de fines traces de métal sur un substrat de polymère fixé à la structure sur laquelle on souhaite effectuer la mesure. Si vous êtes ingénieur d'instrumentation, ou juste un électronicien en peine à qui l'on a demandé d'interfacer une telle jauge, vous serez intéressé de savoir comment extraire des informations intéressantes des changements de tension qui découlent de l'application d'une contrainte à une jauge du même nom. Si c'était banal, je ne serais pas en train d'écrire un article pour vous guider et mon entreprise ne perdrait pas son temps

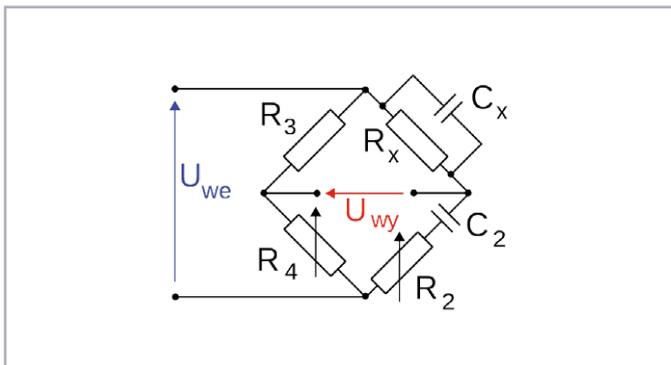


Figure 1. Le pont de Wien (d'après [1]).

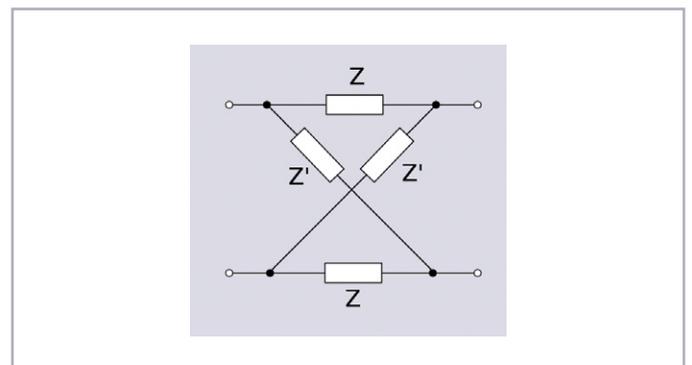


Figure 2. Un pont redessiné en treillis.

à concevoir des produits pour vous faciliter la tâche. Comme souvent avec les mesures analogiques, les innocents ignorent les impitoyables menaces qui les guettent. La contrainte sur une telle jauge doit en effet rester relativement petite, faute de quoi les déformations du matériau seront permanentes. Cela implique que la variation relative de la résistance sera également faible et que le pont de mesure ne sera donc que légèrement déséquilibré.

Vu du pont

Comment interface-t-on un pont de résistances ? Qu'est-ce qui nous attend ? Mesurer la faible tension aux bornes des points de mesure d'un pont excité est une tâche classiquement dévolue à un amplificateur d'instrumentation. Son rôle est de fournir une représentation amplifiée de la faible tension qui apparaît entre deux points qui tous deux peuvent se trouver à un potentiel de mode commun, plus grand et inconnu. La sortie de cet amplificateur d'instrumentation sera convertie en numérique par un CAN : les systèmes de mesure tout-analogique se font rares.

Les amplificateurs d'instrumentation traditionnels emploient souvent des techniques raffinées pour réduire la tension de décalage en entrée et la dérive ; ils peuvent être très onéreux. Dans les systèmes où un résultat numérique est requis, des CAN delta-sigma 20 à 24 bits peuvent être utilisés sans préamplification supplémentaire pour atteindre une précision de l'ordre du microvolt. Tandis que prolifèrent les capteurs de tous types, le tiercé gagnant des contraintes – coût, taille et consommation – pousse les ingénieurs à chercher des solutions plus économiques. Cependant, la qualité des chemins de signaux des composants analogiques que l'on trouve habituellement dans les microcontrôleurs pour signaux mixtes modernes n'est pas à la hauteur. Il y a toutefois une technique qui peut fournir tout ou partie de la solution pour implanter avec succès un système mono-puce pour capteurs à ponts à faible sortie : le double échantillonnage corrélé ou CDS (NdT : *Correlated Double Sampling*).

Les performances analogiques des derniers SoC (système sur une puce, *System On a Chip*) programmables sont un cran au-dessus des microcontrôleurs courants parés pour l'analogique. On trouve des amplificateurs économiques dont la tension de décalage réglée en usine est meilleure qu'un millivolt ; la dernière famille PSoC 4200 de *Cypress Semiconductor* en est un bon exemple. De telles puces peuvent être utilisées dans beaucoup d'applications requérant des configurations simples et habituelles et peuvent alors significativement raccourcir le cycle de conception pour beaucoup de capteurs intelligents ou applications de surveillance de procédés.

Cependant, lorsque les signaux à mesurer flirtent avec les microvolts, même les puces commerciales de haut de gamme ont besoin du coup de pouce d'une conception experte. Par chance, ces puces possèdent des structures de routage

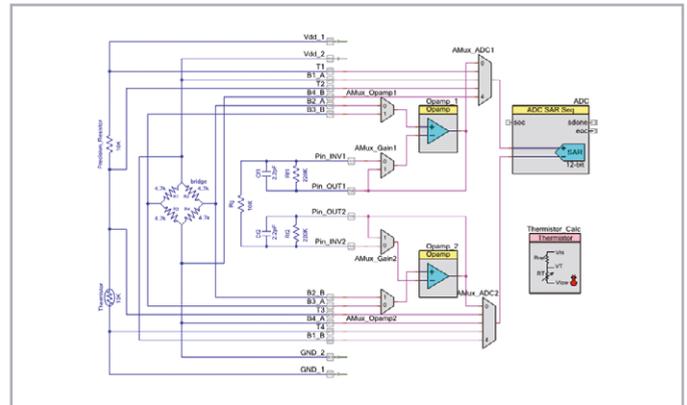


Figure 3. Un circuit utilisant un CDS pour réaliser la mesure différentielle de la sortie d'un pont et asymétrique d'un rapport de résistance.

analogique flexibles qui permettent d'utiliser cette formidable technique d'amélioration de la précision qu'est le double échantillonnage corrélé.

En fait, ce terme regroupe toute une gamme de techniques où l'on combine plusieurs mesures pour atténuer les erreurs qui sont corrélées à toutes les mesures (d'où le nom).

Cette technique simple – mesurer une tension flottante deux fois, inverser la polarité de la deuxième mesure depuis une entrée différentielle puis la soustraire de la première valeur – permet d'éliminer la majorité des erreurs qu'un étage d'entrée analogique peut introduire. L'inévitable tension de décalage est annulée ainsi que le bruit d'entrée à très basse fréquence, peu importe sa cause (influence de l'alimentation, effets thermiques, ou bruit à basse fréquence des amplificateurs d'entrée) tout comme les erreurs statiques sur la tension d'entrée. Les effets de mode commun (linéaires ou pas vis-à-vis de la tension de mode commun) sont également éliminés au moins jusqu'au premier ordre étant donné que l'impact principal de la composante de mode commun aux deux nœuds depuis lesquels s'effectue la mesure est de changer légèrement la tension de décalage apparente au canal d'entrée.

Pour les applications avancées où une partie du signal d'erreur varie plus rapidement dans le domaine temporel, une extension de cette technique peut être utilisée pour éliminer les conséquences du fait que l'échantillonnage de l'entrée et celui de son opposée interviennent à des moments différents. Vous pourrez vous documenter sur cette technique *Filter Wizard* [2]. Le circuit électrique est le même, c'est juste le post-traitement numérique qui est plus évolué.

Sur un PSoC

Pour un exemple pratique de cette technique, jetez un coup d'œil au schéma de la **figure 3**. Cela a été implanté dans un SoC pour signaux mixtes récent, le PSoC 4200 de *Cypress*. Ces puces se démarquent des μC pour signaux mixtes conventionnels par leurs meilleures capacités de routage et de commutation

de signaux, d'ailleurs mises à profit dans cet exemple. Concentrons-nous tout d'abord sur le bloc qui traite la sortie du pont. Des multiplexeurs analogiques sélectionnent différents ensembles de signaux pour la conversion. Une paire d'amplis op est configurée en amplificateur différentiel dont le gain peut être soit unitaire (pour le dépannage) soit une forte valeur réglée par des résistances de précision externes. La performance de ces amplificateurs est bonne, mais pas suffisante pour obtenir dans le domaine des microvolts les résultats stables que nous souhaiterions pour un tel transducteur. Par conséquent, le CDS est réalisé à l'aide d'une commutation des signaux juste à l'entrée de l'amplificateur, ce qui veut dire que la tension de décalage résiduelle, la dérive et le bruit à basse fréquence sont soustraits de la mesure par calcul, comme décrit précédemment.

Paré à calculer

Pour calculer l'effort sur le pont, nous avons besoin de deux informations : une mesure de haute qualité de la faible tension aux bornes des nœuds de sortie du pont et une mesure de la tension appliquée aux nœuds d'excitation du pont. Ici, cette tension est appliquée par des broches GPIO du SoC (afin qu'il

soit possible de désactiver le transducteur pour économiser l'énergie). Une connexion Kelvin (à quatre fils : alimentation et mesure) amène les potentiels d'excitation sur le multiplexeur analogique afin que le CAN puisse également capturer les tensions correspondantes. Ces potentiels peuvent être très proches des alimentations, afin de pouvoir configurer le CAN (capable de faire du rail à rail) pour qu'il utilise l'alimentation comme référence. Cela n'affecte pas la précision du calcul de la contrainte étant donné que la référence est une constante qui s'élimine dans l'équation.

Vous remarquerez que pour calculer l'effort global, il n'est pas nécessaire de connaître le nombre de résistances du pont dont la valeur change sous l'effet de la contrainte appliquée à la structure à laquelle le pont est fixé. Cependant, si l'on souhaite calculer la pression pour un échantillon donné, il faut posséder plus d'informations sur la construction du pont. En effet, pour obtenir la meilleure précision, une petite correction de linéarité doit être réalisée lors du calcul, et elle dépend du nombre de résistances contraintes et du nombre de résistances de référence, c'est-à-dire statiques.

Cette configuration donne d'excellents résultats. Le CAN interne

Le logiciel à la rescousse

Il est tentant de penser à utiliser un canal de mesure différentiel pour acquérir les tensions, mais est-ce nécessaire ? Il suffit en fait de mesurer la tension à chaque extrémité de chacune des résistances à l'aide d'un canal de mesure asymétrique. La soustraction des deux mesures donne la tension aux bornes de la résistance. Nous savons bien entendu que la soustraction de deux quantités presque égales peut produire une incertitude sur un résultat et il faut donc nous assurer que la résolution de notre convertisseur n'entraîne pas de perte de précision numérique. Nos mesures sur l'étage d'entrée indiquent un nombre de bits équivalents RMS (ENOB) bien au-delà de 16.

Le gros avantage de cette méthode, qui est une autre forme de CDS, est de permettre de compenser les erreurs statiques ou quasi statiques à l'entrée du canal de mesure, et ce même en ne prenant que des mesures asymétriques. Le résultat n'est donc fondamentalement pas affecté par la tension de décalage du canal ou le bruit à basse fréquence, comme dans le cas de la mesure sur le pont. C'est une technique formidable pour tirer de bonnes performances d'un canal de mesure asymétrique. Elle dépend toujours de la tension de référence utilisée par le CAN, mais ce terme se retrouve éliminé lorsque l'on calcule le rapport entre les tensions aux bornes de la thermistance et aux bornes de la résistance de précision.

Le résultat est une mesure de rapport de résistances qui ne dépend que très peu du système. Elle peut être convertie en une température par logiciel. Le schéma montre une

autre fonction élégante des outils prenant en charge le SoC utilisé ici : la conversion en température est réalisée par un composant logiciel, inclus dans l'outil de développement, qui est tout simplement déposé graphiquement sur le schéma et configuré pour la thermistance utilisée.

Dans cet exemple, le CAN mesure huit tensions différentes depuis les circuits du pont et de la thermistance. Entre les mesures, le micrologiciel commande les multiplexeurs analogiques pour sélectionner la tension à mesurer. Le CAN des PSoC 4200 possède un bloc de post-traitement numérique utilisable pour moyennner plusieurs valeurs issues du CAN afin d'augmenter la résolution équivalente. Cela se fait indépendamment de la CPU et dans les applications où il faut économiser l'énergie, elle peut donc être endormie la plupart du temps. Le CAN peut la réveiller après chaque mesure (en tenant compte du processus de moyennage). La CPU peut ensuite commander les multiplexeurs pour sélectionner la prochaine tension, initier la conversion du CAN puis se rendormir. Après avoir mesuré les huit tensions, le micrologiciel est en mesure de calculer la contrainte sur le pont et la température.

Le SoC programmable utilisé possède une variété d'options pour présenter le résultat calculé. Il peut fournir des sorties analogiques à l'aide de CNA en courant (IDAC), piloter directement des afficheurs à segments LCD, ou communiquer le résultat via I²C, UART, SPI ou tout autre protocole de communication que vous implanterez à l'aide de la logique programmable.

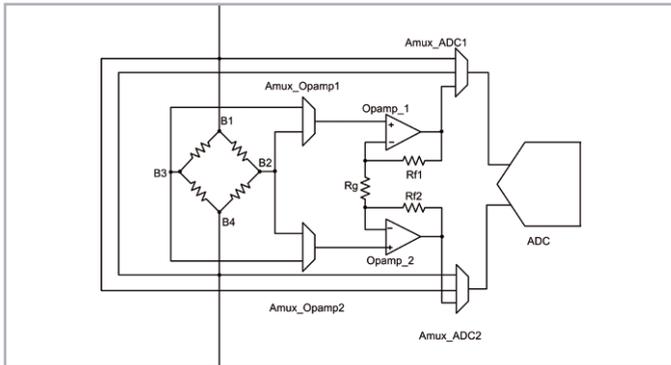


Figure 4. Détail du pont de mesure de la figure 3.

du PSoC utilisé dans cet exemple a une résolution intrinsèque de 12 bits, mais ici nous pouvons tirer profit de la fréquence d'échantillonnage maximale élevée (jusqu'à 1 Méc/s) et utiliser le bloc matériel de moyennage incorporé (pas besoin de la CPU) pour abaisser le plancher du bruit et donc augmenter la résolution équivalente. Avec un gain de 44 sur l'amplificateur différentiel et en moyennant 256 échantillons, nos mesures indiquent des performances équivalentes proches de 15 bits RMS juste à la sortie du pont, ce qui correspond à un niveau de bruit RMS de moins de 8 μV ; avec une erreur DC, c'est très difficile à mesurer avec des appareils standards. Nous avons atteint ce résultat sans astuce de placement/routage sur la carte.

La **figure 4** montre un schéma simplifié du sous-circuit autour du pont. La contrainte relative sur le pont est le rapport de la tension de sortie du pont sur sa tension d'excitation. Son calcul requiert par conséquent la mesure des tensions B1-B4 et B2-B3. Si l'on utilise le CDS, ces tensions devront être mesurées deux fois, en inversant la polarité. Le CAN mesure les tensions d'excitation B1-B4 et B4-B1 directement. Les sorties du pont B2-B3 et B3-B2 sont mesurées derrière l'amplificateur différentiel. Le micrologiciel calcule la contrainte (= *strain*) sur le pont comme suit :

$$strain = \frac{ADC\ count(B2,B3) - ADC\ count(B3,B2)}{Gain_{preamp} (ADC\ count(B1,B4) - ADC\ count(B4,B1))}$$

où $Gain_{preamp}$ est le gain du préamplificateur différentiel. Implantée sur la carte de développement du SoC utilisé, cette configuration est stable dans le domaine des microvolts et peut être utilisée pour calculer précisément de très faibles efforts. Le gain de 44 de l'étage d'entrée de cet exemple convient pour des contraintes relatives à pleine échelle d'environ 2%. Vu la bande passante requise pour ces mesures, des gains significativement plus grands pourraient être utilisés en choisissant les résistances externes adéquates, par exemple pour des systèmes où l'effort statique sur le capteur est faible. Cet exemple a également été doté d'un sous-système de

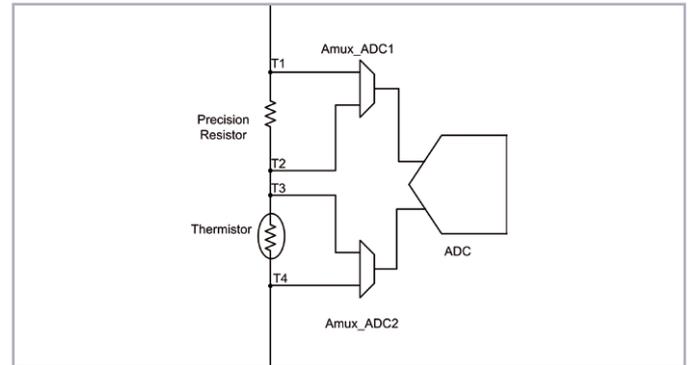


Figure 5. Détail de la partie mesurant le rapport de résistances de la figure 3.

mesure de température, fonctionnant concomitamment avec la mesure de l'effort et utilisant également une forme de double échantillonnage corrélé. La connaissance de la température du transducteur est parfois utile pour optimiser le calibrage de la sensibilité du capteur. De nos jours, les thermistances possèdent sans doute le meilleur rapport précision à coût de toutes les solutions de mesure de température. Calculer la température requiert une mesure de la résistance de la thermistance. Afin d'optimiser la précision, cette mesure doit être le plus possible indépendante des propriétés du système de mesure telles que la tension de décalage, le bruit et la précision de la référence et le gain de conversion.

L'idée de la mesure est simple (**fig. 5**) : faire passer un courant à travers la thermistance et une résistance de précision, mesurer les tensions à leurs bornes ; le rapport de ces tensions est le même que celui de leurs résistances. La précision est évidemment directement liée à celle de la résistance de précision ; de nos jours, ce sont des composants très abordables. Cependant, elle dépend également de la précision de la mesure de tension aux bornes des deux résistances (voir l'**encart**).

Conclusion

Le double échantillonnage corrélé permet de mesurer les faibles tensions de sortie de transducteurs avec un niveau de précision impressionnant que l'on croit souvent hors de portée des produits à μC bon marché. La technique est particulièrement efficace lorsqu'elle est implantée à l'aide des capacités de routage analogique des SoC programmables utilisés dans cet exemple. Les sous-systèmes de mesure faciles à utiliser et décrits ici rendent possible la création d'étages d'entrée pour capteurs intelligents petits, bon marché et performants qui peuvent être personnalisés pour vos propres besoins et mis sur le marché rapidement.

(140230 – version française : Kévin Petit)

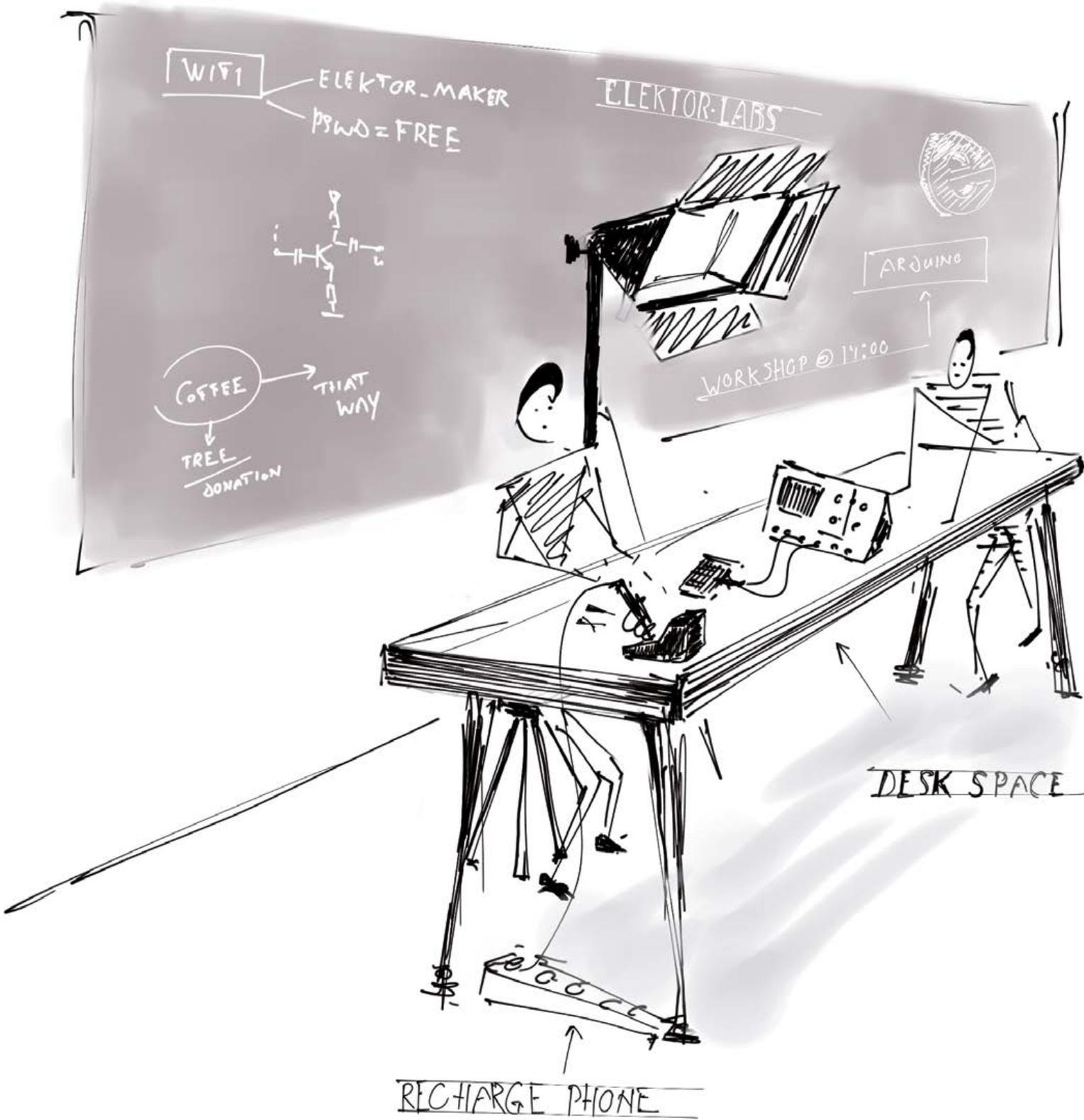
Liens

[1] Pont de Wien :

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mostek_Wiena.svg

[2] Filter Wizard : www.cypress.com/?docID=45637

ELEKTOR-MAKER-S



SPACE

Made in Munich

Come MAKE it @electronica 2014

Wisse Hettinga (Elektor Labs)

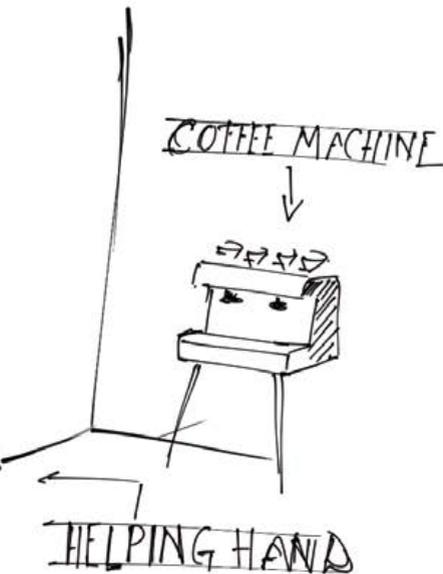
Vous aussi vous avez forcément eu vent de la révolution des *makers*. Ce mot correspond à une nouvelle pratique de l'électronique, plus collective, plus ludique, mais en quoi cette évolution concerne-t-elle la grand-messe annuelle de l'électronique ? Précisément là où habituellement officient plutôt des cols blancs pour qui le fer à souder est un outil moyenâgeux ! Elektor vous propose d'y participer à la création d'un espace nouveau... enfin, pas si nouveau que ça : l'idée, c'est tout simplement de **faire de l'électronique** comme on l'a toujours faite, mais dans un endroit où cela ne se pratiquait plus depuis belle lurette.

Une grande partie de l'équipe d'Elektor vous accueillera pour donner forme à ce projet **AVEC VOUS**. Peu importe votre degré de maîtrise des langues, allemand, anglais, néerlandais, espagnol ou C++, on se débrouillera.

Profitez des ressources mises à votre disposition : tables, outils, appareils de mesure, imprimante 3D et WiFi à l'oeil. Pour le café, nous acceptons les dons. Et si vous avez oublié le chargeur de votre téléphone, raison de plus de passer au stand d'Elektor, vous en trouverez un chez nous.

Elektor Maker Space | hall A6 | stand 380

Suivez les activités d'Elektor — demandez notre lettre d'information gratuite, tout en bas à droite de notre page d'accueil www.elektor.fr



QUI ? :

VOUS et ELEKTOR INTERNATIONAL MEDIA

QUOI ? :

ELEKTOR'S MAKER SPACE

QUAND ? :

du 11 au 14 NOV. 2014

OÙ ? :

**ELECTRONICA, MUNICH,
HALL A6 / STAND 380**

T-Board 8/14/28

trois modules de prototypage rapide et bon marché pour AVR

Tee-shirt offert !



Andrew Retallack
(Afrique du Sud)

La plateforme Arduino est parfaite pour s'initier au monde des microcontrôleurs et des systèmes embarqués, surtout si on ne les a pas étudiés à l'école, mais il arrive un moment où l'on bute sur certaines contraintes : alors, le saut vers les microcontrôleurs nus s'impose.

Voyez les modules T-Board comme votre Tremplin, votre fileT et votre parachuTe !

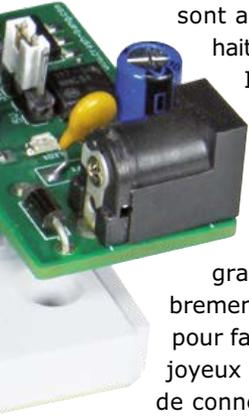
Je ne veux pas dénigrer la conception de l'Arduino. Sans lui, le mouvement *Maker* n'aurait pas l'ampleur qu'il a prise. Beaucoup moins de gens, particulièrement les jeunes, seraient à l'aise avec les microcontrôleurs (que nous appellerons μC tout au long de cet article). Cependant, à mesure que vos projets deviennent plus ambitieux, il vient un moment où vous avez besoin de quelque chose d'autre que la plateforme Arduino. Les projets plus complexes, particulièrement ceux qui nécessitent une forme physique spécifique bénéficient d'une implantation sur un C.I. personnalisé et incorporent directement les μC . Certains projets doivent répondre à des contraintes spécifiques qui requièrent une flexibilité que l'Arduino ne peut fournir, quand p. ex. la réduction impérative de la consommation énergétique impose des tensions

plus faibles ou des horloges plus lentes. Pour les projets moins complexes, un petit μC AVR est un choix plus adapté, et plus économique, qu'un Arduino complet. Peu importe la motivation, pour faire connaissance d'un nouveau μC , la première chose qui nous vient à l'esprit serait de le monter sur une plaque d'essais. Est-ce une bonne idée ?

μC et plaque d'essais : le défi

Il ne faut pas grand-chose en apparence pour assembler un projet à μC sur une plaque d'essais. La documentation en ligne pullule [1] et les composants sont bon marché. Cependant, dès que l'on commence vraiment à travailler sur un projet, ça se corse. Pour les débutants, un montage de base à μC comprend déjà pas mal de fils, condensateurs, résistances et connecteurs qui

encombrent la plaque d'essais. Cet embrouillamini non seulement limite le nombre de connexions disponibles, mais ne facilite pas leur suivi ni le dépannage. De plus, toutes les broches du µC sont accessibles (ce que l'on ne souhaite pas toujours) et sans étiquette.



Il faut donc passer beaucoup de temps à compter soigneusement les broches et établir les liaisons au µC sans le faire fumer ! Puis, que vous utilisiez pour la programmation un programmeur FTDI ou ISP, l'encombrement ne diminue pas... tout ça juste pour faire fonctionner le µC ! Bilan : ce joyeux bazar de fils et de composants, de connexions pas très fiables, est une expérience qui ne sera peut-être pas aussi amusante et gratifiante que vous l'escomptiez !

Simplifier le prototypage : T-Board

Ce sont les expériences et surtout les déconvenues de l'auteur avec le prototypage sur plaque d'essais qui lui ont inspiré la conception des T-Board : ces cartes d'expérimentation donnent accès aux signaux des µC pour en accélérer le prototypage en réduisant la complexité tout en conservant la flexibilité. Trois versions ont été conçues pour accueillir les µC AVR d'Atmel les plus populaires : la gamme ATmega à 28 broches (ATmega8/48/88/168/328), la gamme ATTiny à 14 broches (ATTiny20/24/44/84/441/841) et la gamme ATTiny à 8 broches (ATTiny13/25/45/85). Les trois versions s'adaptent facilement sur les plaques d'essais, peuvent être autoalimentées en 3,3 ou 5 V et possèdent des connecteurs ICSP pour faciliter la programmation.

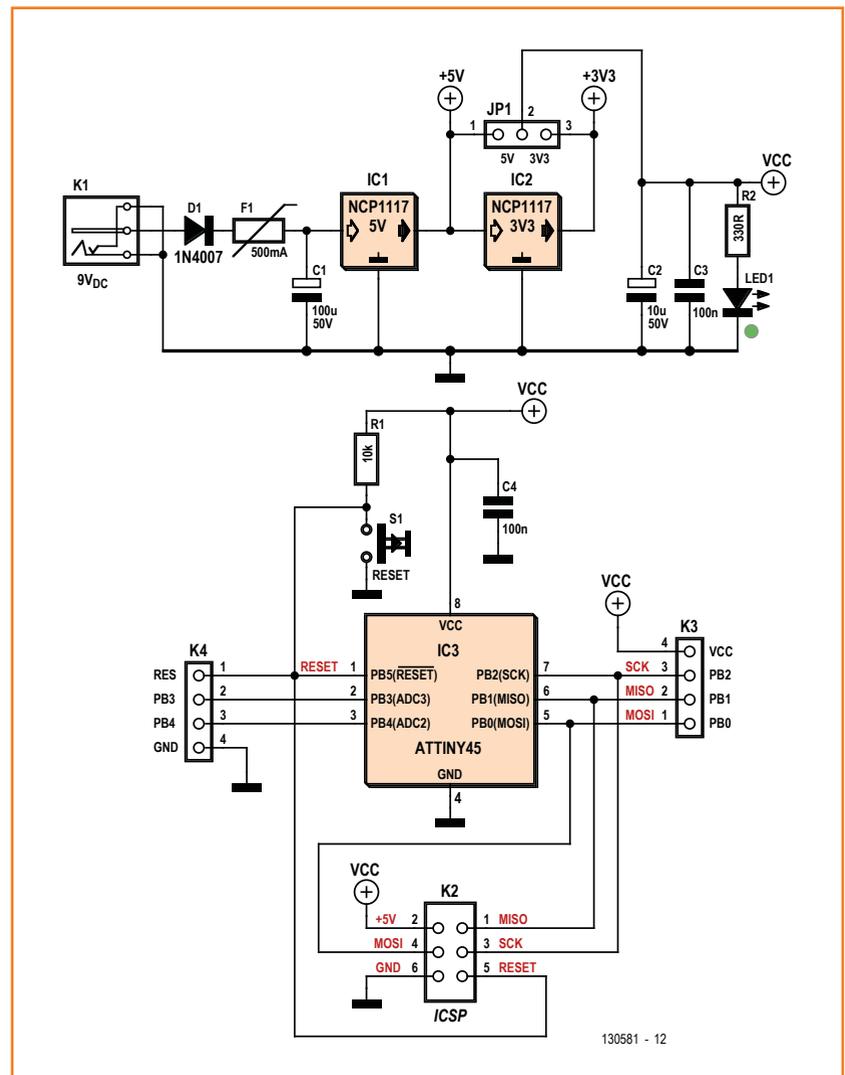
Conception électrique

Il existe trois cartes *T-Board* différentes : la 8, la 14 et la 28 ; vous choisirez celle qui correspond le mieux à vos besoins. Trois cartes, cela veut également dire trois schémas : **figures 1** (T-Board 8), **2** (T-Board 14), et **3** (T-Board 28). Abstraction faite des différences évidentes liées aux µC utilisés, les schémas sont en grande partie similaires. L'alimentation arrive par le jack standard de 2,1 mm avec positif au centre K1, traverse la diode de protection D1, le fusible à CTP 500 mA F1 et le condensateur de filtrage C1. Les deux régulateurs de tension IC1 et IC2 sont des modèles à faible tension de déchet spécifiés pour 5 V (NCP1117DT50G) et 3,3 V (LD1117S33TR),

avec une tension maximale en entrée de 20 V pour un courant de sortie de 1 A. Le cavalier JP1 permet de choisir la tension de sortie. La T-Board 28 et son AVR 328 peuvent également être alimentés par la carte FTDI, en supposant une alimentation de 5 V.

Les µC sont montés sur des supports DIL, pour permettre leur remplacement ; plusieurs d'entre eux possèdent des brochages compatibles. Un condensateur de découplage de 0,1 µF (C4) est placé près des broches VCC et GND du µC. Le connecteur ICSP est un modèle standard à 6 broches qui amènera l'alimentation lors de la programmation de la carte. N'oubliez pas que la tension sera déterminée par le programmeur. Un bouton de remise à zéro, S1, tirant le signal correspondant au niveau bas complète la description des éléments communs aux trois cartes.

Figure 1. Schéma de la T-Board 8 pour microcontrôleurs à 8 broches.

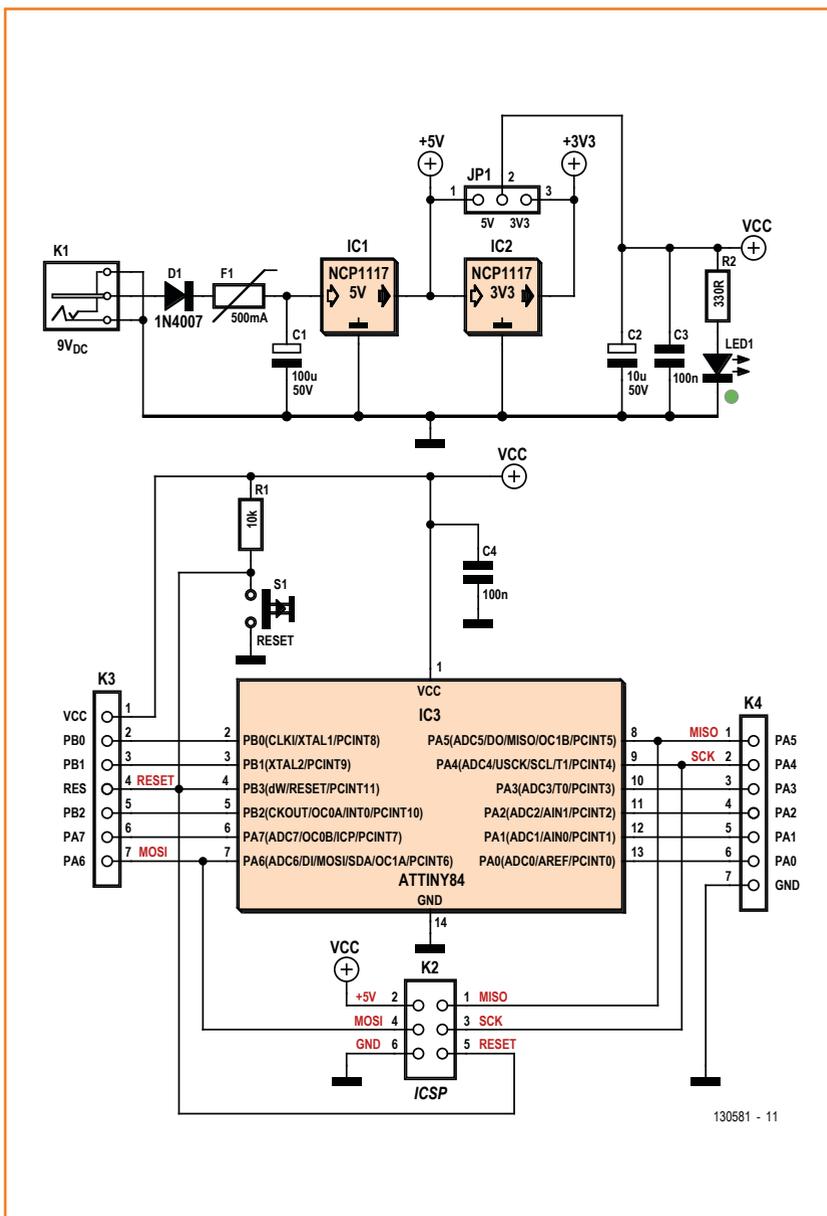


Les cartes

La conception mécanique des T-Board est plutôt directe comme en témoignent les photos des **figures 4, 5, et 6**. Le choix de la forme était le défi clé et il m'a fallu plusieurs itérations pour trouver un équilibre entre flexibilité, simplicité, dimensions de l'empreinte et évolutivité. Je suis arrivé à une forme en T afin de placer le plus de choses possible hors de la plaque d'essais : la gestion de l'énergie et le connecteur FTDI (de la T-Board-28) sont en dehors de la plaque d'essais. L'empreinte aurait encore pu être réduite (la

Figure 2.
Schéma de la T-Board 14 :
la moyenne équipée de
l'ATmega48.

carte occupe deux lignes de chaque côté de la partie centrale de la plaque d'essais), mais cela aurait nécessité des compromis que je jugeais inacceptables. J'aurais pu sacrifier la flexibilité en utilisant un µC CMS plus petit, mais on n'aurait alors pas pu le changer. Une empreinte plus petite aurait également pu être obtenue au détriment de la simplicité en déportant le µC hors de la carte (sous la forme d'un module enfichable vertical ou en utilisant une carte à 4 couches). Par rapport au cahier des charges, je trouve que les T-Board représentent un bon équilibre. Côté composants, j'ai retenu une combinaison de



Choisir votre EDI

Choisir un EDI est une décision très personnelle et en recommander un et un seul directement contrarierait à coup sûr les fidèles utilisateurs de Windows, Mac ou Linux, ou déclencherait un vif débat sur les mérites respectifs des logiciels commerciaux ou à sources ouvertes, légers ou pas. Finalement, la plupart des options disponibles conviennent pour ceux qui démarrent avec le développement sur microcontrôleur. C'est seulement quand vous vous attaquez à un système embarqué conséquent qui requerra vitesse/mémoire/optimisation de la consommation que vous aurez besoin d'étudier la question plus en détail. Voici quelques options pour vous aider à démarrer :

EDI Arduino

Oui, vous pouvez utiliser l'EDI Arduino [3] pour travailler directement avec un µC seul. Vous serez limité aux µC qu'il prend en charge, mais vous pourrez trouver plein de ressources en ligne pour prendre en charge un certain nombre d'autres µC comme ceux de la gamme Attiny.

Avantages : travailler avec un environnement familier ; des bibliothèques à disposition ; simple à configurer ; à sources ouvertes ; fonctionne sur Windows/MacOS/Linux.

Inconvénients : flexibilité limitée ; nombre limité de µC pris en charge ; absence de fonction avancées ; pas de débogage.

Eclipse avec le greffon AVR

Eclipse [4] est un EDI à sources ouvertes très populaire qui prend en charge beaucoup de langages de programmation et tourne sur Windows, MacOS et Linux. Sa flexibilité et sa polyvalence ne sont pas gratuites : il vous faudra un peu de temps, et une bonne compréhension de la chaîne de compilation (compilateur, éditeur de liens, assembleur),

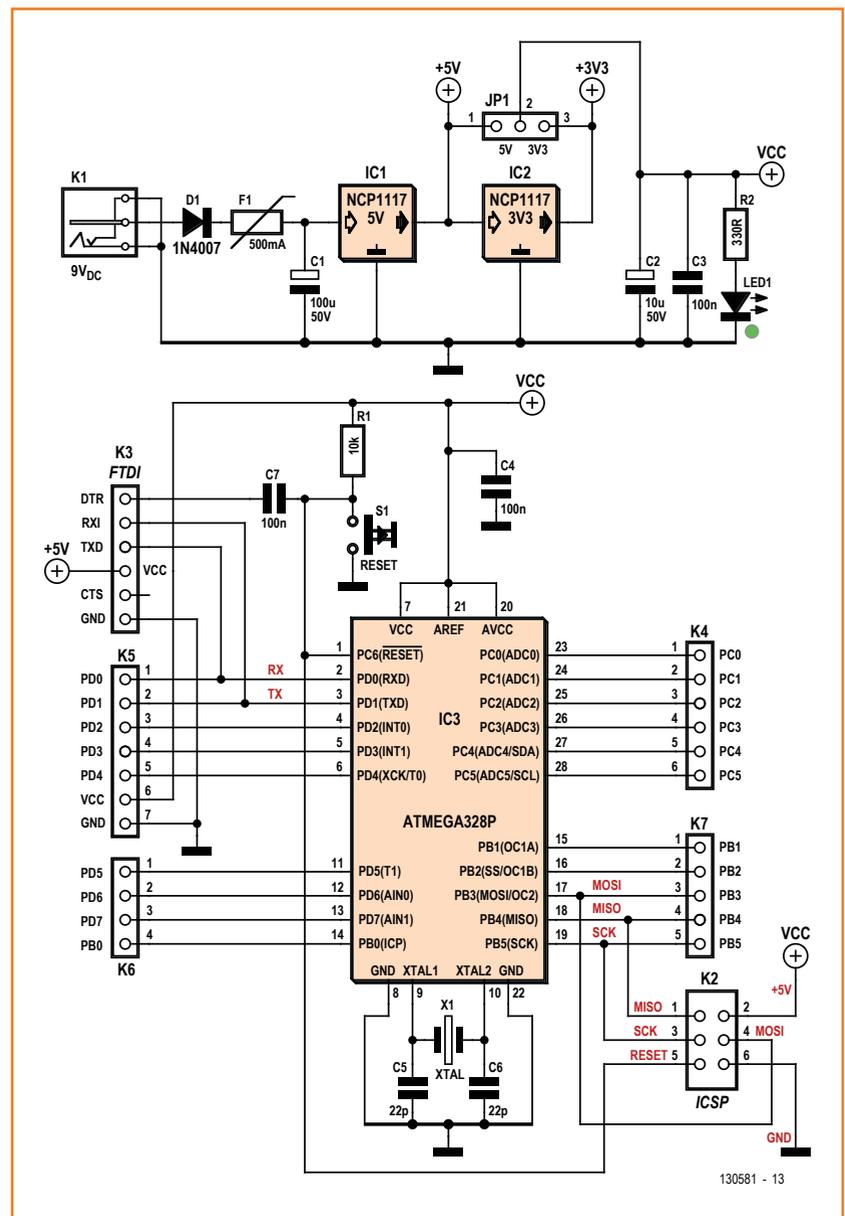
composants traversants et de gros CMS 1206, tous deux faciles à souder à la main. Certains lecteurs voudront peut-être assembler les cartes eux-mêmes sans pour autant avoir besoin d'un four à refusion. Les T-Board sont disponibles assemblées dans l'échoppe d'Elektor à un prix que vous aurez du mal à battre en assemblant tout vous-même. Par souci de complétude, de fidélité à la tradition Elektor et pour faire plaisir à tous les purs et durs de l'électronique qui insistent pour tout construire eux-mêmes de A à Z, les trois dispositions des composants et les listes de composants correspondantes sont reproduites en **figure 7**. Vous pourrez aussi télécharger

les typons depuis le site d'Elektor [10]. Vous voulez les construire vous-même ? Allez-y.

T-Board 28

La carte T-Board 28, à cause de son μC ATmega328, possède deux fonctions qui ne sont pas présentes sur les T-Boards 8 et 14 qui utilisent des ATtiny. Contrairement aux ATtiny les ATmega possèdent un UART matériel et des broches Tx/Rx spécifiques. C'est pour cela qu'un connecteur FTDI n'a été inclus que sur la T-Board 28. Cela permet à la carte de communiquer par liaison série : reliez-y un convertisseur série/USB tel que le BOB

Figure 3. Schéma de la T-Board 28 : la plus grosse de toutes, dotée du puissant ATmega328.



pour l'installer et le configurer.

Avantages : puissant et configurable ; à sources ouvertes ; fonctionne sur Windows/MacOS/Linux ; pas de limitation de taille de code ; une communauté active.

Inconvénients : nécessite un greffon pour prendre en charge les μC Atmel ; l'installation n'est pas directe ; ne permet pas le débogage directement.

Atmel Studio

C'est la solution d'Atmel [5], basée sur la plateforme Visual Studio. Il prend bien entendu en charge tous les μC d'Atmel, modèles ARM y compris et représente sans doute la meilleure option pour qui veut commencer en se concentrant sur les μC Atmel seulement.

Avantages : prise en charge de tous les μC Atmel ; fonctions avancées, débogage et simulation ; facile à installer et à faire marcher ; pas de limitation de taille de code.

Inconvénients : Windows seulement ; certains n'aiment pas l'interface Visual Studio ; la documentation pourrait être plus étoffée.

IAR Embedded Workbench [6]

Un EDI qui cible le marché professionnel dont il existe une version gratuite limitée en taille de code. Il prend en charge, en plus des μC d'Atmel, ceux d'autres fabricants majeurs, ce qui en fait un bon choix pour qui veut travailler sur de multiples μC avec un même outil.

Avantages : prise en charge de tous les μC Atmel ; fonctions avancées, débogage et simulation ; un seul outil professionnel pour les μC de plusieurs fabricants.

Inconvénients : version gratuite limitée à 4 Ko ; cher et disponible uniquement pour Windows.

d'Elektor [2] et vous pourrez communiquer avec un émulateur de terminal sur votre ordinateur ou programmer le μC , à supposer qu'il possède un chargeur de démarrage (*bootloader*). Il est bien entendu possible d'implanter une communication série en logiciel sur un ATtiny, mais comme ils ne possèdent pas de broches spécifiques, je n'ai pas prévu de connecteur FTDI. La T-Board 28 possède également un support à deux voies capable d'accueillir un résonateur à quartz. Conformément aux recommandations d'Atmel, des condensateurs de charge de 22 pF

sont présents. J'ai choisi de ne pas inclure ce connecteur sur les autres modèles de T-Board, encore une fois à cause du nombre limité de broches des μC . De plus, il est peu probable que les applications courantes qui y tourneront aient besoin de la précision supplémentaire offerte par un quartz externe.

L'a-b-c des T-Board

Comme dans le monde d'Arduino, il y a trois étapes pour assembler un projet T-Board. Cependant, et parce que nous utilisons des μC nus, c'est un peu plus complexe (et flexible).

Figure 4.
Prototype de la T-Board 8.
La version finale, disponible dans l'e-choppe, peut présenter de légères divergences par rapport à cette version.



Figure 5.
Prototype de la T-Board 14.
La version finale, disponible dans l'e-choppe, peut présenter de légères divergences par rapport à cette version.

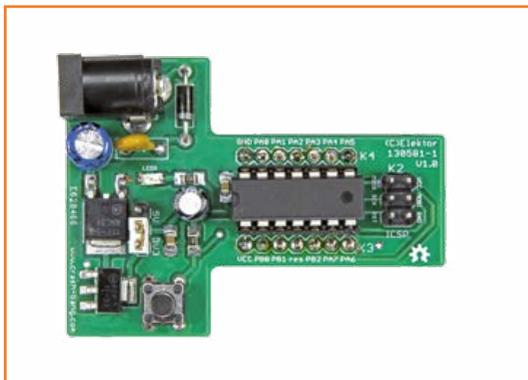
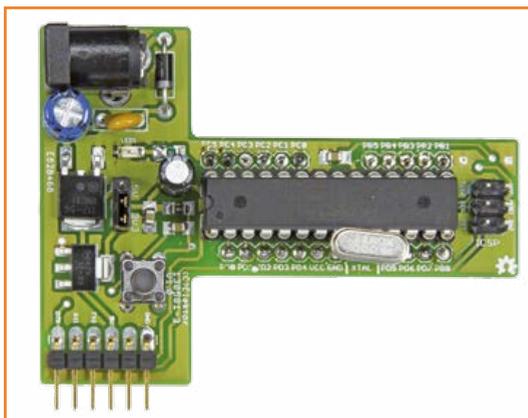


Figure 6.
Prototype de la T-Board 28.
La version finale, disponible dans l'e-choppe, peut présenter de légères divergences par rapport à cette version.



1. La première étape, la conception mécanique du projet, est en fait plus facile qu'avec Arduino. Enfichez la T-Board sur votre plaque d'essais, reliez-y le positif et le négatif de l'alimentation et vous pourrez commencer à placer des composants sur la plaque d'essais sans qu'il soit nécessaire d'ajouter des fils.
2. La deuxième étape, l'écriture du code pour commander le μC , peut être aussi simple ou complexe que vous le désirez. Vous pouvez vous cantonner à l'environnement de développement intégré Arduino ou choisir une solution plus flexible et possédant plus de fonctions telle que l'EDI *Atmel Studio*, *Eclipse* ou *IAR Workbench* (voir l'encart : Choisir votre EDI).
3. La troisième étape consiste bien sûr en la programmation du μC avec le code compilé. Avec un Arduino, on passe par le connecteur USB inclus. Il y a cependant des limitations à cette approche : on ne peut pas utiliser d'ATtiny par exemple. La carte T-Board est plus flexible et inclut des connecteurs ICSP. C'est le moyen le plus facile de charger votre programme sur le μC (voir l'encart : Choisir votre programmeur). Sur la T-Board 28, vous pourriez utiliser le connecteur FTDI, mais un programmeur ISP est plus facile, simple et rapide.

Un projet pour démarrer

Faire clignoter une LED est le « *Hello World* » dans le monde de l'embarqué et convient parfaitement pour illustrer le fonctionnement des T-Board. Pour ce projet, je vais utiliser *Atmel Studio* qui est l'EDI le plus simple à configurer (il suffit d'installer le fichier téléchargé en quelques clics depuis le site d'Atmel). Vous pouvez, si vous le souhaitez, transposer ces explications à un autre EDI. Nous allons suivre le procédé en trois étapes décrit précédemment.



Trois T-Board, un T-shirt

Pour convertir aux T-Board les utilisateurs d'Arduino, notre collaborateur Jaime, habituellement rédacteur d'Elektor.POST, s'est fait styliste pour dessiner ces tee-shirts.

Il n'existe qu'un modèle pour les trois cartes T-Board 8, 14 et 28. Pour toute commande comportant les trois T-Board, vous recevrez gratuitement un tee-shirt ; guettez les annonces sur Elektor.POST.



Étape 1 : mise en place de la plaque d'essais

- Enfichez la carte T-Board sur la plaque
- Positionnez le cavalier de sélection de la tension sur 5 V
- Reliez avec un fil la broche GND au rail d'alimentation négatif de la plaque d'essais
- Reliez avec une résistance une ligne vide de la plaque d'essais à (suivant la T-Board utilisée) :
 - PB0 sur la T-Board 28
 - PA5 sur la T-Board 14
 - PB4 sur la T-Board 8

- Reliez l'anode de la LED à la résistance et la cathode au rail d'alimentation négatif

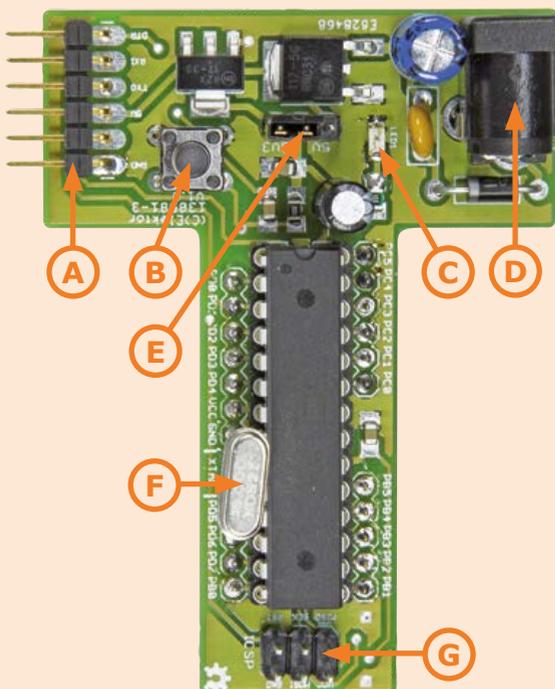
Étape 2 : écrire le programme

Créez un nouveau projet dans *Atmel Studio* en prenant garde de choisir *GCC C Executable Project*.

Sélectionnez le composant adéquat en fonction de la T-Board utilisée :

- T-Board 28 : ATmega328
- T-Board 14 : ATtiny 84
- T-Board 8 : ATtiny 45

Disposition physique et fonctions des moTules T-board



T-Board 28 (exemple)

- A. Connecteur FTDI :** pour relier un câble FTDI pour les communications série par USB (T-Board 28 seulement)
- B. Bouton de remise à zéro**
- C. LED témoin de mise sous tension**
- D. Connecteur d'alimentation :** un jack 2,1 mm standard avec positif au centre (9 V CC max.)
- E. Cavalier de sélection de tension :** permet au microcontrôleur de fonctionner en 5 V ou 3,3 V.
- F. Connecteur pour résonateur à quartz :** permet de relier un quartz externe (T-Board 28 seulement)
- G. Connecteur ICSP :** reliez-y un programmeur ISP pour programmer le microcontrôleur

Liste des composants

carte T-Board 8

Réf. 130581-2 (ATTiny45).
Disponible assemblée dans l'e-choppe.

Résistances

R1 = 10 kΩ 250 mW 1 %
R2 = 330 Ω 250 mW 5 %

Condensateurs

C1 = 100 µF 50 V radial
C2 = 10 µF 50 V radial
C3,C4 = 100 nF 50 V 10 % X7R

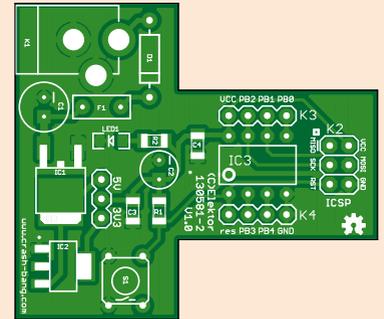
Semiconducteurs

D1 = 1N4007
LED1 = LED CMS verte 20 mA

IC1 = régulateur 5 V 1 A
NCP1117DT50G
IC2 = régulateur 3,3 V 1 A
NCP1117ST33T3G
IC3 = µC à 8 bits ATTINY45-20PU

Divers

K1 = jack d'alimentation 2,1 mm
K2 = barrette sécable double 6 voies
au pas de 2,54 mm (2x3)
K3,K4 = barrette sécable 4 voies au
pas de 2,54 mm
S1 = poussoir tactile, 24 V 50 mA,
6 x 6 mm
F1 = fusible réamorçable à CTP 500 mA
JP1 = barrette sécable 3 voies au pas de
2,54 mm



support CI 8 voies DIL
cavalier au pas de 2,54 mm
circuit imprimé réf 130581-2

Liste des composants

carte T-Board 14

Réf. 130581-1 (ATTiny84).
Disponible assemblée dans l'e-choppe.

Résistances

R1 = 10 kΩ 250 mW 1 %
R2 = 330 Ω 250 mW 5 %

Condensateurs

C1 = 100 µF 50 V radial
C2 = 10 µF 50 V radial
C3,C4 = 100 nF 50 V 10 % X7R

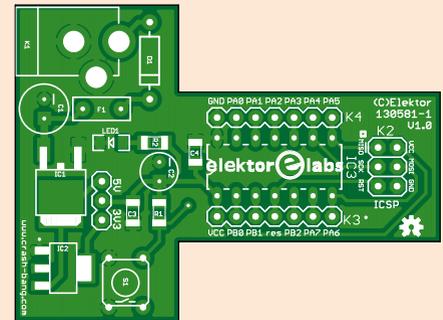
Semiconducteurs

D1 = 1N4007
LED1 = LED CMS verte 20 mA

IC1 = régulateur 5 V 1 A
NCP1117DT50G
IC2 = régulateur 3,3 V 1 A
NCP1117ST33T3G
IC3 = µC à 8 bits ATTINY84-20PU

Divers

K1 = jack d'alimentation 2,1 mm
K2 = barrette sécable double 6 voies
au pas de 2,54 mm (2x3)
K3,K4 = barrette sécable 7 voies au
pas de 2,54 mm
S1 = poussoir tactile, 24 V 50 mA,
6 x 6 mm
F1 = fusible réamorçable à CTP 500 mA
JP1 = barrette sécable 3 voies au pas de
2,54 mm



support CI 14 voies DIL
cavalier au pas de 2,54 mm
circuit imprimé réf 130581-1

Liste des composants

carte T-Board 28

Réf. 130581-3 (ATMega328).
Disponible assemblée dans l'e-choppe.

Résistances

R1 = 10 kΩ 250 mW 1 %
R2 = 330 Ω 250 mW 5 %

Condensateurs

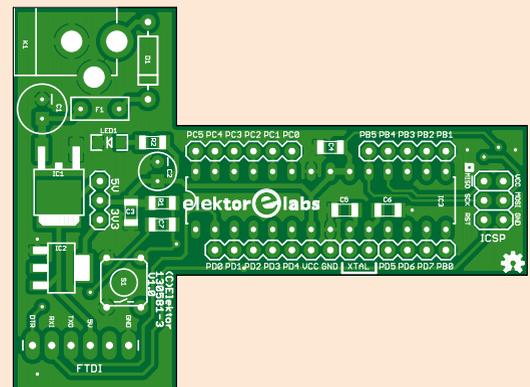
C1 = 100 µF 50 V radial
C2 = 10 µF 50 V radial
C3,C4,C7 = 100 nF 50 V 10 % X7R
C5,C6 = 22 pF, 50 V, 1206

Semiconducteurs

D1 = 1N4007
LED1 = LED CMS verte 20 mA
IC1 = régulateur 5 V 1 A NCP1117DT50G
IC2 = régulateur 3,3 V 1 A NCP1117ST33T3G
IC3 = µC à 8 bits ATMEGA328P-PU

Divers

K1 = jack d'alimentation 2,1 mm
K2 = barrette sécable double 6 voies
au pas de 2,54 mm (2x3)
K3 = barrette sécable coudée 6 voies
au pas de 2,54 mm
K4 = barrette sécable 6 voies
au pas de 2,54 mm
K5 = barrette sécable 7 voies
au pas de 2,54 mm
K6 = barrette sécable 4 voies
au pas de 2,54 mm
K7 = barrette sécable 5 voies
au pas de 2,54 mm
X1 = embase à deux voies
S1 = poussoir tactile, 24 V 50 mA, 6 x 6 mm
F1 = fusible réamorçable à CTP 500 mA
JP1 = barrette sécable 3 voies
au pas de 2,54 mm



support CI 28 voies DIL étroit
cavalier au pas de 2,54 mm
circuit imprimé réf 130581-3

Figure 7. Disposition des composants des T-Board 8, T-Board 14, et T-Board 28.

Dans l'e-choppe sur www.elektor.fr, toutes les cartes T-Board sont disponibles sous forme de moTules assemblés.

Saisissez ensuite le code du **listing 1** dans *Atmel Studio*. Ce code, loin d'être optimal, est de par sa simplicité parfait pour un premier exemple. Si vous êtes un habitué d'Arduino, vous ne reconnaîtrez probablement pas certaines parties du code ; si c'est le cas, la lecture de la série d'articles « l'atelier du microcontrôleur » dont la parution a commencé dans le numéro d'avril 2014 d'Elektor est chaudement recommandée !

Si vous n'utilisez pas la T-Board 28, n'oubliez pas de modifier le code pour qu'il fasse référence à la broche à laquelle est reliée la LED ; référez-vous au **tableau 1**.

Une fois le code saisi, il devra être compilé. Assurez-vous que le *Configuration Manager* est en position *release*, puis appuyez sur F7 pour lancer la construction.

Étape 3 :

charger le programme sur la T-Board

Reliez le programmeur à la T-Board et au PC

Tableau 1. Changements à apporter au programmeur pour l'adapter à une T-Board 8 ou T-Board 14.

Existant	T-Board 14	T-Board 8
DDRB	DDRA	DDRB
DDB0	DDA5	DDB4
PORTB	PORTA	PORTB
PORTB0	PORTA5	PORTB4

Sélectionnez le programmeur utilisé en vous rendant dans le menu **Project** → **Properties**. Depuis l'onglet **Tool**, sélectionnez le **debugger/programmer** que vous utilisez.

Chargez le programme sur la T-Board à l'aide du menu **Debug** → **Start without Debugging**.

La LED devrait commencer à clignoter.

Si vous le souhaitez vous pouvez maintenant déconnecter la T-Board du programmeur ISP et y relier une pile 9 V pour qu'elle fonctionne de manière autonome.

Listing 1. Faire clignoter une LED sur les T-Board.

```

/*
 * T_Board_Blink.c
 *
 * Créé : 24/05/2014 11:54:26
 * Auteur : Andrew Retallack, Crash-Bang Prototyping
 *
 */

#define F_CPU 16000000UL //horloge à 16 MHz, utilisé pour le délai

#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

int main(void)
{
    //configuration du port de la LED
    DDRB |= (1<<DDB0); // réglage de PB0 en sortie

    while(1)
    {
        PORTB |= (1<<PORTB0); //illumination de la LED en passant PB0 au niveau haut
        _delay_ms(1000); //délai d'une seconde
        PORTB &= ~(1<<PORTB0); //extinction de la LED en passant PB0 au niveau bas
        _delay_ms(1000); //délai d'une seconde
    }
}

```



À propos de l'auteur

Fort de son expérience des systèmes d'information et du développement logiciel, Andrew Retallack a découvert il y a quelques années la joie d'utiliser l'électronique pour interagir avec le monde physique. Il aime partager ses découvertes avec ceux qui n'ont pas étudié l'électronique à l'école et se concentre sur les projets à base d'AVR ou MSP430. Ses thèmes de prédilection sont l'automatisation, la radio et tout ce qui possède un capteur.

Je pense que vous serez d'accord sur le fait que c'est beaucoup plus simple que de tout se farcir à la main.

Aller plus loin

La famille T-Board a été conçue pour permettre une plus grande flexibilité que l'Arduino. J'étais particulièrement intéressé par le fait qu'elles permettent d'optimiser la consommation des projets facilement et à bas coût. Dans un prochain article, je vous expliquerai comment utiliser les T-Board pour mesurer le courant consommé par un projet puis comment le réduire en changeant la tension d'alimentation, en utilisant les modes d'économie d'énergie et en changeant la fréquence d'horloge du processeur.

(130581 – version française : Kévin Petit)

Choisir votre programmeur

Un ISP ou *In-System Programmer* est un outil matériel permettant de charger votre code compilé sur un microcontrôleur. Il en existe toute une gamme, mais voici trois options susceptibles de convenir aux bricoleurs. Si vous en connaissez d'autres, faites-nous signe.

Arduino comme ISP

Peut-être savez-vous déjà qu'Arduino peut être utilisé comme ISP. Reliez simplement quatre broches de l'Arduino au connecteur ICSP de la T-Board, ainsi que l'alimentation et la masse, et vous êtes paré. Vous trouverez en ligne [7] un document détaillé qui vous guidera pas à pas. Cela ne coûte rien si vous possédez déjà un Arduino. Dans le cas contraire, je vous recommande de considérer l'achat d'un programmeur dédié. L'inconvénient, je vous l'accorde, lorsque vous utilisez Arduino est d'avoir à câbler la T-Board à chaque fois que vous souhaitez la programmer ; vous voudrez peut-être construire un câble avec connecteur ICSP pour accélérer les choses.

USBTinyISP

Il s'agit d'un projet collaboratif à sources ouvertes qui utilise en fait un μC ATtiny comme programmeur. C'est une formidable option à bas coût que vous pourrez construire vous-même si vous le désirez (des kits sont également disponibles). Son seul inconvénient est l'absence de prise en charge directe par Atmel Studio : il utilise le logiciel AVRdude pour commander la programmation du μC . Cela veut dire qu'il y aura quelques étapes de configuration supplémentaires [8] et que vous n'aurez pas accès à certaines fonctions (p.-ex. la programmation des fusibles), mais l'économie pourrait en valoir la peine.

AVRISP mkII

L'ISP d'Atmel, le AVRISP mkII [9], est le plus cher des trois présentés ici, mais, à 34 \$ alors que j'écris cet article, encore accessible. L'avantage de cet outil est qu'il est directement pris en charge par Atmel Studio. Il faudra cependant se farcir un peu de configuration pour le faire fonctionner avec d'autres EDI ; il n'est apparemment pas pris en charge par IAR Embedded Workbench.

Liens

- [1] www.crash-bang.com/resource/breadboard-arduino/
- [2] www.elektor.fr/ft232r-usb-serial-bridge-bob-110553-91
- [3] <http://arduino.cc/en/Main/Software>
- [4] www.eclipse.org/
- [5] www.atmel.com/Microsite/atmel_studio6/
- [6] www.iar.com/Products/IAR-Embedded-Workbench/AVR/
- [7] www.crash-bang.com/resource/bootload-atmega328/
- [8] www.crash-bang.com/using-usbtiny-with-atmelstudio/
- [9] www.atmel.com/tools/avrismkii.aspx
- [10] www.elektor-magazine.fr/130581



PENDANT QUATRE JOURS, L'AVENIR EST ICI, MAINTENANT.

Le CES International 2015. L'élite dans l'innovation, le business et la technologie, et le seul spectacle sur Terre qui promet le futur. Et ceci d'une manière dont jamais vous ne l'auriez imaginé. Inscrivez-vous maintenant sur CESweb.org.



JANVIER 6 - 9, 2015
LAS VEGAS, NEVADA
CESWEB.ORG
#CES2015

alim de labo *PRO*

la qualité a son prix



**Arne Hinz &
Martin Christoph**
(Allemagne)

Il n'y a pas que des alimentations ordinaires qu'on trouve à la pelle, pareille abondance vaut aussi pour celles de laboratoire, que l'on met d'ailleurs à toutes les sauces. Mais si vous en voulez une de qualité, à haute stabilité et réglage précis, même de faible puissance, il faudra mettre le prix fort... à moins de la construire vous-même, bien sûr.

Pour de petits bricolages, de temps à autre, une alimentation modeste convient si elle peut délivrer 1 A sous une tension réglable entre 1 et 12 V. Pour la plupart des circuits que l'on assemble soi-même, elle s'en tire bien. Une source de tension

réglable et stabilisée avec son boîtier, vous pourrez la trouver dans le commerce de l'électronique à partir de 50 euros et souvent elle vous offre en plus l'affichage de la tension **et** du courant en même temps.

On s'en doute, dans un certain nombre d'autres cas, elle ne suffira pas à la tâche. Il y a des amateurs exigeants qui se lancent dans des projets électroniques complexes et, surtout dans les laboratoires de développement professionnel, il faut de bonnes alimentations parce qu'elles sont des références dans toutes les techniques de mesure, donc leur prix est élevé. Mais quelles qualités faut-il prendre en considération ? En fait, les critères dépendent souvent de l'application envisagée. Quand on voit l'afflux d'alimentations de labo qui offrent beaucoup de puissance pour peu d'argent, il est temps de se poser des questions et d'affûter son sens critique.

En provenance d'Extrême-Orient, on trouve déjà pour 100 € des alimentations avec une plage de réglage de tension de (presque) 0 V jusqu'à 30 V ainsi que la limitation du courant entre (presque) 0 A et jusqu'à 3 A, avec en prime un affichage numérique, une télécommande et d'autres fonctions. Ajoutez-y une cinquantaine d'euros, vous trouverez des modèles à convertir à découpage d'une puissance de 600 W. Mais l'économie n'est qu'apparente, elle est de bouts de chandelles. Pas besoin d'être grand clerc pour s'apercevoir qu'à ce prix, il n'est pas possible de compter simultanément sur un rendement convenable, sur la durabilité et sur une bonne stabilisation de la tension. Pour une alimentation secteur, la qualité se paie.

Celle que nous présentons ici ne va pas chercher dans le millier d'euros, mais ses caractéristiques sont remarquables.

L'idée du circuit

D'abord, une bonne alimentation de labo ne doit pas chauffer fort, ensuite, elle doit être stable. Pour répondre à la première exigence, il faut passer à la technique de régulation par découpage. Réduire les pertes de puissance, donc la dissipation de chaleur, augmente la durée de vie et diminue la dérive de la tension de sortie, laquelle ne doit (presque) pas varier, ni en fonction de la charge, ni de la température. C'est la stabilité statique. Pour la stabilité dynamique, il importe que la régulation soit rapide et nette : au moment d'un changement dans la charge, elle ne peut produire qu'un minimum d'oscillation. Et, cela va de soi, absence de ronflement et de parasites. Avec les régulateurs à commutation, on garde difficilement le contrôle sur les parasites à haute fréquence. Enfin, il faut encore citer un critère qui tient moins à la qualité qu'à l'aspect

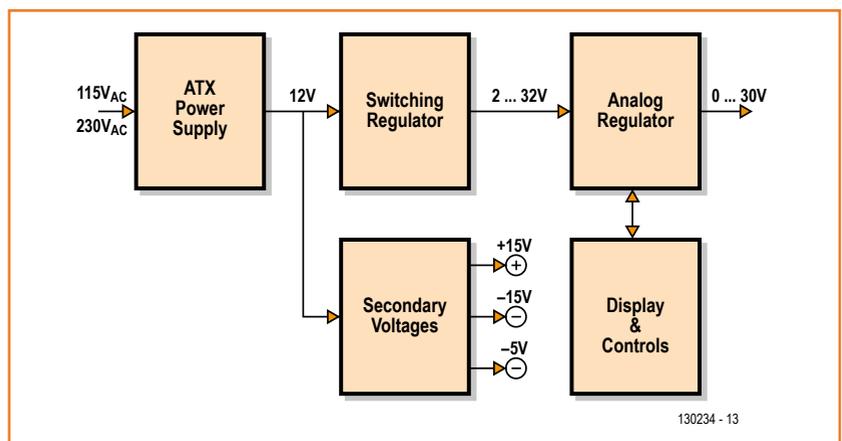
Caractéristiques techniques

- Alimentation de laboratoire à haut rendement avec stabilisateur à découpage par anticipation
- Alimentation de PC comme source de 12 V
- Rendement jusqu'à 70 %
- Isolation galvanique complète entre modules différents
- Tension de sortie de 0 à 30 V réglable par pas de 10 mV
- Limitation du courant de sortie de 0 à 1 A réglable par pas de 10 mA
- Affichage de tension et courant sur chiffres LED
- Bonne régulation de charge
- Faible dérive
- Débranchement rapide par bouton d'urgence

pratique : si une alimentation délivre plusieurs tensions, mieux vaut qu'elles soient isolées l'une de l'autre au niveau galvanique, de manière à pouvoir les associer comme on veut et les commuter ensemble sans risque.

On le voit, les critères d'efficacité et de qualité sont antinomiques : difficile de combiner un faible niveau de perturbations à une grande vitesse de réaction. La solution logique pour circonvenir cette apparente contradiction réside dans l'association des techniques analogique et de commutation pour récolter les avantages des deux stratégies. Cette solution passe par une régulation linéaire classique en sortie, elle permettra de régler rapidement tension et courant sans introduire de perturbation dans le fonctionnement. La partie à découpage se place devant l'analogique pour lui fournir en permanence une tension légèrement supérieure à celle demandée en sortie, mais avec de moindres exigences de qualité. L'étage de sortie linéaire, même pour de basses tensions de sortie et des courants forts, ne présente

Figure 1. Le diagramme fonctionnel annonce la couleur : cette alimentation de laboratoire n'est pas un circuit tout simple.



que de faibles pertes de puissance, puisqu'elle n'est approvisionnée que de la tension tout juste nécessaire à la régulation. Cela demande plus de composants, donc c'est à la fois plus cher et plus complexe. Les alimentations de laboratoire du commerce qui appliquent ce concept sont donc extrêmement chères.

Nous avons pris tout cela en considération et y avons bien réfléchi. L'étude a démarré à l'Institut d'électronique de puissance et d'entraînements électriques (ISEA) de l'université technique (RWTH) d'Aix-la-Chapelle (Allemagne). Plus tard, Arne Hinz a pu optimiser le projet pendant un stage pratique au Laboratoire Elektor.

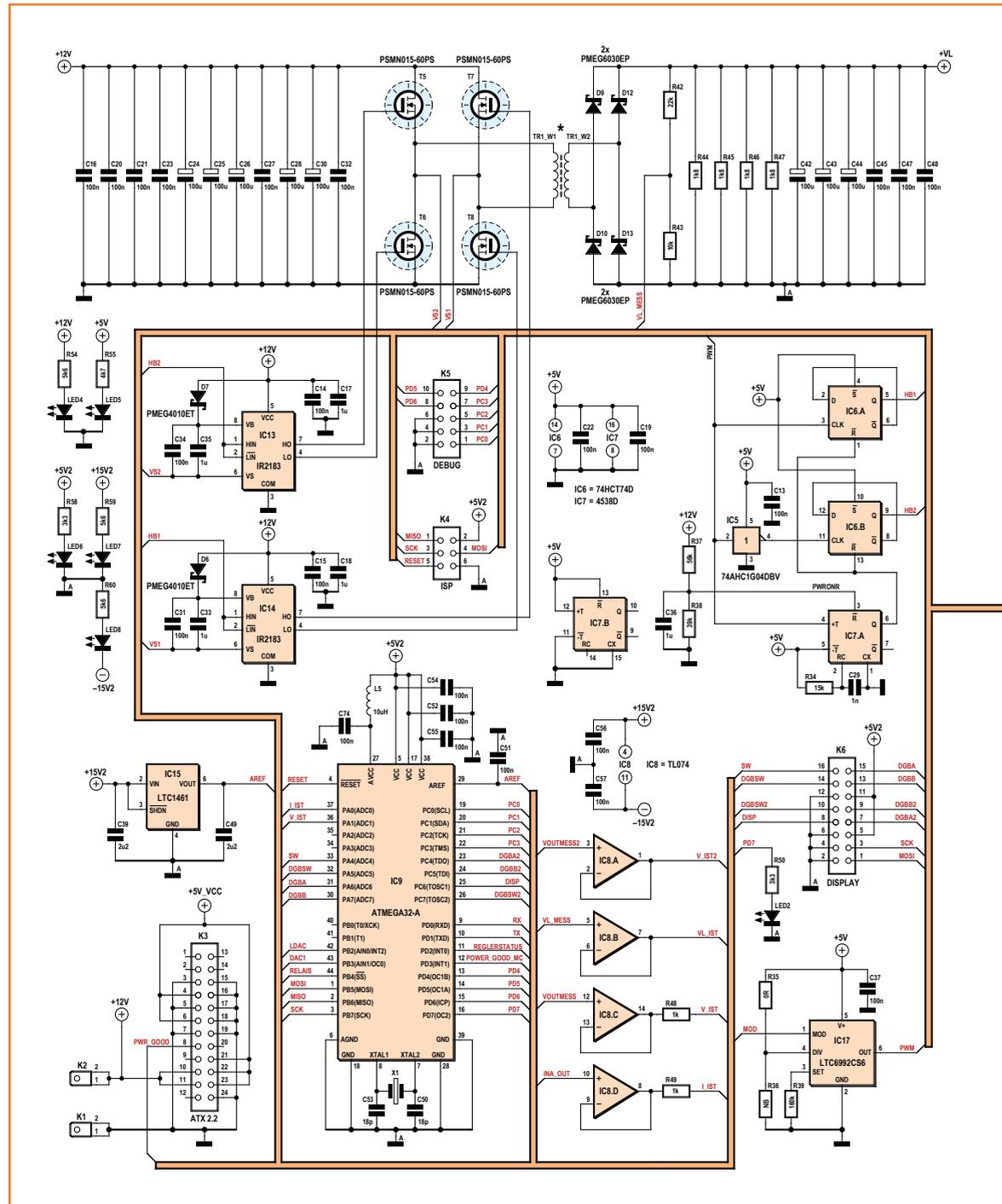
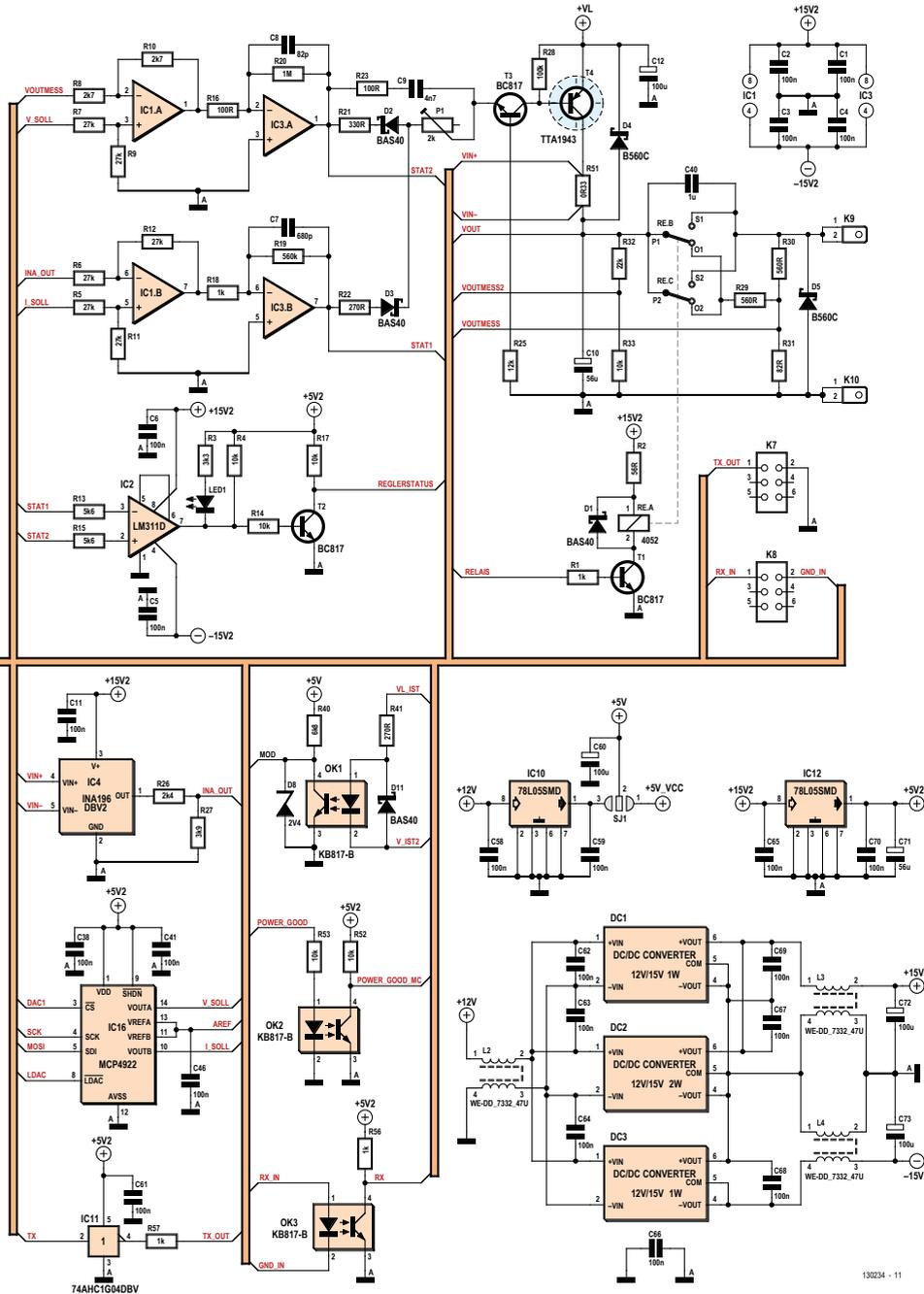


Figure 2. Le circuit, même sans les organes de commande, est déjà vaste.

Le résultat, nous vous le présentons sous la forme du diagramme fonctionnel de la **figure 1**. Pour faciliter la construction personnelle, l'alimentation à découpage choisie n'est pas branchée directement sur les 230 V du secteur. Nous avons préféré une solution à basse tension, en partant d'une tension de 12 V que l'on peut trouver de

qualité suffisante et à bon prix avec les alimentations secteur pour PC, disponibles pour des puissances de 200 W jusqu'à 1 kW. Nous passons ainsi à une structure à trois étages. Dans la partie supérieure du diagramme, on trouve donc à gauche une alimentation ordinaire ATX pour fournir la puissance au régulateur à découpage de



130234 - 11

milieu qui sert de réglage préalable pour l'étage final linéaire de droite. En dessous, au milieu, on produit les tensions d'alimentation de ± 15 V et +5 V pour l'électronique et à droite, le module de service avec affichage de tension et de courant. L'avantage de la structure modulaire à trois étages est d'obtenir une isolation galvanique des sources quand on met en œuvre dans un boîtier plusieurs combinaisons d'étages intermédiaires à découpage et de régulateurs linéaires sur la même alimentation ATX. L'étage intermédiaire à découpage est équipé d'un transformateur de puissance pour assurer l'isolation galvanique. On peut dès lors combiner à sa guise toutes les alimentations.

Circuit circonstancié

Les généralités sont dites : l'alimentation de labo de qualité se compose d'un stabilisateur à découpage à séparation de potentiel et d'un régulateur linéaire en sortie. Le tout est alimenté par une source de 12 V puissante, du genre ATX. Il y a un circuit imprimé pour le microcontrôleur qui commande les deux régulateurs et un autre circuit imprimé pour l'affichage et les réglages. Ensemble, ils forment un module compact dont on peut loger plusieurs exemplaires dans un châssis classique de 19 pouces, tous alimentés sur un seul ATX.

Pensons d'abord aux exigences : la qualité ne se résume pas à l'emploi d'un châssis de 19 pouces ni à une grande puissance de sortie. Ce qui est prépondérant, c'est une régulation irréprochable. La structure retenue pèse sur le prix de revient. Pour que la dépense reste abordable, on s'en tiendra à une puissance raisonnable, celle de la plupart des alimentations de labo : une trentaine de volts et un courant jusqu'à 1 A. La puissance maximale de 30 W permet d'utiliser un petit transformateur dans la section de régulation à découpage que l'on pourra – pour peu qu'on soit « au courant » – construire facilement soi-même.

12 V à l'entrée

Le circuit de la **figure 2** est déjà assez impressionnant. Mais même si le plan de câblage complet présente une fameuse ampleur, il n'est pas si terrible qu'il en a l'air. En bas, à gauche, on trouve K3, un connecteur d'alimentation ATX-2.2 comme il y en a sur toute carte mère de PC. On

y branche directement le connecteur principal de la partie secteur d'un ATX. Ce connecteur K3 est câblé de telle sorte que l'alimentation du PC démarre, à condition d'y est connectée, dès qu'on l'allume. Du coup, c'est l'interrupteur de l'alimentation du PC qui devient l'interrupteur principal de toute l'alimentation de laboratoire. Les deux connecteurs plats K1 et K2 servent à conduire le 12 V à d'autres modules d'alimentation de labo.

Tensions auxiliaires

Le bloc *Secondary Voltages* de la figure 1 se retrouve dans le coin inférieur droit de la figure 2. C'est là que sont produites les tensions de ± 15 V pour des amplis op. par exemple, au moyen des convertisseurs continu/continu DC1, DC2, DC3. Pour la sortie +15V2, DC1 et DC2 sont mis en parallèle ; seul DC3 peut donner le -15 V2. Ces modules assurent encore la séparation galvanique. Comme ils travaillent par découpage, un puissant filtrage des parasites est prévu, à l'entrée, par la bobine L2 et en sortie, par L3 et L4. En l'absence de ces filtres, on retrouverait des signaux à haute fréquence jusque dans la tension de sortie de l'alimentation secteur ! Il est capital pour la compréhension du plan de câblage de savoir qu'il y a deux symboles de masse différents. Sur l'entrée du 12 V, vous voyez un symbole de masse ordinaire. Mais celui qui est flanqué d'un A, vous le trouverez sur toutes les sorties dotées de la séparation galvanique. Le condensateur à haute tension C40 couple l'une à l'autre en haute fréquence les deux masses pour éviter les perturbations.

L'alimentation 5 V est en double exemplaire. La majorité de l'électronique numérique, le μ C IC9 et le module d'affichage (**fig. 3**) sont branchés sur le +5V2 qui est formé par le petit régulateur linéaire IC12 à partir du +15V2. À part celui-là, il faut encore le +5V du côté de l'entrée par rapport à la masse d'entrée. Il dérive directement de la sortie à 5 V de l'alimentation du PC ou bien d'un autre régulateur, IC10, à partir de la ligne principale à 12 V. Comme certaines alimentations secteur pour PC subissent des chutes de tension quand la source est faible, mais que la ligne à 12 V supporte de sévères fluctuations de charge, il est préférable de le relier aux broches 2 et 3 du pont de soudure SJ1.

Stabilisateur à découpage

Ce bloc de la figure 1 est explicité à la figure 2. Commençons par le convertisseur de tension

proprement dit. En haut, à gauche du schéma, on voit la section d'entrée de 12 V abondamment découplée par la mise en parallèle de cinq petits condensateurs (C24, 25, 26, 28 et 30) et six condensateurs multicouches pour réduire l'impédance d'entrée en HF et bien atténuer les effets des pics de courant de l'alimentation secteur pour PC. La même tactique s'applique à la section secondaire, une telle mise en parallèle a une efficacité dynamique supérieure à un unique condensateur de capacité équivalente au total. Les quatre FET CMOS de puissance forment un montage en pont piloté par IC17, un LTC6992 modulateur de largeur d'impulsion (MLI) commandé en tension. Entre IC17 et les grilles des FET, on trouve encore les deux tampons MOSFET IC13 et IC14, des IRF2183, pour fournir le courant suffisant et aussi instaurer les temps morts qui empêchent les paires de FET de chaque demi-pont de conduire simultanément. De chaque côté, une diode Schottky (D6 / D7) forme avec les condensateurs réservoirs C31 et 33 / C34 et 35 un montage auto-élévateur (*bootstrap*) de manière à ce que les FET du haut puissent rece-

voir une tension assez élevée. Comme un IC17 ne délivre qu'un signal unipolaire en MLI à 300 kHz, il faut un inverseur, IC5, pour fournir le signal en opposition de phase. Puis, les deux bascules D de IC6 convertissent le signal de commande sur 150 kHz tout en respectant le rapport cyclique. Mais comment le stabilisateur à découpage fait-il pour maintenir en permanence sa tension de sortie légèrement au-dessus de celle du régulateur analogique ? Pour cela, il faut à IC17 un signal de commande MOD via le photocoupleur OK1. Sa LED reçoit simplement par R41 la différence de tension entre celle du stabilisateur à découpage et celle du régulateur linéaire. Cette différence doit rester dans une fourchette de 1,5 à 2 V, sinon MOD augmente et avec elle la tension de sortie du stabilisateur à découpage. Le signal VL_MESS de la sortie du stabilisateur à découpage provient du diviseur de tension R42/R43 et le signal VOUTMESS2 (sortie du régulateur analogique), du diviseur R32/R33. Les amplificateurs opérationnels IC8.A et IC8.B tamponnent ces deux signaux et les appliquent comme VL_IST et V_IST2 au photocoupleur OK1.

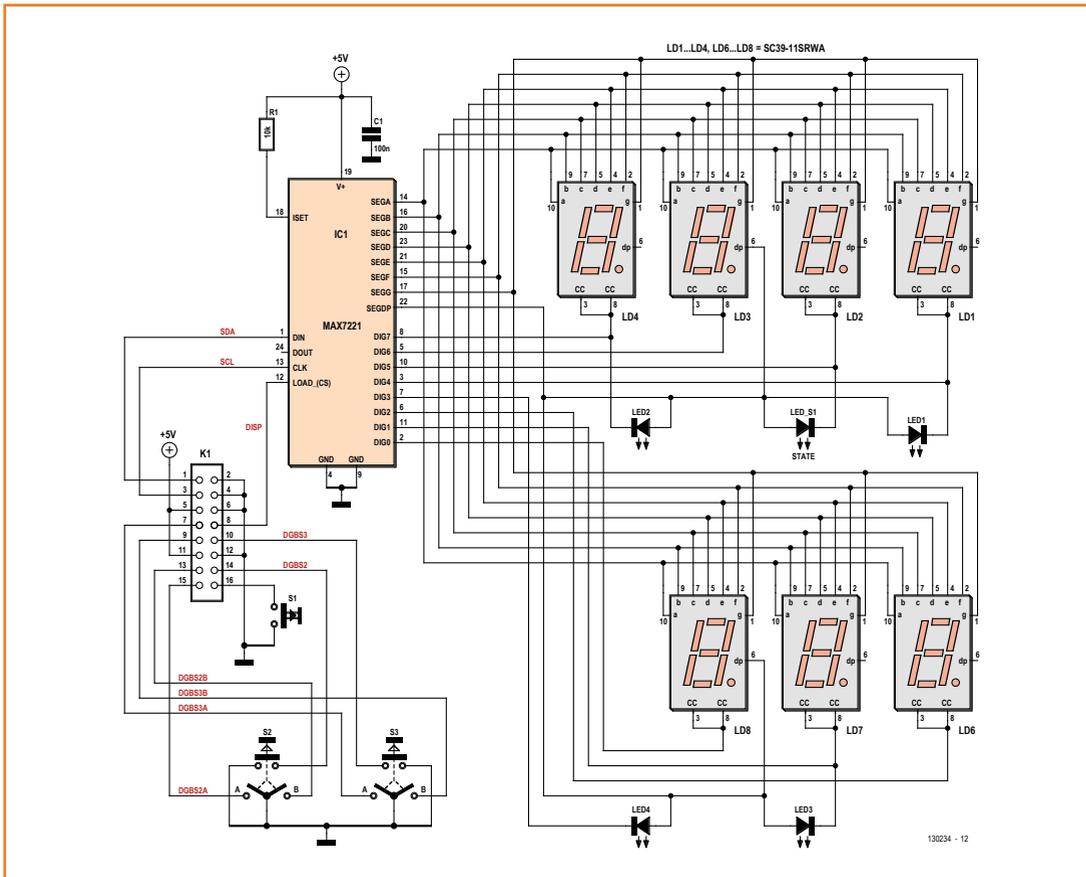


Figure 3. Le schéma des commandes manuelles avec affichages à LED et codeurs rotatifs est nettement plus simple.

Régulateur analogique

L'étage final du régulateur linéaire est composé du transistor de puissance PNP T4 en émetteur commun et piloté par T3. Le courant d'émetteur de T3, qui est aussi le courant de base de T4, provient des réglages de tension et de courant. Ce courant de T3 circule dans P1, et en fonction de l'étalonnage, il n'amène T4 qu'en légère saturation, ce qui favorise une bonne régulation. Les deux diodes D2 et D3 forment avec R21 et R22 un passage prioritaire pour le courant. Voici comme cela fonctionne. Tant que le courant de sortie reste sous la consigne, le réglage de ten-

sion (IC1.A et IC3.A) commande le courant de T4 et donc la tension de sortie ; celle en sortie de limitation de courant (IC1B et IC3.B) est basse et donc D3 bloque. Si jamais, à cause d'une charge de trop basse résistance, le courant devient trop fort, les sorties des réglages, tant de courant que de tension, l'attirent vers le positif et la tension de sortie descend à la valeur nécessaire au passage du courant maximum demandé. La limitation de courant est prioritaire du fait que R22 est plus petite que R21.

Pour le réglage de tension, IC1.A travaille en amplificateur de différence qui compare le signal

Liste des composants de l'alimentation secteur

Résistances :

(sauf indication contraire :
0,1 W, 1 %, CMS 0603)

R1, R18, R48, R49, R56, R57 = 1 kΩ
R2 = 56 Ω, 5 %, 0,33 W, CMS 0805
R3, R50, R58 = 3,3 kΩ
R4, R14, R17, R33, R43, R52, R53 = 10 kΩ
R5 à R7, R9, R11, R12 = 27 kΩ, 0,1 %
R8, R10 = 2,7 kΩ, 0,1 %
R13, R15, R54, R59, R60 = 5,6 kΩ
R16, R23 = 100 Ω
R19 = 560 kΩ
R20 = 1 MΩ
R21 = 330 Ω,
R22, R41 = 270 Ω
R25 = 12 kΩ
R26 = 2,4 kΩ
R27 = 3,9 kΩ
R28 = 100 kΩ
R29, R30 = 560 Ω, 1,5 W, CMS 2512
R31 = 82 Ω, 0,25 W, CMS 1206
R32, R42 = 22 kΩ
R34 = 15 kΩ
R35 = 0 Ω (pont de câblage)
R36 = non implanté
R37 = 56 kΩ
R38 = 39 kΩ
R39 = 160 kΩ
R40 = 6,8 kΩ
R44 à R47 = 1,8 kΩ, 1 W, 5 %, à fils
R51 = 0,33 Ω, 2 W, CMS 2512
R55 = 4,7 kΩ
P1 = 2 kΩ, ajust. multitours vert. (9353755)

Condensateurs :

(sauf indication contraire : 50 V, X7R,
CMS 0603)
C1 à C6, C11, C13 à C15, C19, C22, C31,
C34, C37, C38, C41, C46, C51, C52, C54 à
C59, C61 à C70, C74 = 100 nF
C7 = 680 pF NPO
C8 = 82 pF NPO
C9 = 4,7 nF
C10, C71 = 56 μF / 63 V, élect. au pas de
3,5 mm, ø 8 mm
C12, C24 à C26, C28, C30, C42 à C44, C60,

C72, C73 = 100 μF / 63 V, élect. au pas de
3,5 mm, ø 8 mm
C17, C18, C33, C35, C36 = 1 μF, X5R
C16, C20, C21, C23, C27, C32, C45, C47,
C48 = 100 nF, CMS 1206
C29 = 1 nF
C39, C49 = 2,2 μF / 50 V, X5R, CMS 0805
C40 = 1 μF / 100 V, PET, au pas de 7,5 mm
C50, C53 = 18 pF
C66 = 100 nF / 630 V, CMS 1812

Inductances :

L2, L3, L4 = 47 μH / 0,9 A, bobine double
(1869658)
L5 = 10 μH, CMS 0805 (Reichelt JCI 2012
10μ)

Semi-conducteurs :

D1 à D3, D11 = BAS40W Schottky,
CMS SOT323 (8734380)
D4, D5 = B560C, Schottky, CMS (1858602)
D6, D7 = PMEG4010ET, Schottky (2311223)
D9, D10, D12, D13 = PMEG6030EP, Schottky,
CMS SOD128 (1829207)
D8 = BZV55-C2V4, diode zener, CMS Mini-
MELF (1097193)
LED1, LED2, LED4 à LED8 = LED orange,
CMS 0603
OK1 à OK3 = KB817-B, DMD4, photocoupleur
standard
T1 à T3 = BC817, CMS SOT23
T4 = TTA1943, PNP, TO-3P (1901958, ou
2SA1943)
T5 à T8 = PSMN015-60PS, MOSFET à canal
N, TO220 (1845643)
IC1, IC3 = TL5580, CMS SOIC8 (1755396)
IC2 = LM311D, CMS SOIC8 (2293183)
IC4 = INA196AIDBVT, CMS SOT23-5
(1564942)
IC5, IC11 = 74HC1G04GW, CMS SOT353
(1085251)
IC6 = 74HCT74D, CMS SOIC14 (1085304)
IC7 = 74HCT4538D, CMS SOIC16 (1631658)
IC8 = TL074, CMS SOIC14 (1459705)
IC9 = ATmega32-A, CMS 44TQPF,
(programmé EPS 130234-41)
IC10, IC12 = 78L05, CMS SOIC8
IC13, IC14 = IR2183SPBF, CMS SOIC8

(1023247)

IC15 = LT1461CCS8-4, 4,096 V, CMS SOIC8
(1663430)
IC16 = MCP4922-E/SL, CMS SOIC14
(1332114)
IC17 = LTC6992CS6-2, CMS TSOT23-6
(1848046)
DC1, DC3 = TMA 1215S, 12/15 V, 1 W, Traco
(1007521)
DC2 = TMH 1215S, 12/15 V, 2 W, Traco
(1007560)

Divers :

X1 = quartz, 16 MHz, CMS HC49
radiateur pour T4, Fischer SK 08, 3,2 K/W
(Reichelt V 4511D)
radiateur pour T5 à T8, Fischer SK 125 84,
5,8 K/W (4621335)
K5 = embase à 2x5 picots (genre HE10)
K6 = embase à 2x8 picots
K4, K7, K8 = embase à 2x3 picots
K3 = fiche à 24 broches ATX-2.2 encartable
(2113352)
K1, K2, K9, K10 = cosse droite encartable
4,8 x 0,5 mm (4215552)
RE = relais 12 V 2 inverseurs (Reichelt FIN
40.52.9 12V)
2 x noyau ferrite E32/6/20-3F4 (3056107)
collier serre-câble pour fixation du noyau
tampon isolant céramique à faible R_{th} TO-3P,
pour T4 (RS 283-3830)
tampon isolant céramique à faible R_{th} TO220,
pour T5 à T8 (RS 177-7767)
boulon M3 pour radiateur et T4 à T8
châssis 19 pouces 3 unités de haut avec :
boîtier porte module 3HE, p.ex. Hammond
84TE 235mm type F
2 x rail de guidage pour boîtier 19 pouces
longueur 220 mm
circuit imprimé réf. 30234-1 et -3

Note : sauf mention contraire, les références entre parenthèses
sont celles du catalogue Farnell

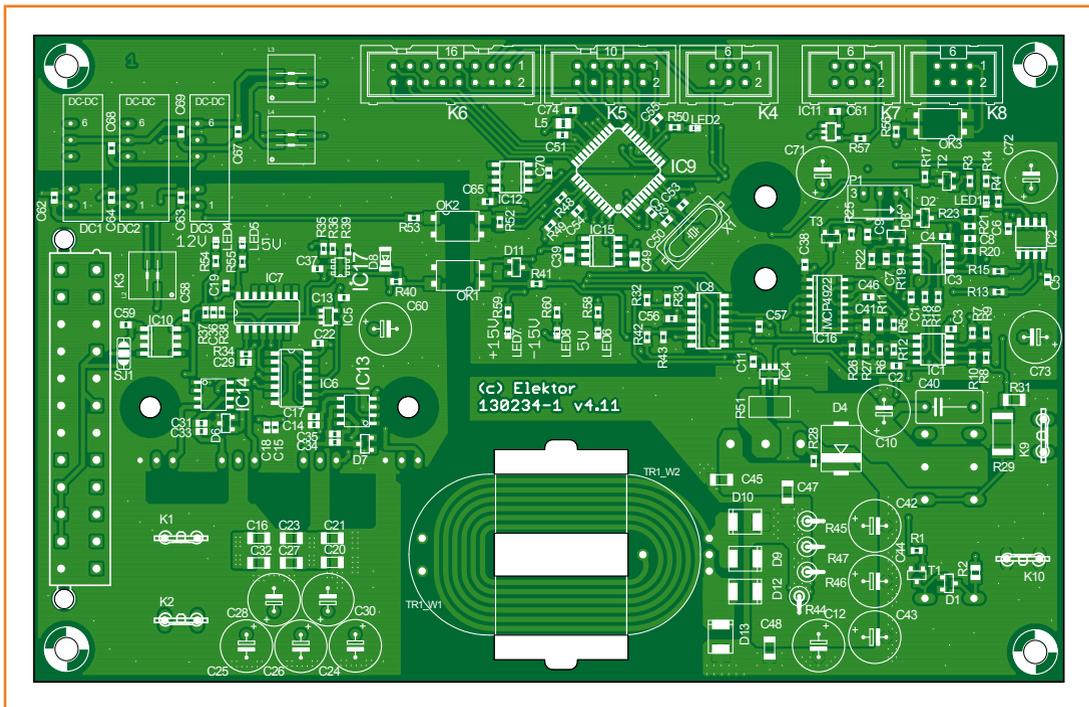


Figure 4. La sérigraphie d'implantation des composants du circuit imprimé du stabilisateur de la figure 2. Les transistors de puissance sont montés sur l'autre face (échelle 85 %).

VOUTMESS de la tension de sortie à travers R29, R30 et R31, avec la consigne V_SOLL qui est elle-même comparée au signal INA_OUT par IC1.B. Ce signal représente le courant qui passe. Pour cela, la chute de tension sur la petite résistance

de shunt R51 est convertie par IC4 (INA196), un circuit spécialisé, en une tension relative à la masse.

Mais à partir de quelles données peut-on gouverner ces valeurs de consigne ? C'est ici que,

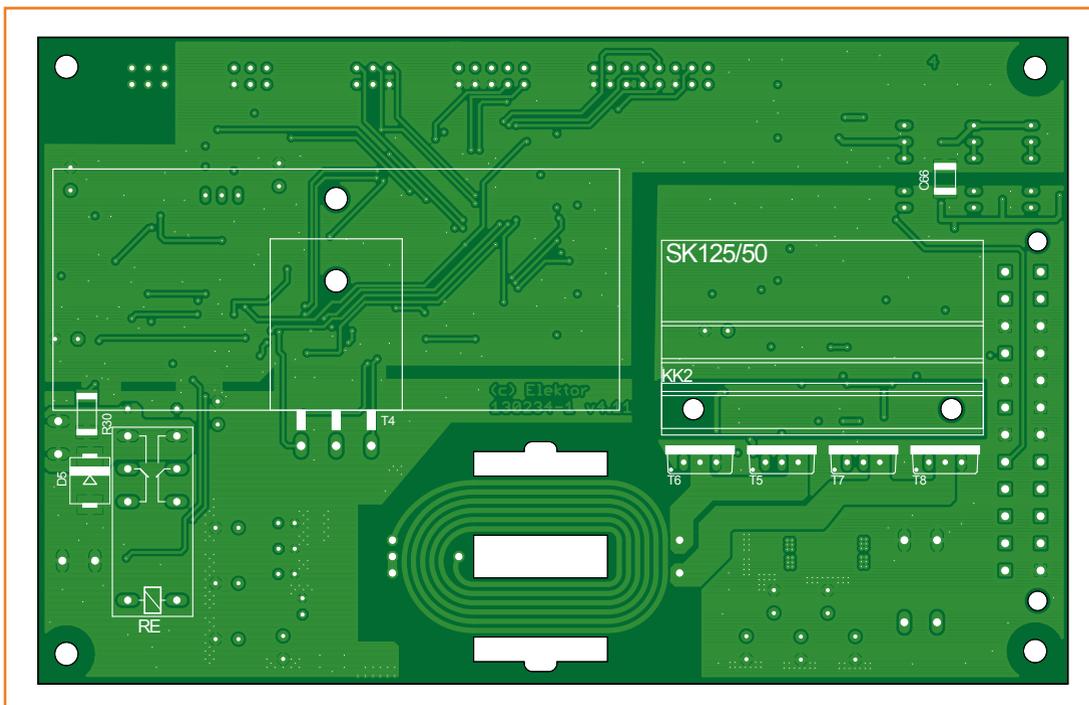


Figure 5. L'envers du circuit imprimé du stabilisateur. On y voit comment visser le radiateur et où placer les transistors de puissance.

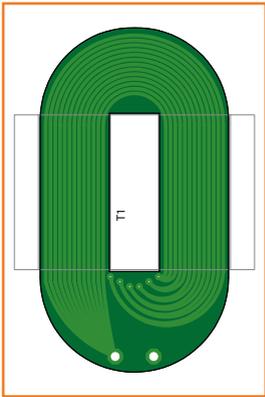


Figure 6. Le circuit imprimé qui sert d'enroulement secondaire au transformateur plat très particulier. À l'instar de la carte du stabilisateur, il compte quatre couches superposées.

finalement, le μC IC9 entre en scène. Il reçoit les signaux de tension et de courant qui, tamponnés par les amplis op IC8.C et IC8.D, s'appellent V_{IST} et I_{IST} sur deux entrées. IC9 mesure les tensions et en fournit les valeurs à l'affichage. En même temps, il transmet au convertisseur N/A (DAC) IC16 les données de consigne appropriées en fonction des réglages établis par l'utilisateur. Juste au-dessus de K3, on trouve IC15, un LT1461, régulateur de tension de précision dont le modèle indiqué fournit une tension de référence de 4,096 V à 0,08 % près, avec une dérive en température de 12 ppm/°C. Rien n'oblige d'aller jusqu'à cette classe de puces, puisque la précision finale dépend plus de celle des résistances des diviseurs de tension pour la mesure de la tension (R30/R31 et R32/R33) et du courant (R26/R27 et R51).

Affichage

La figure 3 montre le schéma des organes de commande, les boutons avec les afficheurs à 7 segments, les voyants à LED et leur circuit pilote. K1 est relié à K6 de la figure 2. Le pilote, un MAX7221, échange ses données en série avec le μC de la figure 2. Il commande par multiplex une rangée de quatre chiffres pour la tension et une autre à trois chiffres pour le courant. Pour l'une comme pour l'autre, la valeur s'exprime

toujours avec deux décimales. De ce fait, le pilote n'a pas à gérer les points décimaux, il s'occupe plutôt des LED1 à LED4 et de celles incorporées à S1. Les deux LED rouges de droite s'allument à leur tour quand on actionne la commande de tension (LED2) ou celle de courant (LED4). Les LED vertes à gauche s'allument quand on appuie sur S3 ou S2 pour fixer une nouvelle valeur de courant ou de tension. Et S1 s'allume quand la tension de sortie est atteinte.

Divers

Pour pouvoir établir avec S1 (figure 3) la tension de sortie, mais aussi la déconnecter d'urgence, on a besoin d'un relais. On voit à la figure 2 qu'il est activé par T1, lequel est commandé par une sortie numérique du μC à travers R1. Les LED4 à LED8 témoignent de la présence de la tension d'entrée et des tensions auxiliaires. Les diodes D4 et D5 protègent l'électronique des dégâts dus à des courants inverses en cas d'inversion de polarité, qui peut arriver à tout moment au labo quand on charge des accumulateurs p. ex. La vitesse du réglage dépend des cellules RC R20||C8 pour la tension et C7||R19 pour le courant. Le comparateur IC2 détermine s'il s'agit d'un réglage de tension ou de courant et en informe le μC par l'intermédiaire de T2. La LED1 s'allume pour une limitation de courant. Le multivibrateur monos-

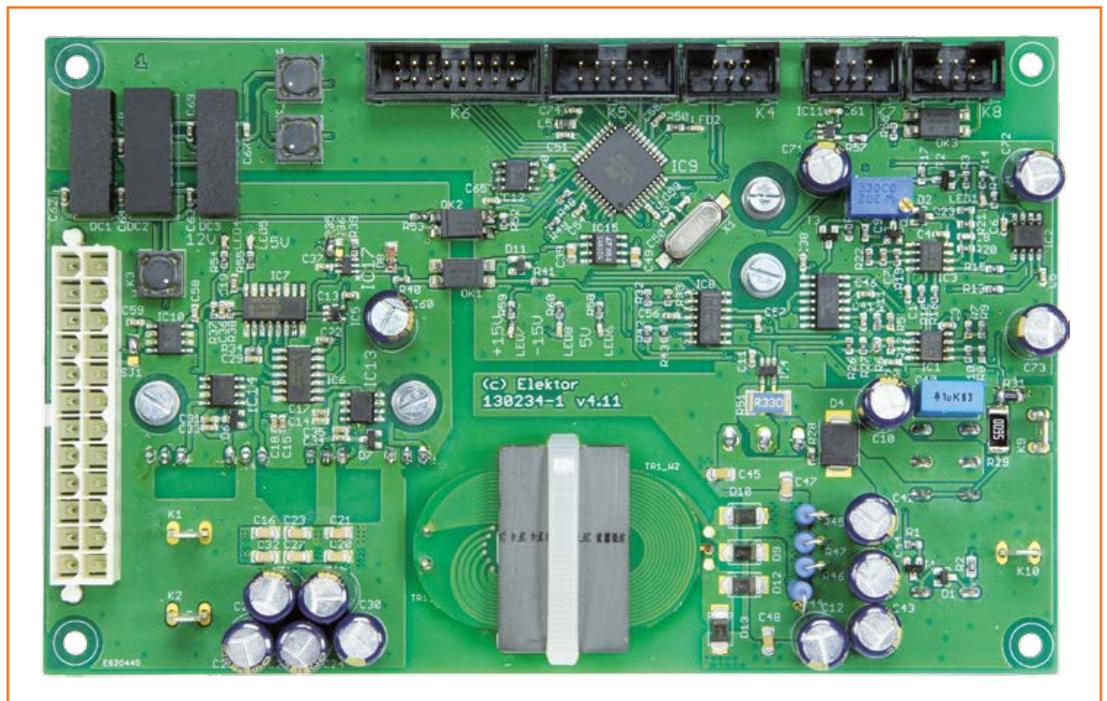


Figure 7. La photo du circuit imprimé du régulateur complet donne déjà une idée du transformateur plat.

table IC7.A, agissant par la broche de mise à zéro de IC6, introduit un retard à l'enclenchement grâce auquel le stabilisateur à découpage n'entre en action que quand toutes les tensions d'alimentation se sont stabilisées.

Le μC échange des données sérielles par USART avec K7 et K8. De cette façon, on peut coupler plusieurs modules d'alimentation pour obtenir une tension symétrique, par exemple. Le photocoupleur OK3 procure à l'entrée K8 une isolation galvanique qui permet un couplage en série des modules, car sans liaison électrique entre eux. Actuellement, l'application de l'interface n'est pas encore intégrée dans le micrologiciel, à vous de la créer si nécessaire. Certaines lignes d'E/S du μC sont accessibles par K5 en vue d'extensions du micrologiciel pour ses besoins particuliers. Quant à K4, il sert comme d'habitude à la programmation in situ du μC .

Le transformateur TR1 est un modèle planar, nous verrons plus loin comment le construire. Son rapport de transformation est de 2 à 3.

Construction

Aux schémas des figures 2 et 3 correspondent deux circuits imprimés séparés. L'utilisation massive de CMS au format 0603 présente l'avantage de la simplicité du soudage, même pour l'électronicien peu expérimenté. Ce projet complexe

n'est certainement pas destiné à un débutant, à moins qu'il puisse compter sur l'aide de quelqu'un d'averti. Il est presque superflu de rappeler qu'on commence par implanter les composants les plus plats pour terminer par les plus hauts.

Sur le circuit imprimé (**fig 4**), il y a trois particularités à observer. Deux d'entre elles se situent sur la face inférieure. T4 ainsi que T5 à T8 sont implantés de ce côté-là. De plus, le radiateur pour T4 doit y être fixé au moyen d'entretoises isolantes pour éviter de provoquer un court-circuit. Pour les radiateurs des FET, c'est plus simple, parce qu'ils se vissent directement sur le circuit imprimé au moyen de vis M3. Les FET eux-mêmes, on peut les visser ou plus simplement les fixer par le clip approprié. Il faut aussi isoler ces cinq transistors de leur radiateur au moyen de pastilles à faible résistance thermique.

Le composant le plus insolite de tout le projet, c'est certainement le transformateur planar. Il se compose de deux demi-coquilles de ferrite comme noyau et le plus ingénieux : il n'y a rien à bobiner. Le bobinage primaire est gravé d'avance. Quant au secondaire, il fait l'objet d'un circuit imprimé spécial (**fig. 6**) à relier à la carte de base par du gros fil de cuivre et à coller au moyen d'un film de Kapton ou autre polyamide adhésif, qui ne peut

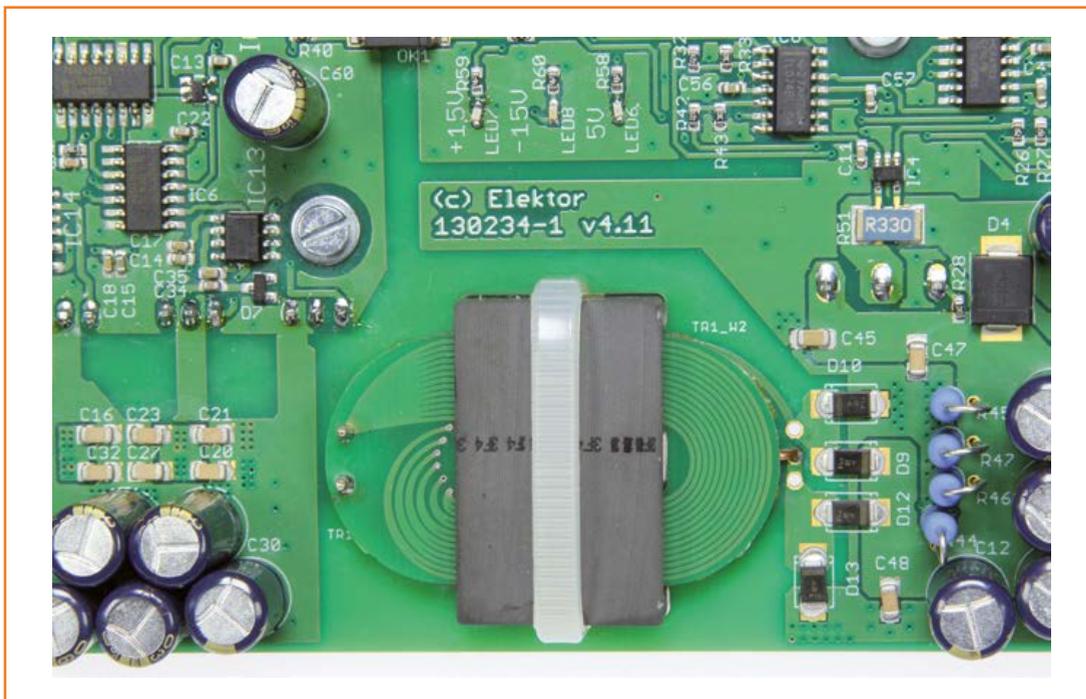


Figure 8. Un gros plan sur le transformateur Planar permet de voir comment l'enroulement secondaire est incorporé dans la petite carte.

cependant pas s'intercaler entre les moitiés du noyau. Ce transformateur imprimé n'occupe pas moins de volume qu'un modèle ordinaire, mais il épargne quantité de travail manuel. Pour que tout fonctionne bien, il faut que ces deux cartes soient exécutées en quatre couches. Il n'est dès lors pas recommandable de graver soi-même ces circuits imprimés. Les quatre couches permettent de réaliser quatre bobinages parallèles, ce qui réduit les conséquences de l'effet de peau en haute fréquence. Quand la petite carte de bobinage est installée, on met en place les deux moitiés de coquille du noyau à travers les fentes du circuit imprimé du stabilisateur et l'on fixe la construction à l'aide d'un collier de serrage. La photo du prototype (fig. 7) et la vue rapprochée (fig. 8) montrent le résultat à obtenir.

Le circuit imprimé pour le module de service (fig 9) est manifestement plus simple et aussi plus conventionnel avec seulement deux faces gravées. Il comporte peu de particularités. L'une d'elles consiste à placer K1 au dos de la carte, l'autre, c'est de savoir à quoi servent les deux trous ronds. Mais la photo d'en-tête vous a fourni la réponse : au passage des prises de sortie de

4 mm fixées sur la face avant du boîtier. Ces prises sont reliées par fil et gaine protectrice à K9 et K10 sur la carte du régulateur. La **figure 10** montre l'assemblage de la carte du régulateur et de celle des commandes.

Pour une alimentation de laboratoire de bon aloi, un châssis de 19 pouces (*rack 19''*) et trois unités (U) de hauteur s'indique parfaitement. Il n'hébergera pas seulement l'alimentation secteur de PC, mais aussi plusieurs modules d'alimentation de labo. Les circuits imprimés ont été conçus expressément pour lui.

Réglage et mise en service

Les circuits imprimés complets, vérifiés et reliés l'un à l'autre par un câble plat, il ne manque plus que le micrologiciel dans le contrôleur. Il a été rédigé en C avec AVR Studio et est disponible au téléchargement, avec les données des pistes des circuits imprimés [1]. Le chargement s'opère avec un programmeur ISP tel que AVRISP MKII d'Atmel ou une variante. Pour la programmation, il faut bien sûr que le contrôleur soit sous tension, la carte alimentée en 12 V.

À l'issue de la programmation, il devrait appa-

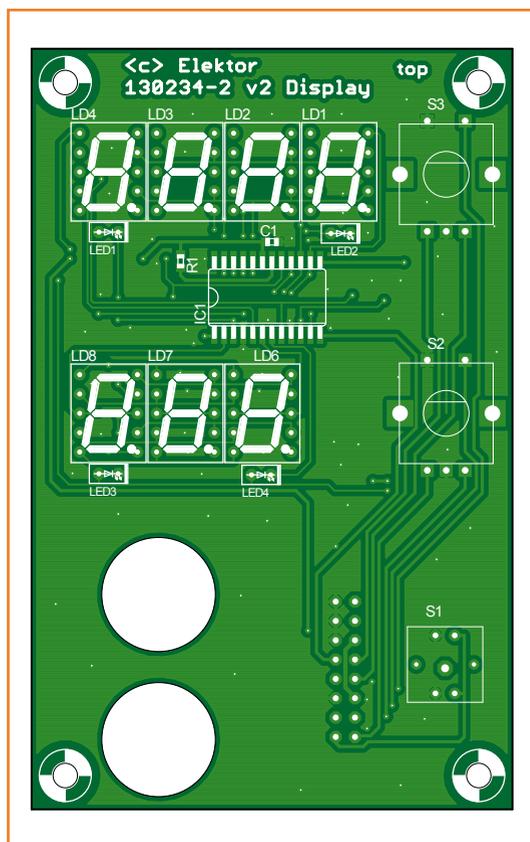


Figure 9. La sérigraphie de l'implantation des composants du circuit imprimé du module de service. Ce circuit-ci, seulement à double face, est plus conventionnel.

Liste des composants de l'affichage

Résistance :

R1 = 10 kΩ, 0,1 W, 1 %, CMS 0603

Condensateur :

C1 = 100 nF, 50 V, X7R, CMS 0603

Semi-conducteurs :

LD1 à LD4, LD6 à LD8 = SC39-11GWA, afficheur à LED rouge, cathodes communes (2314233)

LED1, LED3 = LED verte, rectangulaire à fils (1142607)

LED2, LED4 = LED rouge, rectangulaire à fils (1581150)

IC1 = MAX7221CWG+, CMS SOIC (9725725)

Divers :

S1 = MULTICOMP MCSPHN3-YCA043T, poussoir avec LED (2146950)

S2, S3 = codeur rotatif avec poussoir (Mouser 652-PEC12R-4220F-S24)

bouton pour codeur (Reichelt KNOPF 15/6 MATT) capuchon pour bouton (Reichelt ABDECKKAPPE 15 SCHWARZ)

K1 = embase à 2x8 picots

2x embase pour câble plat 2x8 contacts

câble plat à 16 conducteurs

circuit imprimé réf. 130234-2

Note : sauf mention contraire, les références entre parenthèses sont celles du catalogue Farnell

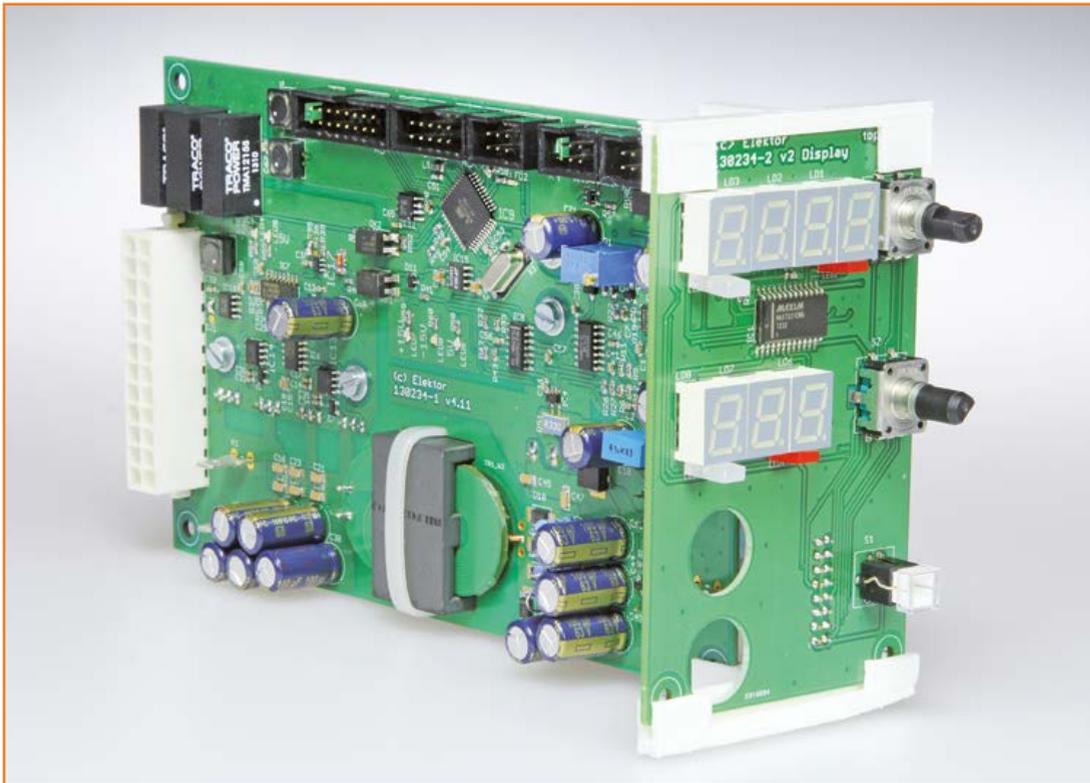


Figure 10. Le prototype terminé combine le circuit imprimé du régulateur et celui des organes de commande pour le module de service.

raître sur les afficheurs à LED quelque chose de sensé. Quand on appuie sur l'un des codeurs rotatifs S3 ou S2, l'une des LED vertes s'allume pour indiquer que l'on règle la tension ou le courant au moyen des codeurs. Chaque pas du codeur correspond à 10 mV ou 10 mA. Si l'on tourne le codeur S3 en appuyant sur le bouton, le pas est de 1 V, tandis que sur S2, il est alors de 100 mA. D'un appui supplémentaire, on quitte le mode de réglage, les valeurs sont enregistrées et la LED verte s'éteint. Les valeurs actuelles de courant et de tension s'affichent.

On entre en mode d'étalonnage d'un appui sur S1 tout en tournant S2. Il faut à présent charger la sortie de l'alimentation secteur par un ampèremètre, autant dire la court-circuiter. L'idéal est une gamme de 2 A. La tension de sortie est alors réglée sur 1 V et la limite de courant au maximum. L'affichage indique le courant qui passe et à la place de la tension, une valeur de compensation en %. La LED1 indique le sens de la compensation. On tourne alors P1 dans un sens et dans l'autre autour du point à partir duquel le courant n'augmente plus. S3 permet de modifier la compensation en pas de millièmes. C'est ainsi qu'on règle l'affichage du courant sur la valeur qu'indique l'ampèremètre extérieur. Pour quitter

le mode, appuyer de nouveau sur S1 et tourner S2. On a ainsi réduit les effets des tolérances des composants et de la consommation de R31 à R33. On se rend compte à la **figure 11** du comportement de l'alimentation de laboratoire soumise à une chute de charge de 90 % à 10 % sous une tension de 15 V.

(130234 - version française : Robert Grignard)

Lien

[1] www.elektor-magazine.fr/130234

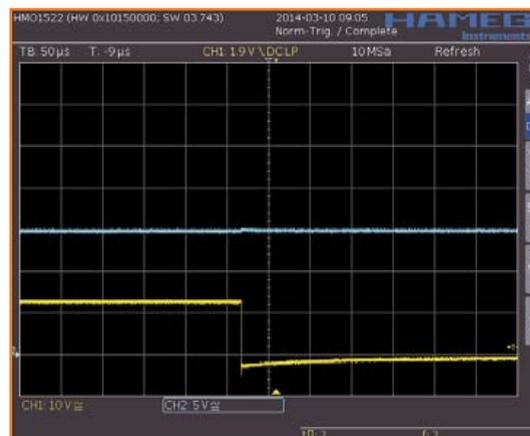


Figure 11. L'influence du courant demandé est insignifiante sur la tension de sortie à 15 V de l'alimentation de laboratoire lors d'une chute abrupte, de 90 % à 10 %.

Internet of Things : quel protocole ?

On l'a assez dit, l'internet des objets (IoT) va changer nos vies. Mais pour que ces objets se mettent à communiquer entre eux et avec nous comme nous le faisons entre nous, il reste à créer un protocole. Il faudrait déjà – restons terre à terre – une syntaxe universelle pour (re)présenter p. ex. la valeur de mesure retournée par un capteur, ou pour coder telle commande adressée à un organe quelconque.

Ce protocole devra ne pas poser de problème même aux petits microcontrôleurs bon marché. Il devra aussi couvrir l'essentiel (au moins) des besoins en matière de domotique [1].

Ça n'a l'air de rien, pourtant ces apparences sont trompeuses. C'est pourquoi nous avons déjà lancé un premier appel aux membres de la communauté d'Elektor afin de réunir des propositions sur www.iot-contest.com.

Parmi les idées qui nous ont été soumises figuraient des liens vers divers protocoles existants [2][3]. Voici maintenant un

embryon de protocole, délibérément incomplet, mais de nature à alimenter la discussion et stimuler la réflexion. Quelles que soient vos réactions, faites-nous en part sur www.iot-contest.com !



(140298)

[1] www.iot-contest.com/index.php?content=infos

[2] www.xapautomation.org

[3] <http://ansari-electronics.com/comlinksrv/>

Proposition de format de données

Les appareils de l'IoT s'enverraient des messages, p.ex. sous forme de données HTTP-POST (ce qui reste à discuter). Chaque message comporterait un en-tête (*header*) dont le format reste à fixer, suivi de plusieurs blocs. La nature d'un bloc de données serait indiquée par deux mots-clés que nous appellerions *Case* et *Mode* (voir ci-dessous).

Voici des exemples :

Set Value : établit une valeur de consigne

Current Value : envoie une valeur mesurée

Query Value : demande d'envoi d'une valeur de mesure (*Polling*)

Set LimitMin, Set LimitMax : établit une plage de valeurs valides pour un capteur (intelligent)

Set Interval : demande au capteur de se limiter aux valeurs d'une certaine plage

Option Min, Option Max : le capteur donne sa plage de mesure

Option Value (suivi d'une unité de mesure) : le capteur indique sa plage de mesure

Et voici à quoi ressembleraient ces messages (le contenu des parenthèses est optionnel, la double barre oblique signifie « ou ») :

Message: Header + Block (+ Block (+ Block ...))

Block: Case + Mode + (Subnode +) (Location +) (Time

+) Data

```
Case: "Set" // "Current" // "Query" // "Option"  
Mode: "Value" // "Min" // "Max" // "Interval" //  
"LimitMin" // "LimitMax"
```

Subnode: Integer

Location: LocationString: String

Time: TimeString: String

Data: Value (+ Value (+ Value + ...))

Value: Number + (Accuracy +) Unit + Quantity

Number: Float // Integer // Binary

Accuracy: Float // Integer

Unit: UnitKey: String

Quantity: QuantityKey: String

Pour finir, tous les éléments se voient attribuer un type de donnée (*Float*, *Integer*, *Binary* et *String*). Il restera à définir les modalités de représentation concrète (au format ASCII). Nous attendons aussi, entre autres, qu'on nous propose un format de signature géographique et horaire (*LocationString*, *TimeString*).

Ce protocole pourrait être à la fois simplifié et étendu, au moyen par exemple de valeurs préétablies (*presets*) ; nous n'avons pas non plus pour l'instant de solution pour les messages d'alerte des capteurs (en cas de dépassement p. ex.).

nouveau livre www.elektor.fr/rpi



cool

Raspberry Pi

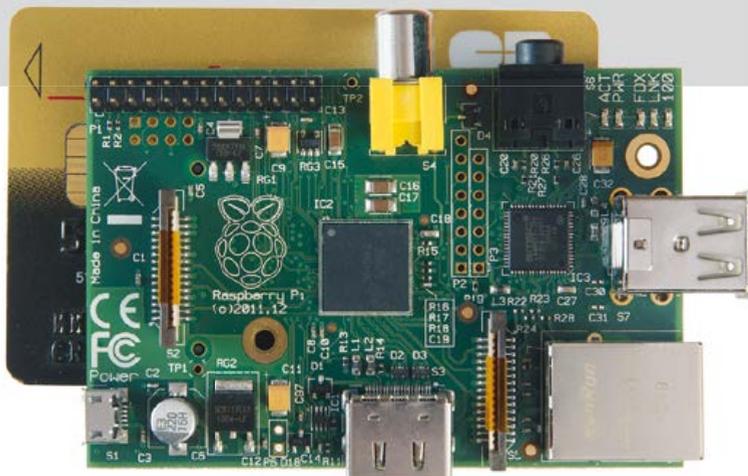
45 applications pour l'électronicien

offre spéciale

utiles

l'alliance de la programmation et de l'électronique

photo Jean-Paul Brodier



Avec le *Raspberry Pi*, pour quelques dizaines d'euros, vous disposez d'un ordinateur complet auquel vous pouvez connecter simplement toutes sortes de montages électroniques. Ce livre montre un des points forts – sinon la raison d'être – du *Raspberry Pi* : l'alliance de la programmation et de l'électronique. Le logiciel est gratuit. Après une introduction brève au système *Linux* et à la programmation en *Bash*, *Python* et *Javascript*, l'accent est mis sur *Python*, mais sans approfondir. L'auteur expose seulement ce qui vous est nécessaire pour comprendre les 45 projets captivants et les adapter à vos besoins. Du clignotant alternatif à la régulation de température, en passant par la commande de moteurs électriques, le traitement de

signaux analogiques et un luxmètre ; mais aussi des projets compliqués comme une régulation de vitesse de moteur, un serveur avec CGI, des applications client-serveur et des programmes *Xwindow*. Ce livre est un manuel de T.P. avec explications claires, schémas et photos de l'implantation sur une plaque d'essai. C'est aussi un cours : les solutions choisies sont expliquées. En réalisant les montages vous-même, vous apprendrez beaucoup sur le *Raspberry Pi*, *Python* et les composants utilisés ; vous pouvez aussi modifier ou combiner les projets et les étendre selon vos souhaits. Ce livre est enfin un ouvrage de référence. Même quand vous aurez réalisé tous les projets, il gardera longtemps une place à côté de votre *Raspberry Pi*.

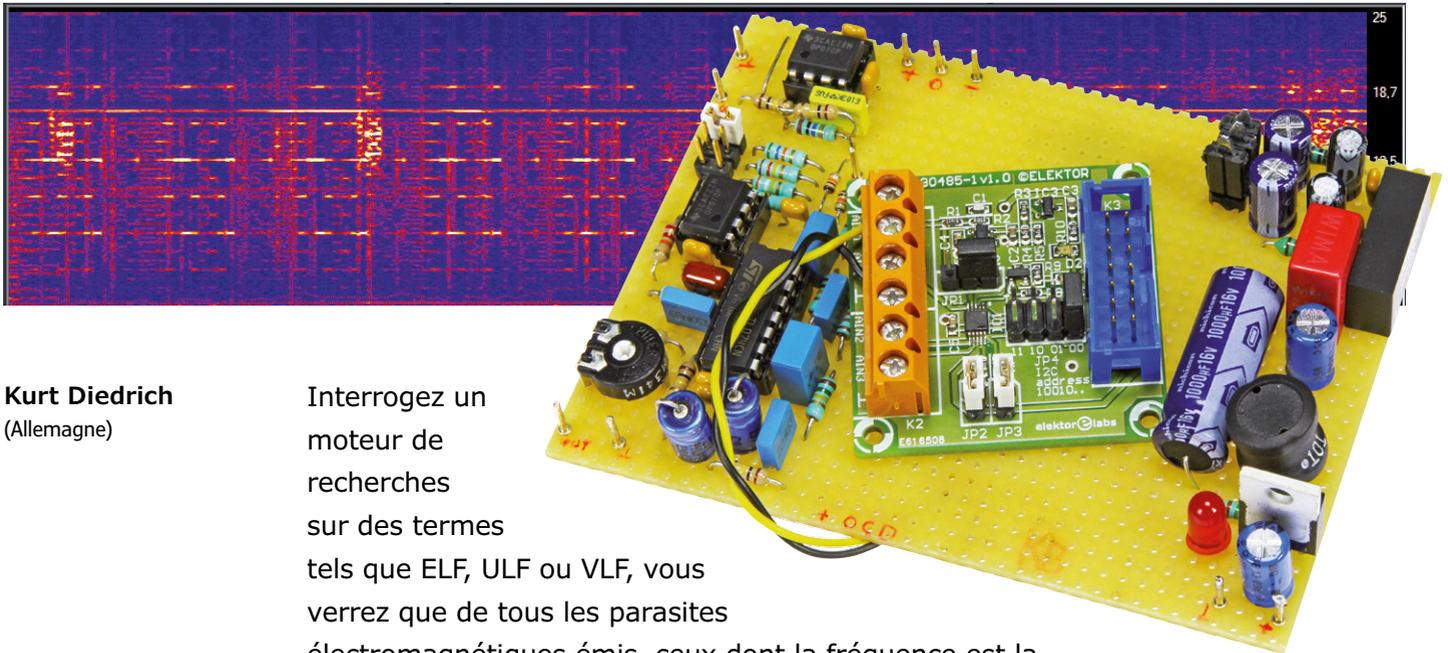
Logiciel disponible en téléchargement gratuit ou installé sur une carte SD vendue séparément



ISBN 978-2-86661-196-5 | 296 pages - 37,50 €

info et commande : www.elektor.fr/rpi

réception d'ELFes avec Arduino et le module CA/N à 16 bits



Kurt Diedrich
(Allemagne)

Interrogez un moteur de recherches sur des termes tels que ELF, ULF ou VLF, vous verrez que de tous les parasites électromagnétiques émis, ceux dont la fréquence est la plus basse, émanent de l'alimentation de puissance des chemins de fer, en général sans autre explication. Dans la bande de fréquences entre 0 Hz et celle du rail à $16 \frac{1}{3}$ Hz, il y a pourtant des signaux fort intéressants à recevoir et qui semblent largement ignorés. Pour mes investigations et l'enregistrement de ces signaux, j'ai conçu le récepteur présenté ici, auquel j'ai associé le module de CA/N à 16 bits, objet d'un autre article et un logiciel gratuit pour PC.

De nombreuses personnes désireuses d'entendre les conversations ultrasoniques des chauves-souris ou celles des baleines opèrent des conversions de fréquence vers la bande audio, moi j'ai toujours été attiré par les infrasons, caractérisés par des fréquences très basses, généralement inaudibles, mais portés par des ondes. Considérés comme des parasites, on les néglige facilement. Depuis plus de douze ans, j'ai voulu, à défaut de les entendre, les observer à l'oscilloscope et les enregistrer.

Le premier circuit développé dans ce but consistait en un simple filtre suivi d'un convertisseur A/N plutôt archaïque. À ma grande surprise, le moniteur présentait bien plus que l'inévitable

ronflement du secteur à 50 Hz, mais malheureusement, je n'ai pu tirer aucune conclusion sur la composition des pics confus de signaux horaires complexes.

Après avoir fait subir aux données reçues une analyse par transformée de Fourier rapide (TFR) par rapport au temps, j'ai fini par distinguer, à travers l'embrouillamini sur l'écran, une structure typique dans mes signaux répétitifs, que j'appelle ici des ELFes, à condition de les compresser sur une plus longue durée. En effet, ces signaux que leur accélération rend audibles par transposition dans l'aigu, ressemblent (parfois) à des cris d'animaux ou encore à la modulation des téléscripteurs en ondes courtes. En tout

cas, je les trouve tellement captivants que je ne cesse d'y travailler. Les lecteurs intéressés trouveront des informations plus détaillées sur le blog vlf.it [3], une plateforme pour les amateurs qui reçoivent et expérimentent sur ces signaux ELF (extrêmement basses fréquences, de 3 à 30 Hz) à VLF (très basses fréquences, de 3 kHz à 30 kHz). J'y ai posté une série d'articles sur ce thème, en anglais, et présenté de nombreuses copies d'écran.

On peut en déduire qu'entre autres, les transformateurs d'alimentation de certains quartiers d'habitations rayonnent, entre 0,3 Hz et 25 Hz, des champs magnétiques extrêmement faibles, qui induisent des champs parasites jusqu'à 1 000 fois plus faibles que le secteur alternatif à 50 Hz. Pour arriver à capter ces ELFes et les mettre en évidence, il faut filtrer le ronflement à 50 Hz dès avant l'entrée de l'amplificateur principal pour empêcher la saturation du récepteur.

Le circuit

Le récepteur présenté ici travaille avec le module ADC d'un article présenté ailleurs dans ce numéro, une carte Arduino Uno et un logiciel – gratuit, bien

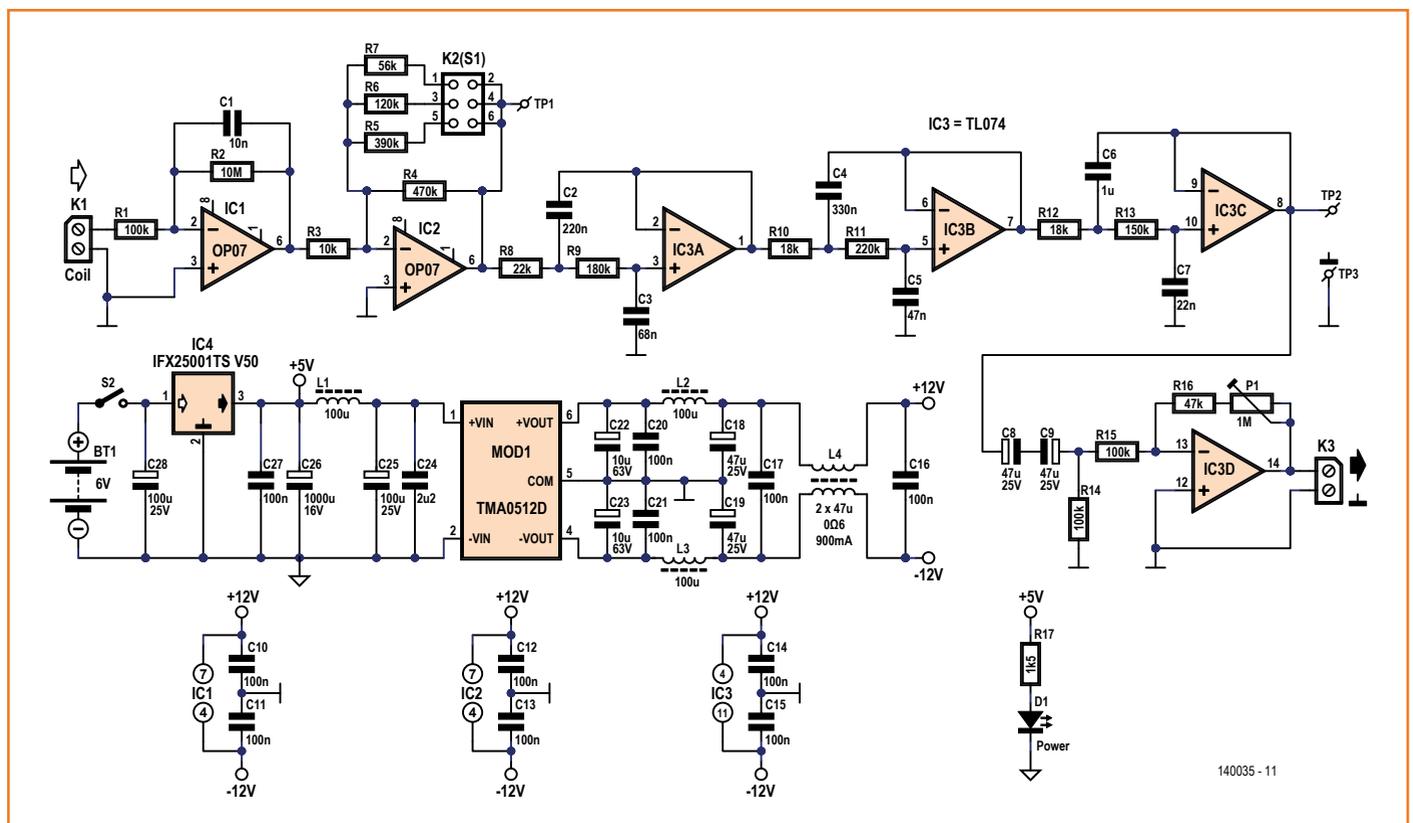
entendu – d'enregistreur pour PC. L'ensemble est capable de recevoir les faibles signaux de courants alternatifs ainsi que de champs magnétiques alternatifs jusqu'à moins d'un hertz, de les enregistrer et de les reproduire. La sortie du récepteur peut aussi se raccorder à d'autres appareils tels que des enregistreurs, sachant qu'en dessous de 16 Hz, la carte son du PC ne peut rendre un tel signal que très partiellement.

Le circuit proprement dit est une combinaison d'un amplificateur de tension ultra-sensible et d'un filtre passe-bas de Sallen et Key d'une pente de 36 dB/octave, avec une fréquence limite proche de 21 Hz. Le récepteur doit amplifier de très faibles ondes magnétiques dans la gamme de 21 Hz jusqu'à proximité de 0 Hz et en éliminer les ronflements parasites du secteur. La **figure 1** montre le schéma du récepteur, nous allons en détailler maintenant les groupes fonctionnels.

Linéarisation et préamplificateur

L'intérêt ici, c'est de voir l'association d'un préamplificateur et d'un filtre passe-bas (IC1) pour traiter un signal alternatif extrêmement faible, dans le domaine des microvolts, issu d'une bobine et

Figure 1. Schéma du récepteur d'ELFes (sans enregistreur de données).



adapté de manière à attaquer au mieux le filtre passe-bas de Sallen et Key suivant. Pour atténuer d'emblée le ronflement à 50 Hz du secteur, tellement plus fort que le signal utile, cet étage d'entrée a d'abord besoin d'un (simple) filtre passe-bas pour éviter la saturation des amplificateurs opérationnels. À défaut de cette précaution, ceux-ci délivreraient des signaux rectangulaires d'une amplitude égale aux tensions maximales de sortie. C'est ce qui se produirait si la bobine était placée à proximité d'un conducteur de la tension secteur parcouru par un fort courant.

L'étage de IC1 a encore une autre utilité. En raison des caractéristiques de la bobine située à l'entrée du circuit, les fréquences plus basses sont visiblement atténuées au point que l'amplitude des signaux reçus s'amenuise à mesure qu'ils se rapprochent de 0 Hz. L'effet du condensateur C1 en parallèle sur R2 est précisément de compenser cette faiblesse en effectuant une linéarisation. La **figure 2** montre l'amplification à la sortie de IC1.

L'étage de IC2 est un amplificateur inverseur standard dont le gain est commutable par le choix de la résistance de contre-réaction. C'est indispensable en raison de la différence d'intensité du signal selon la localisation du récepteur. Comme R4 ne participe pas à ces commutations, il subsiste toujours une contre-réaction, même pendant les changements de gain et si la boucle est interrompue un bref instant, contacts en l'air, il ne se produit aucune impulsion parasite à la sortie du récepteur.

Le gain en tension de l'amplificateur inverseur se calcule en divisant la valeur de la résistance de contre-réaction (CR) par celle d'entrée :

$$A_V = R_{CR} / R_3$$

Avec l'échelonnement indiqué pour R7 vers R4, les gains successifs valent à peu près 5, 10, 21 et 47, ce dernier quand le cavalier est ôté.

Filtre

Les quatre amplificateurs opérationnels qui restent sont dans le même boîtier, un TL074. IC2A, IC2B et IC2C forment ensemble un filtre de Sallen et Key à flanc raide, avec une pente de 36 dB/octave. En raison du haut niveau de signal à 50 Hz, comparé à celui du signal souhaité, ce filtre-ci est également indispensable pour éviter la saturation. Pour qui veut en savoir plus sur ce type de filtre, les informations sont disponibles dans la littérature spécialisée ainsi que sur l'internet [2]. La fréquence de coupure du filtre se situe à 21,5 Hz, ce qui laisse une marge suffisante par rapport aux parasites à 50 Hz, mais se situe au-dessus de la gamme de réception voulue.

Pour obtenir la bande passante souhaitée, respectez autant que possible les valeurs précises des condensateurs et des résistances du filtre. La **figure 3** illustre bien la raideur du filtre qui en résulte, mesure prise à la sortie de IC3C.

Figure 2. Caractéristique de transfert de l'étage IC1.

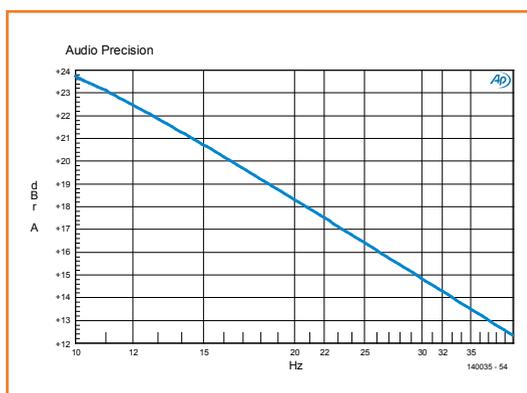


Figure 3. Le filtre IC3 présente une pente de 36 dB par octave.

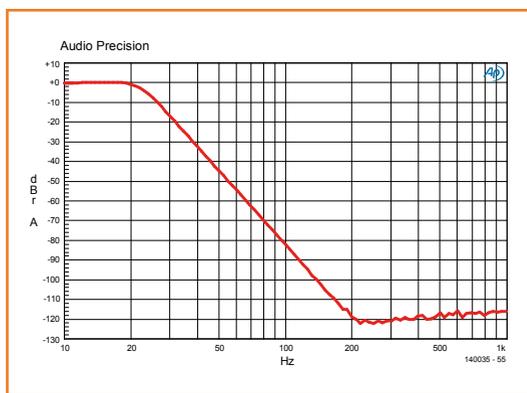
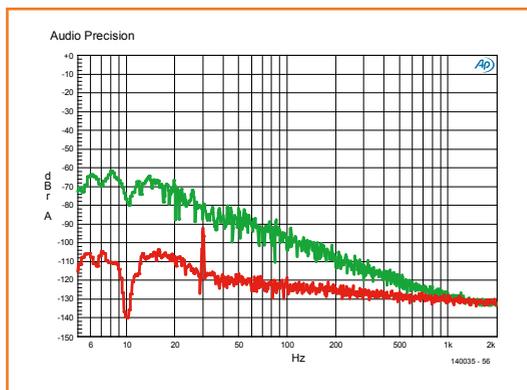


Figure 4. La bobine double en mode commun L4 introduit une atténuation du bruit de 40 dB.



Passé-haut et étage final

Avec un taux élevé d'amplification sur 4 étages en cascade couplés en continu, un très petit décalage de tension d'entrée peut engendrer une déviation de plusieurs volts, en positif ou en négatif, du signal de sortie, donc à tout le moins des distorsions indésirables. Le remède consiste à intercaler entre la sortie du filtre (IC3C) et l'entrée de l'étage final IC3D une liaison par les condensateurs C8 et C9 qui composent avec R14, devant IC3D, un filtre passe-haut dont la fréquence de coupure se situe loin du domaine utile. Il n'introduit donc aucune perturbation dans la transmission du signal reçu et la tension en sortie de IC3D reste bien symétrique par rapport au zéro. Avec P1, on peut faire varier le gain de l'étage entre 0,5 et 10,5. Cela devrait suffire, en combinaison avec le préamplificateur commutable, à presque toutes les applications.

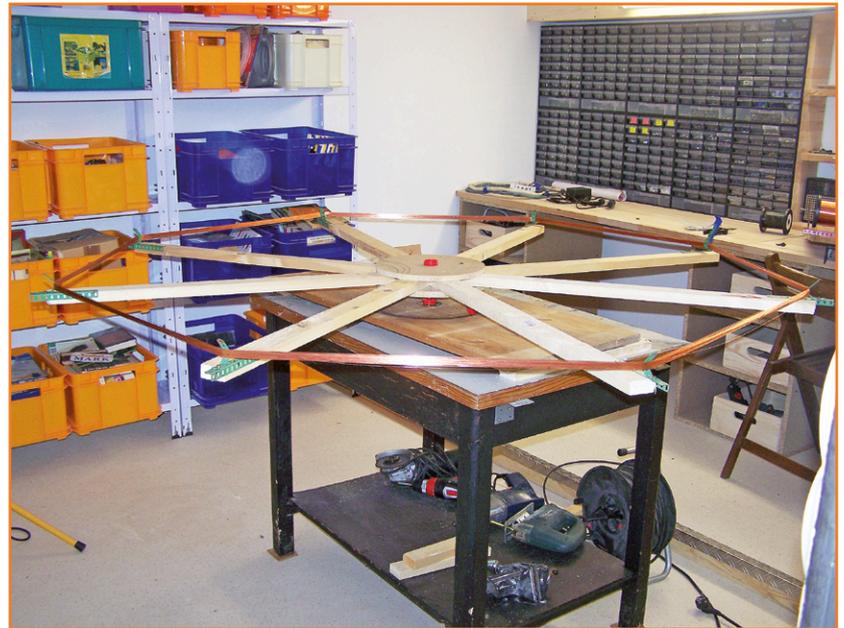
Alimentation

L'alimentation se fait sur accumulateur ou pile de 6 V. Le régulateur IC4 ramène d'abord la tension à 5 V, ce qu'il faut pour le convertisseur TMA0512D qui en fait deux tensions complémentaires de 12 V pour alimenter les amplis op. Pour réduire les parasites comme le bruit, il est indispensable d'implanter toutes les inductances et tous les condensateurs indiqués dans le schéma. La **figure 4** montre clairement l'effet bénéfique du filtrage par les bobines L4 mises en mode commun. Dans la plage de fréquence qui nous intéresse, elles réduisent le bruit entre 30 et 40 dB !

Si vous voulez alimenter le récepteur par le secteur plutôt que sur batterie, vous pouvez brancher à l'entrée un bloc adaptateur de 6 V de la puissance nécessaire.

Bobine et électrodes

Pour détecter un champ magnétique faible, on utilise une antenne de réception sensible : une bobine de 2 000 à 4 000 spires, du diamètre le plus grand possible. Il ne faut pas nécessairement une construction aussi grande que celle de la **figure 5**, un diamètre de 30 à 50 cm suffit amplement (pour commencer). La sensibilité de la bobine – qu'il ne faut pas confondre avec son inductance ! – croît linéairement avec la section (la surface annulaire intérieure) de la bobine et avec le nombre de spires. La bobine doit avoir une forme torique et pour gagner du temps, on



peut s'aider d'une bobineuse improvisée pour dérouler le fil tel qu'il a été livré et l'enrouler sur le moyeu.

Comme fil, je conseille le cuivre émaillé de 0,25 mm de diamètre, il n'est pas trop fin, il résiste même à une manipulation imprudente. Lors de la réception, la bobine doit être posée à plat sur une surface de préférence sans métal et loin de conducteurs du secteur porteurs de courants forts. Très important : à cause du champ magnétique terrestre, le récepteur ne doit subir aucun déplacement pendant qu'il est en service. Autre moyen d'utiliser le récepteur : avec des électrodes faites de barres métalliques d'une vingtaine de centimètres de long et enfoncées dans le sol à une distance d'un à deux mètres l'une de l'autre. On peut ainsi capter dans la couche superficielle de la terre des courants alternatifs aux fréquences intéressantes.

Mesure de sécurité : comme il y a par endroits des courants vagabonds dans le sol, il est nécessaire d'isoler l'entrée du récepteur des électrodes au moyen d'un transformateur séparateur comme ceux de rapport 1:1 utilisés pour les microphones si le récepteur ou l'un de ses périphériques est alimenté sur le secteur. J'ai fait des essais avec un transfo de la firme Jensen qui s'est révélé particulièrement adapté, un JT-11P-1. Le site [4] de cette firme états-unienne propose différents modèles utilisables.

Figure 5. Ma bobineuse maison. En pratique, on peut se satisfaire d'un modèle plus rudimentaire.

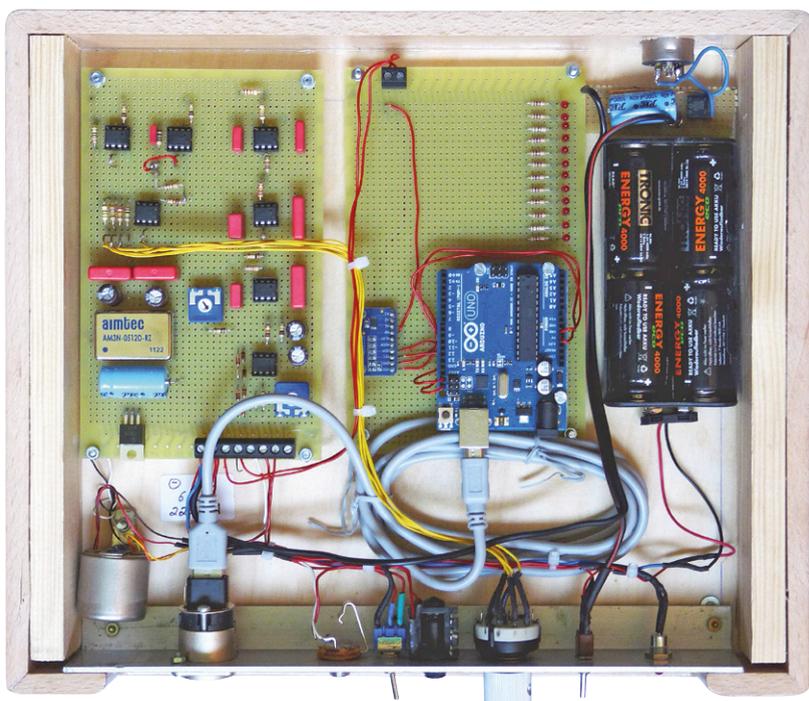


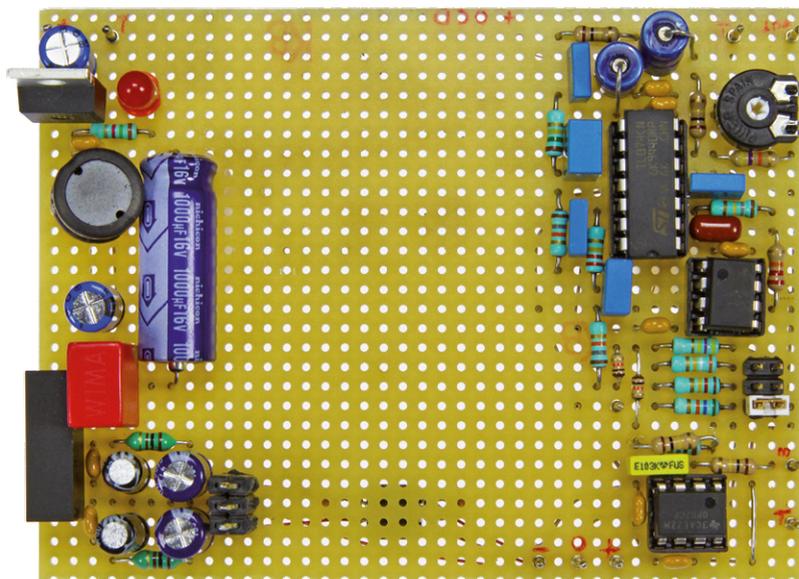
Figure 6.
Mon premier prototype.
Le boîtier contient aussi
l'enregistreur Arduino.

Les électrodes se relient par des câbles nus au transformateur dont le secondaire prend la place de la bobine à l'entrée du récepteur.

Réglage, raccordement et test

Pour mon récepteur d'ELFes, il n'y a ni circuit imprimé tout fait ni même de tracé des pistes, mais je vous suggère d'en concevoir un au moyen du programme *LochMaster* d'Abcom ou

Figure 7.
Le prototype réalisé au Labo
Elektor.



de *Blackboard* [5] qui est gratuit. Je suis plutôt un adepte de la plaque perforée (fig. 6), solution adoptée aussi pour le montage d'essai réalisé au Laboratoire Elektor (fig 7).

Quand tout est câblé et vérifié, vous pouvez attaquer le réglage à l'oscilloscope. Branchez la bobine à l'entrée et armez-vous d'un puissant aimant, celui d'un haut-parleur par exemple, et mesurez les sorties des amplis op l'un après l'autre. À la sortie de IC2, vérifiez que l'omniprésent ronflement à 50 Hz ne dépasse pas les 50 % des limites de tension de sortie. Si les différentes positions de K2 (S1) ne suffisent pas, augmentez la valeur de R3.

En passant d'une sortie à la suivante, on remarque la décroissance de la composante sinusoïdale à 50 Hz. Réglez l'oscilloscope sur 1 V/div. et agitez l'aimant à la main à 2 m de la bobine une à deux fois par seconde. Vous verrez sans doute des excursions jusqu'à la limite de l'écrêtage. Même sans déplacer l'aimant, vous devriez observer une certaine ondulation dans le signal, à moins de vous trouver au milieu d'un bois. Réglez alors P1 pour que cette ondulation s'inscrive dans une marge de ± 1 V et donc dans le domaine de mesure optimal du convertisseur A/N. À la sortie, le signal doit être exempt de toute tension de décalage. Les oscillations du signal à 50 Hz devraient aussi devenir à peine décelables. Alors, sur la sortie K3, vous avez un signal alternatif pur pour continuer le traitement sur le convertisseur A/N.

Installation et utilisation de l'enregistreur

Reliez alors le récepteur d'ELFes au module de conversion analogique-numérique présenté dans un autre article de ce numéro d'Elektor. Il échantillonne le signal avec une résolution de 15 bits et une vitesse de 112 Hz environ. L'article décrit aussi comment relier le module ADC à une carte Arduino Uno qui reçoit les données numérisées avec un petit programme (dit *Sketch*) et les transmet au PC muni de son logiciel d'enregistrement.

Ce logiciel a été composé en C ; dans ce langage de programmation, les blocs de code sont délimités par des accolades et il faut terminer chaque instruction par un point-virgule. L'environnement de développement est très simple : ouvrir l'éditeur et saisir le texte source. Cliquer sur le bouton de démarrage et c'est parti.

Les ELFes, vous connaissez ?

Depuis le temps que je traque les ondes électromagnétiques de fréquence extrêmement basse (3 à 30 Hz) ou ELF (*Extremely Low Frequency*), je me suis souvent demandé d'où elles provenaient et où était la frontière entre réalité et mythe. C'est armé de matériel tangible et de lois physiques que je pars à leur recherche, mais pour ne pas me prendre au sérieux, je les appelle mes Elfes. Ces personnages mythiques, discrets et dotés de longues oreilles, sont probablement issus de notre imaginaire, à moins que...

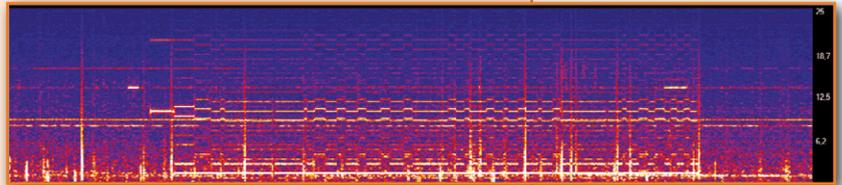
Puisqu'elles ne semblent liées à aucune des activités du trafic radio connu, d'où sortent donc ces ELFes ? Il me semble que cette gamme d'ondes méconnue offre bien des choses intéressantes à décrypter.

Il est avéré que nombre des signaux que capte mon récepteur sont manifestement des ondes magnétiques rayonnées par les transformateurs du réseau de distribution électrique vers les habitations. Le réseau que constituent dans les zones habitées les innombrables conducteurs métalliques, les mises à la terre, tuyaux d'eau, de gaz, etc. se comporterait-il comme une vaste antenne souterraine qui collecterait les courants des plus basses fréquences dans le sol pour les ramener aux points de connexion des stations de transformation ? Cela ne nous dit encore rien sur leur origine, mais j'ai imaginé que ce rayonnement pourrait être celui de la bobine de Petersen (dite d'extinction, d'ailleurs interdite en France) reliée à la terre pour la compensation d'un défaut de terre.

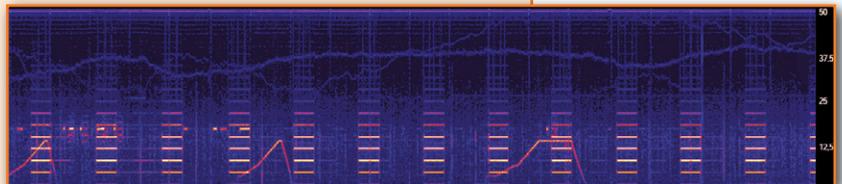
Outre ces signaux considérés jusqu'ici comme inexplicables, on assiste à une croissance notable de la pollution, principalement diurne, par des installations (probablement) commerciales et communales telles qu'onduleurs, convertisseurs de fréquence et alimentations à découpage. Avec un peu de patience, on peut aussi attribuer aux résonances de Schuman les signaux aux alentours de 7,8 Hz et aux chemins de fer les signaux à 16 2/3 Hz, qui conviennent parfaitement pour tester et étalonner le récepteur. Une application possible de mon récepteur dans un domaine tout à fait profane serait la détection ultrasensible

d'objets métalliques en mouvement, p. ex. des voitures qui roulent et que l'on peut enregistrer jusqu'à une distance d'une vingtaine de mètres.

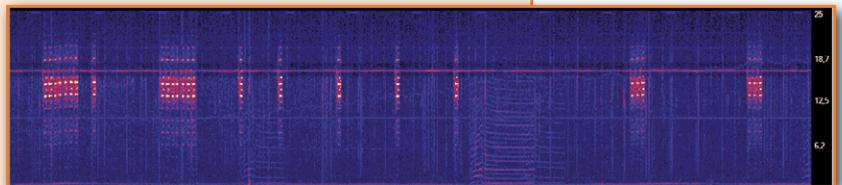
Les enregistrements suivants montrent quelques belles récoltes de signal.



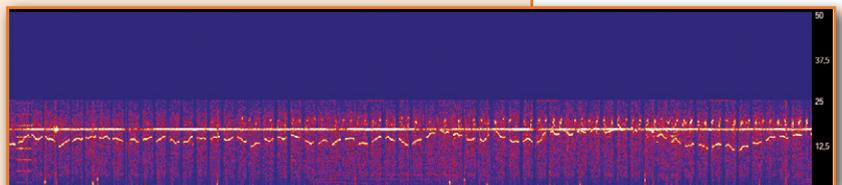
Unique ! Ce signal n'est apparu qu'une seule fois, une nuit de sept. 2013 et a duré une heure. Réception sur électrodes. Fréquence entre 0 et 20 Hz.



Un signal rectangulaire à 1,6 Hz qui se manifeste dans toute l'Europe en différents endroits à des moments aléatoires. Caractéristique typique : les phases d'activité et de pause alternent régulièrement.

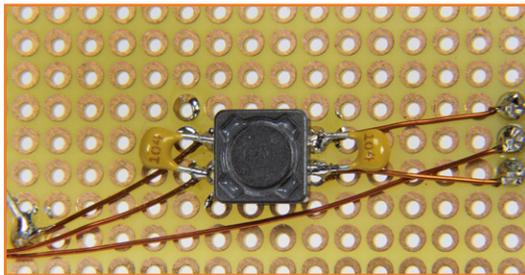


Salves extrêmement fortes à 16 Hz, qui se concentrent en certains endroits et s'entendent même directement comme un ronflement grave dans les chaînes audio.



En lecture accélérée, on dirait des sifflements. Signaux observés chez moi pendant des années, tous les jours, pendant plusieurs heures.

Figure 8.
Éloignez l'un de l'autre autant que possible l'alimentation et le filtre amplificateur. Entre les deux, mais sur l'autre face, se trouve L4.



Installation du logiciel

De cette façon, un programme de traitement s'exécute sur votre ordinateur et vous devez y télécharger le logiciel nécessaire.

Allez sur le site de *Processing* [7] et là, suivez les instructions. Déplacez les données obtenues vers le dossier de votre choix sur le disque dur. Joint à ces données, il y a un programme du nom de *processing.exe*. Lancez-le quand vous voulez rédiger votre propre logiciel de traitement. De nombreux exemples de programmes remarquables témoignent de la puissance de ce langage et montrent aussi comment s'en servir au mieux. Le programme d'enregistrement rédigé en *Processing* est disponible sur le site d'Elektor [8], mettez-le aussi dans un dossier de votre choix.

Important : il faut copier le programme de traitement dans un sous-répertoire qui porte le même nom que le programme lui-même, mais sans le suffixe « .pde ». Toutes les autres ressources nécessaires, données wav ou graphiques incorporés, doivent aussi se trouver dans ce même sous-répertoire.

D'un double clic sur le fichier d'enregistrement (Recorder_....pde), on ouvre une fenêtre d'édition de *Processing* et le code du programme est listé. Dans la ligne suivante, il faut remplacer « COM3 », qui donne accès à l'interface COM du PC réservée à Arduino (cf. gestionnaire du matériel de Windows), par :

```
ser-
port = new Serial(this, «COM3», 115200);
```

On sauvegarde alors le code du programme par File -> Save.

Un (simple) clic sur la flèche en haut, à gauche dans la fenêtre de l'éditeur lance le programme. La fenêtre de l'éditeur reste encore à l'écran, mais en arrière-plan. Malgré de nombreuses indications de plusieurs sources, je n'ai malheureusement pas réussi à produire un fichier .exe

du programme qui fonctionne. Vous trouverez d'autres informations sur *Processing* dans l'éditeur lui-même (Help -> Reference) et sur quantité d'autres sites.

Utilisation

Dans des fenêtres similaires à Windows (**fig. 9**), l'utilisation du logiciel d'enregistrement est intuitive. Les résultats de mesure s'affichent du côté gauche dans trois fenêtres :

- Signal temporel

Une itération dure cinq secondes. Après le lancement du programme, il y a toujours un signal visible, même quand on n'enregistre pas et après l'arrêt du programme.

- TFR en fct du temps

Toutes les x secondes, x étant la valeur fixée lors de l'échantillonnage, il trace une nouvelle ligne de la transformée de Fourier rapide, même s'il n'y a pas d'enregistrement en cours et après son arrêt.

- Signal de relevé

Après chaque itération de 5 s s'affiche dans la fenêtre du haut la plus grande amplitude de cette période.

Du côté droit de l'enregistreur, on règle les paramètres de mesure et de présentation :

- Temps d'enregistrement

La longueur de la prise.

- Downsampling

Agrandissement sur l'axe Y pour mieux voir les fréquences basses. Ne s'applique qu'à la TFR affichée, pas à l'enregistrement.

- Luminosité de la TFR

Réglage plus clair ou plus foncé de l'affichage de la TFR. Ne s'applique qu'à la TFR affichée, pas à l'enregistrement.

- Exploration de la TFR (FFT scroll)

Déplacement en avant ou en arrière des données d'analyse montrées. Ne concerne que les données actuelles de la phase d'enregistrement qui se trouvent encore en RAM, puisque les résultats de la TFR ne sont pas copiés sur le disque dur.

- Position de la souris

Coordonnées de la position de la souris et numéro

du bouton cliqué. Très important quand on veut intervenir soi-même dans le programme.

Enregistrement

Bouton de gauche

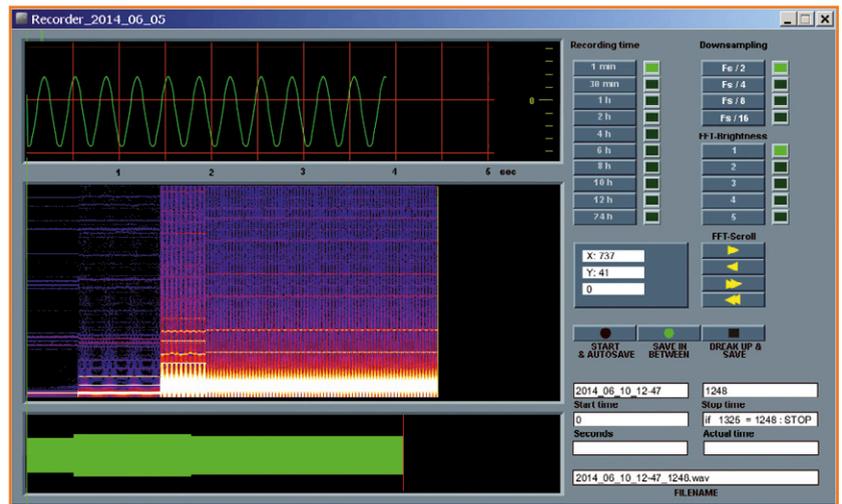
Un enregistrement commence normalement en inscrivant en haut sa durée, à l'issue de laquelle il s'effectue automatiquement avec des mises en cache régulières. S'allume en rouge vif lors de la prise.

Attention : Les données enregistrées automatiquement contiennent dans le numéro de fichier le temps initial et celui de l'arrêt prévu (p.ex. 18:20 quand la prise a débuté à 12:20 pour une durée de prévue de 6 h).

Si l'enregistrement est interrompu prématurément, on trouvera les données mémorisées jusque-là sous un nom de fichier relatif aux temps prévus pour la prise (2014_07_02_1220_1820) Le fichier peut toutefois, selon le moment de l'arrêt anticipé, ne plus contenir, après un certain point, que des zéros à la place de données. Avec *Processing*, il n'est possible d'enregistrer qu'une série complète et non, comme d'habitude, rien que les données de la durée couverte. C'est pourquoi les fichiers correspondants à un arrêt prématuré, eux aussi, totalisent toujours le volume maximum.

Bouton central

Pour une mise en cache spécifique. Pour les noms de données s'appliquent les mêmes règles que pour l'enregistrement automatique. Appuyer sur ce bouton conduit à faire examiner les données prises jusqu'à cet instant par un programme d'analyse.



Bouton de droite

Le bouton de droite interrompt l'enregistrement et stocke sur disque dur les données prises jusque-là.

Attention : dans ce cas, le nom de fichier porte le temps réel du moment de l'arrêt. L'usage de ce bouton crée donc un fichier de données supplémentaire.

Champ du fichier de sortie, coin inférieur droit

Après le départ, le réglage de longueur d'enregistrement sert à déterminer le moment de l'arrêt automatique. Tout en bas, on voit le nom de fichier qui est aussi conservé en cas de mise en cache intermédiaire.

(140035 – version française : Robert Grignard)

Figure 9.

L'interface graphique de l'enregistreur logiciel.

Liens :

- [1] Blog EFL : www.vlf.it
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Sallen%E2%80%93Key_topology
- [3] Fil d'antenne : www.sauter-shop.de/kupferlackdraht/index.html
- [4] Transfo d'entrée : www.jensen-transformers.com/ln_in.html
- [5] <http://blackboard.serverpool.org/>
- [6] www.elektor-labs.com/project/arduino-16-bit-low-frequency-datalogger-130485-i-140035-i.13703.html
- [7] <http://processing.org/>
- [8] www.elektor-magazine.fr/140035

modules Peltier

drôle de composant n°8

Vous êtes-vous déjà demandé comment ces petits frigos portables pouvaient fonctionner sans aucune pièce mobile ? Tout simple : ils utilisent la magie des modules Peltier à base de semi-conducteurs. Mais comment ça marche ?

Neil Gruending
(Canada)

La jonction de deux métaux différents crée un thermocouple aux bornes duquel règne une petite différence de potentiel qui varie avec la température. À l'inverse, si vous lui imposez une tension, un thermocouple produira un différentiel de température : c'est l'effet Peltier. Si vous combinez un grand nombre de thermocouples faits de silicium dopé N et P, vous créez en fait une pompe à chaleur communément appelée module thermoélectrique ou Peltier (**fig. 1**).

Les modules Peltier n'ont pas un rendement de 100% et requièrent donc de l'énergie pour transférer de la chaleur d'un côté à l'autre. Cela signifie que lorsque le différentiel de température est de zéro, le module Peltier doit juste dissiper la chaleur produite par son propre fonctionnement. À mesure que le différentiel grandit, le module devient limité thermiquement, ce qui réduit la quantité de chaleur qu'il est capable de transfé-

rer. En pratique, la limite haute est typiquement d'environ 70 °C. La **figure 2** montre à quoi ressemble la fonction de transfert.

L'avantage principal des modules Peltier tient à leur construction à base de semi-conducteurs qui ne nécessite aucune pièce mobile, contrairement à d'autres méthodes de refroidissement mécaniques. Ils sont également disponibles dans une grande variété de tailles et faciles à commander par leur tension/courant d'entrée. En plus, ils sont capables de chauffer ou refroidir, simplement en inversant le sens du courant qui les traverse. L'inconvénient c'est qu'ils n'atteignent qu'environ 25 % de l'efficacité des solutions mécaniques, ce qui limite en pratique leur capacité à refroidir ou chauffer. Un autre problème est leur faible aptitude à transférer la chaleur, surtout sur de grandes plages de températures.

Mais les modules Peltier possèdent une caractéristique unique : ils peuvent être utilisés comme générateurs thermoélectriques et convertir la chaleur en électricité. Là encore, ils ne sont pas d'une efficacité remarquable, mais, suivant la configuration, ils produiront une quantité raisonnable d'énergie. Le vrai défi est de s'accommoder de leur haute impédance de sortie et de leur faible conductivité thermique. Les modules Peltier sont utilisés pour refroidir une large gamme de produits. Exception faite des frigos portables, vous pourrez les trouver dans les sièges auto climatisés, les appareils scientifiques, les vaisseaux spatiaux et même les caméras numériques de haut de gamme. Les générateurs Peltier sont utilisés dans l'industrie pétrolière comme source d'énergie de secours et pour convertir de la chaleur perdue en électricité. Les petits chargeurs de batteries alimentés par le feu sont une merveilleuse illustration de leurs possibilités.

Enfin, on trouve facilement des modules Peltier, surtout dans les vieux stocks. Ça ne vous tenterait pas d'essayer de mettre la main sur quelques-uns pour expérimenter ?

(140045 - version française : Kévin Petit)

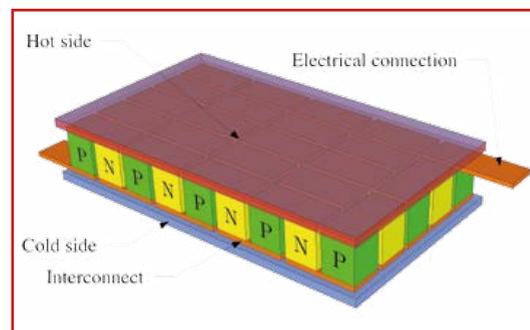


Figure 1.
Construction d'un module Peltier. (créateur : "michbich" sous licence Creative Commons)



Figure 2.
Courbe de performance des modules Peltier.
(source : heatsinkguide.com)

Après avoir magnifiquement expliqué **l'électronique aux débutants qui sèchent les cours**, dans son livre qui porte le même titre, **Rémy Mallard** revient avec un nouveau livre dans lequel il présente ...

les microcontrôleurs PIC pour les débutants

qui veulent programmer **sans patauger**

NOUVEAU



Ce livre initie à la programmation des microcontrôleurs PIC avec des applications pratiques qui vont bien au-delà du simple chenillard à LED et couvrent un grand nombre de besoins. Après une introduction (pas trop longue) aux principes essentiels de la programmation, tu apprends à interfacer des capteurs avec un microcontrôleur, à acquérir et stocker des données, ou encore à établir une liaison USB ou Ethernet pour transmettre ces données. Rémy regroupe par chapitres les informations théoriques et pratiques nécessaires à la réalisation de chaque montage décrit.

Après la lecture, gagné par la bonne humeur communicative de l'auteur et fort de sa longue expérience (qu'il partage volontiers), tu n'auras qu'une seule envie : aller plus loin, créer toi-même des montages encore plus ambitieux (transposer le code dans d'autres langages, le porter sur d'autres plates-formes de développement, t'attaquer aux PIC32)...

**Le premier pas coûte,
après ça va tout seul.**



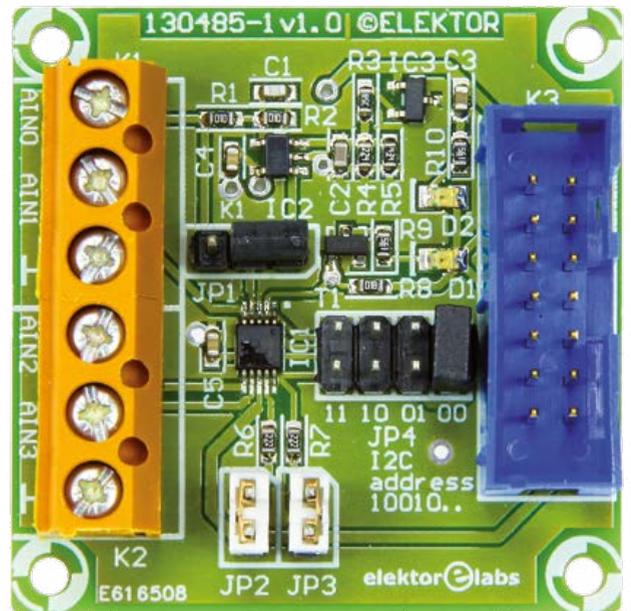
ISBN 978-2-86661-193-4
48,50 €

module CA/N pour Arduino, carte Linux, etc.

Pour enregistrer le résultat de mesures sur 16 bits

Jens Nickel
(elektor)

Des mesures précises à haute résolution, il y a pour ça des puces spéciales de convertisseur A/N. Le labo d'Elektor a développé une carte équipée d'un CA/N à 16 bits et quatre canaux. Le connecteur Gpublin/EEC lui donne un accès direct à la carte Linux d'Elektor, au serveur internet à carte polyvalente à Xmega et au nouveau *shield* Elektor pour Arduino. Ajoutez-y la bibliothèque universelle en C et... c'est vous qui aurez accès au CA/N !



Grâce à l'engagement de nos auteurs, notre plateforme de projets est féconde en initiatives inédites. En voici une de Kurt Diedrich, auteur indépendant qui collabore depuis longtemps à notre revue. Soucieux d'étendre ses connaissances en programmation des microcontrôleurs, il s'est lancé dans l'expérimentation sur Arduino Uno. L'un de ses projets était un enregistreur de données sur Arduino, la carte servant de mémoire tampon pour les envoyer sur un PC [2]. Kurt a ici profité de son expérience dans la programmation du PC et son goût pour les interfaces graphiques : il a donc développé en langage *Processing* un outil qui ne se limite pas à la reproduction des signaux échantillonnés, il en fait également l'analyse spectrale. Ces deux fonctions s'assemblent à merveille pour capter les ondes électromagnétiques à très basse fréquence au moyen du récepteur qu'il a conçu et construit lui-même (cf. l'article *réception d'ELFes* p. 38 de ce numéro).

Application ELF

Si cela vous intéresse, vous découvrirez sur notre site Elektor.Labs l'ensemble du projet original [2]. Les étranges signaux à très basse fréquence, reçus par Kurt sur une grande bobine de sa fabrication, sont amplifiés en tension, filtrés et soumis à un décalage de 2,5 V pour les centrer dans le domaine de 0 à 5 V. La résolution du convertisseur A/N embarqué dans l'ATmega328 (c'est le contrôleur d'Arduino Uno) n'est que de 10 bits, c'est pourquoi Kurt s'est procuré auprès d'Adafruit une petite carte porteuse d'un ADS1115 de TI. Ce CA/N dispose de quatre entrées analogiques et numérise les signaux sur 16 bits [3]. Cette puce, on la gère par un microcontrôleur via I²C. Novice, mais débrouillard, Kurt met à profit la bibliothèque d'Adafruit et l'exemple de programme pour Arduino qui accompagnent la carte. Après quelques modifications, le micrologiciel de l'enregistreur est au point, il n'est pas trop com-

Figure 1. Enregistrement de données sur 16 bits avec Arduino : le module CA/N se connecte par GnuBlin/EEC sur le *shield* Elektor d'une carte Uno.

plexe. Dans une boucle sans fin, le programme principal rappelle continuellement la fonction `ads.getLastConversionResults()` de la bibliothèque, sur quoi l'ADS1115 renvoie une valeur de mesure qui est transmise au PC à travers l'interface série d'Arduino. Aucun retard ni commande par temporisateur ne sont prévus, la fréquence des mesures est essentiellement déterminée par le taux d'échantillonnage du CA/N. Elle est fixée autour de 112 Hz et Kurt en a tenu compte dans son logiciel pour PC.

L'idée

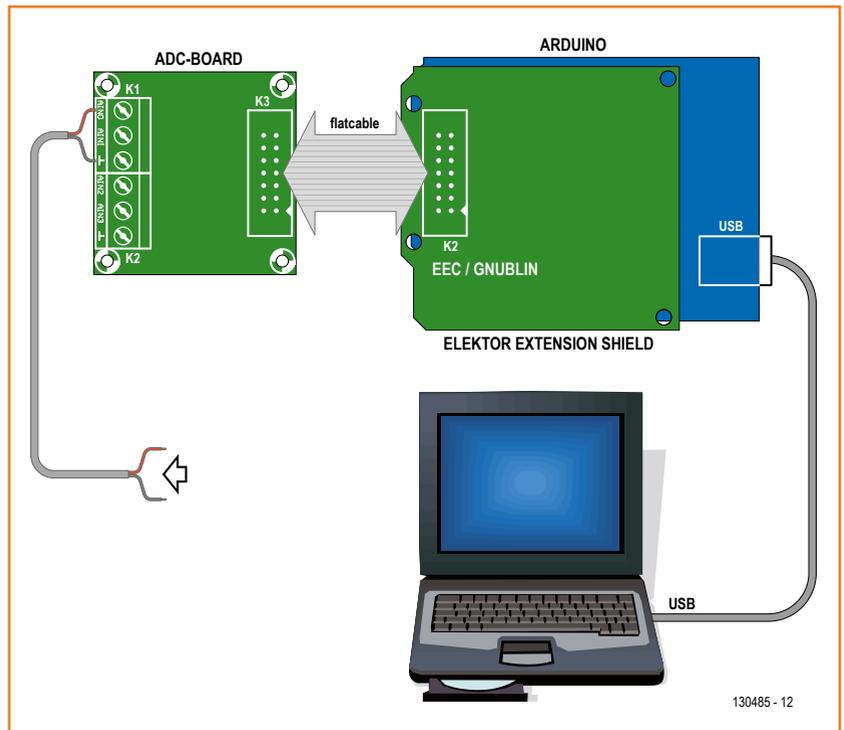
L'ensemble fonctionne très bien, seul le câblage volant entre la carte du CA/N et celle d'Arduino fait un peu désordre. Comme le projet de Kurt semble intéressant, le labo lui propose des améliorations. L'idée d'un *shield* spécial avec un ADS1115 pour Arduino est rejetée au profit d'une solution encore plus souple : un module CA/N multifonctionnel [4].

La puce ADS1115, on l'alimente par une carte contrôleur et on la commande par I²C. Le connecteur GnuBlin/EEC à 14 voies paraît tout indiqué : avec lui, on peut relier le module par câble plat à la carte Linux d'Elektor [5], à la carte polyvalente à Xmega et serveur web [6] et à « mon premier *shield* :-» présenté récemment dans le numéro d'été [7] comme à la **figure 1**.

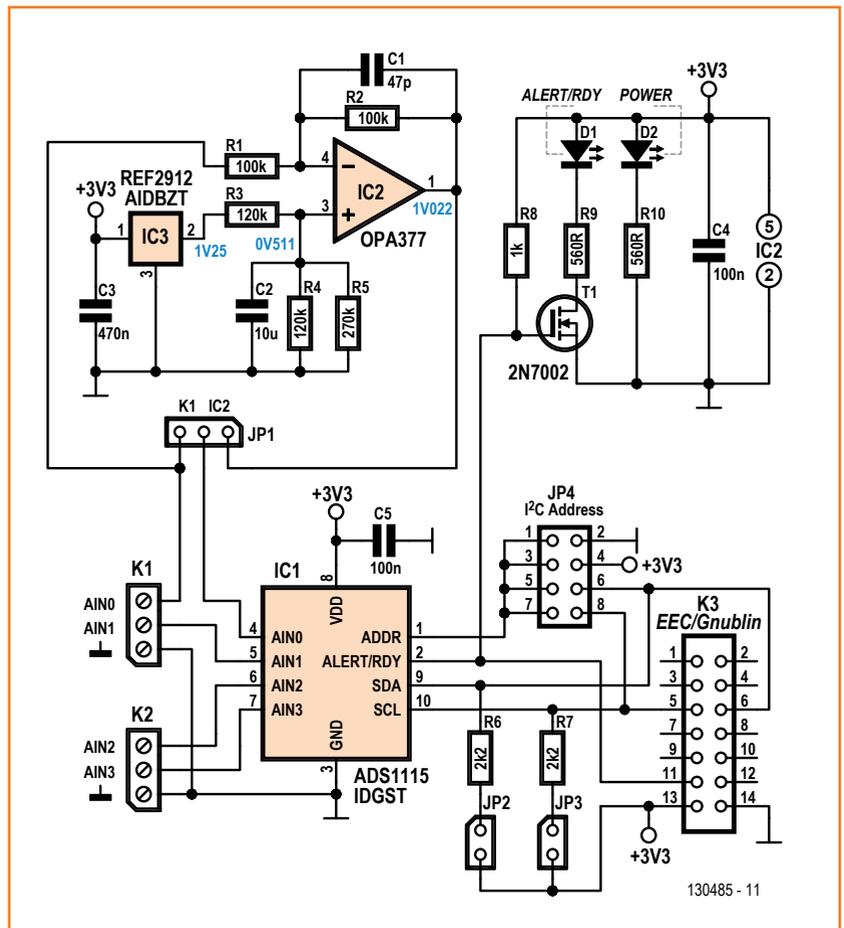
Nous avons prévu des dominos pour les quatre entrées analogiques. Comme la puce ne peut pas mesurer de tension sous 0 V, pour la prise de signaux à tension alternative, il y a un décalage d'environ 1 V intégré que l'on peut appliquer à la première entrée.

Tensions

Le schéma est à la **figure 2**. Le connecteur GnuBlin/EEC est spécifié pour une tension d'alimentation de 3,3 V, en fait, la puce CA/N accepte des tensions de 2,0 à 5,5 V.



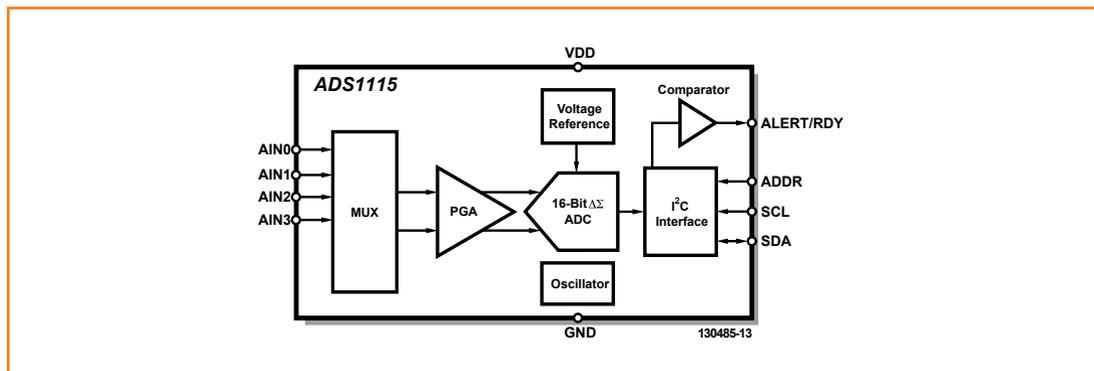
130485 - 12



130485 - 11

Figure 2. Schéma de l'entourage du CA/N à 16 bits ADS1115.

Figure 3. L'ADS1115 recèle quelques gâteries, comme un comparateur intégré.



Selon la feuille de caractéristiques [3] on peut aisément configurer le composant par des commandes I²C. Le CA/N peut ainsi mesurer :

- les tensions de AIN0, AIN1, AIN2 et AIN3 par rapport à la masse (quatre entrées asymétriques).
- la tension de AIN0 par rapport à AIN1 et celle de AIN2 par rapport à AIN3 (deux entrées symétriques, différentielles).
- la tension de AIN0 par rapport à AIN3 et de AIN1 par rapport à AIN3 (deux entrées différentielles en base commune).

La puce fournit toujours des valeurs numériques entre -32 768 et +32 767, les valeurs négatives sous forme de complément à deux. Sur une entrée asymétrique, la tension est toujours positive, donc la réponse ne peut être qu'une valeur positive entre 0 et 32 767, ce qui correspond à une résolution de 15 bits. Avec un tour de passe-passe que Ton Giesberts d'elektor.labs décrit sur le site [8], on peut utiliser le domaine négatif et dès lors atteindre 16 bits en polarisant AIN3 par une tension positive fixe, p. ex. 1 V. Alors, si l'on choisit le mode différentiel approprié, une tension de 0 à 1 V sur les entrées AIN0 et AIN1 conduit à des valeurs de sortie négatives.

À côté d'une tension de référence interne, le CA/N dispose d'un amplificateur programmable qui permet de régler, à pleine échelle, le domaine de tensions à mesurer dans le CA/N. Dans notre cas, avec une tension d'alimentation de 3,3 V, on peut parfaitement utiliser les réglages de +/- 2,048 V, +/- 1,024 V, +/- 512 mV et +/- 256 mV.

En aucun cas, la carte ne peut être soumise à des tensions d'entrée supérieures à 3,6 V ou inférieures à -0,3 V. La puce est dotée de diodes ESD (contre les charges statiques) qui procurent une

certaine sécurité, mais le fabricant recommande d'ajouter aux entrées des diodes Schottky avec résistance en série.

Le cavalier JP1 introduit un décalage de 1,022 V, obtenu de la source de référence IC3 à travers l'ampli op standard IC2. Quand le décalage est en service, il faut régler le domaine de tensions sur +/- 2,048 V. Mesurer une tension alternative dans une plage de -1 V à +1 V donne entre 0 et 2 V sur l'entrée AIN0 de la puce, auquel cas la résolution est de 15 bits. Dans votre logiciel, tenez compte de ce que de plus hautes tensions conduisent à de plus petites valeurs, à cause de l'inversion.

Autre possibilité, utiliser le décalage sur AIN0 et le truc évoqué plus haut, appliquer la tension à mesurer à AIN1 ou AIN3 et régler le mode différentiel correspondant pour obtenir une gamme à pleine échelle de +/- 1,024 V. On peut alors mesurer des tensions entre 0 et 2 V avec une résolution de 16 bits.

Chronométrie

Le CA/N travaille selon le principe delta sigma, gage de haute résolution et de grande précision. Cette méthode de conversion n'est en revanche pas la plus rapide. N'empêche, elle couvre ici 860 éch./s. On peut configurer le taux d'échantillonnage, mais d'origine, il est à 128 éch./s. Comme nombre d'autres CA/N, il peut opérer au coup par coup ou en mode répétitif. Dans le premier mode, on envoie à la puce une commande de numérisation d'une tension. Dès qu'une valeur plausible est prête, le CA/N lève un drapeau dans un de ses registres que le microcontrôleur doit interroger. Il peut alors lire la valeur qui se trouve dans un autre registre et donner d'office la commande suivante de numérisation. En mode répé-

titif, la puce fournit continuellement des échantillons sans avoir besoin d'en demander.

Dans tous nos programmes, celui du récepteur ELF compris, nous utilisons exclusivement le mode au coup par coup à l'intérieur d'une boucle sans fin. Après la récolte d'une nouvelle valeur de résultat, avant même de délivrer une autre commande de numérisation, le microcontrôleur traite la valeur, il l'affiche à l'écran ou la transmet sur l'interface sérielle. Avec un taux d'échantillonnage fixé à 128 éch./s le débit de données se situe entre 100 et 120 Hz. Pour la plupart des applications d'enregistrement de données, c'est bien suffisant.

Comparateur

La broche *Conversion Ready* (broche 2 de IC1) indique sur demande quand une conversion A/N est terminée. On peut aussi configurer l'ADS1115 en comparateur (**fig. 3**) et alors cette broche sert de sortie d'alerte. Avec une paire de registres (*Low Threshold* et *High Threshold*), on peut configurer un genre d'hystérésis dans le comportement de la sortie, mais également un comparateur à fenêtre.

Sur notre module, la sortie commande par T1 une LED jaune. Nous avons en outre routé le signal sur l'une des broches du connecteur Gnublin/EEC. Elle n'est câblée que sur les cartes Linux et Xmega, pas sur la *shield* Elektor.

I²C

Comme on l'a vu, on communique avec le CA/N par interface I²C et c'est lui qui joue le rôle d'esclave. Avec de simples écritures, on remplit les registres de configuration, par exemple, ou on

déclenche le processus d'échantillonnage. La lecture d'une valeur numérisée est une combinaison d'écriture et de lecture par I²C, plus exactement il faut écrire deux fois et lire une fois, à chaque coup en joignant l'adresse d'esclave de la puce. L'usage d'une telle adresse modifiable permet de connecter sur la même paire de fils plusieurs puces ADS1115, à condition de donner chaque fois une autre adresse. L'adresse dans son propre circuit de la puce esclave, on la lui communique par la broche 1. Il y a en tout quatre adresses que l'on choisit en reliant ladite broche à l'une des broches 3, 8 9 ou 10. Sur notre carte, le choix de l'une des quatre possibilités s'opère au niveau d'un petit champ de cavaliers.

Les deux signaux I²C sont conduits par les broches 5 et 6 du connecteur Gnublin/EEC vers la puce. JP2 et JP3 servent à connecter les résistances de polarisation haute des lignes I²C. Ce qui est chouette avec ce bus, c'est qu'on peut parfaitement commander l'esclave alimenté en 3,3 V à partir d'un contrôleur sous 5 V, par exemple l'Arduino Uno.

Bibliothèque de logiciel

Même en prenant les réglages par défaut de la puce de CA/N, on se perd en interminables études des feuilles de caractéristiques. Et rien que l'utilisation de l'interface I²C de son propre microcontrôleur peut parfois donner beaucoup d'embarras. Or, à chacun de ces deux défis, il y a une solution simple. Clemens Valens, chef du laboratoire d'Elektor, a rédigé une bibliothèque en C qui dispense de la recherche du bon registre dans le CA/N en offrant plutôt des fonctions de haut niveau pour commander la puce. Cerise sur le gâteau, il y a intégré une petite bibliothèque de logiciel qui permet d'opérer le bus I²C en

Liens

- [1] www.elektor-labs.com
- [2] www.elektor-labs.com/project/arduino-16-bit-low-frequency-datalogger-130485-i-140035-i.13703.html
- [3] www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf
- [4] www.elektor-magazine.fr/130485
- [5] www.elektor-magazine.fr/130214
- [6] www.elektor-magazine.fr/120126
- [7] www.elektor-magazine.fr/140009
- [8] www.elektor-labs.com/contribution/from-the-lab-using-differential-mode.14034.html
- [9] www.elektor-magazine.fr/120668



Figure 4.
Un simple fil entre la broche 3 d'Arduino et l'entrée AINO du module CA/N et vous pouvez essayer l'application d'enregistreur de données.

bit-banging, rien que ça ! On y trouve aussi des contrôleurs utilisables alors qu'ils ne sont pas équipés du matériel pour une interface I²C. Le tout est indépendant du matériel utilisé, on peut le mettre en œuvre sur n'importe quelle plateforme à condition qu'un compilateur C soit disponible pour elle. Ces fichiers réunis, accompagnés d'une brève description, sont disponibles sur la page de cet article [4] sur notre site.

On commence par relier les fichiers `ads1x1x.c/.h` et `soft_i2c.c/.h` dans son propre projet de logiciel et l'on rédige les directives *Include* dans le code d'application.

Pour les annexer à son propre microcontrôleur, il faut implémenter les cinq fonctions suivantes, ce qui ne devrait pas représenter un gros effort :

Cinq autres fonctions relient la bibliothèque ADC de Clemens à celle du logiciel I²C, des codes que vous pouvez incorporer littéralement dans votre projet.

En prime, il y a maintenant des fonctions entières disponibles, telles que :

```
ADS1x1x_start_conversion(&my_adc);
```

et

```
uint16 Result = ADS1x1x_read(&my_adc);
```

`my_adc` est une structure qui définit d'abord, au démarrage du programme, (`ADS1x1x_config_t my_adc;`) qu'il faut ensuite compléter des paramètres de configuration souhaités au moyen de la fonction `ADS1x1x_init(...)`.

Lors de toutes les commandes suivantes, un pointeur sera ajouté à cette structure de configuration. Veut-on définir plusieurs structures, il est possible d'appeler sur le même bus, par l'intermédiaire de la bibliothèque, d'autres participants aux configurations pourtant différentes.

Avec la commande suivante, on définit p. ex. que la puce qui sera appelée, au moyen de la même adresse d'esclave, sera celle dont la broche *Addr* est mise à la masse. L'entrée AINO doit être interrogée en mode asymétrique, pour lequel le domaine de mesure s'étend de $-2,048$ V jusqu'à $+2,048$ V.

```
ADS1x1x_init(&my_adc, ADS1115, ADS1x1x_I2C_ADDRESS_ADDR_TO_GND, MUX_SINGLE_0, PGA_2048);
```

Le second paramètre indique que nous voulons appeler une puce ADS1115, la bibliothèque est en fait aussi adaptée au type apparenté.

```
void soft_i2c_scl_write(uint8_t value) // mettre au niveau haut ou bas la ligne du contrôleur // reliée à SCL
void soft_i2c_sda_write(uint8_t value) // mettre au niveau haut ou bas la ligne du contrôleur // reliée à SDA
uint8_t soft_i2c_sda_read(void) // lire l'état de la ligne SDA
void soft_i2c_sda_mode(uint8_t value) // configurer SDA en sortie (valeur=1) ou entrée (valeur=0)
void soft_i2c_delay(void) // retard de 8 µs
```

Liste des composants

Résistances :

(0,1 W, 0603)

R1, R2 = 100 k Ω 1 %
R3, R4 = 120 k Ω 1 %
R5 = 270 k Ω 1 %
R6, R7 = 2,2 k Ω 1 %
R8 = 1 k Ω 5 %
R9, R10 = 560 Ω 1 %

Condensateurs : (0603)

C1 = 47 pF 50 V 5 %, COG/NPO
C2 = 10 μ F 6,3 V 20 %, X5R
C3 = 470 nF 10 V 10 %, X5R
C4, C5 = 100 nF 16 V 10 %, X7R

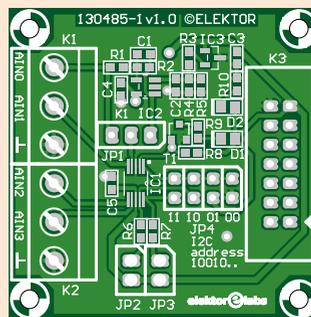
Semi-conducteurs :

D1 = LED jaune, 0805

D2 = LED verte, 0805
T1 = 2N7002, CMS SOT23
IC1 = ADS1115IDGST
IC2 = OPA377AIDBVT
IC3 = REF2912AIDBZT

Divers :

K1, K2 = domino à 3 vis au pas de 5,08 mm
K3 = embase à rebords à 2x7 picots au pas de 2,54 mm
JP1 = embase à 3 picots au pas de 2,54 mm, avec cavalier
JP2, JP3 = embase à 2 picots au pas de 2,54 mm, avec cavalier
JP4 = embase à 2x4 picots, au pas de 2,54 mm, avec cavalier



circuit imprimé réf. 130485-1

Logiciel d'enregistrement de données

Pour y voir clair, plongeons dans le code source de notre *sketch* d'enregistrement avec Arduino, il utilise les bibliothèques en question [4]. Nous publierons bientôt d'autres programmes de démonstration et d'intéressantes applications basées sur la bibliothèque [9] de micrologiciels embarqués.

Notre *sketch* Arduino fait exactement la même chose que dans le projet initial de Kurt Diedrich : dans une boucle sans fin, il astreint systématiquement la puce CA/N à numériser la tension sur l'entrée AIN0, en asymétrique et au coup par coup. Le domaine de mesure va de -2,048 V à +2,048 V, ce qui en mode asymétrique ne permet que de mesurer de 0 à 2 048 mV et seulement sur 15 bits. Les valeurs de sortie, entre 0 et 32 767, sont transmises entre les conversions en décimal sous forme de codes ASCII par l'interface sérielle, suivies des codes <CR> et <LF>.

En guise de test, équipons une carte Arduino Uno du *shield* Elektor du dernier numéro [7] et branchons la carte CA/N par un câble plat à 14 conducteurs sur le *shield*. Configurons l'adresse I²C sur « GND » du fait que le cavalier voulu est mis directement à côté du connecteur Gnublin/EEC. Pour commencer, n'utilisons pas de décalage, donc le cavalier pointe vers le domino. Relions maintenant la broche A3 d'Arduino (accessible sur l'embase à picots du *shield*) par un fil volant à l'entrée AIN0 (**fig. 4**). La tension sur A3 est réglable par le potentiomètre sur le *shield*, ce qui nous offre une possibilité simple de faire le

test. Comme l'entrée du CA/N externe ne peut pas accepter plus de 3,6 V, on commence avec le potentiomètre à fond vers la gauche, puis on tourne lentement vers la droite.

Le mieux, pour mettre le *sketch* sur l'Arduino, c'est de passer par le chargeur d'amorce, ce pour quoi il suffit d'un câble USB entre Arduino et le PC. Dès après le flashage, on peut examiner les valeurs fournies sur le moniteur sériel de l'environnement de développement Arduino ou sur tout autre terminal (régler le débit binaire sur 115 200 bauds et sélectionner le bon port COM). Pour atteindre la meilleure précision de mesure, il ne faut cependant pas alimenter Arduino par USB, mais sur une bonne alimentation de laboratoire qui filtre efficacement les parasites de mode commun.

À présent, n'hésitez plus à essayer le logiciel d'enregistrement développé par Kurt et décrit dans un autre article de ce numéro-ci. Tournez le potentiomètre, le logiciel l'enregistre au fil du temps. Maintenant, commutez le décalage de 1 022 mV et voyez comment la valeur évolue. Vous ne pouvez ainsi mesurer avec une précision de 15 bits que des tensions dans la gamme de -1 V à +1 V, mais vous pouvez déjà partir à la rencontre des Elfes de Kurt. Ne ratez pas le parcours initiatique qu'il vous propose ailleurs dans ce numéro !

(130485 - version française : Robert Grignard)

VirtualBench

instrument de mesure multifonction

Harry Baggen
(Elektor)
Luc Lemmens
(Elektor.LABS)

Avec VirtualBench, National Instruments réinvente le tout-en-un : dans un boîtier compact, ce nouvel instrument de mesure n'en combine pas moins de cinq. Il est entièrement piloté par ordinateur ou tablette. Cet été, Elektor a pu tester dans son labo l'un des tout premiers exemplaires disponibles en Europe.



Figure 1.
Le boîtier compact de *VirtualBench* comporte un nombre impressionnant d'options de connexion.

Le plan de travail de tout amateur d'électronique est encombré par quelques « indispensables » : multimètre, alimentation de labo, oscilloscope. Une situation à laquelle les fabricants de matériel de mesure ont su répondre en proposant des appareils de mesure multifonction, tels que des oscilloscopes qui font et analyseur logique et générateur de fonctions et multimètre. Il s'agit toujours là d'appareils complets, avec écran et organes de commande.

On n'attendait pas *National Instruments*, réputé pour sa riche palette d'appareils de mesure (industriels) professionnels et pour LabVIEW, dans la catégorie du matériel plutôt « grand public ». C'est pourquoi son nouvel instrument, *VirtualBench* ou « paillasse virtuelle », surprend doublement, par une approche qui se différencie totalement de l'offre des autres fabricants d'instruments de mesure. En effet, *VirtualBench*, utilise pour les commandes et l'affichage, les fonctions d'un PC de table ou portable, ou d'une tablette tactile. C'est logique, puisque chacun dispose de tels appareils, de sorte que l'instrument lui-même n'a plus besoin de comporter ni d'un écran ni de boutons. L'idée n'est certes pas

nouvelle, mais, à ce jour, sa réalisation n'avait jamais été poussée aussi loin. Dans un même boîtier, NI case un oscilloscope à 2 voies, un analyseur logique à 32 bits, une triple alimentation réglable, un générateur de fonctions et un multimètre à 5 chiffres et demi, tous commandés par la même une interface combinée.

Lorsque *National Instruments* nous a proposé de tester l'un des premiers exemplaires de *VirtualBench* disponibles en Europe, nous avons pris rendez-vous aussitôt. Si sur papier *VirtualBench* fait l'effet de la panoplie rêvée du petit électronicien du XXI^e siècle, il restait à en vérifier la robustesse en la mettant à l'épreuve dans les conditions bien réelles de la vie quotidienne d'un laboratoire. Moteur !

Boîtier : compact et solide

Nous étions informés des dimensions de *VirtualBench* mentionnées sur le site de NI, et pourtant, ce qui frappe lors de la première prise en main du boîtier, c'est sa toute petite taille. Lorsque l'on pense à tous les appareils conventionnels que remplace un *VirtualBench*, le gain de place sur le plan de travail est impressionnant.

L'appareil est fourni avec tous les câbles requis : 2 sondes d'oscilloscope, 2 pointes de multimètre, un connecteur à 40 broches avec câbles de mesure pour l'analyseur logique, un cordon d'alimentation, un câble USB (verrouillable) et un tournevis. Le boîtier, c'est du solide : une face avant, 2 demi-coques en aluminium, le reste est en matière plastique de belle épaisseur. La face avant comporte tous les connecteurs importants et l'interrupteur marche/arrêt (**fig. 1**). Pour les E/S numériques et l'alimentation, ce sont des connecteurs amovibles vissés, ce qui facilite grandement la connexion des câbles. À l'arrière, la prise pour l'alimentation secteur, une connexion USB et une antenne WiFi. Un mini-ventilateur, à peine audible heureusement, assure le refroidissement. Comme nous le disions, l'appareil de mesure *VirtualBench* travaille en tandem avec un ordinateur (Windows), ou une tablette tactile (iPad uniquement pour le moment). La connexion à un ordinateur (portable ou pas) se fait soit par un câble USB, soit via l'hôte WiFi intégré ou le réseau WiFi existant. Avec la tablette, la liaison est toujours sans fil.

Le logiciel : une fenêtre tout-en-un

Sur l'ordinateur, il n'y a pas, en principe, de logiciel à installer. Une fois *VirtualBench* mis sous tension et connecté à l'USB, l'ordinateur détecte le périphérique USB et démarre automatiquement l'exécution du programme présent dans la mémoire Flash de l'appareil. Lors du premier



VirtualBench peut aussi être utilisé en combinaison avec un iPad.

démarrage, il s'installe quelques pilotes USB et HID ; il faudra peut-être modifier le pare-feu Windows pour permettre au programme d'accéder à l'ordinateur ; la fois suivante, tout se passe bien plus sagement. L'ordinateur met environ 20 s pour lancer le programme. Sur un iPad, tout va encore un peu plus vite ; une fois le programme installé via l'*iTunes Store*, il reste à l'iPad à se connecter sans fil au réseau propre de *VirtualBench*.

La **figure 2** est une copie d'écran de la version pour Windows du programme *VirtualBench*. Une même fenêtre regroupe tous les instruments. La majeure partie de l'espace est occupée par la

Spécifications

Oscilloscope à 2 voies

- Largeur de la bande passante en entrée : 100 MHz
- Taux d'échantillonnage : 1 Géch./s (500 Méch./s avec 2 voies)
- Taille du tampon : 1 Méchantillons/voie

Analyseur logique

- Nombre de canaux : 34 (dont 2 de déclenchement)
- Fréquence d'entrée max. : 100 MHz
- Tension d'entrée : 0 à 5 V

Générateur de fonctions

- Plage de fréquences : 20 MHz (sinus), 5 MHz (carré)
- Formes d'onde : sinus, carré, triangle, CC

Multimètre numérique

- Affichage : 5½ chiffres
- Précision de base : 0,015 % (V_{DC})
- Fonctions de mesure : V_{DC} , V_{AC} , I_{DC} , I_{AC} , résistance, diode, testeur de continuité
- Tension/courant max. : 300 V/10 A

Alimentation réglable

- Nombre de sorties : 3
- Voie 1 : 0 à 6 V/max. 1 A
- Voie 2 : 0 à +25 V/max. 0,5 A
- Voie 3 : 0 à -25 V/max. 0,5 A

E/S numériques

- Nombre de canaux : 8
- Commutables en entrée ou en sortie
- Sorties 3,3 V, entrées compatibles 3,3 V/5 V

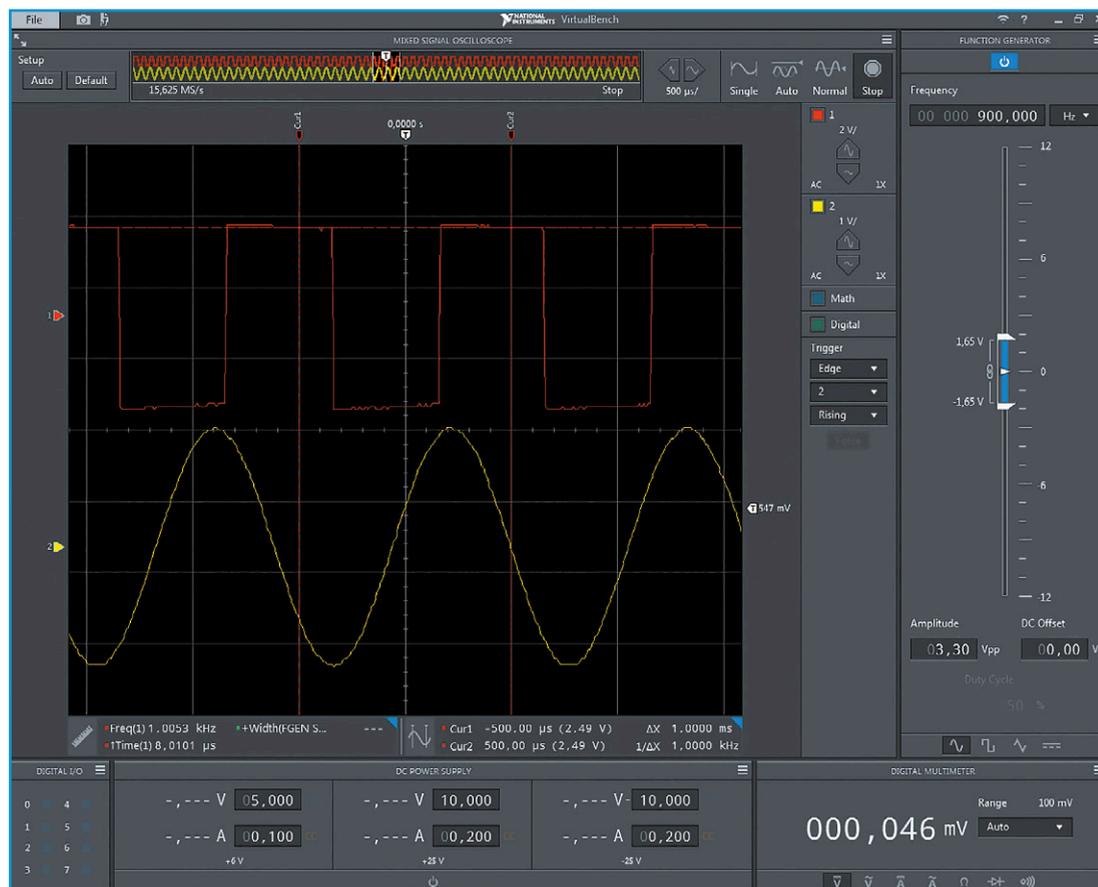


Figure 2. Copie d'écran du programme *VirtualBench* (version *Windows*).

partie oscilloscope/analyseur et par les organes de commande : d'où une excellente lisibilité des signaux mesurés. Les autres instruments disponibles sont disposés tout autour. À droite, le générateur de fonctions avec un curseur pour le réglage du décalage en courant continu et la taille du signal ; et, presque invisible juste en dessous, le multimètre. En bas, tout à gauche, les E/S numériques ; au centre, en trois sections côte à côte, trois alimentations.

La manipulation est enfantine et ne demande guère d'explication, presque toutes les commandes se font avec la souris. La saisie des valeurs de fréquence, d'amplitude ou de tension, peut se faire de différentes façons, directement par le clavier ou par défilement de la souris. Les valeurs hors plage sont refusées, un avertissement est affiché. Dans la plupart des champs, si on clique dans le coin supérieur droit, un menu s'ouvre pour offrir des réglages ou des informations. Parallèlement au menu de paramétrage et d'aide dans la barre principale, on dispose d'une très pratique fonction de capture d'écran

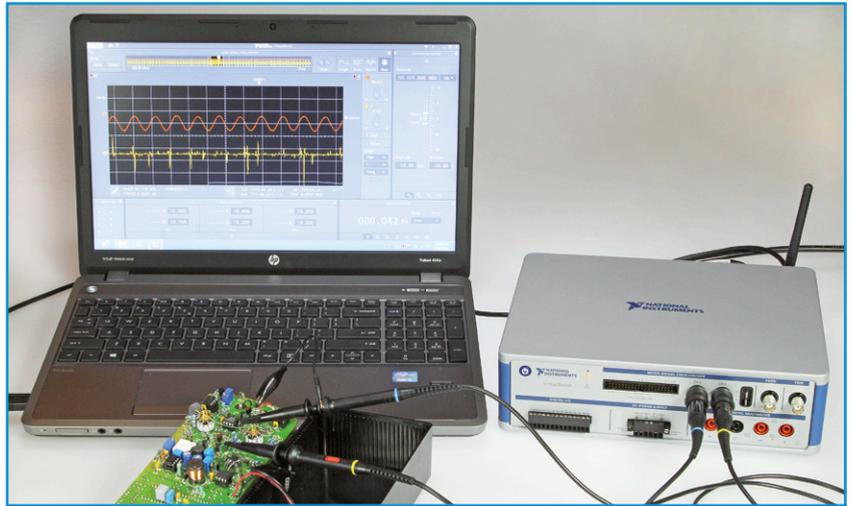
à la volée. Juste à côté, un bouton enregistre les données de mesure sous forme de fichier .csv. La version iPad (cf. illustration) comporte pratiquement les mêmes fonctions, la commande est tactile. Dans certaines situations, c'est plus pratique qu'une souris, dans d'autres moins...

Sur le terrain au labo d'Elektor

En l'utilisant au laboratoire d'Elektor, nous avons commandé *VirtualBench* au moyen d'un iPad, mais il nous a semblé que cette application manquait de maturité. Nous préférons la commande par PC. C'est une affaire de goût et surtout d'efficacité, car il est bien pratique, quand on sonde les entrailles d'un circuit, de disposer simultanément, sur un grand écran et en continu, de toute la palette de commandes et de tous les paramètres et données. La suite de cet article concerne donc la version *Windows* du logiciel. On a vite fait de s'habituer à *VirtualBench*. Les connexions parlent d'elles-mêmes et sont identiques à celles d'instruments distincts. Cependant, certains connecteurs nous ont paru bien

serrés ; un peu plus d'espace entre les embases BNC elles-mêmes, et entre celles-ci et l'embase de l'analyseur logique, n'aurait pas été du luxe, car tout le monde n'a pas des doigts de fée. Le bornier à vis des alimentations semble utilisable au premier abord, mais on ne tarde pas à rêver de bonnes vieilles prises banane, si pratiques sur la plupart des alimentations de labo (peut-être un petit adaptateur-maison à concevoir). À noter qu'il existe chez NI des connecteurs d'alimentation et des E/S numériques en pièces détachées, fort pratiques en cas d'usage fréquent.

Il faut se familiariser avec les différentes fonctions et réglages du logiciel, mais comme l'ensemble est logique, on s'y fait vite. Même sans ouvrir le mode d'emploi !



Oscilloscope/Analyseur logique

Il est logique que ce soit l'oscilloscope qui occupe le plus d'espace, pour bien montrer la forme des signaux mesurés. Il est même possible de passer la fenêtre de l'oscillo en plein écran. Un bouton d'auto-configuration rapide se charge d'une visualisation correcte du signal mesuré. Le module oscillo offre pratiquement toutes les options de réglage et de déclenchement d'un oscillo classique. On découvre, tout en haut, le tampon de mesure. La souris permet de sélectionner directement une partie du tampon et de la visualiser. En dessous de l'écran de l'oscillo, deux barres permettent de placer des curseurs d'écran afin d'afficher toutes sortes de mesures (plus de 20 !) ayant trait aux signaux mesurés. Il est même possible d'effectuer des opérations arithmétiques en utilisant le bouton « Math » (addition, soustraction, multiplication, et fonction FFT standard avec relativement peu de paramètres ; on espère que ce n'est qu'un début). Le bouton « Digital » permet de choisir les canaux numériques visualisés et le mode de déclenchement correspondant.

En mode oscillo, cet appareil semble très lent à réagir aux variations de signal. Cela est dû au réglage par défaut

de l'acquisition du signal sur *32 Averaged* (intégration). C'est trop lourd ; nous l'avons paramétré à *2 Averaged* puis même à *Sample* ; ceci nous a donné l'impression de suivre le signal en temps réel. Enregistrez vos nouvelles configurations, sinon l'appareil redémarrera avec le paramétrage par défaut. Ce qui nous a manqué sur l'écran de l'oscillo, ce sont les valeurs des échelles horizontale et verticale. Dans l'état actuel du logiciel, il faut se référer aux indications (minuscules) sur les boutons de réglage d'échelle. Pourtant ce n'est pas la place qui manquerait pour améliorer cet affichage...

En mode analyseur logique, l'examen de quelques signaux est possible, mais si vous demandez l'affichage de 32 voies, ça finit par faire beaucoup de monde sur l'écran. On préférera un véritable analyseur, doté de capacités d'analyse élaborées... si on peut se le payer. On retrouve ce problème sur les autres combinaisons oscilloscope/analyseur. Il faudrait être prestidigitateur pour arriver à connecter au circuit à tester la totalité des lignes de mesure (sans pinces !) du connecteur à 40 broches.

Générateur de fonctions

Le générateur de fonctions (14 bits, 125 Méch./s) remplit sa tâche ; il fournit tous les signaux standard sur une plage de fréquences largement suffisante pour la plupart des applications. Plus rare, la possibilité de fournir une tension continue réglable sur une large plage (max. ± 6 V dans 50Ω ou ± 12 V dans $10 \text{ k}\Omega$). Pour ce faire, l'ascenseur est

précieux ; la souris permet de régler le décalage (*offset*) et la taille du signal. En principe, il devrait être possible, avec ce générateur, de programmer ses propres formes de signaux (AWG), mais le logiciel ne comporte pas (encore ?) cette fonction. Les utilisateurs pourront produire leurs propres formes d'onde avec LabVIEW VI.

Multimètre

Le multimètre donne lui aussi satisfaction : assez précis il dispose de tous les réglages d'un multimètre standard. Nous aurions cependant aimé pouvoir agrandir la fenêtre de visualisation du multimètre. Il est souvent pratique, lors de mesures avec un multimètre, de pouvoir en agrandir l'affichage, ne serait-ce que pour le lire de loin. Cette

remarque vaut pour tous les instruments de mesure : ils sont collés à leur position. L'oscilloscope semble être le roi et occupe donc logiquement la majeure partie de l'écran. Les fenêtres des autres modules sont inamovibles et de taille fixe, hélas. Une amélioration possible pour une version ultérieure du logiciel ?

Alimentations

La place accordée sur l'écran à l'alimentation de labo est modeste, mais cette fonction est précieuse, avec un courant de sortie modéré, il est vrai, mais suffisant pour alimenter la plupart des petits circuits électroniques. Ses réglages sont précis. Pour chacune des trois alimentations, il est possible de paramétrer la tension de sortie et le courant

de sortie maximal, tandis que sont affichés la tension et le courant effectivement mesurés. Excellente fonction, une alimentation normale ne sait pas le faire ! Reste l'absence de bananes qui à notre avis rend le connecteur (un peu) mal pratique.

E/S numériques

Pour cette fonction, nous n'avons pas réussi à imaginer d'application valable, mais il doit forcément en exister,

notamment si l'on utilise *VirtualBench* avec un programme personnel sous LabVIEW.

Toutes les fonctions de mesure standard dans un boîtier compact

Conclusion

Nous sommes loin d'avoir passé en revue toutes les fonctions, mais pensons en avoir suffisamment dit (5 pages !) pour une première découverte. Si à la lecture de cet article sans concession vous ne retenez que les quelques critiques, vous seriez dans l'erreur, car *VirtualBench* nous a conquis. Au labo d'Elektor comme à la rédaction, nous souhaiterions tous disposer d'un tel appareil sur nos bureaux... et même d'un second chez nous. La combinaison équilibrée de ses spécifications lui permet de faire face à la plupart des applications. Nos réserves concernent surtout le logiciel, et nous serions surpris que NI ne l'améliore sur tout ou partie de ces points lors de prochaines mises à jour. N'oublions pas qu'il s'agit d'un produit tout neuf et de la première mouture du logiciel. Rendez-vous dans un an, le logiciel aura bien évolué et la plupart des zones d'ombre

auront sans doute disparu ! NI a la réputation de prendre à cœur les remarques et souhaits de ses clients. *VirtualBench* trouvera sa place bien méritée dans tout laboratoire, mais aussi dans les écoles, voire chez des amateurs d'électronique, à moins que son prix, pourtant justifié, ne constitue pour eux un obstacle.

Au fait, si NI veut récupérer l'appareil qu'ils nous ont prêté pour le tester, il faudra qu'ils envoient quelqu'un !

(140252 - version française : Guy Raedersdorf)

Lien

www.ni.com/virtualbench/

Clemens Valens

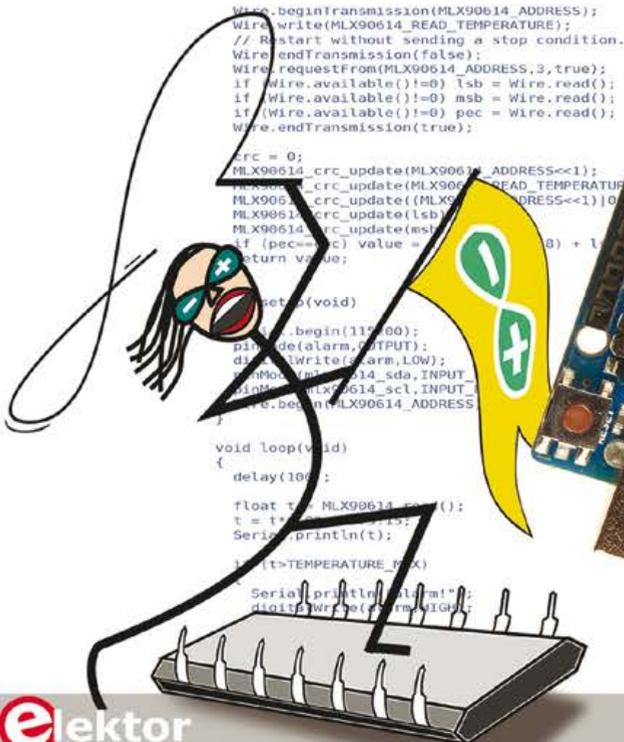
maîtrisez les microcontrôleurs à l'aide d'Arduino

2^e
édition
revue et augmentée

www.elektor.fr/arduino

+35 pages

+ nouvelle carte d'expérimentation polyvalente



```
Wire.beginTransmission(MLX90614_ADDRESS);  
Wire.write(MLX90614_READ_TEMPERATURE);  
// Restart without sending a stop condition.  
Wire.endTransmission(false);  
Wire.requestFrom(MLX90614_ADDRESS,3,true);  
if (Wire.available()!=0) lsb = Wire.read();  
if (Wire.available()!=0) msb = Wire.read();  
if (Wire.available()!=0) pec = Wire.read();  
Wire.endTransmission(true);  
  
crc = 0;  
MLX90614_crc_update(MLX90614_ADDRESS<<1);  
MLX90614_crc_update(MLX90614_READ_TEMPERATURE);  
MLX90614_crc_update((MLX90614_ADDRESS<<1)|0);  
MLX90614_crc_update(lsb);  
MLX90614_crc_update(msb);  
if ((pec==crc) && (msb > 0) && (lsb > 0))  
return value;  
else  
return 0;  
  
void setup(void)  
{  
  Serial.begin(115200);  
  pinMode(alarm,OUTPUT);  
  digitalWrite(alarm,LOW);  
  pinMode(MLX90614_sda,INPUT);  
  pinMode(MLX90614_scl,INPUT);  
  Wire.begin(MLX90614_ADDRESS);  
}  
  
void loop(void)  
{  
  delay(100);  
  float t = MLX90614_readTemp();  
  t = t * 10;  
  Serial.println(t);  
  digitalWrite(alarm,HIGH);  
  delay(100);  
  Serial.println("alarm!");  
  digitalWrite(alarm,LOW);  
}
```

elektor

www.elektor.fr/arduino

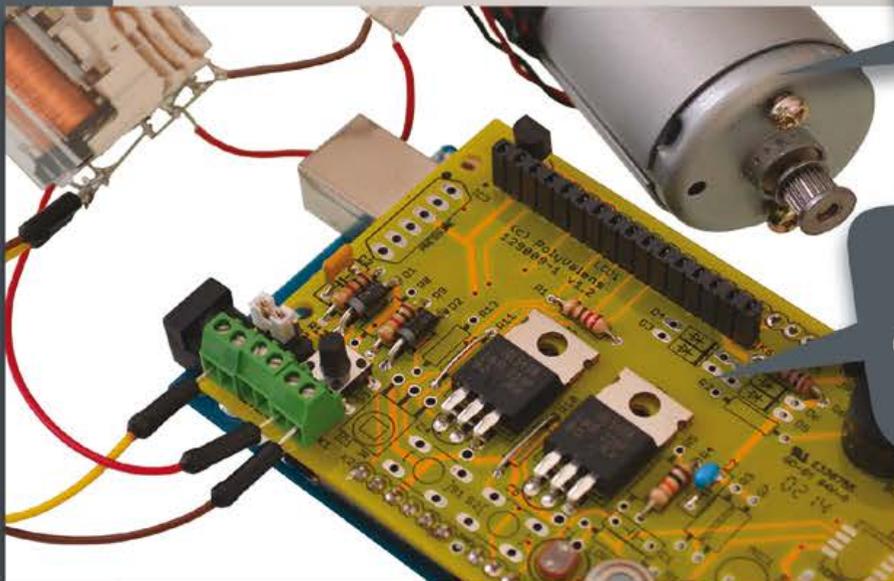


Témoignage :
« je prête
volontiers
mes bouquins,
mais celui-là...
je veux pas
m'en passer »

Bernard P.

2^e édition revue
et augmentée
par l'auteur

avril 2014



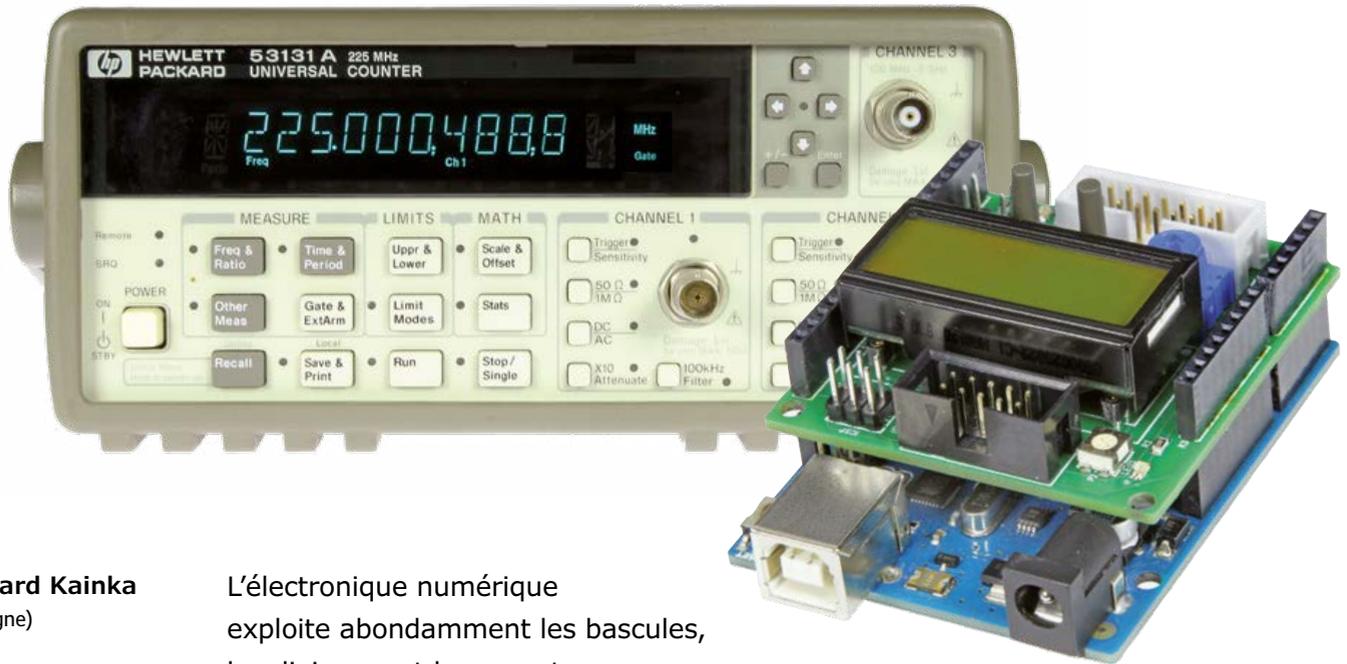
nouvelles
applications

nouvelle carte
d'expérimentation
polyvalente

385 pages - 42,50 €
isbn 978-286661-195-8

l'atelier du microcontrôleur (5)

temporisateurs/compteurs (*timers*)



Burkhard Kainka
(Allemagne)

L'électronique numérique exploite abondamment les bascules, les diviseurs et les compteurs.

Les microcontrôleurs en font eux aussi toutes sortes d'usages, dont voici quelques exemples typiques.

L'un des chapitres les plus touffus de la fiche technique de l'ATmega328 traite de ses trois *timers*, ou temporisateurs/compteurs. Leurs applications sont si diverses que nous ne pourrions en présenter que quelques-unes. Les plus courantes concernent les mesures de temps et de fréquence, la production de signaux, et la MLI (*PWM*).

Mesurer des microsecondes

Mesurer le temps est une tâche aussi incontournable qu'importante en électronique. Par exemple, combien de temps prend l'affichage d'un caractère sur un LCD ? Des millisecondes, ou des microsecondes ? Aucune idée, mais un chronomètre en aurait sûrement une. Ça tombe bien, l'Atmega en a un à bord, le Timer1. Un *timer* n'est en effet rien d'autre qu'un circuit chargé

de compter des événements réguliers. Avec sa résolution de 16 bits, le Timer1 peut compter jusqu'à 65 535 avant de revenir à 0 une fois ce nombre atteint (on parle de débordement). Si donc nous pouvions faire en sorte qu'il s'incrémente toutes les microsecondes, nous pourrions mesurer jusqu'à 65 535 μ s. Placé entre l'oscillateur à quartz et l'entrée du compteur se trouve justement un prédiviseur (analogue à celui du convertisseur A/N) dont le rôle est de diviser la fréquence du signal d'horloge. Pour avoir 1 MHz à l'entrée du compteur avec un quartz cadencé à 16 MHz, il nous faudrait donc régler ce prédiviseur sur 16. Essayons :

Config Timer1 = Timer , Prescale = 16
Bascom nous répond froidement que :
Prescale value must be 1,8,64,256 or 1024

Cet avertissement étant confirmé par la fiche technique de l'ATmega328, essayons avec un prédiviseur sur 8, le Timer1 cadencé à 2 MHz, et une résolution de 0,5 μ s (**fig. 1**). Nous pourrions alors mesurer jusqu'à 32 767,5 μ s. Que le registre de 16 bits de Timer1 puisse être lu ou écrit à tout moment permet de procéder ainsi : nous mettons le compteur à zéro (Timer1 = 0), nous écrivons quelques caractères sur le LCD, puis nous lisons l'état du compteur (D = Timer1). La valeur renvoyée est en « demi-unité » de 0,5 μ s ; pour l'avoir en μ s nous divisons donc D par 2 (**listage 1**).

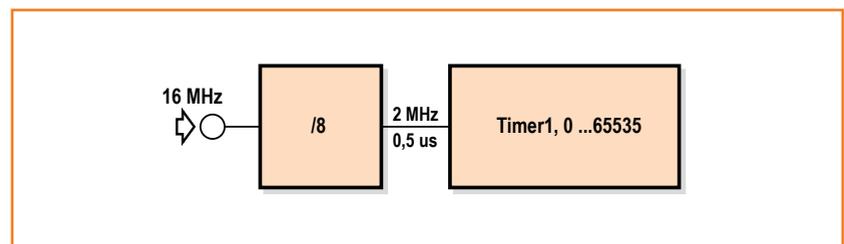
J'ai utilisé le LCD du *shield* Elektor (présenté dans le numéro de juillet-août 2014 du magazine) avec tous les codes d'exemple. Notez que le programme envoie également au terminal la valeur du compteur avec la commande Print. Le code fonctionne aussi lorsqu'aucun LCD n'est connecté, car Bascom ne demande pas si les données ont bien été reçues par l'écran. La première ligne affichée est *Timer 1 = 0 us*, ce qu'il faut bien sûr interpréter comme : « La variable D ne contient aucune valeur avant la première mesure ». La seconde ligne indique le temps mis par le LCD pour afficher la première ligne : *Timer 1 = 17105 us*. Le code doit à présent afficher quatre chiffres supplémentaires, et il faut donc s'attendre à ce que l'affichage prenne un peu plus de temps. C'est bien ce que nous montre la valeur suivante de D : 21933 μ s. Une sorte de statu quo s'établit ensuite, car chaque nouvelle mesure ne diffère des précédentes que d'au plus une microseconde.

Nous pouvons donc mesurer le temps que prend un processus aussi complexe que l'affichage de caractères sur un LCD. Les grands systèmes comme Linux ou Windows semblent proches de la capacité de traitement en temps réel, mais il est difficile d'estimer la durée d'un processus sur ces systèmes, car des tâches de fond y sont sans cesse à l'œuvre. Bascom est différent, il fait ce qu'on lui demande de faire et rien d'autre. Bascom est donc très proche du matériel, et certaines actions comme une simple écriture sur un port sont expédiées en moins d'une microseconde. Si l'écriture d'un caractère sur le LCD prend ici plus de temps, environ une milliseconde, c'est parce que Bascom tient compte de la présence du contrôleur d'affichage du LCD et lui laisse suffisamment de temps pour agir. Si vous observez

la broche E du LCD (port PD3, broche Arduino 3) à l'oscilloscope, vous trouverez là aussi une durée d'environ 1 ms.

Mesurer des périodes

Légèrement modifié (**listage 2**), le programme précédent permet également de mesurer des périodes. Nous utilisons pour cela l'entrée PC0 (broche Arduino A0, **fig. 2**). La tension du réseau français a une période (idéale) de 20 ms. Pour le vérifier, mesurons le laps de temps qui s'écoule entre deux fronts positifs du signal supposé de 50 Hz que nous appliquerons à l'entrée. Deux boucles de scrutation sont nécessaires pour identifier un front sans équivoque. Nous attendons d'abord que le niveau d'entrée soit 0, puis nous



Listage 1. Mesure de la vitesse d'affichage du LCD.

```

|-----|
'UNO_Timer1.BAS  Timer1 0.5 us
|-----|
...

Dim D As Word
Config Timer1 = Timer , Prescale = 8
'Clock 2 MHz

Do
  Print "Timer1 = ";
  Print D;
  Print " us"
  Timer1 = 0
  Locate 1 , 1
  Lcd "Timer1 ="
  Locate 2 , 1
  Lcd D
  Lcd " us"
  D = Timer1
  D = D / 2
  Waitms 1000
Loop

```

Figure 1.
Mesure du temps avec
Timer1.

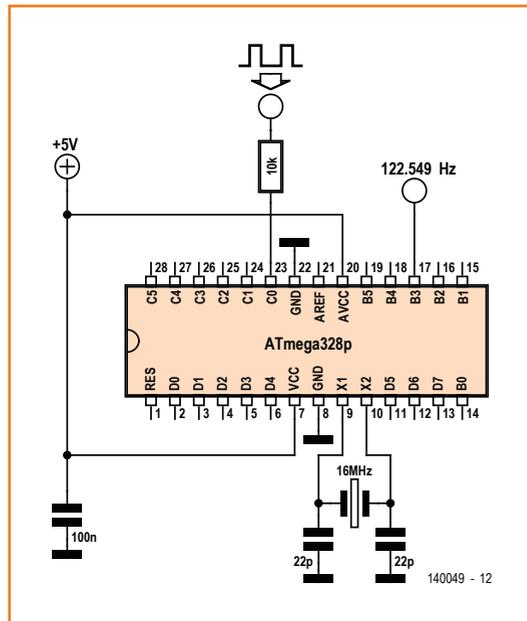


Figure 2.
Mesure de périodes.

attendons qu'il passe à 1. À cet instant précis, qui marque la présence d'un front positif, nous mettons `Timer1` à 0. Nous attendons alors le front suivant, puis lisons la valeur de `Timer1`. Touchons l'entrée avec le doigt pour y injecter un signal de 50 Hz : la période affichée vaut bien quelque 20 000 μ s. En effectuant une mesure réelle, j'ai trouvé une valeur moyenne de 20 030 μ s. Les générateurs de toutes les centrales électriques européennes sont synchronisés

en phase. Trop de centrales arrêtées, un soleil pâlichon, un vent mollasson, et voilà ces générateurs qui parfois pédalent manifestement au ralenti. Si vous ne mesurez pas 20 ms, éteignez quelques lampes et voyez si une nouvelle mesure donne un résultat plus conforme...

Le programme apporte sa propre source d'horloge afin que nous puissions mesurer quelque chose de vraiment fiable. Pour cela nous disposons bien des sorties MLI `PWM1A` et `PWM1B`, mais elles ne peuvent hélas pas être utilisées ici, car `Timer1` est déjà chargé de mesurer le temps écoulé. Il reste cependant `Timer0` et `Timer2`, qui eux aussi peuvent exploiter deux sorties MLI. Le problème est que la plupart de ces sorties MLI supplémentaires sont sur le port `D`, et interféreraient donc avec la sortie du LCD. La sortie `PWM2A` du port `PB3` (broche Arduino 11) fait exception, c'est donc elle qui porte le signal de sortie. Comme il s'agit d'un temporisateur/compteur de 8 bits et que le prédiviseur est réglé sur 256 dans le code, la fréquence de sortie vaut $16\,000\,000\text{ Hz} / 256 / 255 / 2 = 122,549\text{ Hz}$, soit une période de 8,16 ms. Relier `PB3` et `PC0` permet de mesurer le signal produit. Résultat affiché : 8160 μ s. Bingo !

Signaux carrés de 125 Hz à 4 MHz

On a souvent besoin d'un générateur de signal de fréquence réglable, p. ex. sur 1 MHz pour vérifier un compteur de fréquence, ou encore sur

Listage 2. Mesure de périodes en microsecondes.

```

'-----
'UNO_Timer2.BAS Timer1, 0.5 us
'-----
...
Dim D As Word

Config Timer1 = Timer , Prescale = 8 'Clock 2 MHz
Config Timer2 = Pwm , Prescale = 256 ,
    Compare A Pwm = Clear Up
Ddrb = 255
Pwm2a = 128

Do
    Do
        Loop Until Pinc.0 = 0
    Do
        Loop Until Pinc.0 = 1

Timer1 = 0
Do
Loop Until Pinc.0 = 0
Do
Loop Until Pinc.0 = 1
D = Timer1
D = D / 2
Locate 1 , 1
Lcd "Timer1 ="
Locate 2 , 1
Lcd D
Lcd " us "
Print "Timer1 = ";
Print D;
Print " us"
Waitms 1000
Loop
    
```

Listage 3. Timer1 comme générateur de signaux.

```

'-----
'UNO_Timer3.BAS B1 Fout 250 Hz...4 MHz
'-----
...

Dim D As Long
Dim F As Long
Dim N As Byte

Config Timer1 = Pwm , Prescale = 1 , Pwm = 10 ,
    Compare A Pwm = Clear Up

Tccr1a = &B10000010 'Phase-correct PWM, Top=ICR1
Tccr1b = &B00010001 'Prescaler=1

D = 8000
Do
    N = Ischarwaiting()
    If N = 1 Then
        Input F
        D = 8000000 / F
        If D > 64000 Then D = 64000
        If D < 2 Then D = 2
    End If

    If S1 = 0 Then
        D = D + 1
        If D > 100 Then D = D + 1
        If D > 1000 Then D = D + 100
        If D > 10000 Then D = D + 1000
        If D > 64000 Then D = 64000
    End If

    If S2 = 0 Then
        If D > 2 Then D = D - 1
        If D > 100 Then D = D - 10
        If D > 1000 Then D = D - 100
        If D > 10000 Then D = D - 1000
        If D > 64000 Then D = 64000
    End If

    Locate 1 , 1
    F = 16000000 / D
    F = F / 2
    Lcd F
    Lcd " Hz      "
    Icr1 = D
    Ocr1a = D / 2
    Waitms 50
Loop
    
```

440 Hz pour accorder un violon. Le programme du **listage 3** couvre un intervalle de 125 Hz à 4 MHz. Timer1 est utilisé ici comme diviseur de fréquence et le signal est produit sur la broche *PWM1A (B1, broche Arduino 9, fig. 3)*. Le code montre que Bascom permet de réaliser quelque chose pour quoi il n'a pas été prévu, faute d'initialisation appropriée. C'est le cas ici, et pour parvenir à nos fins, nous devons programmer certains registres directement. Je me suis inspiré pour cela d'une méthode utilisée par R. Leifert pour son émetteur de test DCF [1], méthode elle-même empruntée à la série *radio logicielle avec AVR* de M. Ossmann [2]. Dit brièvement, il s'agit d'une modification de la sortie MLI, mais avec une fréquence réglable et un rapport cyclique d'environ 50 % pour chaque signal. Le registre *LCR1* est chargé avec le diviseur souhaité. Avec un diviseur de 100, la fréquence est de $16\ 000\ 000\ \text{Hz} / 100 / 2 = 80\ 000\ \text{Hz}$. Pour obtenir un signal carré symétrique, nous devons charger le registre correspondant *OCR1A* avec un diviseur de 50.

Le programme peut être utilisé de deux façons (à la fois) : via l'interface série et un émulateur

de terminal, ou avec les boutons S1 et S2. Les boutons augmentent ou diminuent directement la valeur du diviseur. Leur effet est calculé puis affiché. On peut modifier la valeur du diviseur par pas en appuyant brièvement sur un bouton, ou de façon quasi continue avec un appui prolongé.

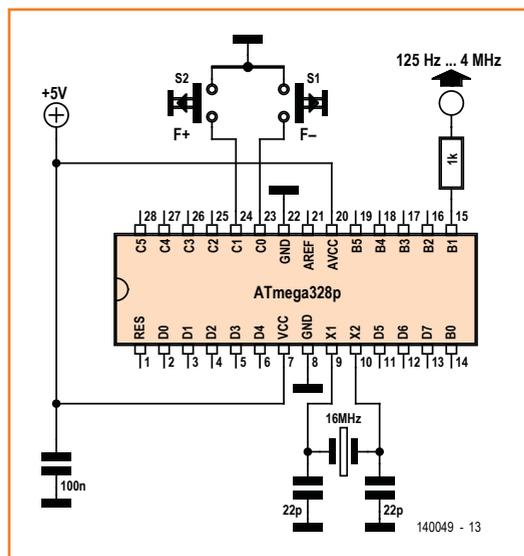


Figure 3. Générateur de signaux carrés.

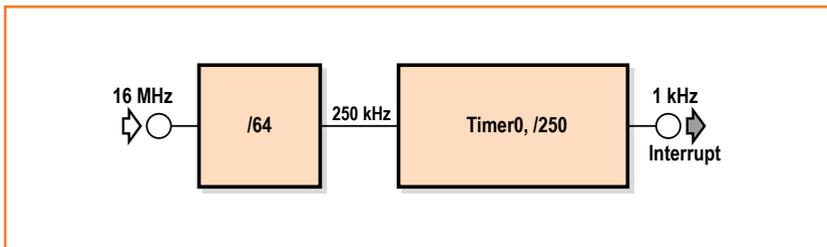


Figure 4.
1 kHz à partir de 16 MHz.

La valeur des incréments diffère selon la plage de fréquence atteinte afin que la couverture des 65 000 valeurs possibles ne prenne pas trop de temps. Certaines fréquences ne peuvent donc

Listage 4. Chronomètre avec interruption.

```

'-----
'UNO_Timer4.BAS
'Timer0-Interrupt, Seconds
'-----
...

Dim Ticks As Word
Dim Seconds As Word
Dim Seconds_old As Word

Config Timer0 = Timer , Prescale = 64
On Ovf0 Tim0_isr
Enable Timer0
Enable Interrupts

Do
  If Seconds <> Seconds_old Then
    Print Seconds
    Seconds_old = Seconds
    Locate 1 , 1
    Lcd Seconds
  End If
Loop

Tim0_isr:
  '1000 µs
  Timer0 = 6
  Ticks = Ticks + 1
  If Ticks = 1000 Then
    Ticks = 0
    Seconds = Seconds + 1
  End If
Return

End
  
```

pas être réglées précisément. Elles sont exprimées et affichées en Hz, ce qui explique qu'ici les variables F (fréquence) et D (valeur du diviseur) ne soient plus du type *Word* mais du type *Long*, c'est-à-dire représentées sur 32 bits. La conversion fonctionne comme précédemment. Il ne va pas de soi que le programme puisse réagir aussi bien à un bouton qu'à une entrée reçue par liaison série. Si l'on écrit simplement `Input F`, le programme s'arrête sur cette ligne, attend l'arrivée d'une entrée, et les boutons sont ignorés. Nous devons donc mettre le programme à l'écoute de l'interface série afin qu'il soit prévenu de l'arrivée de tout caractère. C'est ce que fait la fonction `IsCharWaiting()` : elle retourne la valeur 1 lorsqu'au moins un caractère est arrivé, 0 sinon. Comme un caractère arrivé est ici suivi par d'autres, nous pouvons récupérer la nouvelle valeur de F avec `Input`. La valeur du diviseur est ensuite calculée à partir de F. Le résultat ne souffre d'aucune imprécision notable dans de nombreux cas. Ainsi en va-t-il avec 440 Hz. Par contre, avec 549 Hz, on n'obtient qu'une fréquence similaire ; le diviseur prend en effet la valeur entière 14, ce qui donne 571,428 Hz. Les diviseurs les plus petits donnent les fréquences les plus élevées, à savoir 4 MHz, 2,666666 MHz, 2 MHz, 1,6 MHz, 1,333333 MHz et 1 MHz. Utile ? Construisez-le !

Les signaux à fronts raides sur la sortie *PB1* contiennent des harmoniques qui s'étendent jusqu'à la plage des très hautes fréquences. Il faut donc veiller à ne pas transformer le générateur de signal en brouilleur. Supposez que vous teniez le câble de mesure de l'oscilloscope sur la sortie, mais avez oublié d'avoir aussi une liaison de masse courte. Comme la masse est déjà établie via le PC et la liaison USB, une grande boucle se forme et agit comme une antenne d'émission FM. Ne vous étonnez pas alors si vous apprenez que tous les récepteurs FM de votre voisinage ont flanché. Pour ne pas passer du brouilleur à la brouille, autrement dit pour œuvrer dans le respect de vos voisins et des directives CEM, il faut soit utiliser un câble blindé, soit intercaler au moins une résistance près de la sortie pour atténuer l'effet des harmoniques. Une résistance de 1 kΩ et une capacité supposée de 30 pF pour le câble forment un filtre passe-bas doté d'une fréquence de coupure de 5 MHz. Les fronts seront arrondis, de sorte que les perturbations THF seront amorties d'environ 20 dB.

Interruptions

Un des programmes du dernier atelier affichait un nombre incrémenté toutes les secondes. Pour battre les secondes, nous avons alors utilisé l'instruction `waitms 1000`. Était-elle aussi précise qu'un métronome ? Hélas non, car nous l'avions incluse dans une boucle dont l'exécution des autres instructions prenait un certain temps. Les interruptions permettent de se tirer d'embarras. Elles fonctionnent ainsi : un *timer* matériel compte régulièrement, indépendamment des autres activités du microcontrôleur. Chaque fois qu'il atteint la valeur maximale et revient à 0 (débordement), le programme en cours est interrompu de façon automatique et un sous-programme spécial appelé *routine d'interruption* est appelé. C'est à l'intérieur de cette routine que nous pouvons coder quelque chose devant être effectué durant un intervalle de temps précis. La durée de ce « quelque chose » importe peu, car pendant ce temps le compteur poursuit obstinément son comptage. La seule chose qui importe est de quitter cette routine d'interruption avant le prochain débordement.

Ici nous voulons compter (et afficher) les secondes écoulées. Timer1 est trop précieux pour ça, nous utiliserons Timer0 avec une résolution de 8 bits. Nous voulons qu'il déborde, et déclenche en même temps une interruption, toutes les 1000 μ s. La routine d'interruption est donc lancée toutes les millisecondes. Je l'ai appelée `Tim0_isr`, *isr* pour *interrupt service routine*, le deux-points, car il s'agit d'une étiquette, autrement dit du nom de la routine à laquelle le microcontrôleur se « branchera » quand nous le lui demanderons. Ici cette requête est exprimée par `On OvF0 Tim0_isr`, qui se lit : aller à l'étiquette `Tim0_isr` lorsqu'un débordement (`Ovf = Overflow`) de Timer0 se produira. La routine d'interruption doit être terminée par `Return` avant qu'une autre interruption puisse être exécutée. Timer0 est initialisé avec un prédiviseur de 64 (**listage 4**), ce qui donne un cadencement de 250 kHz (**fig. 4**). Pour que le débordement survienne après exactement 250 coups d'horloge, et non pas toutes les 256 impulsions d'horloge puisqu'il s'agit d'un compteur à 8 bits, nous affectons au compteur la valeur 6 (`Timer0 = 6`) au début de la routine. Le cadencement est donc bien en millisecondes. La variable `Ticks` de type `Word` est incrémentée à chaque débordement de Timer0. Lorsqu'elle atteint la valeur 1000, c'est

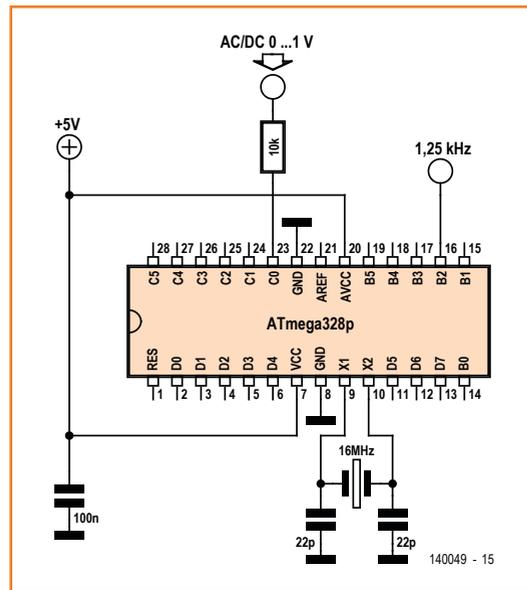


Figure 5.
Mesure de tensions CA/CC.

la variable `Seconds` qui est incrémentée. Ces deux variables sont modifiées dans la routine mais peuvent être exploitées dans le programme principal, qui ici affiche le nombre de secondes écoulées depuis son lancement.

Pour que la routine d'interruption soit appelée, l'interruption associée (l'interruption de débordement de Timer0) doit être « autorisée », ce que fait la ligne `enable Timer0`. Nous devons de même autoriser le microcontrôleur à honorer les demandes d'interruption, ce que fait l'instruction `enable Interrupts`. Nous pouvons alors contempler le temps qui passe sur le terminal et sur le LCD. Et nous pouvons à l'inverse interdire toute interruption avec `disable Interrupts`.

Valeurs analogiques moyennées

Les mesures des valeurs analogiques sont souvent faussées par des signaux parasites de 50 Hz. Un moyen d'y parer est le moyennage (**listage 5**). Si l'on parvient à moyenner les valeurs mesurées sur une période valant exactement 20 ms ou un multiple de 20 ms, on obtient une valeur moyenne nulle à 50 Hz, autrement dit on atténue fortement les parasites de 50 Hz.

C'est là encore une interruption qui va nous permettre de définir un intervalle de temps précis. Nous calculons la moyenne à partir de 500 valeurs renvoyées par `ADC0` (**fig. 5**) durant 400 ms (20 périodes de 20 ms), soit une mesure toutes les 800 μ s. Nous utilisons Timer2, avec ici aussi un prédiviseur de 64. Et cette fois-ci nous mettons

Listage 5. Moyennage avec timer et interruption.

```

'-----
' UNO_Timer5.BAS  Timer1-Interrupt, ADC0 average
'-----
...

Dim Ticks As Word
Dim Ad As Word
Dim Ad0 As Long
Dim Ad0_mean As Long

Config Adc = Single , Prescaler = 32 , Reference = Internal
Config Portb.2 = Output

Config Timer2 = Timer , Prescale = 64
On Ovf2 Tim2_isr
Enable Timer2
Enable Interrupts

Do
  Disable Interrupts
  Ad0_mean = Ad0_mean * 2443      'AC
  'Ad0_mean = Ad0_mean * 1100    'DC
  Ad0_mean = Ad0_mean / 1023
  Ad0_mean = Ad0_mean / 500
  Print Ad0_mean
  Locate 1 , 1
  Lcd Ad0_mean
  Lcd " mV      "
  Enable Interrupts
  Waitms 1000
Loop

Tim2_isr:
  '800 µs
  Timer2 = 56
  Portb.2 = 1
  Ticks = Ticks + 1
  Ad = Getadc(0)
  Ad0 = Ad0 + Ad
  If Ticks >= 500 Then
    Ticks = 0
    Ad0_mean = Ad0
    Ad0 = 0
  End If
  Portb.2 = 0
Return

End

```

le compteur à 56 à chaque débordement afin que le suivant ait lieu après 200 coups d'horloge. 800 µs suffisent pour effectuer une mesure et additionner le résultat aux précédents. Le nombre d'appels à la routine d'interruption, et donc le nombre de mesures, est compté avec la variable Ticks. Toutes les 500 mesures, la somme Ad0 est transmise au programme principal via la variable Ad0_mean. Le résultat des calculs est alors envoyé au terminal.

Examiner à l'oscilloscope de telles routines d'interruption est un bon réflexe. Va-t-on vraiment mesurer 800 µs (soit 1,25 kHz) ? Et quel est le temps de calcul total ? Pour le savoir, nous mettons un port quelconque au niveau haut au début de la routine, p. ex. PB2 auquel est reliée la LED2, et nous le remettons au niveau bas à la fin. L'oscilloscope confirme que les impulsions se produisent toutes les 800 µs et qu'elles ont par ailleurs une largeur de 60 µs. Aucune mauvaise surprise ici finalement, mais parfois un programmeur surcharge une routine d'interruption et se demande pourquoi son programme principal finit par planter. Lorsqu'on travaille avec les interruptions, il n'est en effet pas toujours facile d'estimer le « timing » des processus qui opèrent dans le programme principal. On préconise en général de ne pas laisser les interruptions utiliser plus de 50 % du temps total.

La technique du moyennage pour supprimer les composantes de 50 Hz est si efficace qu'elle peut également servir à mesurer des tensions alternatives en les redressant. Le convertisseur A/N est justement un redresseur demi-onde, car il ne mesure que des tensions positives. Tout ce qui est négatif devient 0, il ne voit que les alternances positives lorsqu'une tension alternative est appliquée sur la broche de mesure via une résistance-talon de 10 kΩ. Dans le cas d'une onde rectangulaire, la valeur moyenne résultante ne vaut donc que la moitié de celle d'un signal à tension continue de même valeur efficace. Dans le cas des tensions sinusoïdales intervient le facteur $\pi/2 = 1,571$, c.-à-d. qu'une valeur moyenne pure ne vaut que 90,03 % de celle de la valeur efficace vraie. Le code en tient compte pour convertir en mV les valeurs à afficher. Avec la tension de référence interne de 1100 mV, la moyenne est multipliée par 1100 pour les tensions CC, par 2443 pour les tensions CA. Notre instrument fournit des résultats corrects pour les tensions alternatives dont la valeur de crête ne

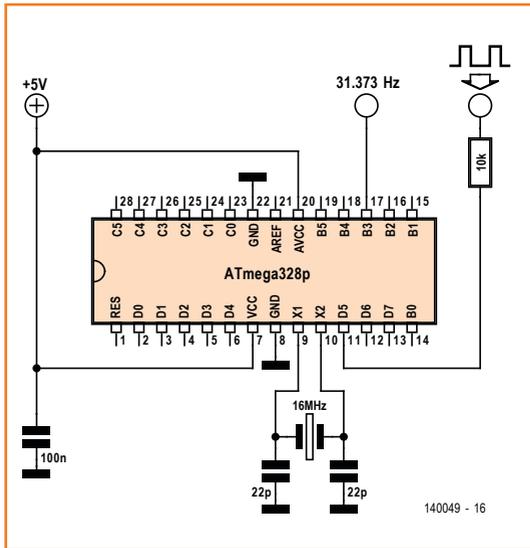


Figure 6. Fréquencemètre avec sortie de test.

dépasse pas 1,1 V, que la fréquence soit précisément définie ou non. Tout signal dont la fréquence est comprise entre 50 Hz et 50 kHz peut être mesuré. Nous avons donc en main un véritable millivoltmètre à large bande, utile p. ex. pour le domaine audio.

Mesure de fréquences

Dans les programmes précédents, le *timer* recevait ses impulsions d'horloge du processeur (à sa fréquence ou à une fraction de celle-ci). Les signaux peuvent toutefois également provenir d'une source extérieure. Le *timer* travaille alors comme compteur d'impulsions (*Counter*). Le Timer1 d'un ATmega328 cadencé à 16 MHz peut compter sans erreur des impulsions externes d'une fréquence maximale d'environ 4 MHz. Comme l'entrée associée est sur la broche PD5 (fig. 6), nous devons nous passer du LCD et envoyer les résultats au PC. Vous pouvez bien sûr piloter un LCD externe via une interface série. Construire un fréquence-mètre avec Timer1 configuré comme *Counter* (listage 6) nécessite également de pouvoir mesurer précisément le temps. Nous utilisons donc deux *timers* et deux interruptions. Afin de pouvoir mesurer aussi des fréquences de plus de 65535 Hz, la variable Highword est incrémentée à chaque débordement dans la routine Tim1_isr. Timer0 est chargé de mesurer le temps et de fournir un intervalle précis de 1 s. Lorsque Ticks

Listage 6. Mesure de fréquence jusqu'à 4 MHz.

```

'-----
'UNO_Timer6.BAS  Frequency 0...4 MHz
'-----
...

Dim Lowword As Word
Dim Highword As Word
Dim Ticks As Word
Dim Freq As Long

Config Timer0 = Timer , Prescale = 64
On Ov0 Tim0_isr
Enable Timer0

Config Timer1 = Counter , Edge = Falling , Prescale = 1
On Ov1 Tim1_isr
Enable Timer1

Config Timer2 = Pwm , Prescale = 1 , Compare A Pwm = Clear
Up
Pwm2a = 128          'B3: 31373 Hz
Enable Interrupts

Do
  Print Freq;
  Print " Hz      ";
  Print Chr(13);
  Waitms 1000
Loop

Tim0_isr:
  '1000 µs
  Timer0 = 6
  Ticks = Ticks + 1
  If Ticks = 1 Then
    Timer1 = 0
    Highword = 0
  End If
  If Ticks = 1001 Then
    Lowword = Timer1
    Freq = Highword * 65536
    Freq = Freq + Lowword
    Ticks = 0
  End If
Return

Tim1_isr:
  Highword = Highword + 1
Return
End

```

Listage 7. Affichage de texte sur le LCD.

```

'-----
'UNO_Display.BAS  COM input B0
'-----
...

Dim Text1 As String * 16
Dim Text2 As String * 16

Open "comb.0:9600,8,n,1" For Input As
#2
'Software COM input at B0

Do
  'Input Text1
  Input #2 , Text1
  Locate 1 , 1
  Lcd Text2
  Text2 = Text1 + "      "
  Locate 2 , 1
  Lcd Text2
Loop
End

```

Figure 7. Affichage de la fréquence dans le terminal.

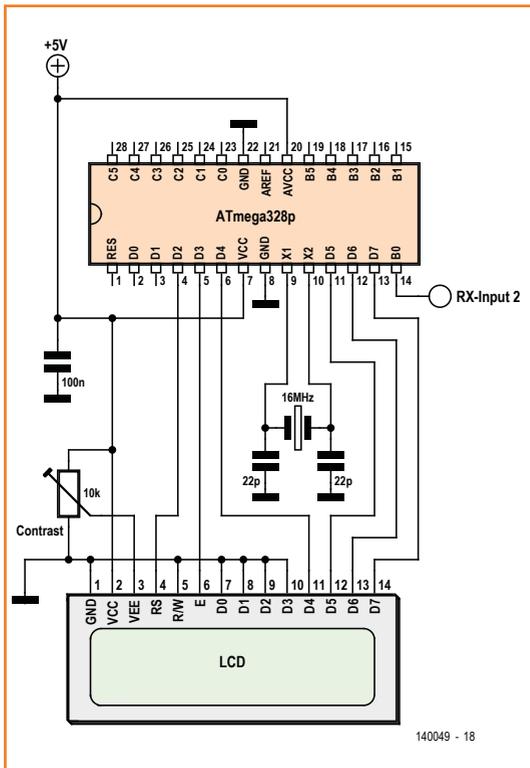
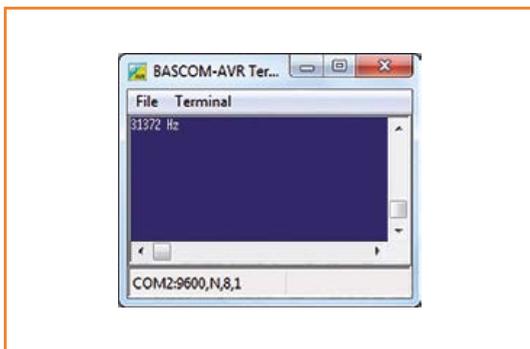


Figure 8. Affichage par terminal et LCD.

vaut 1, Timer1 est remis à zéro et la mesure est effectuée. La valeur en cours de Timer1 est lue 1000 ms plus tard, affectée à Lowword, puis convertie en valeur de fréquence à l'aide de Highword. Le programme principal affiche ensuite le résultat en Hz (variable Freq). Avec Timer1 configuré comme *Timer* avec la source d'horloge de 16 MHz (Config Timer1 = Timer , Prescale = 1), la fréquence affichée est bien de 16 000 000 Hz. Configuré comme compteur (Config Timer1 = Counter), Timer1 ne mesure qu'environ un quart de cette fréquence, car l'état de la broche n'est scruté qu'à une fréquence certes élevée mais limitée. Si donc on cherche à mesurer une fréquence de p. ex. 6 MHz, à peu près une impulsion sur deux sera ignorée et le programme affichera environ 3 MHz. Le compteur reste en revanche très précis jusqu'à un peu plus de 4 MHz.

Expliquons enfin la ligne Print Chr(13);. À la fin de chaque commande Print non terminée par un point-virgule, Bascom ajoute Chr(13) et Chr(10) (CR + LF). Ici les caractères à afficher doivent être à nouveau reçus par un autre programme Bascom. Et dans le sens de la réception, seul un Chr(13) est attendu. Nous supprimons donc la fin de ligne lors de l'envoi et ajoutons un Chr(13). Si on utilise le terminal de l'EDI Bascom, les nouvelles mesures s'affichent toujours sur la même ligne puisque sans Chr(10) aucune nouvelle ligne n'est créée (fig. 7).

Afficheur externe

Avec deux cartes Arduino, il est facile de pallier (à l'indisponibilité du LCD. Munie du *shield* Arduino Elektor, une des cartes sert d'unité d'aff-

fichage, l'autre exécute le compteur de fréquence et envoie ses données à la première par liaison série. Avec l'affichage à défilement du **listage 7**, les deux dernières lignes restent affichées en permanence.

Ce code montre deux possibilités de réception série. L'instruction `Input Text1` (transformée en commentaire dans le listage 7) utilise l'entrée série normale RX (*D0*). Comme cette entrée est aussi reliée, via une résistance de 1 k Ω , au convertisseur USB de la Uno, elle sera donc polarisée par lui à un niveau logique défini. Il nous faut dès lors écraser la polarisation de cette ligne, en établissant une liaison directe de la broche TX de l'Uno émetteur (celui qui mesure la fréquence) à l'entrée RX du circuit d'affichage. L'inconvénient de cette liaison directe est de perturber la communication lors d'un prochain chargement de programme (par le chargeur d'amorce). Souvenez-vous en si vous modifiez le code et que le chargement de ce nouveau code échoue.

La seconde possibilité est matérialisée par `Input #2, Text1`. Bascom peut en effet créer une interface logicielle correctement paramétrée sur un port quelconque, ici *PB0* (broche Arduino 8, **fig. 8**). La saisie de texte fonctionne tout aussi bien, mais cette fois-ci le code se chargera sans risque d'anomalies.

Liens

- [1] R. Leifert, émetteur de test DCF, Elektor juin 2014, www.elektor-magazine.fr/130571
- [2] M. Ossmann, radio logicielle avec AVR (2), Elektor avril 2012, www.elektor-magazine.fr/100181

Publicité

The new EAGLE has landed!

Version 7

now available

For more information,
visit www.cadsoftusa.com



jouons avec la réflectométrie temporelle

mesurons la vitesse du signal électrique avec un... tromblon

Non, ne tournez pas la page persuadé que ce sujet n'est pas pour vous. Restez donc et découvrez comment, avec un simple oscilloscope, vous pouvez observer ces phénomènes de réflexion d'énergie évoquées dans le précédent numéro.

Robert Lacoste (Chaville)

Bienvenue hors circuits ! Dans les deux derniers numéros je vous ai parlé d'adaptation d'impédance. Nous avons vu qu'un transfert d'énergie entre une source d'impédance interne donnée et une charge n'était optimal que si l'impédance de cette charge était adaptée à celle la source (résistance interne égale et réactance de signe opposé). Nous avons aussi parlé des lignes de transmission entre source et charge, qui devaient aussi présenter une impédance caractéristique adaptée. Pour faire simple, si l'on a une source d'impédance 50Ω , il est de bon ton que la charge ait aussi une impédance de 50Ω et que le câble soit un câble dit « 50Ω ». Je vous ai aussi affirmé que si cette adaptation n'était pas réalisée, des réflexions se produisaient et qu'une partie de la puissance était « renvoyée vers la source ». Que sont ces réflexions ? Une vue de l'esprit d'un mathématicien givré ? Peuvent-elles être observées ? Si vous avez un doute, prenez donc une chaise. Ce mois-ci vous allez découvrir une technique de mesure, baptisée réflectométrie temporelle, permettant justement d'observer de telles

réflexions. De plus je vais vous montrer comment le réaliser chez vous, avec un simple oscilloscope.

Réflectométrie ?

Imaginez un très long câble « 50Ω » dont l'une des extrémités est connectée aux bornes d'une résistance de 50Ω . Prenez une pile de 1,5 V, une résistance de 50Ω et un interrupteur et raccordez tout ça en série à l'autre extrémité du câble. Mettez un voltmètre aux bornes du câble et basculez l'interrupteur. La tension va se propager dans le câble puis être absorbée par la charge. La résistance de 50Ω en série avec la pile et celle située à l'extrémité du câble forment un diviseur par 2, donc le voltmètre va indiquer $1,5/2=0,75$ V. Rien de folichon ici.

Maintenant imaginez que l'extrémité du câble est court-circuitée. Que se passe-t-il quand on ferme l'interrupteur ? Bien sûr, si l'on oublie la longueur du câble, on aura un beau

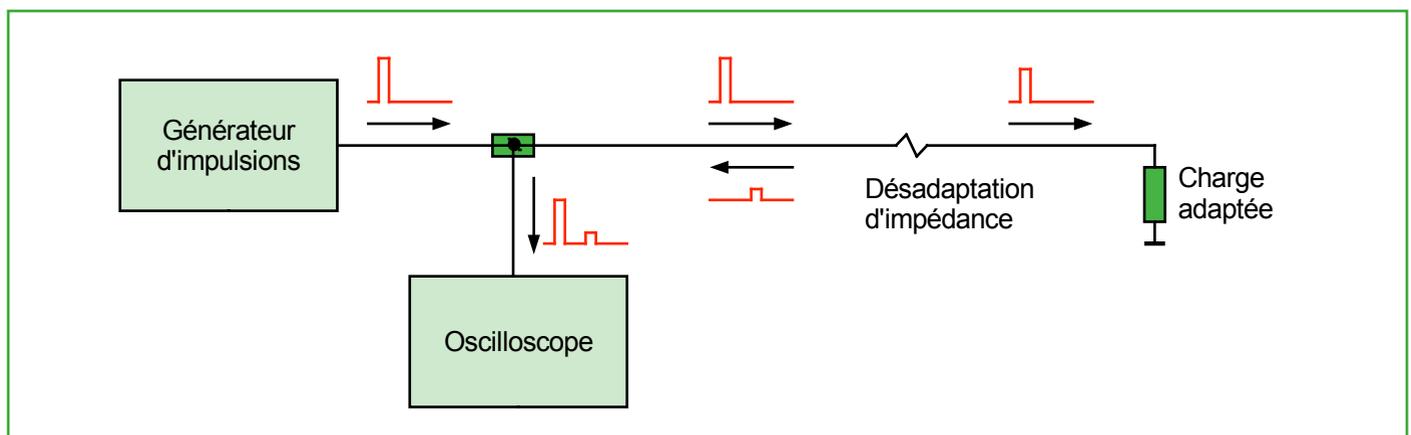


Figure 1. Un réflectomètre temporel ne nécessite rien de plus qu'une générateur d'impulsion, un splitter adapté et un oscilloscope.

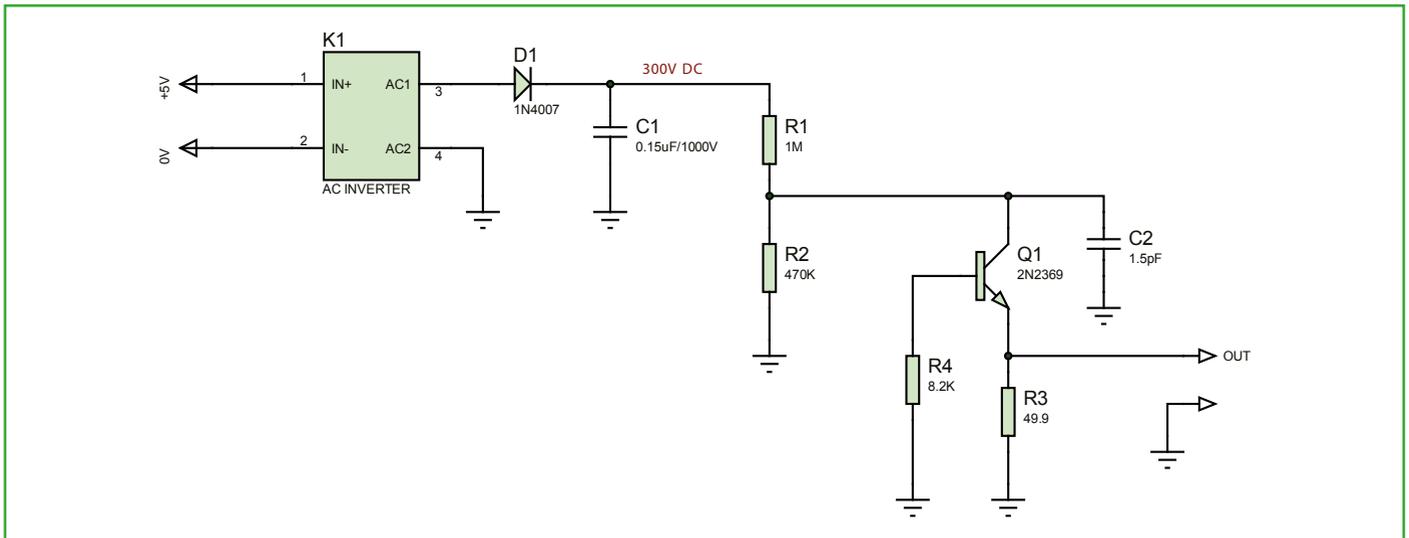


Figure 2. Ce générateur d'impulsions permet d'obtenir des impulsions extrêmement rapides. Le petit condensateur C2 se charge jusqu'à atteindre la tension d'avalanche de T1, qui est un phénomène ultra-bref.

court-circuit et le voltmètre indiquera 0 V. Rappelez vous que rien ne peut aller plus vite que 300 000 000 m/s, la vitesse de la lumière dans le vide (et même un peu moins vite dans un câble). À l'instant précis où l'on ferme l'interrupteur, le système n'a aucun moyen de savoir ce qu'il y a à l'autre bout du fil. Comme le câble a une impédance caractéristique de 50 Ω, tout doit se passer initialement comme dans le premier cas, le voltmètre ne peut indiquer que 0,75 V. Par contre, un court instant plus tard (deux fois le temps de parcours de l'électricité dans le câble pour être exact), l'information « Eh, y a un court-circuit au bout » aura remonté le câble, le voltmètre indiquera la valeur correcte de 0 V. Évidemment, avec un voltmètre vous ne le verrez pas, à moins d'avoir un très très long fil, mais avec un oscilloscope assez rapide si ! Le voltmètre indiquera 0,75 V puis, après deux fois le temps de propagation, il indiquera 0 V. Tout se passe donc comme si la désadaptation d'impédance au bout du fil avait créé une onde électrique de -0,75 V qui s'était propagée dans le câble en sens inverse et avait annulé au bout d'un bref instant les +0,75 V initiaux. Et ça se mesure...

Dans les cas concrets, une même ligne de transmission peut présenter plusieurs désadaptations d'impédance dont chacune réfléchira une partie du signal. L'amplitude et le signe de la réflexion nous renseigne sur le type de désadaptation, et sa position dans le temps indique la distance de celle-ci sur le câble. C'est le principe de la réflectométrie temporelle, bien connue par le sigle TDR pour *Time-Domain Reflectometry*. En pratique, la TDR peut être utilisée soit avec un créneau de tension comme dans mon exemple ci-dessus, soit avec une impulsion très brève (**fig. 1**). Des appareils spécialisés existent,

mais pour expérimenter il suffit d'un générateur d'impulsions et d'un oscilloscope (qui joue le rôle d'un voltmètre rapide), raccordés au circuit à tester via un *splitter* 50 Ω (cf encadré). L'oscilloscope mesure ainsi à la fois l'impulsion émise et les réflexions reçues en retour.

Bricolons un générateur à fronts ultra-raides

Est-il facile de tester la chose ? Oui, mais à condition d'avoir les bons appareils. En effet, une bonne résolution en distance ne peut être obtenue qu'avec des impulsions aux fronts très rapides. Prenons par exemple un câble qui a une vitesse de propagation de 80 % de la vitesse de la lumière. Celle-ci parcourt 30 cm par nanoseconde, donc l'électricité se propagera dans le câble à la vitesse de 24 cm/ns. Comme le signal fait un aller/retour vous devrez pouvoir produire des impulsions avec des fronts de l'ordre de 1 ns et mesurer des temps de 1 ns pour obtenir une résolution de 12 cm.

Tout dépend donc de la longueur du câble et de la résolution en distance recherchée. Coté oscilloscope, je ne peux pas faire de miracles : il vous faudra un appareil correct. Avec un oscilloscope 20 MHz, il vous faudra un câble de dix mètres de long pour y voir quelque chose, mais un modèle 1 GHz ou plus sera nécessaire si vous recherchez une résolution spatiale de quelques centimètres.

Pour le générateur, c'est beaucoup plus facile : on peut réaliser un générateur d'impulsions d'une nanoseconde pour moins de 5 € ! Regardez la **figure 2** pour en être convaincu. Je dois admettre que j'ai été un peu surpris lorsque j'ai relevé ce concept dans une ancienne note d'application de *National*



Photo 1. L'important pour obtenir un générateur à avalanche très performant est de réduire au maximum les inductances parasites. Ici les composants CMS sont directement soudés sur les pattes du transistor.

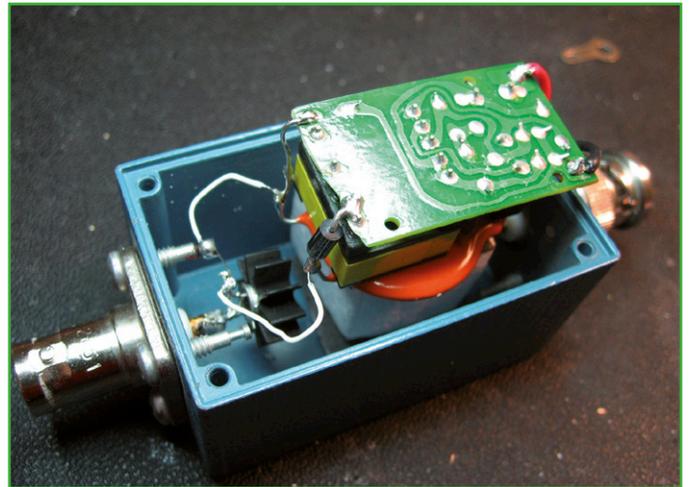


Photo 2. Le générateur peut être intégré dans un petit boîtier blindé. Le module d'alimentation est à gauche, l'électronique du générateur est condensée autour du connecteur BNC de gauche.

Semiconductor. Le transistor a sa base à la masse, comment peut-il y avoir des impulsions en sortie ? Voyons ça. K1 est une alimentation haute tension récupérée sur un afficheur de type CFL. Grâce à cette alimentation, et après rectification et filtrage par D1 et C1, on a une tension de 300 V. Oui, 300 V (la valeur précise n'a pas d'importance, mais il faut au moins 100 V). Cette tension charge le petit condensateur C2 (1,5 pF) à travers R1. Et au bout d'un moment la magie opère : la tension aux bornes de C2 dépasse la tension d'avalanche du transistor T1 (qui est en général comprise entre 60 V et 100 V). Q1 conduit alors très brièvement, le temps de décharger C2 via R3, ce qui engendre une impulsion en sortie, puis le cycle se répète. La durée de l'impulsion est proportionnelle à C2, mais, plus important, le phénomène d'avalanche est très rapide et cela donne des fronts ultra-raides. Certains transistors sont

meilleurs que d'autre pour cette application, l'antique 2N2369 est connu pour être parfait mais vous pouvez expérimenter avec ce que vous avez sous la main.

Le schéma est simple, mais la réalisation est plus délicate. En effet les performances dépendent étroitement du soin apporté au câblage... Pourquoi ? Parce que la moindre inductance ou capacité parasite dans la section critique (C2, Q1, R3 et le connecteur de sortie) peut réduire drastiquement les performances du générateur voire l'empêcher de fonctionner. La meilleure solution est de réaliser le circuit le plus compact possible, en utilisant bien sûr des composants CMS pour C2 et R3. Vous pouvez réaliser un tout petit circuit imprimé, mais j'ai utilisé quant à moi une approche moins orthodoxe mais très efficace (**photo 1**). Les composants passifs CMS sont directement soudés sur les pattes du transistor, en l'air. Bon, je vous accorde qu'il faut un peu de doigté et de patience mais le résultat est excellent ! Une fois cette section câblée, j'ai raccordé le module d'alimentation et ai mis le tout dans un petit boîtier blindé, le circuit générateur étant directement soudé sur le connecteur BNC de sortie (**photo 2**).

Splitter 50 Ω ?

Raccorder sur une ligne de transmission un appareil de mesure ayant typiquement une impédance de 50 Ω ne peut pas se faire par une simple dérivation, sinon il y a rupture d'impédance (l'appareil de mesure est en parallèle de la charge, soit 25 Ω au lieu de 50). Il faut intercaler ce qu'on appelle un *splitter* 50 Ω. Un tel *splitter* se fabrique simplement par trois résistances de 17 Ω raccordées en étoile. Imaginez que deux des branches sont raccordées sur une charge 50 Ω, cela donne deux charges de 50+17=67 Ω. Elles sont en parallèle, ça donne 33,5 Ω. Avec la troisième résistance de 17 Ω en série, on retrouve bien 33,5+17=50,5 Ω. Bingo !



Sécurité : Si vous fabriquez un tel générateur, rappelez-vous qu'il y règne des tensions continues de plusieurs centaines de volts. **Cela peut faire très mal, voire être fatal**, même si l'alimentation externe est en basse tension... Les règles élémentaires de sécurité s'appliquent donc, même si le circuit est alimenté en basse tension.

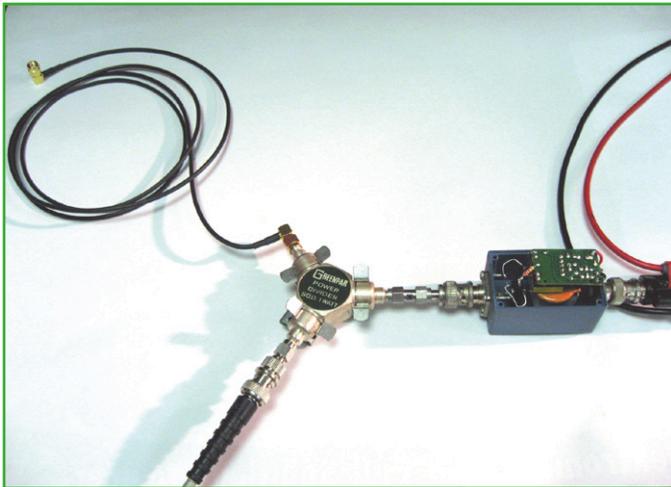


Photo 3. Un banc de réflectométrie monté, avec le générateur d'impulsion et un *splitter* commercial. Le câble du bas va vers l'oscilloscope, le câble ouvert est celui que l'on teste.

Règles de base :

- Ne vous lancez pas là dedans si vous avez le moindre doute.
- Coupez l'alimentation avant de manipuler le circuit et attendez quelques minutes avant de le toucher ensuite.
- Gardez toujours une main dans la poche.
- Ne bricolez jamais ce genre de choses seul, juste au cas où...

Premiers essais

Quelles sont les performances de ce générateur d'impulsions à avalanche ? J'ai connecté sa sortie à un oscilloscope Teledyne-Lecroy Waverunner 6100 (1 GHz de bande passante, 10 Gsps en monocoup) (**fig. 3**). J'ai mesuré un temps de montée de 244 ps et une largeur d'impulsion de 0,5 ns, sans même soustraire le temps de réponse propre de l'oscilloscope. Pas mal, pour quelques euros !

Avec un tel générateur, il est temps de passer à nos essais de réflectométrie. La configuration utilisée est illustrée par la **photo 3**. Le générateur est raccordé à un *splitter* 50 Ω à 3 voies du commerce (de marque *Greenpar*). L'une des autres voies du *splitter* est raccordée à l'oscilloscope via un câble 50 Ω. Enfin, la troisième sortie est raccordée à un câble 50 Ω de 1,50 m dont l'extrémité est laissée ouverte. Il ne reste qu'à mettre le courant et régler le seuil de déclenchement de l'oscilloscope pour rester synchronisé sur les émissions d'impulsions. Le résultat ? Voyez la **figure 4**.

Comme prévu, on observe une belle impulsion réfléchie, d'amplitude un peu plus faible que l'impulsion incidente à cause des pertes du câble. Le retard mesuré entre l'impulsion incidente

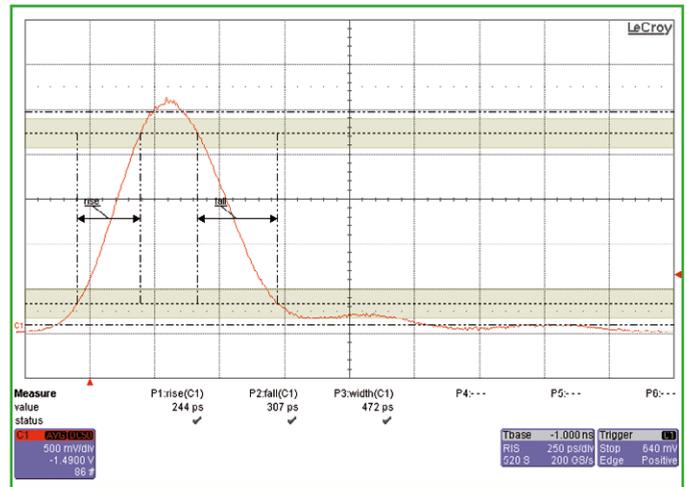


Figure 3. L'impulsion de sortie fait 472 ps de largeur, avec des temps de montée de moins de 250 ps. Pas mal, non ?

et celle réfléchie est de 15,66 ns. Le signal a fait 1,50 m aller/retour soit 3 m. On peut donc calculer la vitesse de déplacement du signal électrique dans le câble : $v = d/t = 3 \text{ m} / 15,66 \text{ ns} = 191\,570\,881 \text{ m/s}$ soit 64 % de la vitesse de la lumière dans le vide, ce qui est un ordre de grandeur normal pour un câble coaxial comme celui que j'ai utilisé.

De plus, la forme de l'onde réfléchie nous renseigne sur le type de discontinuité rencontrée par le signal. Rappelez-vous mon premier exemple d'une ligne court-circuitée, dont le signal réfléchi était de signe négatif. Ici la ligne est un circuit ouvert, ce qui donne une impulsion réfléchie de signe positif.

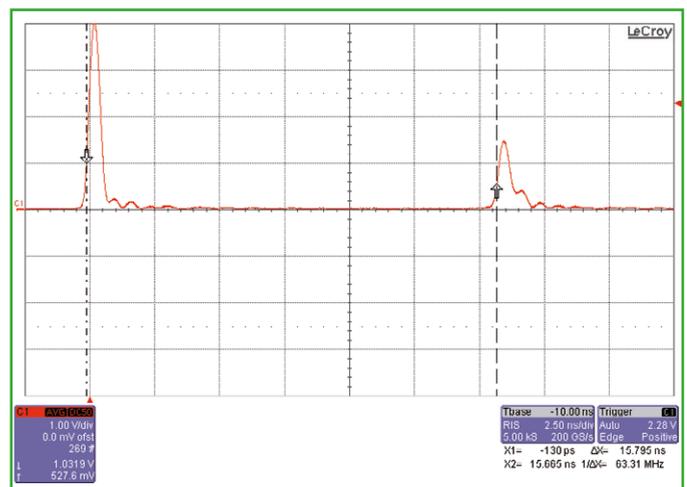


Figure 4. Un premier essai de réflectométrie avec un câble coaxial de 1,50 m dont l'extrémité est ouverte : l'impulsion réfléchie est positive, ici reçue avec un retard de 15,8 ns

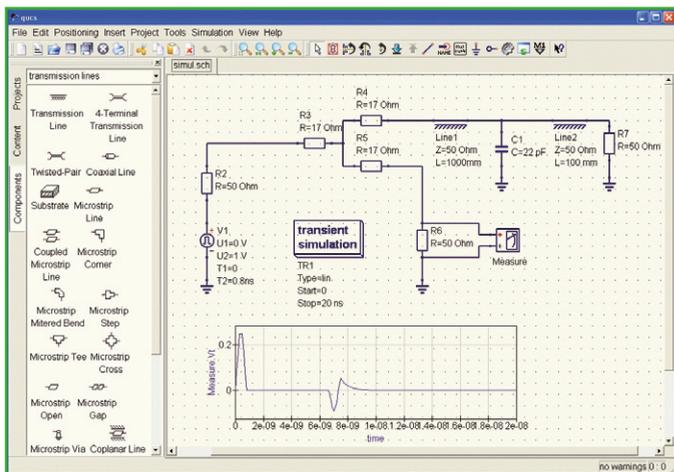


Figure 5. QUCS est un simulateur gratuit très efficace pour simuler l'effet d'une discontinuité d'impédance, ici un petit condensateur à la masse au milieu d'une ligne de transmission.

Un peu de simulation...

Pour comprendre les différentes formes de signaux réfléchis possibles selon les types de désadaptation d'impédance, rien de tel qu'une petite simulation. Il existe un simulateur gratuit très à l'aise avec ce genre de circuits : QUCS (*Quite Universal Circuit Simulator*), que vous pouvez télécharger pour expérimenter (cf ressources en fin d'article).

La **figure 5** vous montre comment simuler sous QUCS l'effet d'un petit condensateur parasite vers la masse au milieu d'une ligne 50 Ω. Intuitivement, un tel composant se comporte un peu comme un court-circuit partiel, et on s'attend donc à une impulsion de tension négative. C'est bien ce que montre la simulation. Puis le condensateur se charge, ce qui donne une petite impulsion positive décroissant exponentiellement (et plus ou moins vite selon la capacité du condensateur). Avec une telle simulation il est très facile d'essayer différents types de composants, comme des résistances, des condensateurs ou des inductances en parallèle vers la masse ou en série sur la ligne. La **figure 6** vous en donne un aperçu.

Et si l'on essayait en vrai ?

Il ne reste qu'à comparer la simulation à la réalité. J'ai pour cela récupéré un petit circuit imprimé de test comportant une ligne micro-ruban 50 Ω, et y ai ajouté un condensateur de 22 pF vers la masse, au milieu de la ligne. J'ai raccordé ce circuit au bout du câble de 1,5 m, et ai ajouté un second câble de 1,5 m à sa sortie, terminé par une charge 50 Ω. Le résultat de la mesure est illustré sur la **figure 7**. La comparaison avec la simulation n'est pas mauvaise !

On peut aussi utiliser ces techniques de réflectométrie temporelle pour identifier des problèmes liés à des connecteurs

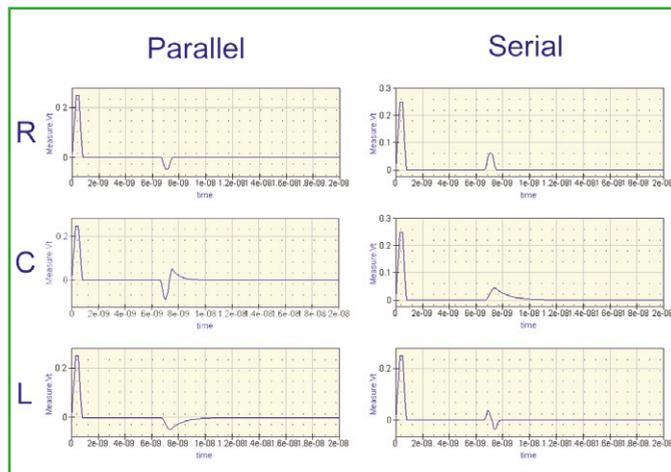


Figure 6. Avoir ces formes de réflexions « typiques » sous la main permet de rapidement comprendre le résultat d'une mesure. Ces courbes ont été simulées sous QUCS.

de mauvaise qualité. Vous voulez voir comment ? Connectons au bout du câble de 1,50 m une charge 50 Ω d'assez bonne qualité, dotée d'un connecteur SMA. Normalement il ne devrait y avoir aucune réflexion dans ce cas car l'impédance est adaptée. Toutefois, en augmentant l'échelle verticale de l'oscilloscope, on arrive à mesurer une réflexion au niveau de la charge, car celle-ci n'est jamais parfaite. Que se passe-t-il si, entre le câble et la charge SMA, on ajoute une paire d'adaptateurs SMA/BNC et BNC/SMA ?

Les connecteurs BNC ne sont pas réputés pour leur très bonne qualité en hautes fréquences, mais cela se voit-il en réflectométrie ? Bien entendu, la **figure 8** vous le prouve : la réflexion est trois fois plus forte une fois les adaptateurs BNC mis en place ! C'est d'autant plus flagrant lorsqu'on se rappelle que l'oscilloscope mesure des tensions, alors que ce qui est important, c'est la *puissance* du signal réfléchi. Or, la puissance est proportionnelle au carré du voltage (vous vous rappelez ? $P=U^2/R$). Les connecteurs BNC ont donc presque multiplié par 10 la puissance du signal réfléchi !

Pour conclure

Dans ce petit article, mon but était de vous faire sentir les phénomènes de réflexion de signaux liés aux désadaptations d'impédance. De telles réflexions sont en particulier la cause de nombreux dysfonctionnements dans la transmission de signaux numériques rapides. Vous aurez peut-être aussi découvert une technique de mesure, la réflectométrie temporelle, très utile pour localiser des problèmes d'adaptation d'impédance dans des câbles ou sur des circuits imprimés. De plus, les formes des signaux mesurés permettent, avec un œil entraîné, d'identifier assez simplement le type de désadaptation rencontré.

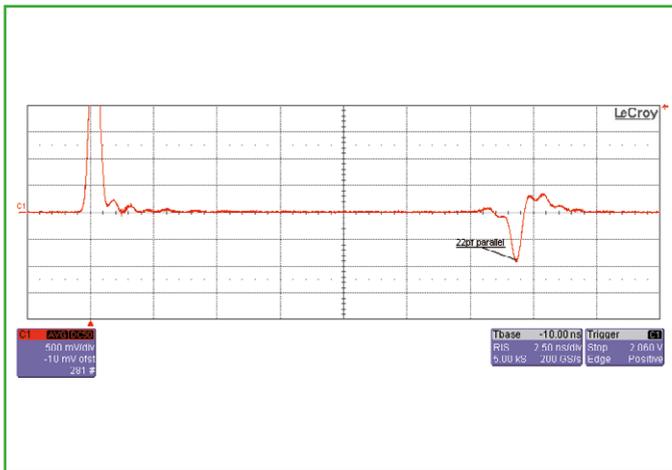


Figure 7. Voici le résultat d'une « vraie » mesure de réflectométrie avec un condensateur de 22 pF vers la masse au milieu d'une ligne de transmission. Comparez cette forme à la simulation donnée figure 6.

Ah, par manque de place je n'ai pas parlé d'un autre aspect très important de la TDR : il y a un lien étroit entre la forme et l'amplitude des signaux réfléchis et la bande passante d'un circuit. En gros, l'un est la transformée de Fourier de l'autre. Ce sujet méritera un jour un autre article...

Enfin, je ne peux, comme d'habitude, que vous recommander d'essayer tout ça par vous même. Il faut un oscilloscope, mais

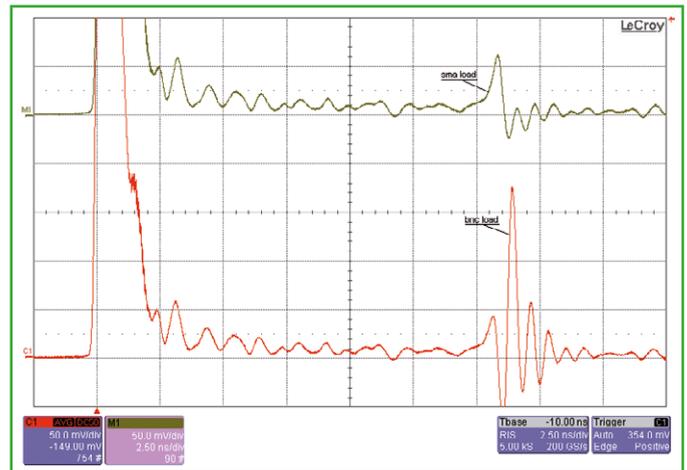


Figure 8. Avec la même échelle, voici une illustration de la différence de qualité entre un connecteur SMA (en haut) et une paire d'apdatateurs BNC (en bas). Flagrant, non ?

même un vieux tromblon avec 20 MHz de bande passante peut permettre de faire des mesures amusantes !

(140269)

Ressources

- WaveRunner 6100 Oscilloscope – Lecroy Corp. | www.lecroy.com
- 2N2369 – Multicomp | www.farnell.com (Distributeur)
- Qucs project – Qucs | <http://qucs.sourceforge.net>

Références

- T. Engdahl, *Time Domain Reflectometer*, 2007, www.epanorama.net/circuits/tdr.html.
- Hewlett-Packard, *Application note 1304-2: Time Domain Reflectometry Theory*, 1988, <http://materias.fi.uba.ar/6209/download/HP-AN1304.pdf>.
- F. Sischka, *TDR Measurements and Calibration Techniques*, Agilent Technologies, 2002, <http://eesof.tm.agilent.com/docs/iccap2002/MDLG BOOK/1MEASUREMENTS/71TDR/1TDRCalibration.pdf>.
- J. Williams, *Application Note 47: High Speed Amplifier Techniques: A Designer's Companion for Wideband Circuitry*, Linear Technology Corp., 1991, www.mit.edu/~6.331/an47fa.pdf.



13^e jour : placement de composants

Neil Gruending
(Canada)

Aujourd'hui nous allons parler des outils de placement de composants de DesignSpark.

Dans les articles précédents nous avons passé pas mal de temps sur la partie schéma de DesignSpark. Il est temps de s'intéresser de plus près à la partie circuit imprimé en commençant par la fonction de placement automatique de composants avant d'évoquer les techniques de placement manuel.

Placement automatique

Essayons l'outil de placement automatique de composants de DS sur la carte du pilote de LED conçue dans un article précédent. Un clic sur *Tools* → *Auto Place Components* → *All Components* fera apparaître la fenêtre *Autoplace Components* (fig. 1). C'est là que l'on configure l'outil de placement automatique avant de le lancer.

J'ai réglé l'espacement minimal entre les composants ainsi que le pas de la grille de placement à 0,25 mm pour obtenir le résultat de la figure 2. Comme vous pouvez le voir, tous les composants sont espacés correctement et DS a fait de son mieux pour les organiser sur la carte.

Et si vous ne vouliez pas que tous les composants soient automatiquement placés sur le C.I. ? L'entrée *All Unplaced* du menu *Auto Place Components* est là pour ça : DS ne placera que les composants qui ne sont pas déjà sur la carte. Vous pouvez également sélectionner un ou plusieurs composants et choisir *Selected Components* pour ne placer que ceux-ci. Ces deux commandes utilisent les derniers paramètres donnés à la commande *All Components*.

Parfois vous voudrez placer presque tous les composants d'un projet excepté quelques uns. Par exemple, votre carte pourrait être dotée de trous de montages que vous voudriez conserver tout en plaçant tous les autres composants sur la carte. Une solution consiste à les verrouiller ou fixer en cliquant avec le bouton droit sur le composant puis en sélectionnant *Fix Item* tout en vous assurant que l'option *Don't place fixed components* est sélectionnée dans les paramètres de placement.

DS laissera également de côté tous les composants dont les pastilles sont reliées à des pistes durant le placement automatique. Vous pouvez donc être sûr qu'aucun composant ne sera déconnecté de ses signaux. Cependant, DS ne vérifiera pas que l'endroit où il souhaite placer un composant ne comporte aucune trace ce qui, parfois, donnera lieu à des court-circuits : sur l'exemple de la figure 3, Q2 a été accidentellement relié à la piste allant de Q1 à Q4. Dans un projet plus conséquent, j'utiliserais l'outil de vérification (*design rule check* ou DRC) qui pointerait ces erreurs en tant que problèmes d'isolement entre pastilles et pistes.

Placement manuel

Vous préférez placer vos composants à la main ? Glisser-déposer des composants dans DS est plutôt facile même si connaître l'espacement entre les composants n'est pas évident. L'outil de placement automatique s'en charge mais, dans le cas d'un placement manuel, c'est à vous de vous en occuper. La solution la plus directe consiste à utiliser une grille de placement, avec un pas de 0,25 mm par exemple, et à vous assurer qu'il y a suffisamment de pas de grille entre chacun des composants pour atteindre l'espacement souhaité. Par exemple, vous commencez par placer deux composants aussi près que possible l'un de l'autre, sans toutefois qu'ils ne se chevauchent, puis vous en déplacez un horizontalement et/ou verticalement jusqu'à obtenir l'espacement requis. Cela fonctionne bien sur les petites cartes comme notre pilote de LED mais devient très vite fastidieux si différents espacements sont requis ou si la carte comporte un grand nombre de composants.

L'autre option est d'utiliser des enceintes de placement (*placement courtyards*) dans vos composants de bibliothèque. Il s'agit d'un rectangle dessiné sur la couche des informations mécaniques qui représente le contour du composant et ses tolérances. En principe, elles ne sont pas supposées inclure les contraintes de fabrication et d'assemblage mais j'ajoute habituellement un peu de marge pour être sûr que mes composants seront au moins distants de 0,25 mm. Lorsque



Figure 1.
Fenêtre de l'outil de placement automatique.

vous placez les composants sur la carte, votre seule contrainte sera que les enceintes de placement ne se croisent pas. Voyons comment faire. Lorsque vous utilisez l'assistant de création d'enceintes lors de la création d'un nouveau composant il vous proposera, à la dernière étape, de créer un contour de placement : c'est la même chose qu'une enceinte de placement. Il vous suffira de spécifier la distance à vos pastilles pour que le contour soit automatiquement ajouté à l'empreinte. J'utilise habituellement la couche d'assemblage du dessus pour les enceintes de placement afin qu'il soit facile de les utiliser ultérieurement comme contour de composant dans les dessins d'assemblage.

Il est également possible d'ajouter une enceinte de placement à un composant existant (**fig. 4**). Mais avant de mettre à jour l'empreinte dans le C.I. il vous faudra d'abord ajouter les couches d'assemblage. Ouvrez la fenêtre *Design Technology* depuis le menu *Settings* et cliquez sur l'onglet *Layer Types*. Cliquez ensuite sur le bouton *Add* puis donnez-lui un nom ; j'utilise *Assembly*. Vous devrez sélectionner une utilisation de type *Non-Electrical* et ne rien inclure, c'est à dire décocher toutes les cases dans la zone des inclusions. Du côté des *Settings*, cochez la case *Placement Shapes* et enfin cliquez sur *Ok*.

Vous pouvez maintenant ajouter les couches d'assemblage du dessus et du dessous au C.I. en cliquant sur l'onglet *Layers*. Cliquez sur le bouton *Add* puis nommez la couche *Top Assembly*. Changez le type pour *Assembly* et choisissez-lui une couleur. Cliquez sur le bouton *Ok* et répétez ces étapes pour créer une couche d'assemblage pour le dessous de la carte, sans oublier de changer le côté pour *Bottom*.

Une fois tout ceci fait, notre exemple ressemblera à la **figure 5** après un léger réarrangement. Les enceintes de placement permettent de facilement repérer les composants qui ne sont pas espacés correctement : leurs enceintes de placement se chevauchent ou se touchent.

Conclusion

Nous venons de voir les différentes manières de placer des composants sur vos C.I. Je préfère utiliser les enceintes de placement mais l'outil automatique est formidable pour estimer rapidement la difficulté que l'on aura à placer tous les composants sur une carte. La prochaine fois nous jetterons un œil aux fonctions de routage de DesignSpark.

(140046 – version française : Kévin Petit)

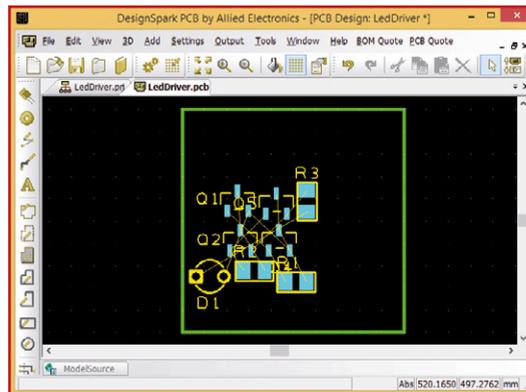


Figure 2.
Exemple de placement automatique.

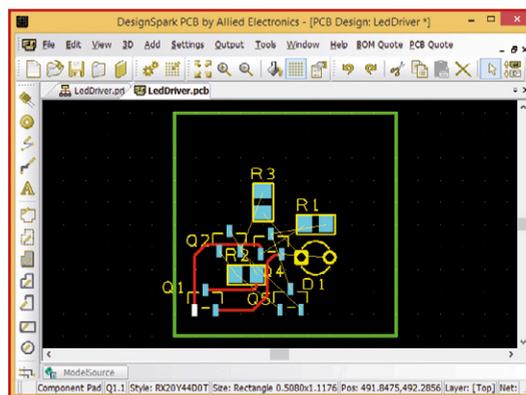


Figure 3.
Erreur de placement.

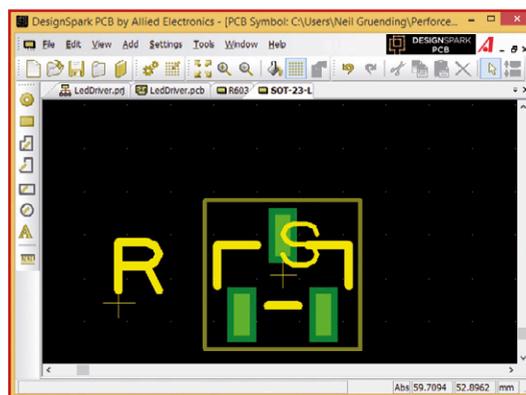


Figure 4.
Enceinte de placement SOT23.

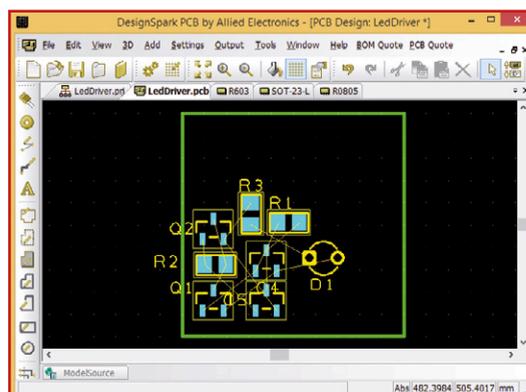
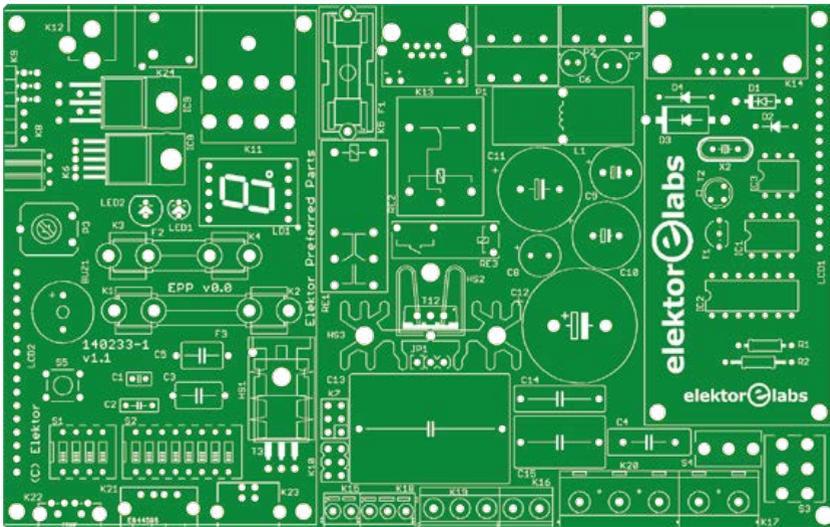


Figure 5.
Une carte avec des enceintes de placement.

ELPP: Elektor Labs Preferred Parts

Clemens Valens
(Elektor.Labs)

Nouvelle liste de composants Passe-Partout d'Elektor LABS



Avez-vous connu les TUP et TUN d'Elektor ? Si oui, vous avez sans doute déjà compris de quoi parle cet article. Sinon vous allez découvrir les nouveaux composants passe-partout d'Elektor. TUP signifiait 'Transistor Universel PNP'. Vous devinez ce que signifiait TUN ? Dans les années 70 et au début des années 80, c'est ainsi que l'on désignait dans les schémas d'Elektor les transistors dont le type précis importait peu, pourvu que leur polarité soit la bonne et leurs caractéristiques dans une plage de valeurs donnée. N'importe quel transistor NPN normal (genre BC547) pouvait tenir lieu de TUN. Le parangon des TUP était le PNP BC557. Les schémas étaient étudiés pour marcher avec n'importe quel transistor (à peu près) équivalent. À l'époque, il existait déjà des milliers d'équivalents, aujourd'hui ils sont encore bien plus nombreux. Et c'est vrai pour de nombreux autres composants. Submergé par le pullulement des amplis op, des diodes, des condensateurs, des μ C et de toutes sortes de composants intégrés, je me sens souvent comme une baleine qui doit filtrer le plancton entre ses fanons. Au cours de

la décennie écoulée, le mouvement semble s'être accéléré au point que nous constatons qu'en dépit de l'augmentation de nos stocks de composants, on n'y trouve que rarement ce qu'on cherche...

Au labo d'Elektor, ce problème se pose avec d'autant plus d'acuité que nous recevons des propositions d'horizons les plus divers. Chaque schéma porte son empreinte génétique dans sa BOM. On y trouve du tout-venant et de l'exotique, du japonais et du soviétique, et notre première tâche consiste à faire d'abord la part des composants, pour éliminer ce qui est introuvable et essayer de le remplacer par quelque chose que l'on trouve dans la plupart des pays où Elektor est diffusé. Tel composant banal pour un Allemand paraîtra exotique au lecteur australien, et inversement. Nous devons donc arriver à savoir d'abord si tel composant est là parce que l'auteur en avait en stock ou parce qu'il présente des caractéristiques particulières dont dépend le bon fonctionnement du circuit proposé.

Et quand nous décidons de le remplacer, quels sont les critères qui gouverneront ce choix ? Au labo d'Elektor chacun d'entre nous n'a-t-il pas ses dadas ? Le remède risque donc de se révéler pire que le mal.

Nous avons établi une liste de composants standard à utiliser dans les circuits d'Elektor chaque fois que c'est possible. Les avantages de cette rationalisation sont évidents :

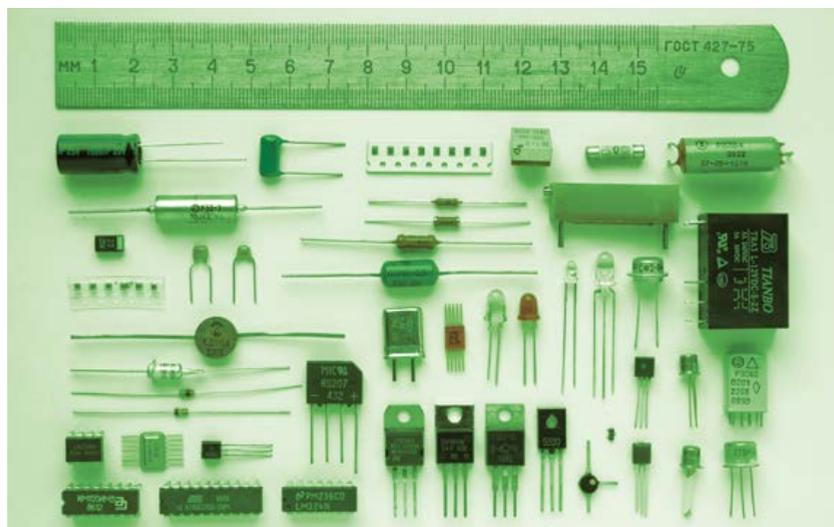
- Simplification et gain de temps par suppression des vérifications des équivalences (théoriquement) possibles, et par la réduction de la bibliothèque de composants pour la CAO ;
- Simplification des listes de composants ou *Bill of Materials* (BOM) ainsi que de la gestion des stocks ;
- Réduction des coûts par l'achat en volumes plus grands. Les distributeurs deviennent plus serviables quand on leur commande des composants par multiples de 10 ou de 50 ;

- Prototypage accéléré par la suppression de l'attente de la livraison de composants indisponibles ;
- Réutilisation d'empreintes familières et éprouvées lors de l'étude du circuit imprimé ;
- Accélération des commandes de réapprovisionnement, car les fournisseurs et leurs références sont bien connus ;
- La connaissance exacte des caractéristiques de chaque composant, en réduisant la marge d'incertitude, facilite la recherche d'un remplaçant éventuel.

Si vous vous attendiez à lire ici quelque chose de révolutionnaire, vous voilà probablement déçu. L'idée des composants passe-partout est bien connue dans les labos du monde entier, mais de là à l'imposer sans frustrer personne, c'est une autre affaire. Le plus difficile est encore d'empêcher la liste de s'allonger, car chacun souhaite y voir figurer ses préférés. Or, le principe consiste à ne garder justement que les composants vraiment universels. Et disponibles, partout dans le monde... Vient ensuite le défi de l'élaboration d'une bibliothèque d'empreintes fiables. Cela nous a pris du temps, mais la voici enfin, l'*Elektor Labs Preferred Parts (ELPP)* ou *Elektor Labs Passe-Partout*. La version 1.0 d'ELPP ne retient que des composants traversants (TH), les CMS seront dans la V2.0. Vous y trouverez des composants pour la majorité des projets habituels d'Elektor, depuis les circuits sous basse tension continue jusqu'aux montages reliés à des tensions alternatives élevées. Trois modèles de puissance pour les diodes, transistors et autres : faible, moyenne et grande (jusqu'à 100 W). Sauf les amplis op et les régulateurs de tension, il y a peu de circuits intégrés dans l'ELPP. La tenue en tension de tous les condensateurs est d'au moins 50 V. Pour les résistances, la gamme E12 complète est couverte, mais pas pour les condensateurs. Il n'y a qu'une seule self dans la liste. (associée à un certain régulateur à découpage). Pas de μC , mais des accessoires comme les quartz et les supports. La majorité de ces composants sont référencés chez *Farnell* ou chez *RS Components*.

Tous ces composants apparaissent dans notre bibliothèque ELPP pour *Eagle*, téléchargeable sur notre site [1]. Une version pour *DesignSpark PCB* est en préparation. Toutes les empreintes ont été vérifiées et sont compatibles avec un soudage et un assemblage manuels.

Les références *RS Components* et *Farnell* sont incluses pour vous faciliter l'établissement de vos commandes. Comme la bibliothèque connaît toutes les valeurs possibles pour chaque composant, vous pouvez éventuellement sauter l'étape *Add Component Value* lors de la saisie du schéma. Plus de valeurs oubliées, de listes incomplètes pour cause d'omission de supports, de fusibles, de cavaliers, etc. Plus de références fantaisistes, désormais votre bibliothèque de composants est conforme au standard préconisé par Elektor Labs.



Pour tirer le meilleur parti de la bibliothèque associée ELPP, il faudra peut-être renoncer à l'une ou l'autre de vos habitudes. En tout cas, avant de coller tel composant plus ou moins au pif dans votre schéma, prenez désormais le temps de voir ce que la bibliothèque ELPP propose d'équivalent. Tel condensateur dont le calcul donne 5,6 μF ne pourrait-il pas tout aussi bien faire 4,7 μF ou 10 μF ? La réponse à cette question est souvent oui. Je conviens qu'il peut paraître incongru d'utiliser sous 3,3 V telle diode spécifiée pour 1000 V, mais où est le problème, en fait ? Elle supporte 1 A et n'est pas plus encombrante qu'un type de 100 V.

ELPP ne doit pas entraver le concepteur. ELPP n'est pas immuable. ELPP mûrira. ELPP vivra. Adoptez-la !

(140233 - version française : Rémi Descistes)

- [1] bibliothèque ELPP pour Eagle, doc. Excel, caractéristiques : www.elektor-magazine.com/pub/Elektor%20Labs/elektor_labs_preferred_parts_elpp/

connecteur de fortune pour MyDAQ

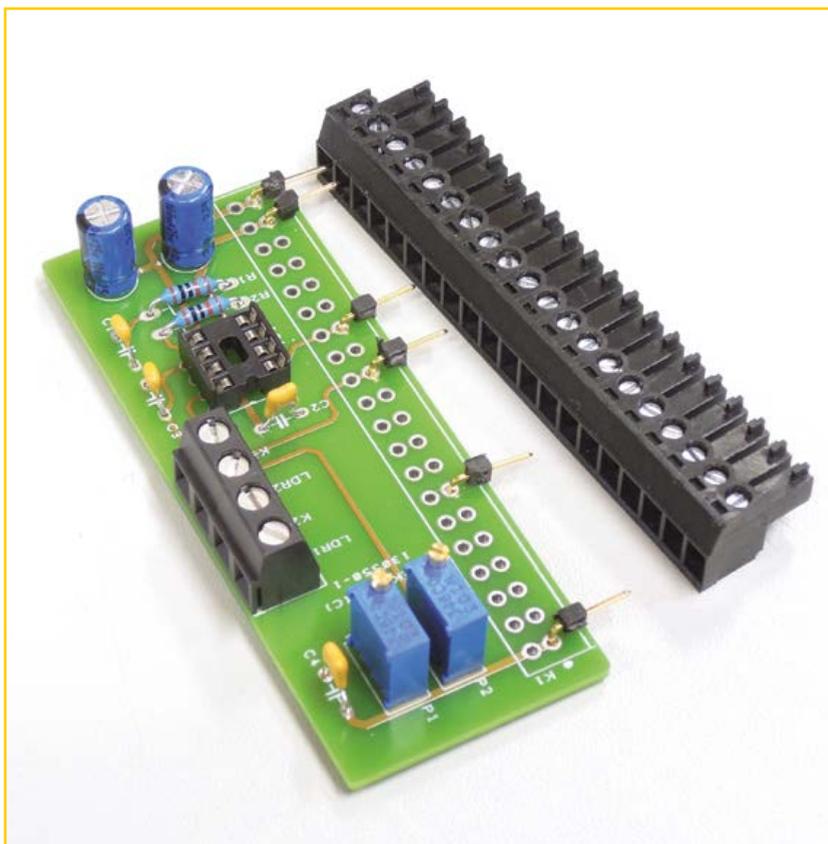
Thijs Beckers
(Elektor.Labs)

Aviez-vous remarqué dans le numéro 433-434 d'Elektor, de juillet-août 2014 (p. 32), ce circuit appelé **thérémine optique avec myDAQ et LabVIEW** ?

Outre le module d'acquisition de données et le logiciel de *National Instruments*, cet article recommandait un bornier au pas de 3,81 mm (pour relier le circuit au connecteur interne du myDAQ, lui-même au pas de 0,15 pouce). Comme il est difficile d'en trouver un modèle à 20 broches, et qu'il nous fallait d'urgence une solution de fortune au moment de boucler ce numéro d'Elektor, nous avons assemblé deux connecteurs à 10 broches de *Phoenix Contact* (1862658). Une solution de fortune à première vue satisfaisante.



Malheureusement, à environ 7 € l'unité, ces connecteurs ne sont pas précisément bon marché, surtout s'il en faut deux. Sans parler du fait qu'il faille, pour pouvoir les assembler afin qu'ils n'en fassent qu'un seul, en limer un peu le plastique de côté (photo du haut).



N'y avait-il donc pas une autre solution ? Si, bien sûr, mais comme souvent dans ces cas-là, elle n'a germé qu'après la publication de l'article. La voici, sur la photo du bas, avec le connecteur original noir fourni d'office avec chaque MyDAQ. Comme c'est un bornier à visser que nous ne pouvons donc pas souder sur le circuit imprimé, nous allons donc... le visser, sur quelques broches coudées, elles-mêmes soudées préalablement sur le circuit imprimé. La longueur de ces broches correspond parfaitement à la profondeur du connecteur MyDAQ. Ça tombe bien. Le tour est joué, il suffisait d'y penser. Même si elle arrive un peu tard, nous pensons que cette astuce vous sera utile, soit pour ce circuit-ci, soit en d'autres circonstances.

Il n'y a finalement que six broches utilisées, nous n'en avons donc pas soudé davantage, la rigidité de ce connecteur de fortune nous a semblé amplement suffisante.

(140047 - version française : Remi Descistes)

hexadoku

casse-tête pour elektorniciens

Les vacances tirent à leur fin, faisons durer le plaisir. Qu'une grille hexadécimale soit résolue d'une traite ou qu'elle traîne trois semaines, parce qu'on n'a pas le temps ou pas l'envie, l'essentiel est de ne rien forcer. Si vous avez du mal, demandez donc de l'aide à quelqu'un de votre entourage. À deux, souvent c'est mieux ; une satisfaction partagée est une satisfaction doublée.

Une grille hexadoku est composée de chiffres du système hexadécimal, de 0 à F. Remplissez le diagramme de 16 x 16 cases de telle façon que **tous** les chiffres hexadécimaux de 0 à F (0 à 9 et A à F) n'apparaissent **qu'une seule et unique fois** dans chaque rangée, colonne et carré

de 4 x 4 cases (délimités par un filet gras). Certains chiffres, déjà placés dans la grille, en définissent la situation de départ. Pour participer, inutile de nous envoyer toute la grille, il suffit de nous donner **la série de chiffres** sur fond grisé.

Participez et gagnez !

Nous tirons au sort cinq des réponses internationales correctes reçues dans les délais ; leurs auteurs recevront un bon d'achat de livres Elektor d'une valeur de **50 €**. À vos crayons !

Où envoyer ?

Envoyez votre réponse (les chiffres sur fond grisé) avec vos coordonnées par courriel, avant le **1^{er} octobre 2014** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

Les gagnants

La solution de la grille du numéro de juin (432) est : **F6B04**

Les cinq bons Elektor d'une valeur de **50 €** vont à : **Walter Ranson (France),**

Jos van Goethem (Pays-Bas), Sam Abadani (Iran), Amir Omahic (Croatie) et Emil Cugini (Suisse).

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

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

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

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.

•bientôt dans Elektor



horloge à tubes nixie et module GPS

La fascination exercée par les tubes nixie sur les électroniciens semble irrésistible si l'on en juge par les propositions de publication que nous continuons de recevoir. Celui-ci a retenu notre attention par sa simplicité et une astuce pour le moins surprenante : la mise à l'heure est assurée par un module GPS !



convertisseur USB ↔ RS232 - RS422/485

Faudrait-il, parce qu'ils n'ont pas d'interface USB, reléguer nos bons vieux appareils dotés d'une interface RS-232 ? Non, voici un convertisseur universel pour RS-232 (2x), RS422/485 (2x), sans µC ni logiciel, avec en prime une fonction de concentrateur USB (3x).



module capteur pour ElektorBus

La fiabilité du bus RS-485 est totale pour le relevé de températures même si les capteurs se trouvent à une grande distance de l'ordinateur. Ce module capteur est équipé d'un µC ATtiny et d'un étage RS-485. On peut y connecter jusqu'à 4 connecteurs. Pour le transfert des données, le micrologiciel connaît le protocole de l'ElektorBus. Un programme de démonstration est disponible pour PC.

Informations non contractuelles
Parution du numéro d'octobre : 16 septembre

Publicité

ECD7

NOUVELLE EDITION

Base de composants d'ELEKTOR

Cet ensemble consiste en une quadruple banque de données (circuits intégrés, transistors, diodes et optocoupleurs) complétée par neuf applications satellites, au nombre desquelles on trouvera notamment de quoi calculer la valeur de la résistance associée à une diode zener, à un régulateur, à un diviseur, ou un multivibrateur stable, mais aussi le code de couleur de la résistance et de l'inductance. Avec ce CD-ROM, vous disposez donc de données fiables sur

plus de 7.800 circuits entiers ; plus de 35.600 transistors, FET, thyristors et triacs ; environ 25.000 diodes et plus de 1.800 optocoupleurs. Le clou, c'est que vous allez pouvoir rajouter dans la base de données ce qui y manque encore, car elle est interactive ! Ainsi chaque utilisateur pourra lui-même rajouter des composants, en modifier les caractéristiques déjà enregistrées ou les compléter.

ISBN 978-90-5381-298-3 • 29,50 €

elektor Pour commander en ligne : www.elektor.fr/ecd7

DVD annuel 2013



Ce DVD-ROM réunit tous les articles d'ELEKTOR, le mensuel d'électronique et de micro-informatique appliquées, parus au cours de l'année 2013.

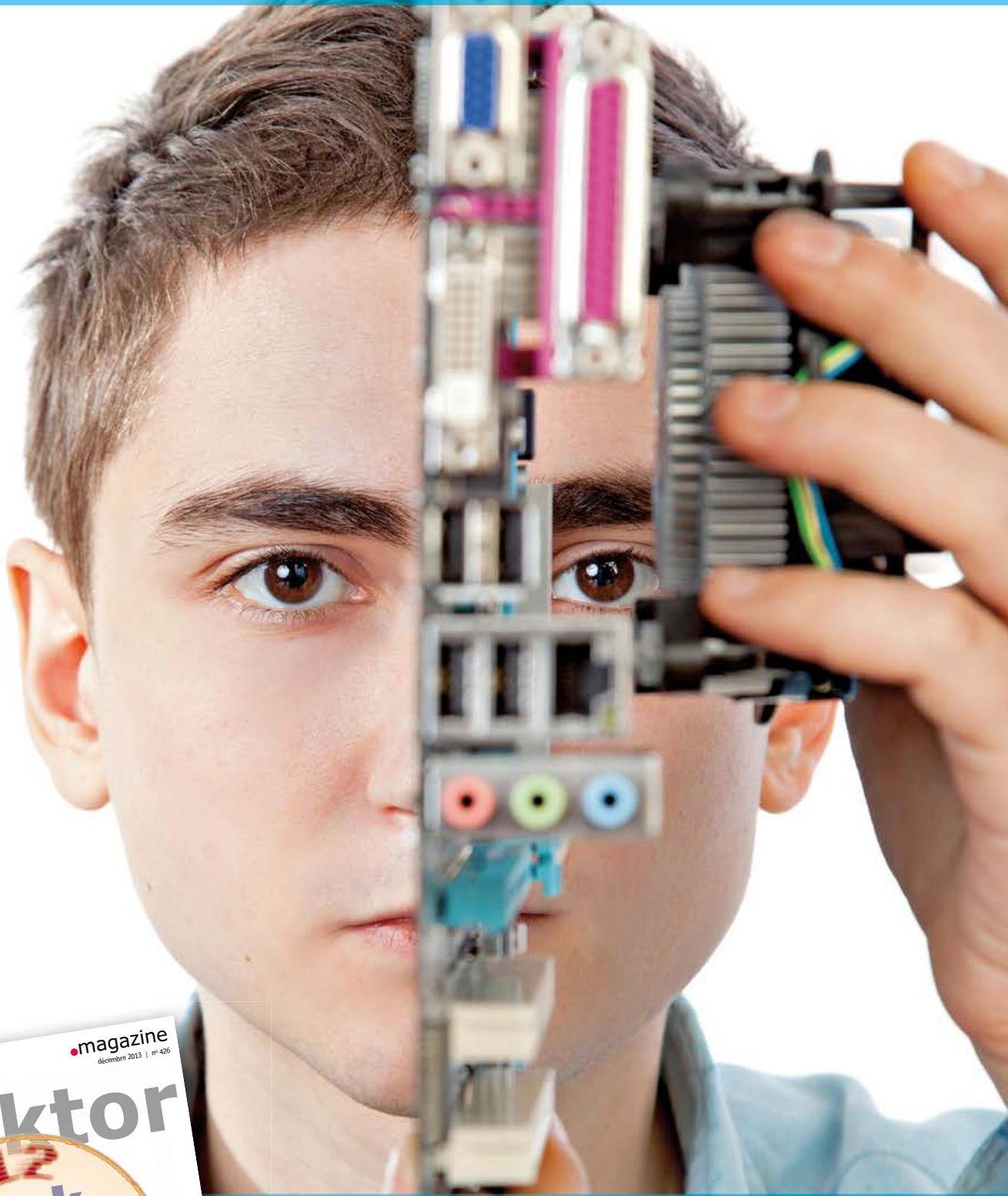
Il contient non seulement le texte des articles ainsi que les schémas, mais aussi tous les dessins des circuits imprimés, sous forme de fichiers à haute résolution.



ISBN 978-90-5381-277-8 • 27,50 €

elektor Pour commander en ligne : www.elektor.fr/dvd2013

le XXI^e siècle vient seulement de commencer



www.elektor-magazine.fr

magazine
décembre 2013 | n° 426

elektor

clac clock

Cadran Lumineux Interactif Circulaire

testeur de réseau Ethernet
horloge murale précise
gleaner de joules
555 à l'extrême
Arduino Yún | FlowStone

extension pour la carte FPGA
±64 s/an | passeport USB
mini-alimentation 5 V de labo
initiation à Eagle 6

L 19024 400 5 760 60 00

explorez l'électronique,
lisez **elektor**

www.elektor.fr/abo

Professional Quality
Trusted Service
Secure Ordering



Elektor PCB Service at a glance:

- 4 Targeted pooling services and 1 non-pooling service
- Free online PCB data verification service
- Online price calculator available
- No minimum order value
- No film charges or start-up charges

Delivery
from 2
working
days