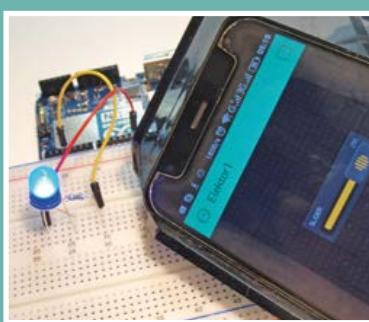


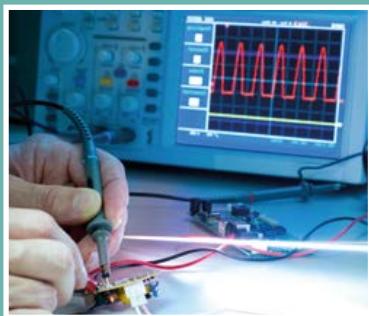


elektor

DÉCOUVRIR CRÉER PARTAGER



quand Android
rencontre Arduino
grâce au canevas Blynk



un oscilloscope,
mais lequel ?
petit guide d'achat



Ethernet
sur la carte d'E/S
pour Android

précision à la seconde près grâce au satellite



nouvelle horloge Nixie pilotée par GPS

Dans cette édition :
4 projets du labo
1 projet de lecteur
compte rendu de visite
cours, Q&R ...

M€I – moniteur d'Énergiemètre intelligent • Q & R :
plans de circuit imprimé • **filtres IIR avec R. Lacoste** •
céramique contre tantale • **tour des systèmes embarqués 2016**
• descente d'antenne symétrique • **LTpowerCAD : concevoir une alimentation**
• ampli zen • **canne télémétrique vocale avec Raspberry Pi** • corrections,
mises à jour • **pendule inversé (suite et fin)** • Balaise, l'ampli Hi-Fi trentenaire



elektor PCB Service

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



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

➔ le prix !

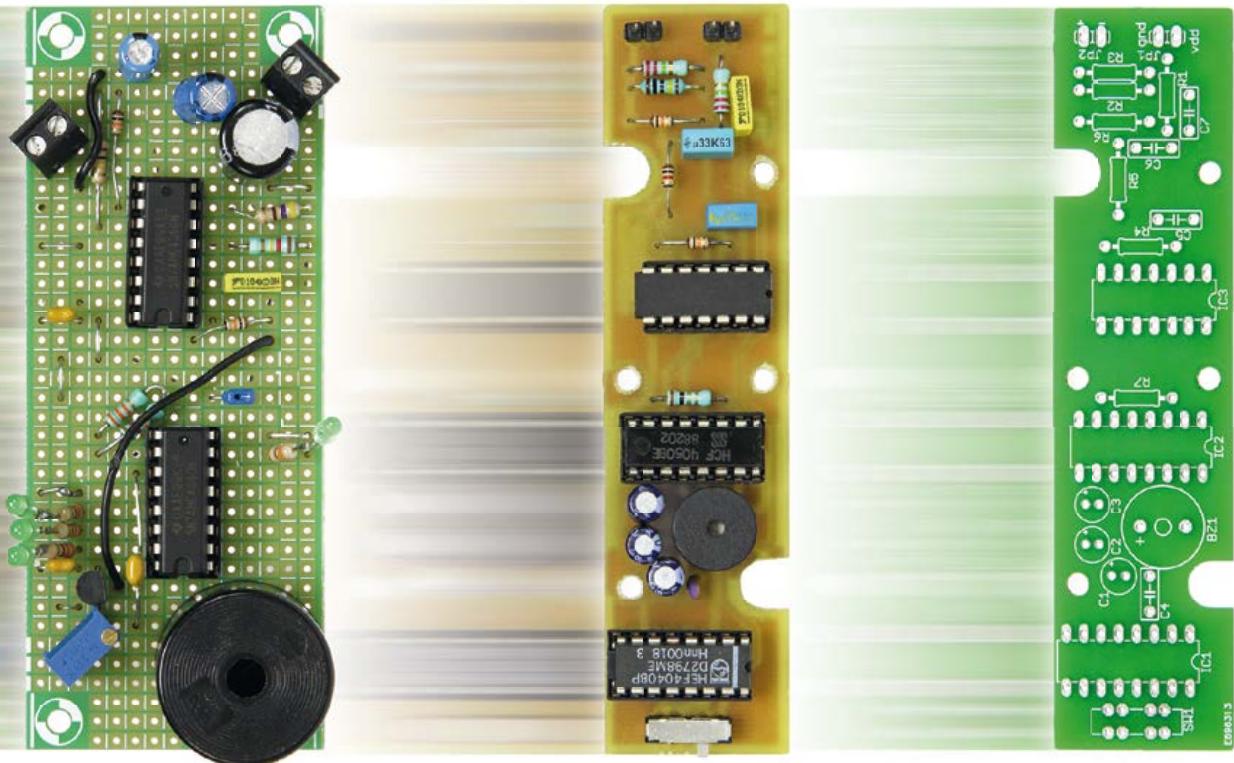
irrésistible...

➔ la qualité !

imbattable...

➔ la fiabilité !

inégalée...



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

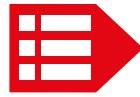
- Pour vos débuts, vous utiliserez éventuellement le service de **prototypage sans masque de soudure** ; dans ce cas, vos circuits imprimés simple ou double face sont nus.
- Pour les utilisateurs exigeants, nous proposons les options sans compromis. Le **PCB Visualizer** montre les circuits imprimés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

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



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

www.elektorPCBservice.com



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

@ : service@elektor.fr

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

Fax : (+33) 01.49.19.22.37

www.elektor.fr | www.elektormagazine.fr

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

Publicité :

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

DROITS D'AUTEUR :

© 2016 Elektor International Media B.V.

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

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

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

« T'as chopé des écailles ? »

...fulmine la maman contre son ado qui s'est rendormi sous la douche.

Mais que fait le compteur intelligent ?

Les fournisseurs d'énergie et d'eau vantent les mérites des compteurs avec télérélèvement censés nous garantir confort et sécurité. L'intelligence de ces instruments se limite à renvoyer chaque jour un index, pas de quoi épater un électronicien qui sait ce dont sont capables les microcontrôleurs.

L'intelligence se situe(rait) en amont, dans le traitement des données reçues, par ex. pour signaler à l'abonné une consommation anormalement élevée. Les mécanismes d'analyse et d'alerte restent simples : s'il y a une fuite d'eau durant la nuit et que l'index est envoyé tous les matins, la maison sera déjà inondée quand vous recevrez enfin une alarme sur votre ordiphone ! Pour qu'elles soient d'une réelle utilité quotidienne pour l'abonné, il faudrait des mesures fréquentes et multiples (dans différents endroits de l'habitation), et des analyses plus fines et donc plus intrusives, hélas ! Ce serait par exemple un système qui coupe automatiquement l'eau chaude à votre ado. Le froid, ça réveille !

Les réseaux intelligents actuels ne sont confortables que pour les fournisseurs. Ils permettent d'appliquer un tarif de l'électricité variable d'heure en heure en fonction de la demande, c'est-à-dire le principe des heures creuses/pleines, mais décliné sur toute la journée, à la minute près. Pour l'eau, ce sera « un tarif saisonnier », lire « plus cher en été ». Tout cela ne vous inspire-t-il pas des idées de montages électroniques pour analyser et réduire la consommation, traquer le gaspillage, détecter les fuites ?

Mariline Thiebaut-Brodier

Notre équipe

Rédactrice en chef : Mariline Thiebaut-Brodier (redaction@elektor.fr)

Rédaction internationale : Thijs Beckers, Jan Buiting, Jens Nickel

Laboratoire : Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens (responsable), Jan Visser

Coordination : Hedwig Hennekens

Ont coopéré à ce numéro : Robert Grignard, Jean-Louis Mehren, Denis Meyer, Hervé Moreau, Kévin Petit, Guy Raedersdorf

Service de la clientèle : Cindy Tijssen

Graphistes : Giel Dols, Mart Schroijen, Patrick Wielders

Elektor en ligne : Daniëlle Mertens

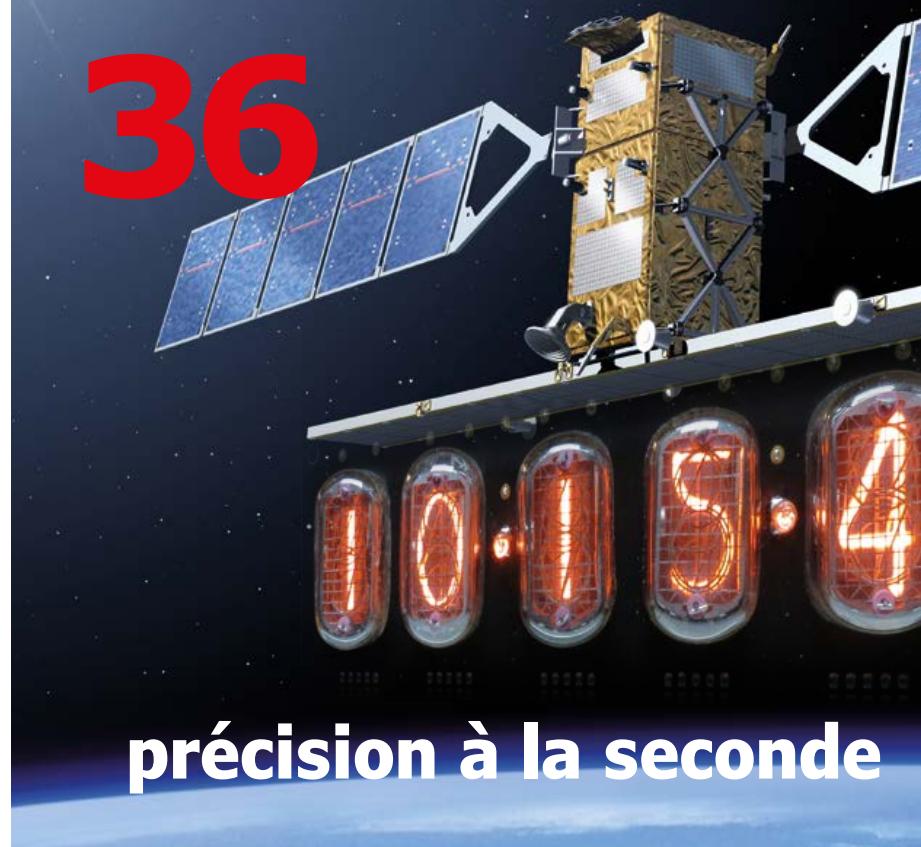
- 5 Bientôt dans Elektor
- 6 Elektor : guide de connexion(s)
- 22 concevoir une alimentation détermination des caractéristiques en cinq étapes avec l'outil de conception LTpowerCAD
- 27 tour des systèmes embarqués 2016
- 30 bruits de labo... déménagement et embellissements
- 66 l'e-choppe d'Elektor
- 80 des nouvelles du monde d'Elektor
- 82 hexadoku casse-tête pour elektorniciens
- 83 agenda mai 2016

DÉCOUVRIR | **CRÉER** | **PARTAGER**

- 8 bienvenue dans la section Découvrir
- 9 Android rencontre Arduino grâce au canevas Blynk
- 14 un oscilloscope, mais lequel ? petit guide d'achat
- 20 Q & R (presque) tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur... les plans de circuit imprimé

DÉCOUVRIR | **CRÉER** | **PARTAGER**

- 32 bienvenue dans la section CRÉER
- 33 Ethernet sur la carte d'E/S pour Android le module USR-TCP232-T
- 36 nouvelle horloge Nixie pilotée par GPS précision à la seconde près grâce au satellite
- 44 i-Pendulum 2^e partie - logiciel, assemblage, tour de contrôle
- 51 hors-circuits avec R. Lacoste le filtrage numérique sans stress : les filtres IIR



quand Android rencontre Arduino

GRÂCE AU CANEVAS BLYNK (FRAMEWORK)



18

Actuellement, la mode est aux gadgets commandés par téléphone portable et aux cartes équipées du Wi-Fi, comme l'Arduino Yun qui fonctionne alors sans fil. Inconvénient : il faut connaître les bibliothèques de type réseau de la carte à µC et savoir programmer l'ordiphone. Blynk vient à votre secours : il s'occupe de la communication des deux côtés. Enfin, sur l'ordiphone, on peut même se débrouiller sans code propre.

nouvelle horloge Nixie pilotée par GPS

près grâce au satellite

Ethernet sur la carte d'E/S pour Android

LE MODULE USR-TCP232-T

Dans les différents articles sur la carte d'E/S pour Android, nous avons présenté plusieurs modules de communication qui s'y adaptent : Wi-Fi, Bluetooth ou USB. Il manque encore un module pour communiquer avec l'une des normes les plus importantes : Ethernet. Une lacune à présent comblée.



- 56 **canne télémétrique vocale**
Raspberry Pi + ultrasons + synthèse vocale = aide pour les malvoyants
- 61 **M€I**
moniteur d'Energiemètre intelligent

DÉCOUVRIR **CRÉER** **PARTAGER**

- 70 **bienvenue dans la section PARTAGER**
- 71 **céramique contre tantale**
avantages et inconvénients des matériaux des condensateurs
- 72 **pour l'audiophile zen**
compliqué un ampli ? pas du tout !
- 74 **Balaise, l'ampli Hi-Fi**
un trentenaire de 1 000 W
- 78 **projet 2.0**
corrections, mises à jour et courrier des lecteurs

 **bientôt sur ces pages**

Supra 2.0

Un préamplificateur MC/MM très haut de gamme pour les platines vinyles. Les microsillons ont à nouveau la cote, c'est le moment de ressortir le projet Supra de nos tiroirs et de le moderniser. Le résultat ? Une qualité d'écoute inégalée...

Elektorino Uno R4

« Une évolution de l'Arduino Uno R3 » avec que des plus : UART, SPI, I2C, E/S à usage général, entrées analogiques, MLi, temporiseurs... et plus de puissance pour l'alimentation. La platine est identique à celle de l'Arduino Uno, tous les shields Uno sont donc compatibles.

Assembleur pour PIC – le niveau supérieur

Vous voulez en savoir plus sur l'assembleur pour PIC présenté l'année passée ? Grâce à cette série, vous découvrirez les capacités des microcontrôleurs PIC, avec des exemples d'application pour contrôler des périphériques informatiques tels que les écrans LCD ou un clavier PS/2.

Sous réserve de modification.

Le numéro de juin 2016 paraîtra le 20 mai 2016.

la communauté d'Elektor

DÉCOUVRIR

CRÉER

PARTAGER

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



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



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



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



Elektor GRATUIT & SANS PAPIERS : lettre d'information hebdomadaire à l'affût des nouveautés. Gratuite : www.elektor.fr/inscription



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



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



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



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

connectez-vous à notre communauté

formule

GREEN 92,50 € par an

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

connectez-vous

www.elektor.fr/formule-greencard

formule

GOLD 127,50 € par an

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

connectez-vous

www.elektor.fr/formule-goldcard

formule

GRATUITE

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

connectez-vous

www.elektor.fr/inscription

79

247031

1034

485

235102

pays

membres actifs

experts & auteurs

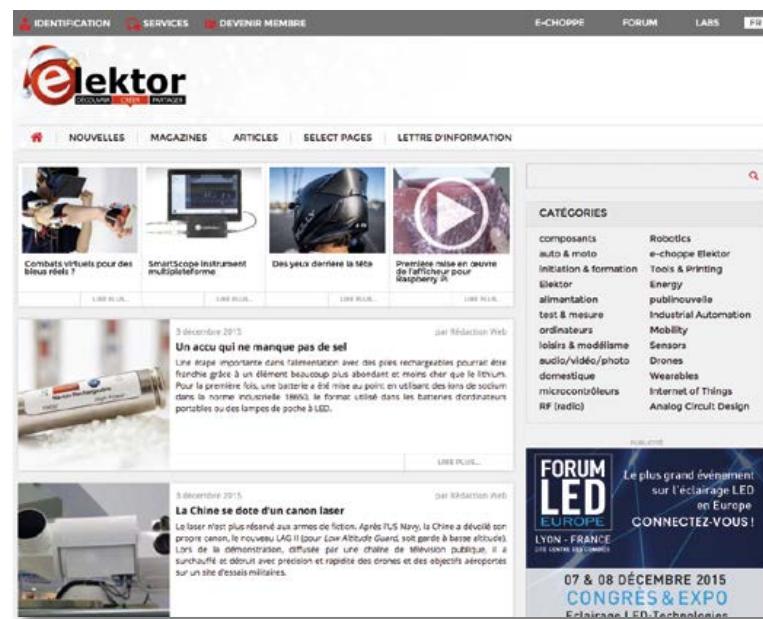
publications

visiteurs (par mois)

www.elektormagazine.fr

Explorez le monde de l'électronique

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



Elektor : gratuit & sans papiers

Restez informé, restez passionné !

Comme plus de 120 000 autres électroniciens, grâce à notre lettre d'information hebdomadaire gratuite Elektor, vous êtes au courant des dernières tendances et des récents développements de l'électronique. En outre, les abonnés à Elektor reçoivent régulièrement des offres et remises spéciales pour la boutique en ligne.

Pour vous abonner :
www.elektor.fr/inscription



Elektor.POST NUMÉRO
20 décembre 2015 #155

PAR LE RÉDACTEUR

LimiFrog : une grenouille qui va faire un bœuf !

par Denis Meyer
catégorie : composants
20 décembre 2015



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

bienvenue dans la section **DÉCOUVRIR**



Jens Nickel

projets avec un ordiphone

Si vous avez pour projet de piloter quelque chose via l'internet – par ex. une installation de domotique – l'ordiphone est presque incontournable. Les ordinateurs de poche ont des écrans haute résolution, parfaits pour afficher des courbes de mesure entre autres. En outre ils permettent de créer des interfaces utilisateur agréables et faciles à manipuler – il suffit de toucher les éléments de commande.

Comme votre projet est personnel, son interface utilisateur sera taillée sur mesure. Toutefois il faut d'abord savoir la programmer. Si vous n'y connaissez rien à la

programmation des ordiphones, retenez qu'il y a un chemin difficile et une voie plus facile.

Le chemin escarpé passe par la programmation de l'ordiphone dans le langage prévu pour celui-ci (« natif »). Pour les ordiphones Android, on dispose d'un environnement de développement puissant et d'une foultitude de classes Java qui répondent à presque toutes les exigences. C'est génial ! Android Studio signale même les erreurs dans le code source et il fait en plus différentes propositions pour les supprimer. D'un clic, il est possible d'inclure la classe manquante ou d'ajouter du code pour attraper les erreurs d'exécution.

Toutefois nous savons tous qu'il n'y a qu'un pas du génie à la folie. Et cette folie peut vous frapper quand vous avez travaillé plusieurs heures avec des exemples de code récupérés sur des pages « officielles » de l'internet, mais qui ne tournent pas. Si vous avez de la chance, une recherche sur l'internet vous révélera que le système de sécurité d'Android provoque le plantage de votre appli. Par exemple il n'est pas possible d'envoyer directement (de manière simple) des messages issus de *MainActivity* via le réseau.

L'apprentissage de la programmation des ordiphones demande beaucoup de temps. Est-ce que ça vaut vraiment le coup de s'arracher les cheveux si on ne programme pas plus d'une appli par an ?

Si vous voulez atteindre plus vite votre objectif, faites-vous aider ! Sur le marché, il y a plus d'un système qui permet de concevoir de manière très simple des interfaces utilisateur pour ordiphone. De simples glisser-déposer permettent de pousser les éléments de commande nécessaire sur l'interface. Ensuite il suffit de configurer les actions déclenchées par ces éléments. Le plus beau c'est que les structures logicielles (*frameworks*) sur lesquelles reposent ces outils garantissent même une certaine indépendance vis-à-vis de la plate-forme ; par ex. si vous passez sur iPhone, vous n'aurez pas besoin de recommencer de zéro. Dans cette section DÉCOUVRIR, nous vous présentons le *framework* Blynk. Nous avons également déjà parlé de NetIO de David Eickhoff.

Enfin dans le cadre du projet ElektorBus, votre serviteur a conçu un système qui permet d'utiliser sur un ordiphone Android des interfaces utilisateur qui s'appuient sur du HTML.

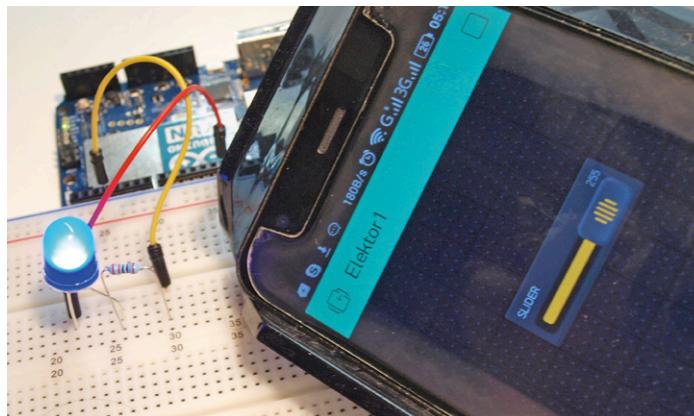
Quelle que soit la voie que vous choisirez, nous espérons que nos projets à venir seront une source d'inspiration pour vous. ▶



(150772)

quand Android rencontre Arduino grâce au canevas Blynk (framework)

Tam Hanna (Allemagne)



Pour que ça marche, il faut à Blynk un serveur dans le réseau sur lequel se déroule la communication. Une appli installée sur un ordiphone sous Android ou iOS établit une connexion en tant que client. La carte avec contrôleur est équipée d'un micrologiciel qui accède également au serveur (**fig. 1**).

L'appli sur le portable a une pile GUI ; avec un minimum d'effort, il est possible de créer avec de simples clics des interfaces utilisateur et des applis complètes.

Le seul inconvénient de Blynk est le temps de latence de la commande.

Premiers pas

Blynk comporte des pré-paramétrages pour diverses cartes à contrôleur. Pour les expériences simples, on peut se contenter d'une Arduino Uno que l'on relie par USB à un PC qui fera office de passerelle (*gateway*). Toutefois l'Arduino Yun est une solution royale. Une fois sa partie Linux connectée à un réseau WLAN, la communication a lieu sans fil et... sans problème.

Pourquoi ne pas essayer et charger l'appli Blynk [1] sur votre ordiphone ? Au premier démarrage, il faut s'identifier ; il est conseillé de saisir une adresse vraiment utilisée. Dans le cadre de la création d'un nouveau projet, il faut choisir une catégorie de matériel. On voit en **figure 2** à quoi ressemble la fenêtre après un paramétrage

réussi. La chaîne cryptique de caractères de la capture d'écran est le jeton (*token*) d'authentification qui vous a été alloué pour ce projet. Votre carte à contrôleur se présentera plus tard avec cet identifiant unique au monde.

Un clic sur le bouton *Create* vous amène à la page de conception. Cliquez dans la « zone de formulaire » vide pour ouvrir la fenêtre qui permet d'insérer de nouveaux organes de commande – et choisissez par ex. un curseur que vous amenez par un glisser-déposer à un endroit quelconque sur l'écran (**fig. 3**). Touchez le curseur pour ouvrir la fenêtre de détail représentée en **figure 4** et y choisir la broche à commander sur la carte à contrôleur. Après fermeture, vous revenez à la zone de formulaire de l'appli. Mettez maintenant l'appli en mode exécution (*Run*) en cliquant sur le symbole de lecture (*Play*) situé sur le bord supérieur droit de l'écran. Les organes de commande sont « armés », avec effet immédiat.

Code Arduino

Dans l'environnement de développement (IDE) Arduino, téléchargez la bibliothèque Blynk disponible en [2]. Si vous cliquez sur le bouton *Download* de la page principale, c'est le début des ennuis : la version proposée ne fonctionne pas avec les

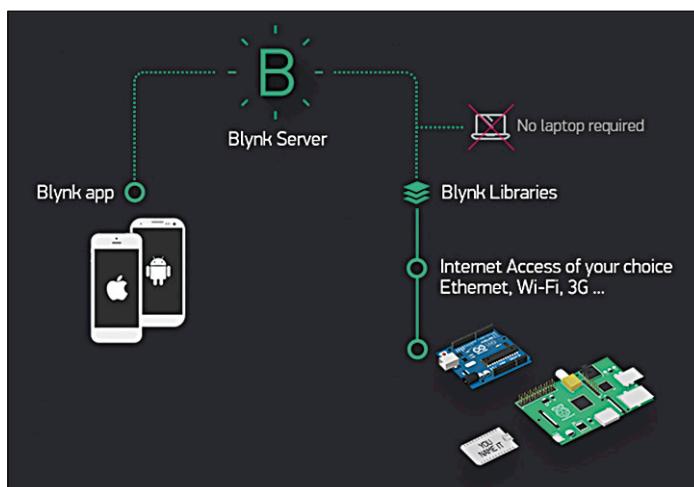


Figure 1. L'architecture de Blynk est relativement simple (source : <http://docs.blynk.cc>).

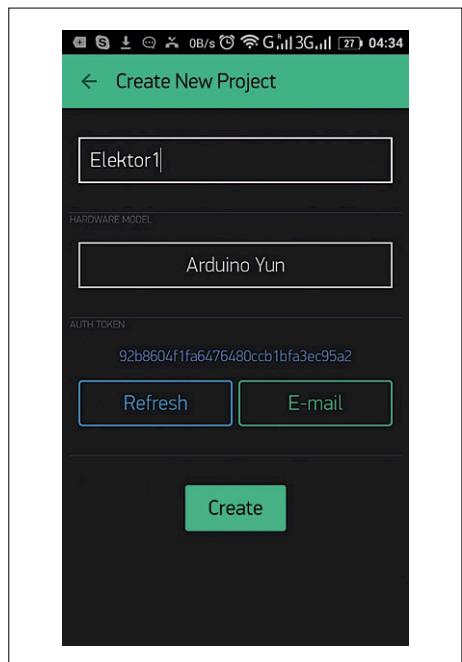


Figure 2. La chaîne de caractères cryptique au milieu de l'écran est le jeton (*token*) d'authentification. Cliquez sur le bouton *E-mail* pour l'envoyer à votre PC.

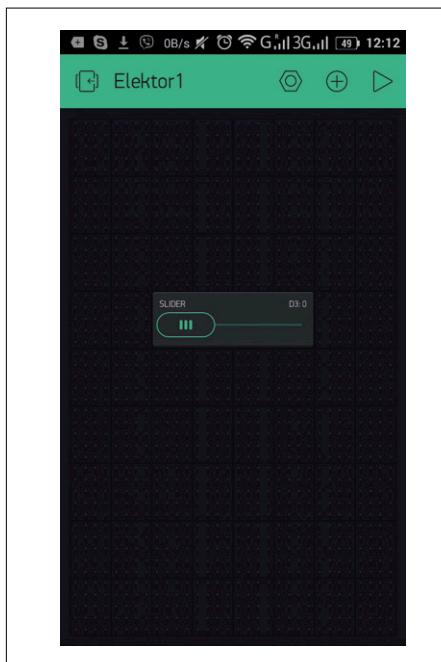


Figure 3. Le curseur est le seul élément de la première interface utilisateur de fabrication-maison.

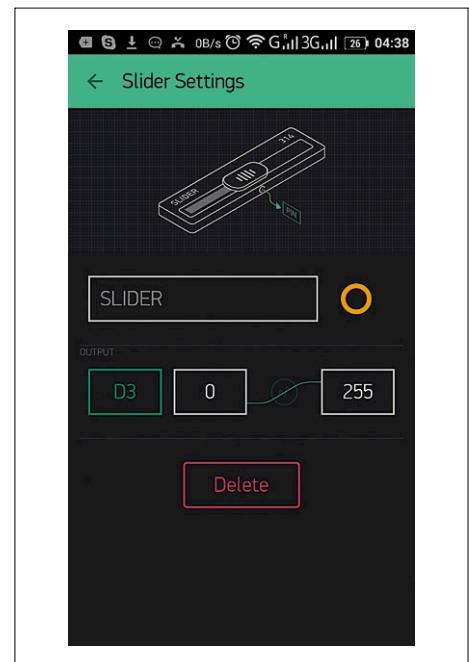


Figure 4. D3 est la broche commandée par le biais du curseur.

versions actuelles de l'IDE Arduino. Ouvrez plutôt l'URL dans votre navigateur et cliquez sur le bouton **Download ZIP** indiqué sur **figure 5**.

Dans l'IDE Arduino, cliquez ensuite sur **Sketch → Include Library → Add .zip library**, et sélectionnez l'archive **Blynk-library-master.zip**. Après une insertion réussie, la bibliothèque est disponible dans la liste des bibliothèques sous la rubrique « Blynk ».

Lors de l'étape suivante, remplacez le code du croquis par le contenu du **listage 1** (tous les listages sont disponibles en [3]). Assurez-vous de régler la valeur de **auth[]** avec la valeur affichée sur votre téléphone – si vous ne le faites pas, vous piloterez l'Arduino Yun de l'auteur, encore au labo ;-)

Si l'on ajoute Blynk directement via le menu **Library**, on se retrouve confronté à une pléthore d'entêtes non compilables. Pour les exercices de base avec l'Arduino Yun, nous n'avons besoin, comme le montre le listage, que de *Bridge.h* et de *BlynkSimpleYun.h*.

Le réglage de la constante **BLYNK_PRINT** fait qu'en fonctionnement, la bibliothèque « crache » des informations de débogage vers l'extérieur. Une fois que vous

êtes sûr du bon fonctionnement de votre connexion réseau, vous pouvez purement et simplement supprimer ce drapeau et économiser ainsi quelques octets.

Le reste du code est simplissime. Blynk a besoin de puissance de calcul tant lors de l'initialisation que pour l'exécution effective du programme. Son attribution se fait par les méthodes **begin()** ou **run()**.

Après la programmation de l'Arduino, arrêtez brièvement l'appli de l'ordiphone

puis relancez-la. Il est alors possible de commander, sans problème, une LED reliée à la broche D3 via une résistance série appropriée. S'il y a des problèmes de connexion, on pourra s'aider des informations qui s'affichent sur l'écran.

Que se passe-t-il ici ?

L'Arduino Yun utilise son module WLAN pour établir une connexion avec un serveur mis à disposition par Blynk ; ce serveur reconnaît la carte grâce à la chaîne **auth**. Du côté de l'ordiphone, il se passe

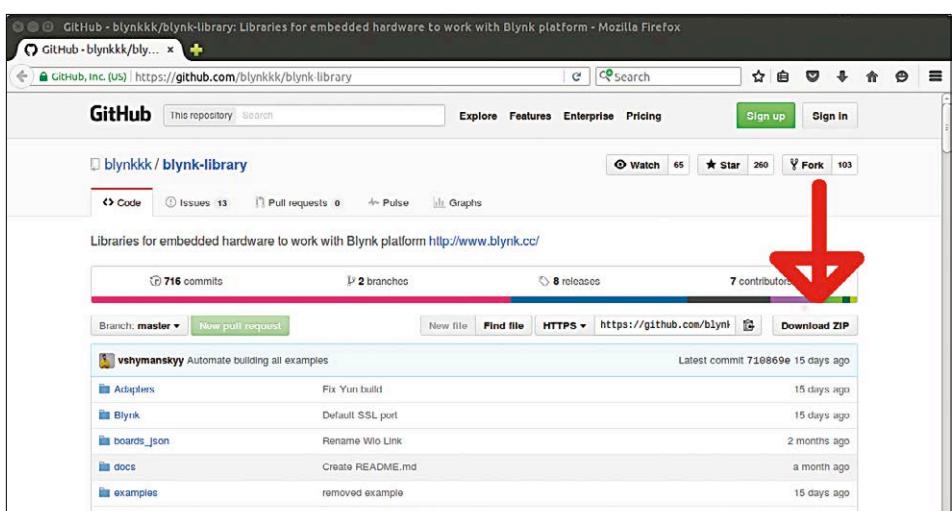


Figure 5. Ce bouton permet de télécharger l'intégralité de l'archive.

Listage 1. Le croquis de commande se résume à ce listage.

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <Bridge.h>
#include <BlynkSimpleYun.h>

char auth[] = "92b8604f1fa6476480ccb1bfa3ec95a2";

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Blynk.begin(auth);
}

void loop() {
    Blynk.run();
}
```

pour l'essentiel la même chose – la seule différence est qu'au lieu d'une appli en C, on utilise une appli en Java/Android ou Objective C.

La communication proprement dite se fait par échange d'instructions en mode texte. Ainsi, l'instruction `pm` permet de commander des E/S à usage général ; les paramètres de l'instruction y sont séparés par des octets nuls.

La documentation disponible en [4] (avec la bibliothèque Blynk à code source ouvert pour Arduino) vous aidera à faire vos premiers pas. Si un système refuse désespérément de fonctionner, utilisez un renifleur de réseau (croyez-en l'ex-

érience de l'auteur).

Note intéressante : Blynk ne requiert pas impérativement une connexion à l'internet. Le serveur écrit en Java est mis à disposition pour téléchargement sur des pages du développeur [5] – pour l'exécution, n'importe quel ordinateur avec un *Runtime* pour Java 8 convient.

Après l'installation, il faut connecter l'appli de l'ordiphone au serveur privé nouvellement créé : il suffit de cliquer sur le feu mis en évidence sur la **figure 6**. Côté micrologiciel Arduino, il faut procéder à une petite modification. L'appel de `Blynk.begin` doit comporter le nom d'hôte et/ou l'adresse IP :

```
Blynk.begin(auth, «votre hôte»);
Blynk.begin(auth,
IPAddress(xxx,xxx,xxx,xxx));
```

Broches virtuelles

Commander directement des broches individuelles depuis un téléphone n'est pas toujours souhaitable. Bien que nous n'ayons pas fait de mesures de latence, le choix de passer par un serveur ne nous paraît pas le plus efficace. Blynk atténue ce problème par le biais de « broches virtuelles ». Ce ne sont rien de plus que des variables qui peuvent être définies et lues dans le logiciel de l'Arduino. Cela requiert un échange de chaînes entre l'appli de l'ordiphone et l'Arduino. Bien qu'il reste encore un zeste de retard,

Publicité

Rohde & Schwarz :

Une large gamme d'oscilloscopes

De 50 MHz à 4 GHz

Rapides, faciles et précis

■ **R&S®RTO2000** : Exploitez la force de vos signaux. De 600 MHz à 4 GHz. **HD** **Multi Domain** **NOUVEAU**

■ **R&S®RTH** : Applications terrain, 4 voies et déclenchement sur Bus série. De 60 MHz à 500 MHz. **NOUVEAU**

■ **R&S®RTE** : Facile. Puissant. De 200 MHz à 1 GHz.

■ **R&S®RTM2000** : Allumez. Mesurez. De 350 MHz à 500 MHz.

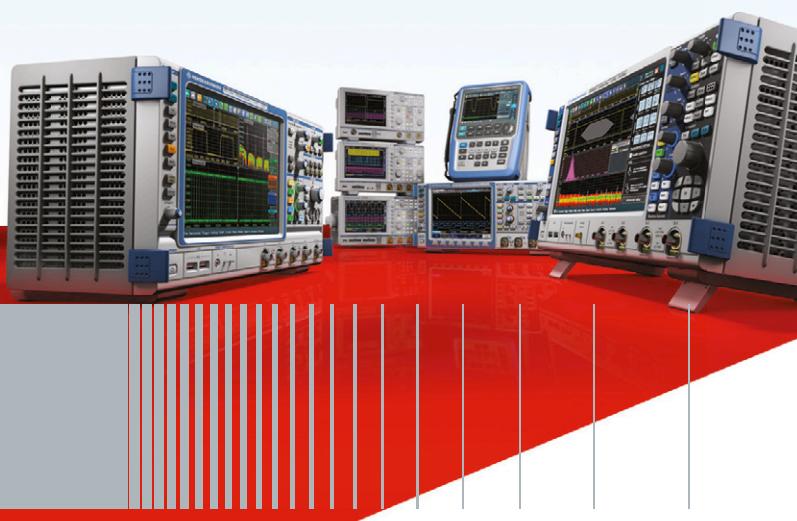
■ **R&S®HMO1002, 1012, Compact, 3000** :

La qualité accessible, un prix inespéré. De 50 MHz à 500 MHz.

Demandez-nous un prêt gratuit :

01 41 36 10 00 - contact.rsf@rohde-schwarz.com

Plus d'information : www.scope-of-the-art.com
et www.rohde-schwarz.fr



 **ROHDE & SCHWARZ**



envoyer des courriels avec l'Arduino

l'Arduino peut maintenant, sur demande, commander par ex. plusieurs broches d'un coup ou exécuter n'importe quel autre code.

Faisons un test : au lieu d'une seule LED connectée à D3, nous raccordons une LED RVB (broches D3, D5 et D6). Arrêtez à nouveau l'appli Blynk sur le téléphone, et supprimez le curseur (cliquer, **Delete**). Complétez le formulaire par l'ajout de trois curseurs. Cliquez sur l'attribut **Pin** pour ouvrir la boîte de dialogue de sélection de **Pin**. Au lieu de **Digital**, sélectionnez l'option **Virtual** et attribuez les broches V0, V1 et V2 aux trois curseurs.

Le **listage 2** donne le code pour l'Arduino. Les trois broches connectées aux cathodes de la LED RVB sont déclarées comme sorties dans la fonction de configuration.

réées comme sorties dans la fonction de configuration.

Blynk travaille en mode événementiel. Il est toujours plaisant pour un concepteur que le code de *loop* ne change pas – il se limite à l'appel de *run()*.

La partie d'intelligence de notre programme réside dans trois gestionnaires d'événements, déclarés en utilisant la macro **BLYNK_WRITE** et le numéro correspondant de la broche virtuelle. L'objet param sert de source de données. Les fichiers texte fournis par le portable peuvent être convertis en différents types - *asInt* renvoie des nombres entiers.

Notre LED RVB a une anode commune. Il faut donc « inverser » les valeurs fournies par le curseur, pour qu'un « 0 » de l'appli

mobile soit bien traduit par un zéro au niveau de la LED.

Par ailleurs, l'appli Blynk met également à disposition un organe de commande de la couleur RVB spécial, mais malheureusement, à l'écriture de ces lignes, cette fonction n'était pas encore opérationnelle.

Capteurs pour débutants

Bien entendu la communication fonctionne également dans l'autre sens ; l'appli Blynk aide non seulement à commander ses propres systèmes électriques, mais aussi à visualiser des données entrantes. Pour cela, arrêtez à nouveau l'appli Blynk, et supprimez les trois curseurs en cliquant et sélectionnant l'option **Delete**. Remplissez l'espace vide avec un organe de commande graphique dont le menu de paramétrage correspond au contenu de la **figure 7**.

Normalement, dans le micrologiciel de l'Arduino, on freinerait la collecte de données en incorporant *delay()* – le morceau

Listage 2. Commande d'une LED RGB par broches virtuelles.

```
#include <SimpleTimer.h>

#define BLYNK_PRINT Serial
#include <Bridge.h>
#include <BlynkSimpleYun.h>

char auth[] = "92b8604f1fa6476480ccb1bfa3ec95a2";

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Blynk.begin(auth);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
}

void loop() {
  Blynk.run();
  BLYNK_WRITE(V0)
  {
    analogWrite(3,255-param.toInt());
  }

  BLYNK_WRITE(V1)
  {
    analogWrite(5,255-param.toInt());
  }

  BLYNK_WRITE(V2)
  {
    analogWrite(6,255-param.toInt());
  }
}
```

Listage 3. Récupération de valeurs de mesure.

```
#include <SimpleTimer.h>

#define BLYNK_PRINT Serial
#include <Bridge.h>
#include <BlynkSimpleYun.h>

char auth[] = "92b8604f1fa6476480ccb1bfa3ec95a2";

SimpleTimer timer;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Blynk.begin(auth);
  timer.setInterval(1000L, sendLightInten);
}

void loop() {
  Blynk.run();
  timer.run();
}

void sendLightInten()
{
  Blynk.virtualWrite(V0, analogRead(A0));
}
```

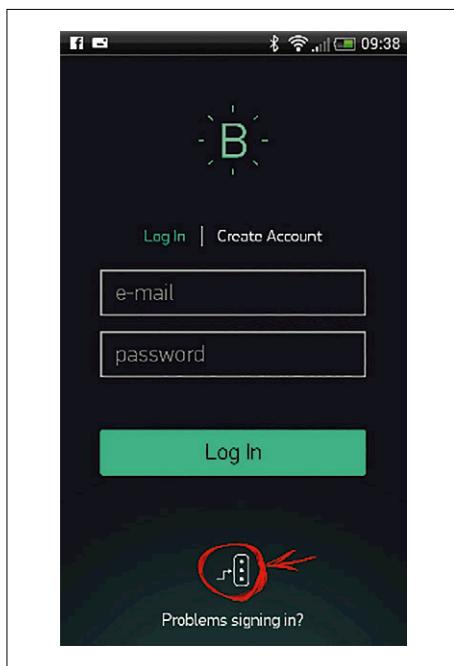


Figure 6. Le feu permet de se connecter à n'importe quel serveur.

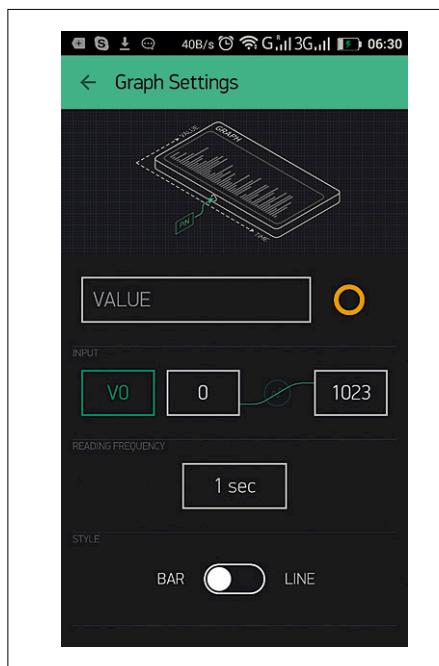


Figure 7. Il faut définir à l'avance la fréquence de rafraîchissement et les valeurs min. et max.

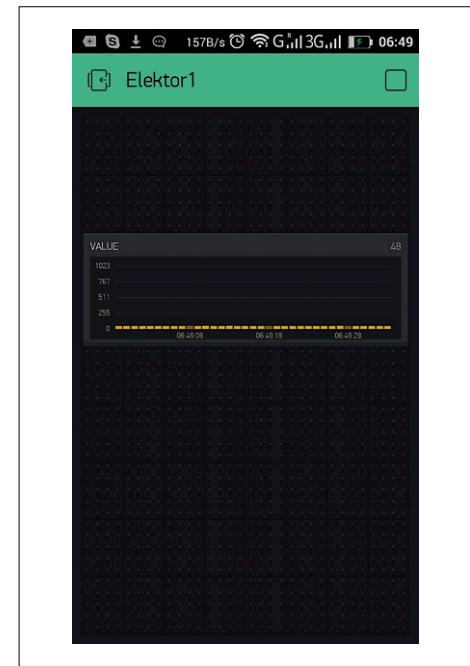


Figure 8. Blynk peut afficher l'historique des valeurs fournies par des capteurs.

de code suivant fonctionne, en théorie du moins, de façon plausible :

```
void loop()
{
    ...
    delay(1000);
    other_long_operation();
    ...
    Blynk.run();
}
```

Malheureusement, dans la pratique, cette procédure se traduit par des coupures de connexion et d'autres problèmes : `delay()` met l'Arduino dans un état de sommeil profond dans lequel il est incapable de maintenir ouverte la connexion avec le serveur Blynk.

Une autre solution est d'utiliser la bibliothèque *SimpleTime*, disponible au téléchargement en [6]. Téléchargez l'en-tête et le fichier *.cpp*, et décomprimez le paquet dans le répertoire *C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\SimpleTimer*. Re-démarrez l'IDE et saisissez le code du **listage 3**.

La bibliothèque *SimpleTimer* est « par nature » liée à Blynk. Elle aussi « parasite » `setup()` et `loop()`. Elle appelle périodiquement une méthode `sendLightInten`, que vous devez mettre en œuvre vous-même, cf. le listage.

L'appel de `virtualWrite` y fait migrer les informations fournies par `analogRead` vers

l'appli mobile.

On voit en **figure 8** le résultat.

Envoyer des données sur l'internet

Voici une autre fonction intéressante de Blynk : maintenant Arduino peut, par le biais du portable connecté, envoyer des messages via différents canaux de communication. Que ce soit pour envoyer un courriel ou lancer un tweet, il suffit d'un seul appel de méthode dans le croquis. Sa structure est la suivante :

```
Blynk.tweet(<>Hey, Blynkers!
Mon Arduino sait tweeter
maintenant !>);

Blynk.email(<>moncourriel@example.
com<,> «Sujet», <>Mettez votre
message ici<>);
```

Qui paie ?

Pour l'instant, ce produit financé par Kickstarter est encore complètement gratuit. L'utilisation du serveur doit rester gratuite dans l'avenir - puisque son code source est disponible librement, ce point est garanti si on compile soi-même. À l'avenir, la vente de *widgets* (entre 5 et 20 \$) pour appli Android devrait rapporter quelques subsides aux développeurs.

En conclusion

Si la latence des commandes doit être faible, Blynk n'est pas la solution idéale, même en cas d'utilisation d'un serveur dédié. Cependant le socle Blynk est fort utile lorsqu'il s'agit de créer une appli avec un minimum d'effort - pour réaliser des prototypes par exemple. ▶

(150198 - version française : Guy Raedersdorf)

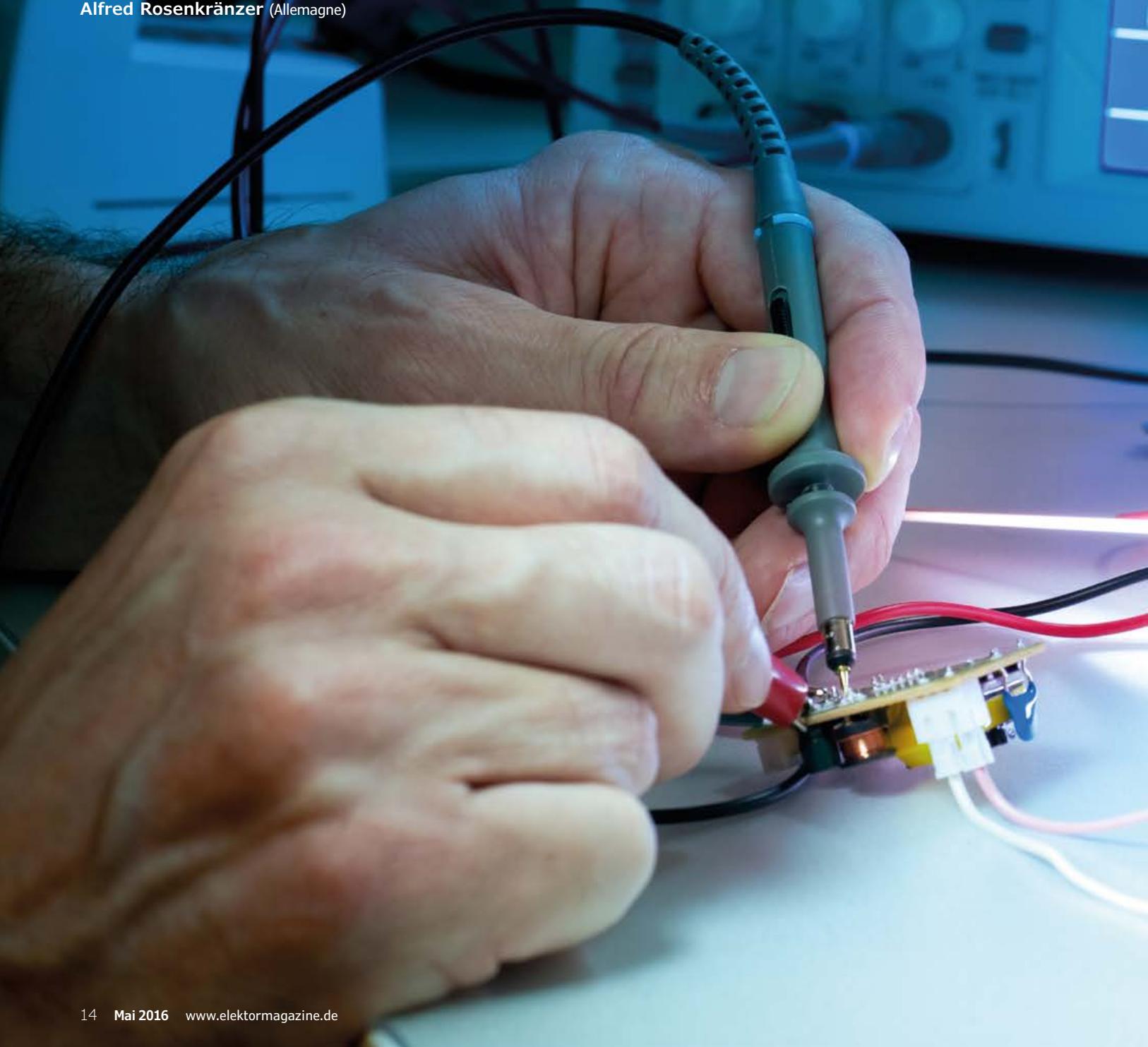
Liens

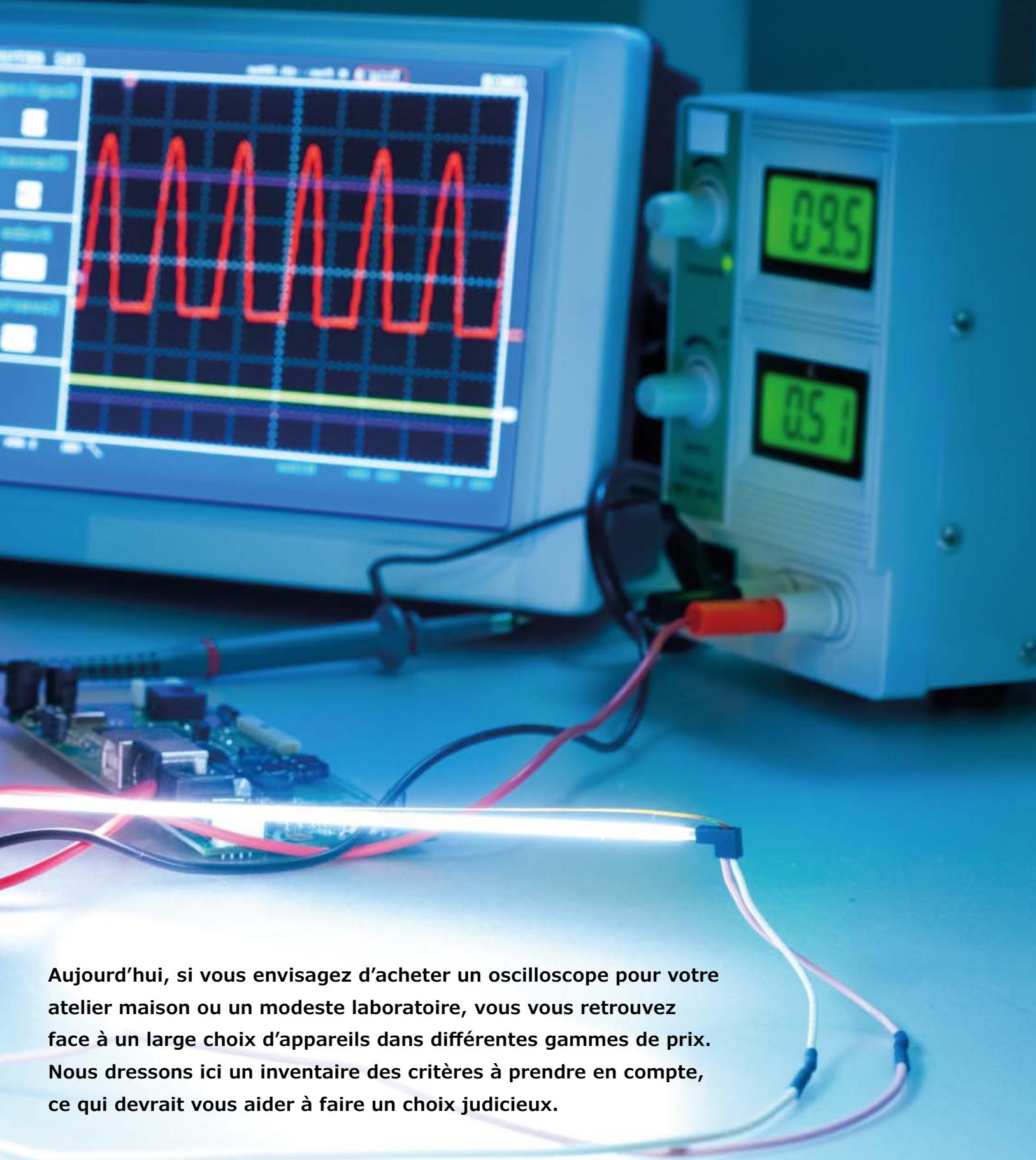
- [1] www.blynk.cc
- [2] <https://github.com/blynkkk/blynk-library>
- [3] www.elektormagazine.fr/150198
- [4] <https://github.com/blynkkk/blynk-library/blob/master/extras/docs/Implementing.md>
- [5] <https://github.com/blynkkk/blynk-server>
- [6] <http://playground.arduino.cc/Code/SimpleTimer>

un oscilloscope, mais lequel ?

petit guide d'achat

Alfred Rosenkränzer (Allemagne)





Aujourd’hui, si vous envisagez d’acheter un oscilloscope pour votre atelier maison ou un modeste laboratoire, vous vous retrouvez face à un large choix d’appareils dans différentes gammes de prix. Nous dressons ici un inventaire des critères à prendre en compte, ce qui devrait vous aider à faire un choix judicieux.



Figure 1. LeCroy est un fabricant d'oscilloscopes haut de gamme. La gamme inclut aussi des modèles pour débutant comme le WaveAce 1001 (photo : Teledyne LeCroy).

Après le multimètre, l'instrument le plus important pour un électronicien est l'oscilloscope ; il complète de manière logique les appareils de base que sont l'alimentation de laboratoire et le générateur de fonctions. Wikipedia [1] en donne un intéressant historique. Depuis l'achat de mon oscilloscope Hameg 412 en 1976, j'y ai d'ailleurs activement participé. J'ai commencé à utiliser l'oscilloscope comme élève bricoleur, puis comme étudiant en électronique et finalement il m'a suivi pendant les 31 ans de ma carrière d'ingénieur de développement.

L'oscilloscope analogique avec écran à tube cathodique est depuis passé de mode et même l'oscilloscope numérique à échantillonnage ne joue plus que le second rôle.

Ce qui prime aujourd'hui, c'est l'oscilloscope numérique à LCD comme appareil autonome et l'oscilloscope USB sans écran propre ni panneau de commande. Sur le marché, à côté des sociétés traditionnelles comme Keysight (HP => Agilent => Keysight) [2],

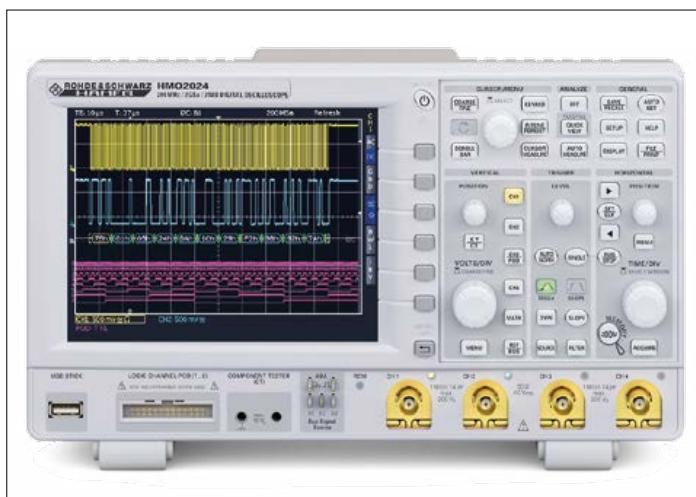


Figure 2. Le modèle HMO2024 de R&S/HAMEG offre 4 canaux, 2 Géch/s et un analyseur logique (photo : Rohde & Schwarz).

Tektronix [3], LeCroy [4], Rohde & Schwarz (HAMEG) [5] se bousculent des fabricants taiwanais et chinois. Les fabricants comme Philips et Hitachi ont déjà quitté ce marché. La diversité actuelle est source de grande confusion. Le site de Keysight propose à lui seul 183 modèles. Une réflexion préalable sur les critères de sélection pour un achat n'est certainement pas superflue.

Le nombre de canaux

En général, les oscilloscopes sont dotés de quatre ou deux entrées complètes, c'est-à-dire totalement fonctionnelles. Elles doivent pour cela permettre le réglage de l'amplitude, la commutation entre CC et CA, le déclenchement du balayage (*trigger*), une limitation de la bande passante du signal pour réduire le bruit, l'inversion du signal, et également disposer d'une terminaison sur 50Ω et d'une liaison à la masse pour annuler le décalage.

En plus des canaux complets, on trouve d'habitude une entrée de déclenchement spécialisée qui, par manque de place, se situe parfois à l'arrière de l'appareil.

À l'inverse d'autres fonctions, les entrées ne peuvent pratiquement pas subir de modification ou être ajoutées par logiciel. Disposer de quatre canaux n'est sûrement pas un luxe outrancier, mais il faut que le supplément de prix puisse se justifier par l'usage qu'on en fera.

Il convient d'accorder une attention particulière au réglage d'amplitude : un niveau d'entrée réglable entre 10 V/division jusqu'à 1 mV/division (sans sonde) est souhaitable. Pour des tensions supérieures, on se procure facilement des sondes 10:1 ou 100:1.

Sur les modèles mixtes, huit ou seize entrées numériques sont aussi disponibles pour un analyseur logique intégré. Sur certains de ces appareils, les entrées sont installées, mais il faut acheter séparément les sondes adéquates. Avec d'autres, on décide au moment de l'achat si l'on compte les prendre ou pas. On peut parfois en acheter plus tard, mais alors, c'est plus cher. J'ai à ce sujet des expériences en demi-teintes.

Bandé passante analogique et taux d'échantillonnage

Il faut compter avec un rapport de 1:5 ou mieux de 1:10 entre bande passante analogique et taux d'échantillonnage. Le théorème de Nyquist-Shannon affirme qu'il faut une fréquence de plus du double de celle du signal à numériser, mais pour avoir une représentation intelligible du signal, un ratio supérieur est nécessaire.

Sur ce point, on a fait de grands progrès ces dernières années avec des convertisseurs A/N de plus en plus rapides qui ont conduit à réduire l'écart entre le numérique et l'analogique. Au point que le taux d'échantillonnage détermine plus le prix de l'appareil que le nombre de canaux.

La base de temps la plus petite doit être adaptée au taux d'échantillonnage, par ex. 2 ns/div pour 2 Géch/s. Ici aussi, vous pouvez tomber sur des modèles bon marché qui font du tape-à-l'œil. Ce qui compte, c'est que le taux maximum se maintienne quand tous les canaux sont en service en même temps, au lieu d'être partagé entre les voies.

Dimension d'écran et résolution

Comme écran, les LCD en couleur sont généralisés. Il y en a à partir de 320x240 pixels en 15 cm, en passant par la moyenne répandue de 800x600 pixels sur 20 cm et jusqu'à 38 cm en très haute résolution. Avec les premiers prix, il faut bien regarder l'écran pour voir l'image, surtout de côté. Une basse résolution verticale de 240 lignes ne permet pas de distinguer tous les échelons d'un convertisseur A/N à 8 bits. En outre, on trouve même des appareils dotés d'un écran de 640x480 pixels, mais dont seulement 320x240 pixels sont alimentés, autant dire rien. En marge des habituels formats d'image de 4:3, de plus en plus d'écrans sont au format 16:9. Pareille largeur permet d'ajouter sur le côté des touches ou des menus. Sur certains appareils, il est possible de brancher un plus grand moniteur en VGA, DVI, voire HDMI ou même un projecteur pour des présentations, mais la résolution d'image en est rarement améliorée.

Résolution du C A/N

On a généralement affaire à des puces de 8 bits, incapables de mettre à profit la pleine résolution de l'affichage. C'est sur des appareils chers que l'on trouve des convertisseurs A/N à 10 bits. Sur certains exemplaires de grand prix, il y a un mode « haute résolution » à 12 bits. Reste à savoir si c'est au détriment du taux d'échantillonnage et s'il y a réellement 12 bits ou seulement une interpolation.

Capacité de mémoire

On pourra observer des séquences d'autant plus longues que la mémoire est spacieuse, quand il s'agit de rechercher un événement unique, que l'on ne peut pas synchroniser au déclenchement. La mémoire intervient considérablement dans le prix, parce que plus elle doit être rapide, plus elle est chère. Il y a certaines possibilités pour augmenter la capacité de mémoire. Sur certains modèles, elle est déjà présente à l'achat, mais pour y accéder, il faut acheter un code en supplément. Sur d'autres oscilloscopes, on peut en rajouter après coup, mais souvent, il faut alors renvoyer l'appareil.

Possibilités de déclenchement

Ce n'est pas pour rien que les possibilités de lancement du balayage (*trigger*) d'un oscilloscope moderne remplissent des pages du mode d'emploi. À vous de déterminer celles dont vous aurez besoin. Le déclenchement convivial sur un signal vidéo analogique est toujours disponible, mais de moins en moins utilisé. La reconnaissance de symboles dans un flux binaire série ou d'un mot déterminé sur un port numérique est devenue fondamentale. Vous pouvez aussi souvent déclencher sur une impulsion trop étroite, trop large, manquante ou présentant une anomalie.

Mesures au curseur

À l'aide du curseur, on peut facilement repérer des valeurs dans le signal, non seulement des valeurs absolues ou relatives de tension, mais aussi la chronométrie. Sur les appareils de classe supérieure, on dispose d'un ou plusieurs curseurs pour apposer des repères sur la forme d'onde et en extraire des mesures en des points déterminés.

Fonctions de mesure automatique

Les oscilloscopes modernes offrent des fonctions multiples. On

peut afficher les valeurs efficaces ou de crête des tensions alternatives. Il est normal d'y trouver la tension continue moyenne, les valeurs de crête positive et négative, la largeur d'impulsion, les temps de montée et de descente, le dépassement en haut comme en bas, la fréquence du signal de déclenchement et bien d'autres encore.

Il reste possible de mesurer au curseur la plupart des valeurs en mode manuel. Par télécommande, c'est plus rare.

Les systèmes d'exploitation

Depuis que les oscilloscopes sont équipés de microcontrôleurs, les systèmes d'exploitation se sont aussi invités à bord. Au début, même encore maintenant, chaque fabricant y allait de sa popote intérieure. Souvent, les différents produits d'un même fabricant ne se basaient pas sur un logiciel unique. L'enregistrement sur disquette lui-même se faisait sur un format spécial illisible sur un PC. Sur les oscilloscopes les plus chers, on a installé des PC industriels, avec les avantages et incon-

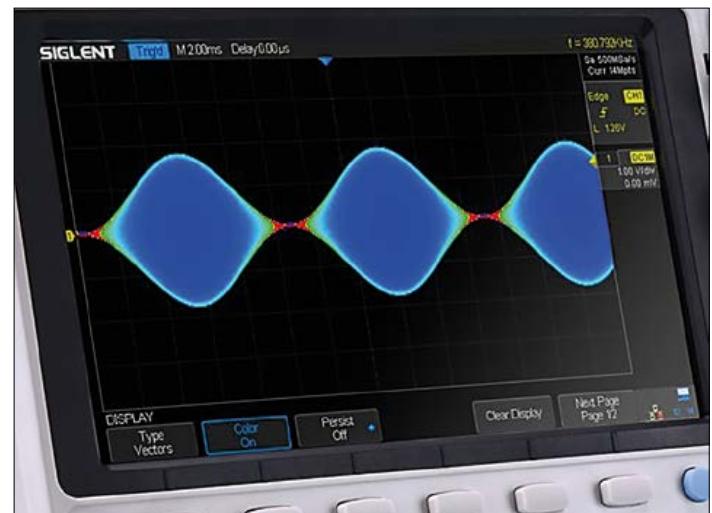


Figure 3. Sur les modèles les plus chers, on trouve des touches programmables à côté ou en dessous de l'écran (photo : Siglent).

vénients associés. On disposait alors d'interfaces typiques du PC avec sa mémoire et sa puissance de calcul. Comme cela, au moins, il n'y avait pas de souci de compatibilité de format.

La durée de vie d'un oscilloscope est normalement bien supérieure à celle garantie pour la mise à jour d'un système d'exploitation de PC. C'est ainsi que de nos jours, il survit des appareils qui tournent sous Windows 95, parce qu'un système d'exploitation plus récent exigerait le remplacement du processeur. Il existe un autre risque : l'infection du PC par des virus. Il en découle qu'il faudrait aussi installer sur chaque oscilloscope un antivirus et le mettre à jour régulièrement.

Le temps de démarrage d'un PC d'oscilloscope est en général plus long que celui d'un système propriétaire et semble s'allonger à mesure que le temps d'utilisation augmente. La mise à niveau du micrologiciel peut maintenant s'effectuer facilement par clé USB.

Le maniement de l'appareil

Les innombrables possibilités de réglage s'opèrent selon un



Figure 4. Il est très pratique de disposer de boutons de réglage en face avant pour chaque canal (photo : Tektronix).

concept mûrement réfléchi. Les fonctions le plus souvent utilisées comme le réglage de l'amplitude, du décalage, de la base de temps, du déclenchement, etc. devraient être disponibles sur des éléments de commande particuliers. Pour les fonctions d'usage moins fréquent, la sélection par menu suffit.

Sur de nombreux appareils, on a prévu des touches programmables. Il s'agit de boutons sur le bord ou en bas de l'écran, attribués à des fonctions particulières (fig. 3). Normalement, on ne rencontre pas d'écrans tactiles et la commande par souris n'est pratiquement pas prévue, un luxe réservé à la classe royale, incompatible avec le budget d'un petit laboratoire. Savoir si l'interface est intuitive demande un certain temps de pratique pour en juger.

Un autre point important de la manipulation est que sur les appareils les plus simples, il n'y a qu'un seul bouton pour le réglage de l'amplitude et du décalage. Il faut donc choisir le bon

Liens

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Oszilloskop>
- [2] www.keysight.com
- [3] www.tek.com
- [4] <http://teledynelecroy.com/>
- [5] www.rohde-schwarz.com

canal avant de pouvoir effectuer un réglage. Les appareils à plus grande face avant disposent d'un élément de réglage séparé pour chaque canal (fig. 4). C'est préférable, parce que sur des appareils qui n'en sont pas équipés, on se trompe facilement.

Il en a été ainsi pendant des années avec un oscilloscope HP, par nature excellent, mais dont l'interface avait probablement été conçue par un informaticien théoricien qui n'avait sûrement aucune expérience pratique de la mesure. Le fabricant a présenté son successeur amélioré comme ayant « tous les boutons à la bonne place ».

Instruments USB

Ces appareils déportent tout ce qui concerne le maniement et l'affichage sur le PC auquel ils sont raccordés ; en plus de son écran et de son clavier, le PC prête souvent aussi son alimentation. Aujourd'hui on trouve même des oscilloscopes USB optimisés pour se raccorder à une tablette. Ces instruments portables sont très pratiques à l'extérieur et en visite chez les clients, on a toujours un PC portable ou une tablette avec soi. Dans le haut de gamme, des fabricants renommés proposent des oscilloscopes USB avec de hautes fréquences d'échantillonage. Le modèle de Pico à la figure 5 avec 5 Géch/s en fait partie. Au laboratoire, la plupart des concepteurs préfèrent le « bon vieux » modèle de table, tandis que pour les déplacements sur le terrain, il existe des appareils mobiles avec écran et toutes les commandes nécessaires (fig. 6).

Interfaces de télécommande

Un oscilloscope numérique convient très bien comme instrument de mesure dans un dispositif de mesure automatisé. Un ordinateur central dirige les mesures en commandant des appareils de mesure et des boîtes de commutation, puis compile les données. Les fonctions de mesure automatiques évoquées plus haut trouvent ici une place de choix. Elles peuvent transmettre à l'hôte les courbes observées au complet. Mais sur certains oscilloscopes plus évolués, il est possible de fixer des domaines de tolérance dans les formes d'onde recueillies et de ne demander la transmission que de celles qui s'en écartent. Moins de flux de données, moins de temps perdu en dépouillement.

Initialement, on a beaucoup utilisé l'interface GPIB (*General Purpose Interface Bus* ou IEEE-488) à 24 fils, dont 8 en parallèle pour les données, mais le gros connecteur et les câbles sont très chers. Son avantage était de permettre d'interconnecter directement les appareils en boucle. Il fallait seulement leur donner des adresses différentes. Pour se prémunir des boucles de masse intempestives dans les grandes installations, il y a des isolateurs GPIB.

HAMEG se sert de la bonne vieille interface RS232. Mais elle est lente et absente des nouveaux PC, en particulier des portables. Ce n'est pas sans raison que l'interface USB l'a rapidement supplantée. Il lui manque une séparation de la masse, mais les isolateurs USB sont une solution courante. Ils ont aussi l'inconvénient de contenir des convertisseurs CC/CC qui peuvent produire des parasites.

L'interface USB en face avant de l'oscilloscope sert à enregistrer les résultats de mesure, les formes d'onde ou les réglages sur clé USB. Celle à l'arrière s'utilise généralement pour piloter l'appareil.

Fonctions mathématiques

Sur la plupart des instruments modernes, il est possible de rattacher les formes de courbes observées à des fonctions mathématiques. Cela va bien plus loin que la faculté des oscilloscopes analogiques de simplement les additionner, inverser ou soustraire l'une de l'autre. Ils peuvent aussi souvent calculer le spectre par FFT (transformation de Fourier). Avec un C A/N à 8 bits dont la faible résolution écrase le domaine de dynamique, cette fonction intégrée n'est cependant pas comparable à un véritable analyseur de spectre. Sur les modèles équipés d'un système d'exploitation de PC, on peut toujours appeler à l'aide un paquet logiciel.

Sondes de mesure

L'oscilloscope mesure l'évolution de tensions au fil du temps. Les entrées sont généralement équipées de prises BNC fiables et capables de transmettre la HF. L'impédance d'entrée typique est de $1\text{ M}\Omega$ en parallèle sur $10\text{ à }15\text{ pF}$. Le plus souvent, pour chaque canal, une sonde 10:1 accompagne l'appareil. Sa largeur de bande ne doit pas être inférieure à celle de l'oscilloscope. Ce type de sonde augmente à $10\text{ M}\Omega$ la résistance d'entrée et réduit un peu la capacité. Il ne faut pas oublier qu'en HF, c'est l'effet de la capacité qui prédomine.

Pour mesurer des hautes tensions, il existe des sondes 100:1 et aussi 1 000:1. Habituellement, les oscilloscopes reconnaissent le type de sonde branchée grâce à un contact supplémentaire, relié à la masse à travers une résistance, ce qui permet d'adapter automatiquement l'affichage. D'autres contacts sur la prise BNC alimentent une sonde active, mais comme il n'y a pas de normalisation dans ce domaine, ils sont différents d'un constructeur à l'autre.

Pour accélérer les mesures de signaux différentiels, il y a des sondes actives adaptées. Les mesures de courant se font à l'aide de pinces de courant. Des interfaces spécialisées permettent également la mesure de grandeurs comme la température, l'éclairement, etc. ◀

(150769 – version française : Robert Grignard)

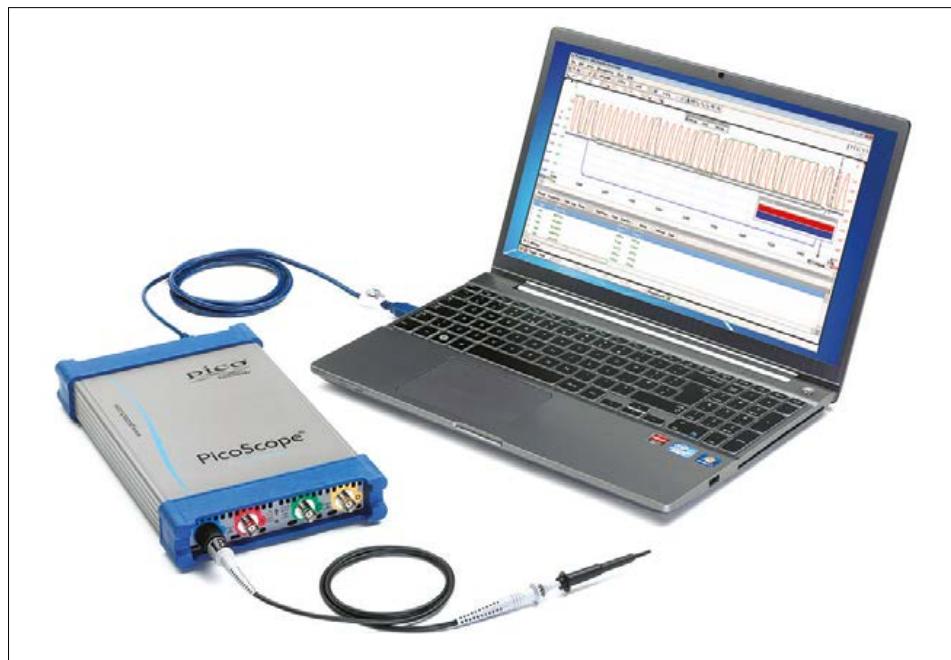


Figure 5. Oscilloscope USB haut de gamme de Pico avec 5 Géch/s et port USB 3.0 (photo : Pico Technology).



Figure 6. Un oscilloscope portatif offre toutes les fonctions habituelles dans un petit boîtier (photo : Siglent).

Q&R

(presque) tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur ...

les plans de

Q Qu'est-ce qu'un plan ?

R Un plan est une grande surface de cuivre sur un circuit imprimé, utilisée pour réduire le bruit électrique et faciliter le routage (**fig. 1**). Certaines cartes disposent de couches entières consacrées aux plans tandis que d'autres se contentent d'étendues de cuivre juste assez grandes pour la tâche à accomplir. Les plans doivent être reliés à un potentiel de référence comme la masse (GND) ou un rail d'alimentation pour produire l'effet désiré. La quasi-totalité des programmes de conception de circuits imprimés permet d'associer un signal à une couche de plan. Certains permettent la création de plans mixtes au sein desquels on peut router des pistes de signal ; le logiciel remplit alors tous les espaces inutilisés avec le plan. La carte de la **figure 1** utilise des zones de cuivres qui permettent une plus grande flexibilité en mélangeant plusieurs plans et pistes sur la même couche. C'est très utile lorsque l'on a besoin de plusieurs plans

reliés à des tensions différentes.

Q Plein ou non ?

R Les plans, quand ils ne sont pas remplis, utilisent un motif (**fig. 2**). La question du *meilleur* motif déchaîne les passions ; en pratique, on utilise un plan plein sauf lorsque l'on doit minimiser la capacité, on utilise alors un motif en hachures. Peu importe le type de plan utilisé, la théorie nous dit que le courant choisit toujours le chemin le plus direct depuis un étage de sortie pour y revenir. Le rôle d'un plan est de fournir la boucle la plus courte possible, ce qui réduit le bruit électrique et améliore l'intégrité des signaux. Par exemple, la **figure 3** montre ce qui se passe lorsque l'on utilise un plan de masse pour le signal de retour. Un plan plein sous la piste permet au courant de retour de s'écouler directement sous la piste, ce qui minimise la surface de boucle, quant à lui,

forcera le courant de retour à utiliser un chemin moins direct, ce qui augmentera la surface de boucle et le bruit électrique.

Q Alimentation ou masse, quelle différence ?

R La réponse précédente suggère l'utilisation d'un plan de masse pour les courants de retour (fig. 3). Toutefois on peut obtenir le même résultat avec un plan pour l'alimentation. Comme le courant de retour utilise toujours le plan le plus proche, son potentiel n'a pas d'importance. Cela veut également dire que les pistes doivent, autant que faire se peut, être routées près du même plan. Il faut également éviter les discontinuités de plan ou les changements de couches (**fig. 4**). La partie gauche montre une piste routée des deux côtés d'un plan à l'aide d'un via, la partie droite une piste passant à proximité de deux plans différents. Dans le cas de gauche, idéal, il y a un chemin direct permettant au courant de retour de revenir à la source. Ce n'est pas le cas pour le schéma

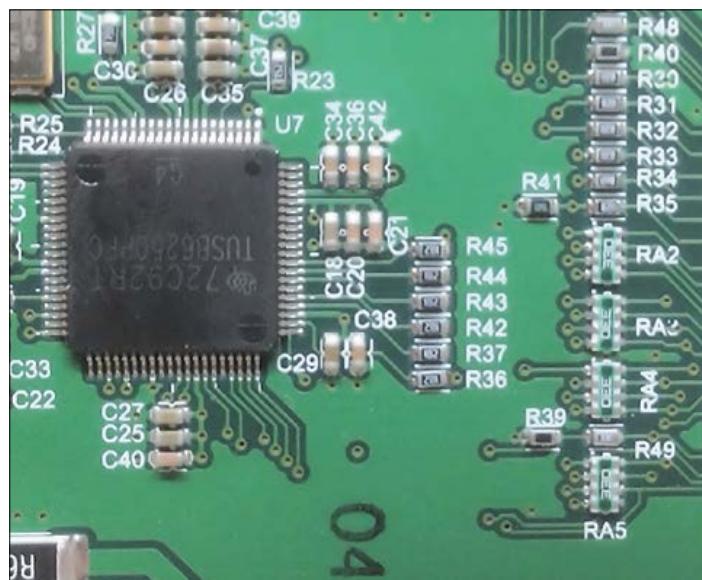


Figure 1. Exemple de plan.



Figure 2. Hachuré (en haut), plein (en bas).

Neil Gruending (Canada)

Les plans sur les circuits imprimés sont pratiques dans bien des cas. Je vais répondre ici à quelques questions traditionnelles.

circuit imprimé

de droite : il n'y a pas de chemin direct entre les deux plans. Le courant de retour devra donc emprunter un chemin indirect, ce qui crée du bruit et nuit à l'intégrité du signal.

Q Comment utiliser les plans ?

R Les plans sont utilisés à plusieurs fins. L'une des plus courantes est de leur confier la distribution des alimentations (rail et masse). Cela permet de simplifier la disposition des composants et d'augmenter leur densité sur la carte : il suffit d'utiliser un via pour atteindre les alimentations. Un autre bénéfice est que les plans d'alimentation et de masse forment un condensateur de découplage lorsqu'ils sont suffisamment proches ; les caractéristiques de la carte s'en trouvent grandement améliorées aux hautes fréquences. Les plans peuvent également être utilisés pour imposer l'impédance d'une piste en faisant varier sa largeur et sa hauteur au-dessus du plan (**fig. 5**). C'est primordial pour les signaux rapides et la HF : une impédance inadaptée entraîne des réflexions et une distorsion des signaux. Un plan absorbera une plus grande part du champ électrique d'une piste à mesure que celle-ci s'en approche ; cela diminue l'impédance de la piste. Augmenter la largeur de la piste permet également de diminuer son impédance. Plusieurs méthodes existent pour calculer la valeur approximative de l'impédance d'une piste ; si la valeur est critique, vous feriez mieux d'utiliser un simulateur. Les plans aident aussi à améliorer l'intégrité des signaux transportés par les pistes de la carte, car ils permettent de maintenir les boucles de retour du courant aussi courtes que possible (**fig. 6**). Le plan avec l'encoche oblige le courant de retour à la contourner, ce qui augmente la surface de la boucle. À l'inverse, le plan plein donne le chemin le plus direct possible.

Les circuits de puissance ont aussi tendance à utiliser des plans, surtout des petits reliant différents composants. Les grandes étendues de cuivre ont une faible résistance et permettent d'utiliser des courants plus élevés en maintenant la dissipation de la carte constante. Les plans permettent également de réduire la résistance thermique entre la carte et l'air ambiant, ce qui permet d'utiliser la carte comme dissipateur thermique pour les composants qu'elle supporte. ▶

(150681 – version française : Kévin Petit)

Liens

- [1] www.sigcon.com/Pubs/edn/strmicromodes.htm
- [2] www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4636

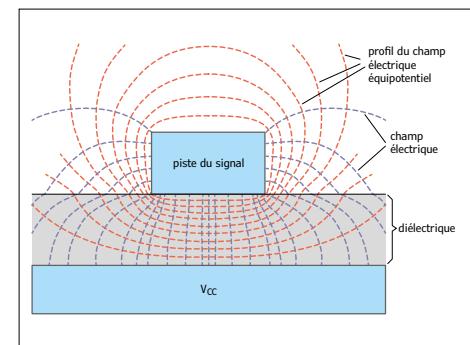


Figure 5. Piste dont l'impédance est imposée [1].

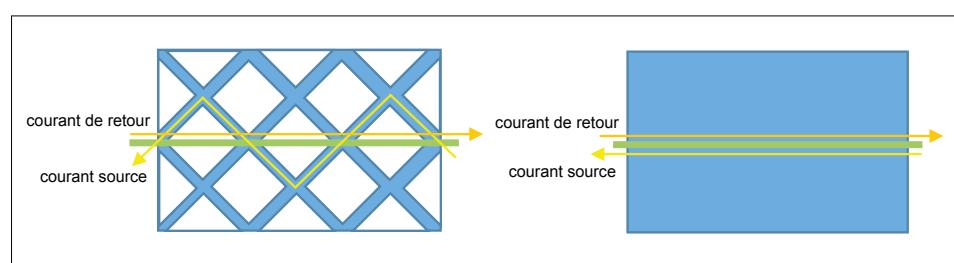


Figure 3. Boucle de courant sur un plan hachuré (gauche), ou non (droite).

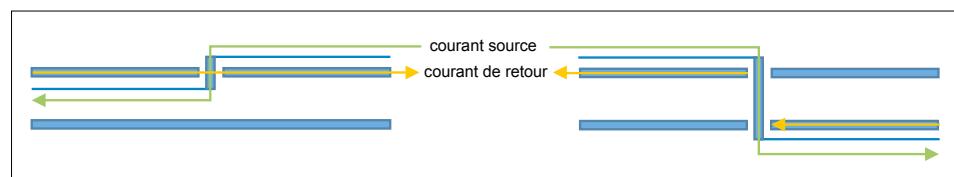


Figure 4. Exemple de routage de plan.

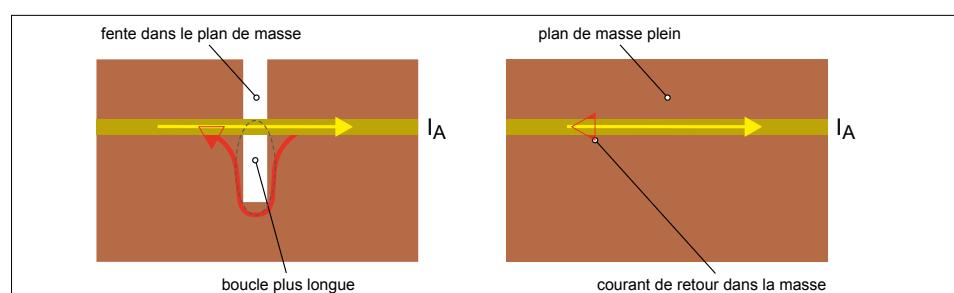
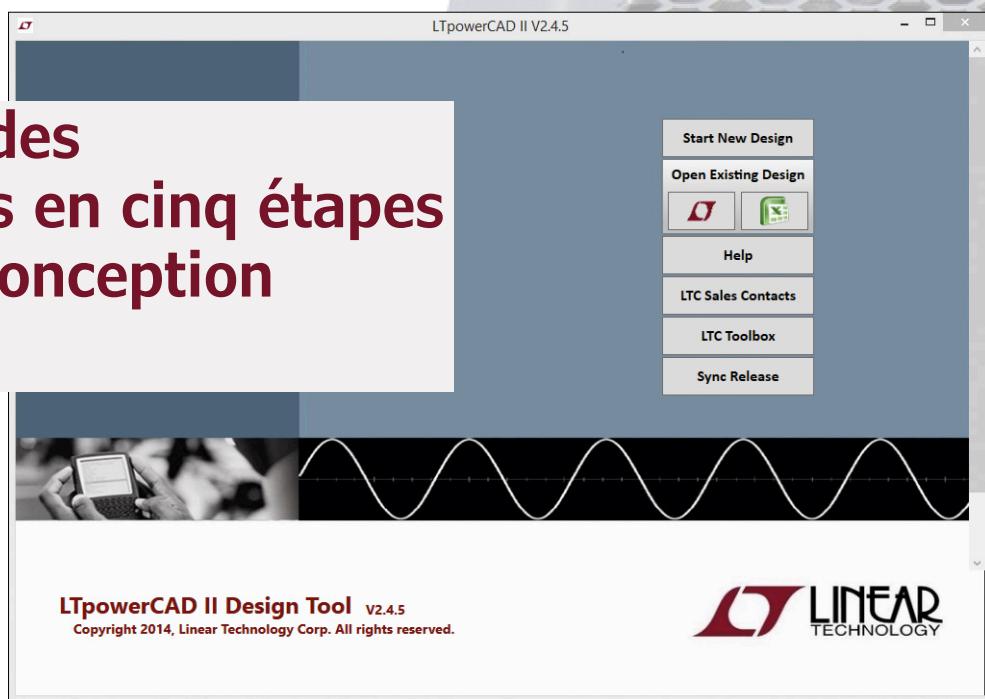


Figure 6. Boucles de courant pour un plan avec (gauche) et sans (droite) encoche [2].

concevoir une alimentation

détermination des caractéristiques en cinq étapes avec l'outil de conception LTpowerCAD

Henry Zhang, Linear Technology Corp.



Introduction

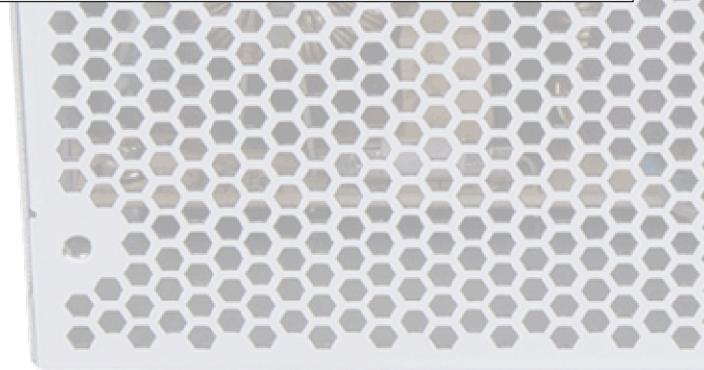
Les cartes des systèmes actuels possèdent un nombre croissant de rails et de dispositifs d'alimentation. Comme la taille, le rendement, les caractéristiques thermiques et en régime transitoire sont essentiels pour les circuits d'alimentation sophistiqués, il est plus efficace et plus économique de concevoir des alimentations embarquées sur mesure, pour une application spécifique, plutôt que d'utiliser des blocs d'alimentation du commerce. Pour les ingénieurs système, concevoir et optimiser des alimentations à découpage devient une étape presque incontournable. Malheureusement, c'est une tâche technique difficile et généralement gourmande en temps.

Pour simplifier ce travail de conception et en améliorer la qualité et la productivité, des spécialistes des applications de puissance chez Linear Technology Corp. ont développé un outil de conception et d'optimisation d'alimentation : le programme LTpowerCAD™ pour PC, gratuit (voir [1]). Cet article explique comment déterminer les paramètres clés d'une alimentation à découpage et réussir sa conception en quelques étapes.

Une conception « sur le papier » parfois difficile et longue

Pour concevoir et optimiser une alimentation embarquée, l'approche conventionnelle, à savoir « sur le papier », peut être longue et difficile. Après avoir défini le cahier des charges, l'ingénieur choisit la topologie du convertisseur, par ex. abaisseur pour réduire la tension ou élévateur pour l'augmenter. Ensuite il sélectionne un circuit intégré de gestion d'alimentation, soit sur la base de son expérience, soit en utilisant des outils de recherche sur l'internet. Après, il calcule les valeurs des composants de puissance à partir de ses connaissances ou à l'aide

des équations données dans les fiches techniques du fabricant. Vient ensuite le choix des composants de puissance tels qu'inductances, condensateurs et MOSFET, parmi des milliers de produits. L'étape suivante consiste à estimer le rendement et les pertes de puissance de l'alimentation, tout en garantissant que les contraintes thermiques des composants seront acceptables. Et ce n'est pas fini : il y a encore le problème de la compensation de boucle qui nécessite une modélisation compliquée du circuit et des valeurs de paramètres qui vont bien au-delà de la fiche technique de circuit intégré. Ensuite, le schéma est tracé, et le prototype du circuit imprimé envoyé à la fabrication. L'ingénieur peut enfin mettre en route la carte pour s'assurer qu'il n'y a pas d'oscillations en sortie ou de surchauffe. Le processus de conception est vraiment difficile pour un concepteur d'alimentation inexpérimenté. Mais même pour des concepteurs d'alimentation chevronnés, l'approche « sur le papier » et la méthode par approximations successives traditionnelles sont longues et difficiles, et aussi imprécises, elles ne conduisent pas à un résultat optimal. Tout cela peut prendre des heures, des jours, voire plus encore.





L'outil de conception LTpowerCAD simplifie le travail

L'outil de conception LTpowerCAD de Linear Technology permet de gagner du temps et de minimiser les efforts tout en obtenant une solution de grande qualité. Cet outil de conception fournit un moyen systématique et simple pour déterminer les paramètres clés d'une alimentation en cinq étapes simples :

1. Entrer les caractéristiques techniques de l'alimentation désirées et choisir une solution.
2. Optimiser les composants de l'étage de puissance en fonction d'avertissements automatiques.
3. Optimiser le rendement et les pertes de puissance de l'alimentation.
4. Concevoir la compensation de boucle et optimiser le transitoire de charge.
5. Rédiger un rapport récapitulatif avec nomenclature et estimer la taille du circuit imprimé.

La **figure 1** montre le déroulement de la conception avec l'outil LTpowerCAD.

La bibliothèque de solutions de LTpowerCAD contient de nombreux exemples de réalisations, y compris des cartes de démonstration Linear Technology et des fiches techniques de circuits. Les utilisateurs peuvent aussi enregistrer leurs projets à l'aide de cet outil pour réaliser leur propre bibliothèque de solutions. Les ingénieurs peuvent tirer profit de telles solutions et les utiliser comme point de départ pour démarrer rapidement leurs futures alimentations. De plus, une réalisation LTpowerCAD peut être exportée comme circuit de simulation LTspice® pour vérifier les formes d'ondes dans le domaine temporel et les caractéristiques en régime transitoire de l'alimentation.

À l'aide de ces outils puissants, un ingénieur système peut réaliser un circuit d'alimentation de très bonne qualité en quelques minutes, d'où la réduction du délai de production du premier prototype.

Étapes et exemples de conception avec LTpowerCAD

Examinons en détail chaque étape de la conception avec LTpowerCAD. Objectif : concevoir une alimentation embarquée avec entrée de 10,8 V à 13,2 V (12 V $\pm 10\%$) et sortie de 1,0 V, courant jusqu'à 20 A. Il s'agit d'un convertisseur abaisseur synchrone classique.

I Recherche d'une solution de type puissance

Il faut rechercher un circuit intégré ou un micromodule de puissance (μ Module®), sur la base de son expérience ou à partir de la page de recherche de solution de LTpowerCAD. L'utilisateur y entre les caractéristiques techniques de l'alimentation désirées et sélectionne des fonctions en option, puis clique sur **Search (fig. 2)**. Ensuite il choisit le composant désiré dans la liste donnée par le programme.

Dans la figure 2, à gauche de la liste de solutions de circuits intégrés fournie par le programme, se trouvent des icônes *LT* rouges ou *Excel* vertes ; icône *LT* rouge s'il y a un outil de conception LTpowerCAD pour le composant - icône *Excel* verte s'il y a un outil de conception sur une feuille Excel (Microsoft). Si les deux icônes sont en gris, cela veut dire qu'il n'y a pas encore d'outil de conception correspondant à ce composant.

Dans cet exemple, le contrôleur abaisseur en mode courant LTC3833 est sélectionné pour cette alimentation de 12 V en entrée et 1 V/20 A en sortie. Il suffit de cliquer sur l'icône *LT* rouge pour ouvrir son outil de conception.

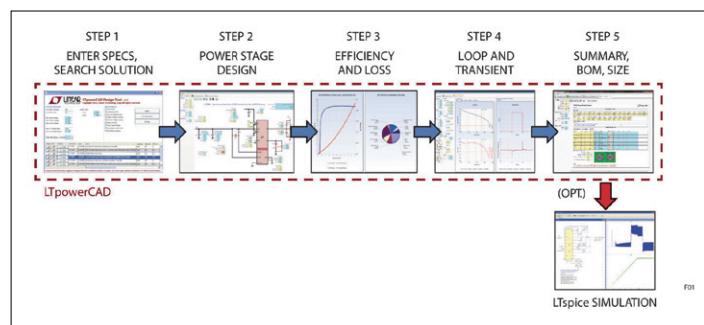


Figure 1. Concevoir une alimentation en cinq étapes simples avec l'outil de conception LTpowerCAD.

II Conception de l'étage de puissance

La conception comprend la sélection des composants de l'étage de puissance, tels qu'inductance de puissance, condensateurs d'entrée et de sortie, composants de mesure du courant, et MOSFET de puissance. Pour concevoir une alimentation, l'utilisateur doit partir normalement d'une fréquence de découpage, f_{SW} , puis choisir une inductance de puissance et, après, sélectionner les condensateurs d'entrée et de sortie. Les MOSFET de puissance peuvent être sélectionnés/optimisés à l'étape 3. Une fois l'outil de conception ouvert (fig. 3), la page principale du schéma s'affiche avec les valeurs des paramètres de calcul à côté des composants clés. Les valeurs calculées sont dans des cellules (de texte encadré) avec deux couleurs de fond différentes :

● **Jaune** : la valeur dans la cellule est soit une caractéristique technique de la conception, soit calculée/recommandée par l'outil LTpowerCAD. L'utilisateur ne peut pas la modifier directement.

- **Bleu** : la valeur est celle choisie par l'utilisateur. Il peut y accéder et la modifier directement.

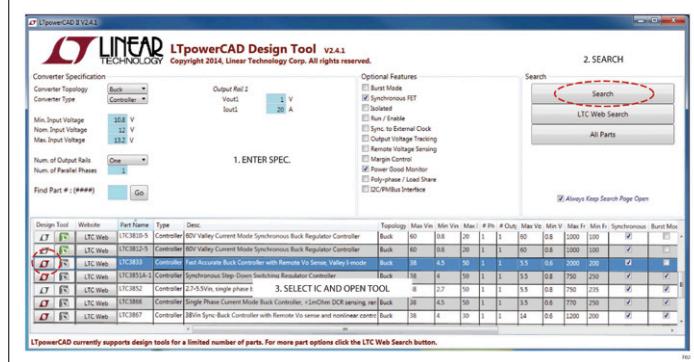


Figure 2. Étape 1 : recherche d'une solution de puissance.

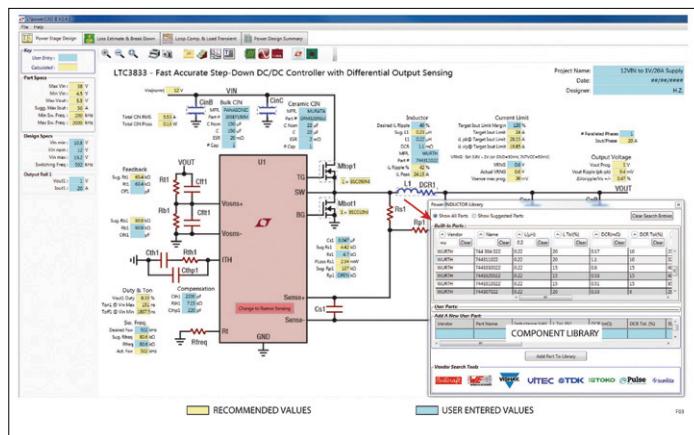


Figure 3. Étape 2 : page de conception de l'étage de puissance avec schéma et valeurs des paramètres clés

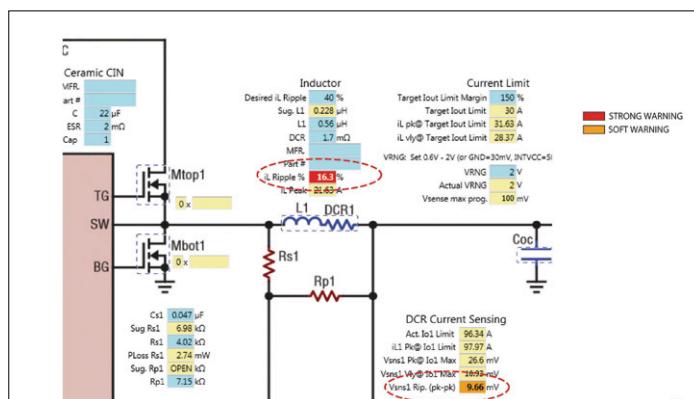


Figure 4. Des avertissements automatiques guident les utilisateurs vers les bonnes valeurs de conception.

Pour les paramètres de circuit clés, par ex. le courant d'oscillation de l'inductance, le programme comporte des limites intégrées pour chaque composant. Comme indiqué figure 4, si une des valeurs calculées par l'utilisateur dépasse ces limites, le programme lance automatiquement un avertissement, affichant soit une cellule de couleur orange comme avertissement « léger », soit une cellule de couleur rouge comme avertissement plus « fort », pour rappeler à l'utilisateur de vérifier la valeur et de modifier son projet. Les valeurs des limites/avertissements intégrés sont des recommandations établies par le spécialiste de l'application pour le produit correspondant. Notez que pour un projet analogique, les avertissements sont acceptables tant que l'utilisateur en est conscient et qu'il est sûr des valeurs de calcul choisies.

Sur cette page du schéma, tous les composants de puissance, comme les inductances, les condensateurs et les FET, peuvent être sélectionnés dans la bibliothèque intégrée, d'un clic de souris. Au moment de la rédaction de cet article, elle comprenait plus de cinq mille composants provenant des principaux fournisseurs, et de nouveaux composants sont ajoutés fréquemment. Les utilisateurs peuvent également entrer les paramètres clés d'un nouveau composant pour créer leurs propres bibliothèques localement sur un PC.

Pour ce convertisseur abaisseur ($12 \text{ V}_{\text{IN}} \rightarrow 1 \text{ V}/20 \text{ A}$), la fréquence de découpage est fixée à 500 kHz. Ainsi, une valeur d'inductance de $0,23 \mu\text{H}$ a été calculée pour obtenir un courant d'oscillation crête-à-crête de 40% de $I_{O(\text{max})}$ CC. Une inductance de $0,22 \mu\text{H}/1,1 \text{ m}\Omega$ a été sélectionnée dans la bibliothèque d'inductances. Ici, la résistance continue (DCR) de l'enroulement de l'inductance est utilisée pour effectuer la mesure de courant. Il convient de vérifier que les valeurs du réseau de mesure de courant fournissent un signal de mesure de courant et une valeur de limite de courant adéquats. Le programme affiche des avertissements si le signal de mesure du courant CA est trop faible, car cela peut entraîner des problèmes de rapport signal sur bruit, ou bien si le niveau de la limite de courant est inférieur à la valeur visée. Les condensateurs d'entrée doivent être choisis pour être adaptés au courant efficace nominal avec un minimum de pertes par conduction. Les condensateurs de sortie sont sélectionnés pour minimiser les oscillations de tension de sortie et le dépassement/sous-dépassement de transitoire. Leur sélection sera affinée plus tard à l'étape de calcul de compensation de boucle et du transitoire de charge. Les MOSFET de puissance seront choisis à l'étape suivante lors de l'estimation et de l'optimisation du rendement et des pertes.

III Optimisation du rendement et des pertes de l'alimentation

L'utilisateur clique sur l'onglet **Lost Estimate & Break Down**. Lorsqu'il a sélectionné les MOSFET et cliqué sur **Update** (fig. 5), les courbes de rendement et des pertes de puissance de l'alimentation en fonction du courant de charge sont fournies pour une tension d'entrée donnée, qui peut être sélectionnée à l'aide du curseur V_{IN} . Le diagramme circulaire détaillé de la décomposition des pertes de puissance permet aux utilisateurs de comprendre et modifier les paramètres de calcul et les composants pour minimiser certaines pertes et optimiser globalement le rendement.

L'estimation des pertes par le LTpowerCAD s'appuie sur de nombreux modèles de composants et leurs équations. Elle prend en compte les pertes des MOSFET de puissance, des inductances, des condensateurs et des pilotes de grille des circuits intégrés. Cependant, pour obtenir des résultats en temps réel, les modèles de pertes des dispositifs utilisés sont des modèles de comportement simplifiés au lieu de modèles physiques compliqués. Notons que les pertes CA de l'inductance ne sont pas encore modélisées dans LTpowerCAD, mais les utilisateurs ont la possibilité d'entrer leur valeur. Il en résulte que le rendement estimé peut être supérieur au rendement réel de quelques pour cent. Malgré cela, cet outil donne une estimation en temps réel rapide pour aider les utilisateurs à faire leur choix parmi une variété d'options de conception et à les comparer, surtout en ce qui concerne l'inductance et les MOSFET de puissance.

IV Conception de la boucle de rétroaction

et optimisation du transitoire

Il faut concevoir la boucle de rétroaction en tension et optimiser les performances en matière de transitoire de charge de façon à obtenir une bonne marge de stabilité. Ceci est considéré comme l'un des aspects de la conception d'alimentation les plus difficiles. L'outil de conception LTpowerCAD simplifie cette tâche.

La **figure 6** montre la page de conception de la boucle et du transitoire. Le diagramme de Bode du gain en boucle ouverte peut être ajusté en temps réel pour obtenir la bande passante et la marge de phase désirées, en modifiant les valeurs R/C du circuit de compensation. Les principes sur lesquels s'appuie la conception de la boucle sont expliqués dans la référence [3]. Pour un convertisseur de puissance à découpage, il est normalement recommandé d'avoir plus de 45° ou même 60° de marge de phase à la fréquence de transition, et d'avoir au moins 8 dB d'atténuation du gain à la moitié de la fréquence de découpage de l'alimentation, f_{sw} . Il existe plusieurs onglets, dont un pour le diagramme d'impédance de sortie de l'alimentation, apportant des détails de conception de boucle supplémentaires à l'utilisateur. Le diagramme du transitoire de charge est donné pour une augmentation instantanée de la charge et une vitesse de balayage en courant définies par l'utilisateur. L'utilisateur peut « figer les diagrammes » pour une conception donnée, puis modifier les valeurs de calcul ou le choix des composants pour les comparer avec une autre version, et choisir la version avec le résultat optimal.

Pour des conditions du transitoire de charge (valeur de l'augmentation instantanée de la charge et vitesse de balayage

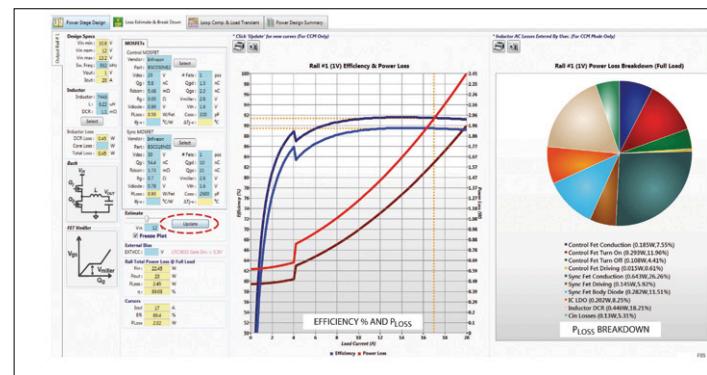


Figure 5. Étape 3 : optimiser le rendement et les pertes de puissance.



Figure 6. Étape 4 : conception de la boucle de rétroaction et du transitoire de charge.

en courant) et une limite de dépassement/sous-dépassement V_{OUT} données, l'utilisateur peut régler la boucle et vérifier les caractéristiques en termes de bande passante, de stabilité et de transitoire. Si les caractéristiques en régime transitoire ne correspondent toujours pas à celles voulues, il peut augmenter les valeurs des condensateurs de sortie (y compris des condensateurs de découplage et des condensateurs en céramique) et ensuite réajuster la boucle jusqu'à ce que les caractéristiques visées pour le projet soient atteintes. Puisque les diagrammes du transitoire de charge de LTpowerCAD sont dérivés de modèles à petits signaux, ils sont très rapides à obtenir, mais ne sont qu'une approximation du premier ordre. Ainsi, il est nécessaire de conserver suffisamment de marges de réalisation pour les transitoires (20% à 30%).

Pour garantir la précision de la conception de la boucle, chaque outil de conception LTpowerCAD a été vérifié sur des cartes de démonstration standard Linear Technology avec une mesure de la boucle par les ingénieurs de Linear, avant le lancement de l'outil. Cependant, le résultat de chaque projet peut être influencé par les variations des valeurs parasites d'un composant, comme une valeur de résistance équivalente de condensateur imprécise. Il est donc indispensable que les utilisateurs vérifient leurs circuits avec des prototypes.

V Récapitulatif avec nomenclature et dimensions

À l'étape finale, les utilisateurs peuvent accéder à la page récapitulative, qui donne un résumé des caractéristiques du circuit (fig. 7) ainsi qu'une brève nomenclature (BOM) des composants

de puissance et une estimation grossière des dimensions de l'empreinte totale des composants. Il est aussi possible d'imprimer un rapport récapitulatif.

VI (en option) Exportation vers une simulation LTspice

Pour effectuer une simulation en temps réel, ce qui permet de vérifier en détail les fonctions d'ondes et les caractéristiques en régimes permanent et transitoire, il suffit de cliquer sur la

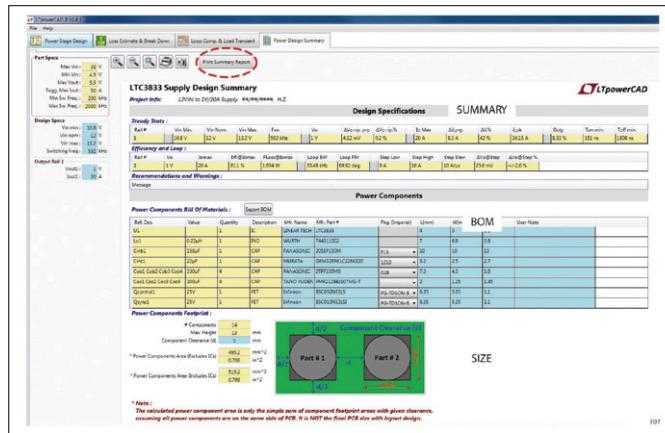


Figure 7. Étape 5 : récapitulatif, nomenclature et dimensions du projet

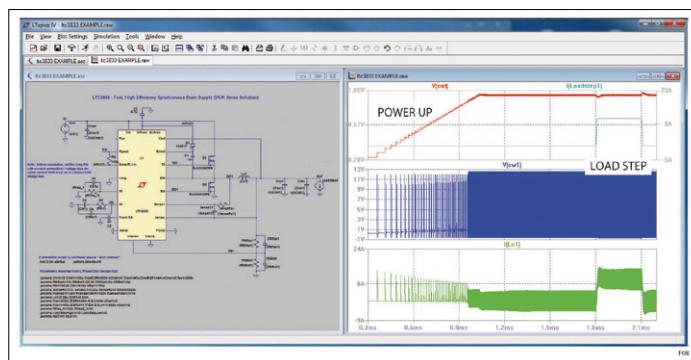


Figure 8. Étape 6 : export vers une simulation de circuit LTspice.

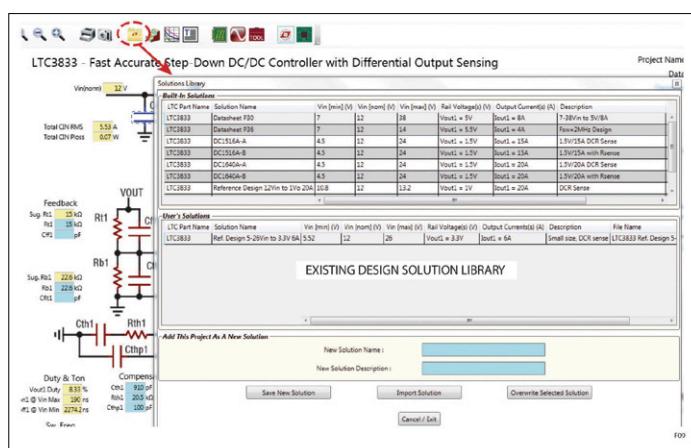


Figure 9. La bibliothèque de solutions existantes fournit un bon point de départ pour les futurs projets.

touche LTspice dans la page du schéma de LTpowerCAD. Les paramètres de calcul clés utilisés dans LTpowerCAD sont alors exportés vers un circuit de simulation LTspice (fig. 8).

Bibliothèque de solutions

La bibliothèque de solutions LTpowerCAD est une fonction importante pour aider les utilisateurs à réaliser rapidement leur projet et obtenir de bons résultats. Il suffit de cliquer sur l'icône **Solutions Library** dans la page du schéma pour accéder à nombre de modèles autour d'un produit Linear Technology donné (fig 9) : cartes de démonstration standard Linear Technology, circuits de fiches techniques et circuits de référence. Un grand nombre d'entre eux ont été testés et vérifiés dans nos laboratoires, les utilisateurs commencent donc leur projet à partir d'exemples éprouvés existants. De plus, ils peuvent enregistrer leurs projets et créer leur bibliothèque de solutions pour une utilisation future.

Mises à jour en toute sécurité avec Sync Release

L'outil de conception LTpowerCAD II est un programme qui fonctionne sur PC sous Microsoft Windows. Les utilisateurs peuvent télécharger le programme et l'installer localement sur un PC. Par rapport à un outil de conception web, LTpowerCAD bénéficie des capacités et ressources d'un PC local puissant, sans être limité par des problèmes de partage de ressources internet ou d'ordinateur, ou de sécurité des données. Après l'installation, les utilisateurs n'ont plus besoin de connexion internet pour faire tourner le programme. Cependant les utilisateurs peuvent cliquer régulièrement sur **SYNC RELEASE** de la page de démarrage du programme pour vérifier si des mises à jour sont disponibles, telles que de nouveaux outils et fonctions ; les mises à jour ne nécessitent pas une nouvelle installation de LTpowerCAD.

Résumé

L'outil de conception LTpowerCAD offre une méthode puissante et facile à utiliser pour déterminer les paramètres clés d'une nouvelle alimentation en cinq étapes simples. Ses bibliothèques de solutions standard et propres à l'utilisateur permettent aux concepteurs de bénéficier de nombreux projets existants. Le résultat de la conception peut être facilement exporté pour réaliser une simulation LTspice pour une évaluation minutieuse des caractéristiques. Il existe aussi de nombreuses autres fonctions qui ne sont pas mentionnées dans cet article (voir références). En résumé, l'outil de conception LTpowerCAD aide les ingénieurs système à concevoir rapidement des solutions avec de bons résultats et un minimum d'effort. ▶

(150836)

Références et lien

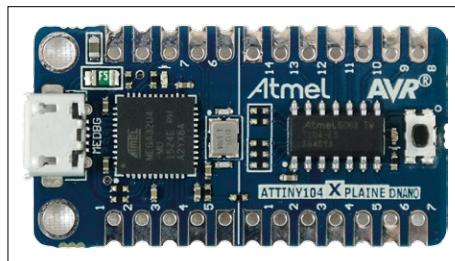
1. Logiciel à télécharger, blog : www.linear.com/LTpowerCAD
2. H. Zhang, *Basic Concepts of Linear Regulator and Switching Mode Power Supplies*, note d'application de Linear Technology AN140
3. H. Zhang, *Modeling and Loop Compensation Design of Switching Mode Power Supplies*, note d'application de Linear Technology AN149

tour des systèmes embarqués 2016

Le salon *Embedded World 2016*, la plus grande exposition sur le monde des systèmes embarqués, qui s'est tenu à Nuremberg (Allemagne) a battu des records d'affluence : 939 exposants et 30 063 visiteurs. C'était l'endroit idéal pour découvrir de nouveaux produits ; l'accent avait été mis sur l'IdO et la sécurité, de vastes sujets d'actualité et une combinaison délicate, mais inévitable.

Viacheslav Gromov (Allemagne)

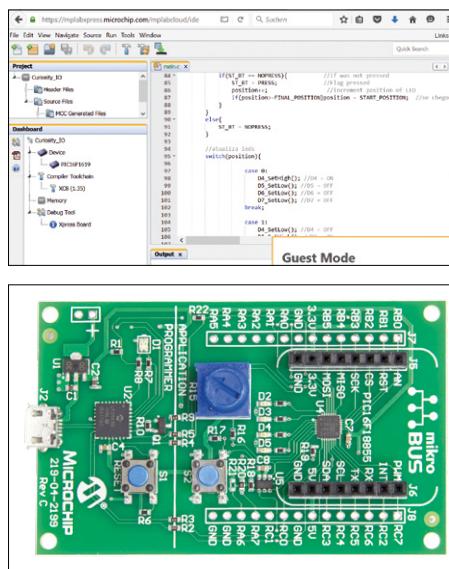
Dès qu'on a réussi à franchir le portail d'entrée dans la foule des visiteurs, on est frappé par l'envergure des stands des sociétés d'électronique les plus renommées. Parmi elles, il y en a bien une qui a quelque chose de neuf à proposer dans le domaine de la communication IdO, que ce soit en WLAN, BLE, NFC ou LTE, avec encore les puces cryptographiques et les logiciels de sécurité correspondants ! Voici une petite sélection des produits les plus remarquables.



Comme d'habitude, commençons par la célèbre famille AVR d'**Atmel**, qui s'est agrandie des modèles ATtiny102 et ATtiny104. Ces derniers sont parfaits pour les plus petites applications. Ils ont un peu de tout, par exemple 1 Ko de flash, jusqu'à 12 broches, les périphériques habituels et quatre modes d'économie d'énergie, tout ce qu'il faut pour de petites applications qui consomment peu et pour un prix intéressant. Pour un essai, il y a une nano carte Xplained avec ATtiny104 [1] au format Arduino Nano à moins de 10 €.

Surfant sur la vague sécuritaire, Atmel propose une puce octopode de cryptage I²C, baptisée ATECC508A, qui peut produire des clés ECD(S)A, SHA, HMAC et ECC et crypter les données [2].

Microchip propose fièrement son nouvel EDI (environnement de développement intégré) MPLAB Xpress « dans le nuage » [3]. Cet EDI économise vraiment la puissance du processeur et ne

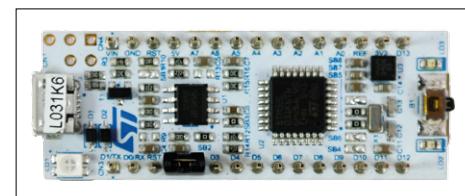


nécessite l'installation d'aucun outil logiciel sur l'ordinateur. On peut utiliser l'EDI Xpress avec de nombreux programmes d'exemple dans le navigateur, c'est encore plus simple qu'avec le traditionnel EDI MPLAB X. Après vous être enregistré et connecté, vous disposez de 10 Go de mémoire en ligne pour les données de votre projet. Il est probable que d'ici l'été, tous les microcontrôleurs PIC pourront également profiter de cet EDI.

L'assistant générateur de code y est intégré d'origine. Il existe pour cet EDI la carte Xpress à un peu plus de 10 € pour se familiariser avec le nouveau microcontrôleur PIC16F18855 (20 MHz, 14 Ko de flash, 1 Ko de SRAM et 256 o d'EEPROM). La carte est équipée d'un bouton-poussoir, de quatre LED et d'un potentiomètre [4]. Sur le PC, elle s'identifie comme support de mémoire USB. Il est facile d'y déposer le code hexadécimal produit par l'EDI du Nuage pour le transférer dans le microcontrôleur.

Il saute immédiatement aux yeux sur son stand que **STMicroelectronics** a beaucoup misé sur sa famille de cartes Nucleo (Mbed). Les fonctions des cartes d'extension sont de plus en plus nombreuses –

du WLAN, en passant par la commande de moteurs, jusqu'à un photodéTECTeur. Ces cartes couvrent à peu près tout ce qui concerne la phase de prototypage rapide. À part cela et indépendamment de la prolifération continue de la famille STM32, deux nouvelles cartes, Nucleo-32 et Nucleo-144 sont apparues. Toutes deux disposent, comme la Nucleo-64, d'un débogueur ST-Link/V2, sauf que les microcontrôleurs y sont de types différents. Comme la carte à 32 contacts dispose de la même conformation qu'Arduino Nano, on peut l'inclure dans des projets très compacts. Les cartes à 144 contacts



sont destinées à des réalisations nettement plus exigeantes. Vous trouverez sur [5] un panorama de toutes les cartes Nucleo. Les Nucleo 32 coûtent environ 10 €, des Nucleo 144 sont disponibles à 22 €.

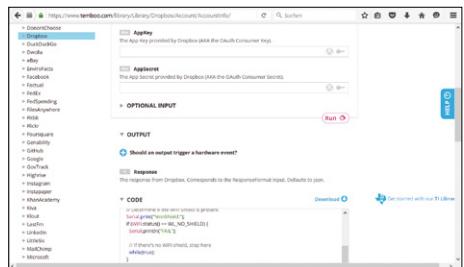
Le nouveau kit palpitant « LPC54114 Audio and Voice Recognition » de **NXP** [6] avec le microcontrôleur LPC53114 (100 MHz, 256 Ko de Flash, 192 Ko de SRAM), équipé d'un ARM Cortex-M4F comme cœur principal et d'un ARM Cortex-M0+ comme assistant, montre comment mettre en œuvre un processus basé sur la reconnaissance vocale. Le kit comprend un *shield* avec microphone, Codec et OLED, nécessaires au traitement des signaux numériques du microphone et à l'affichage des informations.

Sur le thème IdO et sécurité, NXP présente le kit « LPC43S67-A70CM Cloud Connectivity » [7]. Il est doté d'une carte LPCXpresso43S67 avec câble USB, *shield* d'usage général et des extensions WLAN ainsi que NFC. Il comporte aussi la licence



pour ZentriOS, le kit de développement logiciel correspondant et de nombreux autres outils Zentri. Cette interface permet de créer des applications IdO sécurisées. La sécurité ne provient pas juste du logiciel, mais également du microcontrôleur de sécurité LPC43S67 (204 MHz, M4F + M0+) et d'une puce de sécurité appelée A70CM sur la carte. Ce kit à 90 € se prête parfaitement à de nombreux projets sensibles dans l'IdO.

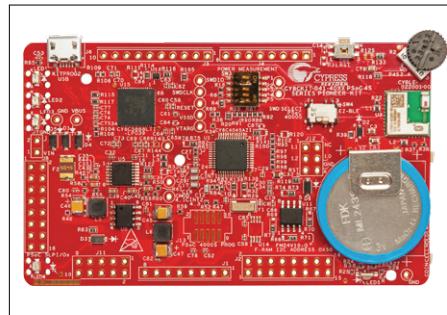
Texas Instruments stimule à fond les déjà célèbres *LaunchPad* (MSP430) avec des *BoosterPacks* toujours plus nombreux, surtout dans le domaine de l'IdO. On trouve sur [8] de nombreuses possibilités, souvent gratuites, pour connecter très facilement à la Toile ou au Nuage, des *Launchpads* avec un micrologiciel spécial et des API. Que ce soit sur le *Cloud* d'Amazon ou le service d'IBM, tout peut se relier simplement. De conception à la



fois très convaincante et simple, la page Temboo [9] met à disposition (après un enregistrement rapide) d'innombrables programmes prêts pour le *LaunchPad* CC3200 avec WLAN intégré, mais aussi pour les autres *LaunchPads* avec le *BoosterPack* CC3100 branché, et même pour Arduino ! Du suivi des paquets envoyés via Yahoo météo jusqu'aux fichiers Dropbox, tout est accessible au *LaunchPad*, quand il est en relation avec l'internet. Il vous suffit d'introduire le code indiqué dans l'EDI Energia gratuit (similaire à celui d'Arduino), et de le laisser faire. Bien entendu, vous pouvez aussi

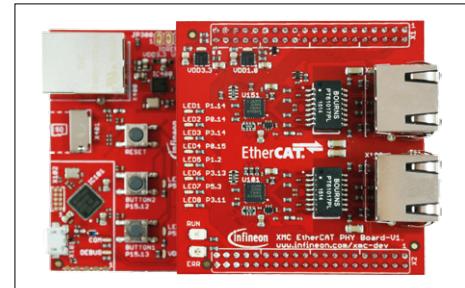
adapter le code selon votre bon plaisir ou l'étendre. On peut sans difficulté importer le code Energia dans le Code Composer Studio (CCS ou CCS Cloud).

Outre une nouvelle mise à jour de PSoC Creator, **Cypress** a étendu la célèbre famille PSoC, dont les périphériques s'assemblent d'un clic de souris, vers une autre branche, la 4S [10], basée sur le Cortex M0+ de ARM. Contrairement aux modèles PSoC 4, elle dispose de périphériques plus puissants, notamment pour tout ce qui concerne le traitement des signaux analogiques. On y trouve aussi des particularités, comme ces lignes spéciales de GPIO qui rendent programmables librement des fonctions logiques (simples) au moyen de tables à consultation (*LUT, Look Up Table*). La technologie Cap Sense a également été améliorée sur ces types de microcontrôleurs.



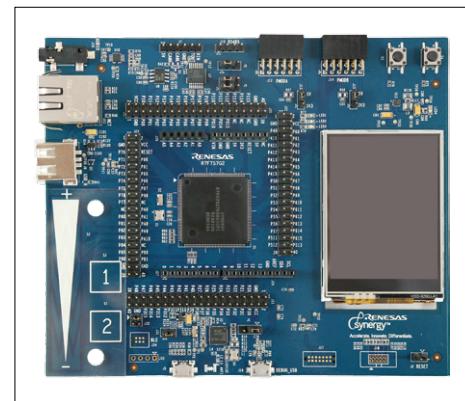
Pour l'IdO, Cypress propose un kit électrisant « Solar Powered » [11] autour de 50 €. Il se compose en fait de deux cartes. L'une a la forme d'une clé USB pour l'ordinateur et l'autre porte une cellule solaire. Chaque carte comporte une puce PRoC BLE (*Bluetooth Low Energy*), celle de la cellule solaire une puce S6AE101A qui gère la récolte d'énergie, de sorte que l'électronique et le BLE sont alimentés exclusivement par la lumière ambiante. De quoi démontrer combien les composants PRoC BLE sont économies en énergie.

Infineon était particulièrement fier des nouveaux membres XMC4800 et XMC4300 de la famille de microcontrôleurs ARM Cortex M-XMC. Ces deux types de puces, disponibles dans différentes exécutions, supportent l'EtherCAT (avec circuit esclave). Il s'agit d'une interface très répandue dans l'industrie en raison de son haut débit de transfert de données. Cependant, ces microcontrôleurs,



à cœur Cortex M4F qui bat à 144 MHz, disposent d'à peu près autant de périphériques que de nombreux autres membres de la famille XMC4000. Ils sont richement équipés en interfaces comme CAN, USB et Ethernet et possèdent en suffisance d'autres sortes de périphériques, tels que temporisateur ou CA/N. Pour le type plus puissant, XMC4800, avec maximum 2 Mo de Flash, 352 Ko de RAM et 8 Ko de cache, il existe le kit XMC4800 Relax EtherCAT [12] avec une carte à deux étages pour environ 50 €. Il contient tout ce dont on a besoin pour tester les fonctions du microcontrôleur, et tout spécialement l'EtherCAT.

Renesas a amélioré et perfectionné l'« écosystème » de ses microcontrôleurs basés sur ARM Cortex M4/0+, dont certains modèles montent jusqu'à 240 MHz, et leur a couplé la plateforme logicielle Synergy. En comparaison avec la famille RL78, ils ont davantage de périphériques et maîtrisent toutes les interfaces habituelles comme USB 2.0 ou Ethernet, fonctions tactiles et commande de LCD graphiques. Grâce à de nombreux outils, dont un générateur de code intégré au célèbre e²studio, la mise en œuvre de cette famille de microcontrôleurs est très simplifiée. Synergy Gallery sur la Toile [13] offre de nombreuses bibliothèques et des programmes d'exemple



gratuits. Un marchepied utile pour accéder à la plate-forme Synergy, c'est le kit SK-S7G2 pour environ 74 € [14]. Il dispose de très nombreux périphériques et la documentation qui s'y rapporte est excellente.

Avec le nouveau microcontrôleur RL78/G1D se présente une puce radio BLE 4.1 enfouie avec un processeur à 32 MHz, 256 Ko de flash, 20 Ko de SRAM et 8 Ko de flash de données. Son concept éco-efficace établit de nouvelles normes en matière de consommation d'énergie [15].

Silicon Labs élargit son offre de puces radio avec les modules Blue Gecko BGM111 [16] BLE 4.1 et Wizard Gecko WGM110 [17]. BGM111 est un microcontrôleur à ARM Cortex M4F (256 Mo de flash et 32 Ko de RAM), équipé de périphériques spéciaux, ne fût-ce que le convertisseur CC/CC. Le WGM110 a des caractéristiques similaires, mais en partant seulement d'un ARM Cortex M3 (1 Mo de flash et 128 Ko de RAM). Les deux modules peuvent se tirer d'affaire dans la plupart des cas sans microcontrôleur associé. Ils sont aussi, selon le mode en service, plus ou moins économies en courant. Le BGM111 peut aussi bien se transformer en module BLE 4.2 par une modification du logiciel. Il existe des kits



de démarrage pour ces deux modules.

Afin de favoriser les particuliers ou les achats par petite quantité, la firme **FTDI**, spécialiste de l'USB, cherche à développer par financement participatif les plateformes CleO et Nero. Et cela fonctionne, les premiers prototypes sont déjà complètement opérationnels. CleO35 est une petite carte avec écran tactile TFT de 9 cm au standard HVGA (320x480 pixels), un support pour carte micro-SD ainsi que plusieurs connecteurs pour caméra, haut-parleur et microphone optionnels. La carte est bâtie comme un *shield* Arduino qu'il faut commander de l'extérieur, malgré la présence à bord d'un microcontrôleur à 32 bits FT903 et du contrôleur pour l'écran EVE810, le pavé tactile et l'audio. Comme les puces se contiennent le plus gros du travail, il est pos-

sible de piloter la carte avec la modeste puissance de calcul d'une carte Arduino Uno. Pour raccorder CleO à une carte Uno normale, il faut souder des barrettes de connexion. C'est pourquoi FTDI a conçu la carte Nero totalement compatible Uno, mais avec en plus des connecteurs déjà soudés pour accueillir CleO. L'EDI d'Arduino, avec la bibliothèque CleO incorporée, est recommandé pour la programmation. Cette bibliothèque facilite grandement l'affichage à l'écran de graphes, de touches ou de photos de la carte SD sans étude préalable.

Si, avec d'autres personnes intéressées, vous décidez de soutenir le projet, vous pourrez dès cet été passer à la production en série [18]. L'ensemble CleO et Nero est disponible pour 63 \$. ►

(150707 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] www.atmel.com/tools/attiny104-xnano.aspx
- [2] www.atmel.com/devices/ATECC508A.aspx
- [3] www.microchip.com/mplab/mplab-xpress
- [4] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MPLAB%20Xpress.pdf>
- [5] www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/LN1847
- [6] www.nxp.com/products/microcontrollers-and-processors/arm-processors/lpc-cortex-m-mcus/lpc-cortex-m4-single-multi-core/lpc54000-series/lpc54114-audio-and-voice-recognition-kit:OM13090?tid=vanOM13090
- [7] www.nxp.com/products/identification-and-security/authentication/lpc43s67-a70cm-cloud-connectivity-kit:OM13086
- [8] www.ti.com/ww/en/simplelink_embedded_wi-fi/ecosystem.html
- [9] www.temboo.com/library/
- [10] www.cypress.com/products/32-bit-arm-cortex-m0-psoc-4
- [11] www.cypress.com/documentation/development-kitsboards/s6sae101a00sa1002-solar-powered-iot-device-kit
- [12] www.infineon.com/cms/de/product/evaluation-boards/KIT_XMC48_RELAX_ECAT_V1/productType.html?productType=5546d46250cc1fdf0150f6bdd1236ec8
- [13] <https://synergygallery.renesas.com/auth/login> [13 bis] www.lembarque.com/renesas-porte-la-plate-forme-logicielle-cle-en-main-synergy-sur-des-microcontrôleurs-arm-cortex-m0+_004520
- [14] http://am.renesas.com/products/tools/introductory_evaluation_tools/renesas_starter_kits/sk_s7g2/index.jsp
- [15] www.renesas.com/products/mpumcu/rl78/rl78g1x/rl78g1d/
- [16] www.silabs.com/products/wireless/bluetooth/Pages/BGM111-bluetooth-smart-module.aspx
- [17] www.silabs.com/products/wireless/wi-fi/wi-fi-modules/Pages/wgm110-wi-fi-module.aspx
- [18] www.indiegogo.com/projects/cleo-the-smart-tft-display-for-arduino/#/

IDENTIFICATION SERVICES DEVENIR MEMBRE

Elektor DÉCOUVRIR CRIER PARTAGER

E-CHEPPE FORUM LABS FR

PUBLICITÉ

Mouser Electronics Distributeur agréé

ON Semiconductor®

Kit de développement vidéo MainBoard® Transfert de vidéos 1080p via WiFi/Ethernet et architecture ouverte pour le développement de solutions IoT. En savoir plus

ELEKTOR.LABS ARTICLES SELECT PAGES LETTRE D'INFORMATION

EN COURS TERMINÉ GUIDE DU VISITEUR

Créer un projet

Sujets populaires: Arduino LED temps horloge USB AVR Elektor Bluetooth Raspberry Pi

Home > Labs

HOW TO MOVE FROM 8051 TO ATMEGA (EASILY)

NEW SOFTWARE FOR NETWORK CONNECTED SIGNAL ANALYZER

ALIMENTATION À DÉCOUPAGE : FORWARD 3,3/V/1A

STEREO-LIMITER II

AUDIO-MISCHER MIT AUTOM. LAUTSTÄRKEEINSTELLUNG

AUTOMATISCHER AUDIO-UMSCHALTER

5V-1A SWITCH MODE POWER SUPPLY DESIGN

TAMBOLA / HOUSIE ON ARDUINO

EARTH-PHASE-NEUTRAL DETECTOR

SKIP!! (SINGLE BUTTON MEDIA PLAYER CONTROL VIA USB)

SOLARBENCH: TEST YOUR SOLAR PANEL UP TO 300W WIT...

HOLZFEUCHTMESSGERÄT / WOOD MOISTURE CONTENT...

PLATINO/2

EN COURS TERMINÉ GUIDE DU VISITEUR

Créer un projet

ETAT DU PROJET

TOUT PROPOSITION (494) EN COURS (45) TERMINÉ (215)

DATE DE PUBLICATION

TOUT CETTE SEMAINE (1) CE MOIS CI (9) CETTE ANNÉE (104) PLUS D'UN AN (494)

151 Vues | 6 Commentaires

561 Vues | 5 Commentaires

427 Vues | 5 Commentaires

448 Vues | 0 Commentaires

426 Vues | 0 Commentaires

469 Vues | 0 Commentaires

455 Vues | 1 Commentaires

8774 Vues | 15 Commentaires

453 Vues | 2 Commentaires

717 Vues | 1 Commentaires

442 Vues | 2 Commentaires

417 Vues | 9 Commentaires

1 2 3 4 5 6 7 8 ... 41 42

SERVICES

Conditions générales Copyright Contactez-nous

MON COMPTE

Login Elektor.MAGAZINE Login Elektor.STORE Login Elektor.LABS

INFOS

INSCRIPTION À NOTRE LETTRE D'INFORMATION

Adresse e-mail

Votre prénom

PAIEMENT SÉCURISÉ

bruits de labo...

déménagement et embellissements

Le site Elektor.Labs a été rénové et fait maintenant corps avec les autres contenus en ligne d'Elektor, désormais réunis sous une bannière unique. Voici un aperçu des nouveautés, à découvrir sur

www.elektormagazine.com/labs.

Ouvert à tous

Au-delà de l'aspect cosmétique, le changement le plus notable est l'ouverture d'Elektor.Labs aux non-membres. N'importe qui peut maintenant créer un compte gratuitement et participer aux projets, que ce soit pour les commenter, en télécharger les fichiers ou en créer un nouveau. Ce compte donne accès au labo (*labs*), mais pas aux archives du magazine et autres services auxquels ont droit les membres Green et Gold.

Un seul point d'entrée, un seul identifiant

Auparavant les comptes Elektor.Labs n'étaient pas liés aux autres comptes Elektor. Il y avait là un os. Problème résolu grâce à l'identifiant unique Elektor-ID que vous demandez le menu *Identification*. Une fois identifié, vous avez accès à tous les services auxquels vous avez droit. Le menu *Mes projets LABS* de la page associée à votre compte affiche en particulier la liste des projets que vous avez créés et/ou que vous suivez. De là vous pouvez ouvrir un projet, que ce soit pour le voir ou le modifier. Ce qui nous amène à l'autre grand changement.

ELEKTOR-ID

- DÉTAILS DE MON COMPTE
- MES COORDONNÉES
- MES ABONNEMENTS
- MES PROJETS LABS**
- MES PRÉFÉRENCES NEWSLETTER
- DÉCONNEXION

MES PROJETS LABS

Nom du projet	Etat	Rôle	Commentaires	Suiveurs	Actions
Elektor mbed interface...	En cours	Chef de projet	0	2	Ouvrir Modifier
Elektorino Uno R4 [150790]	En cours	Chef de projet	0	13	Ouvrir Modifier
Analog circuit design with...	Terminé	Chef de projet	0	2	Ouvrir Modifier
Webinar 22/10: IoT Security ...	Terminé	Chef de projet	0	1	Ouvrir Modifier
Elektorino Uno R4 [150790]	Terminé	Chef de projet	0	2	Ouvrir Modifier

Modification d'un projet

Auparavant, chaque utilisateur modifiait son projet de façon différente, et un « suiveur » avait parfois du mal à voir si quelque chose avait été modifié, et quoi. Pour faciliter ce suivi, la mise à jour d'un projet doit maintenant s'accompagner d'un commentaire. La page principale d'un projet (page *Créer un projet*) ne peut être modifiée qu'en mode brouillon et n'est plus modifiable une fois le projet publié. Lorsque le propriétaire d'un projet ajoute des commentaires, ceux-ci sont placés par ordre chronologique, directement sous la description du projet et au-dessus des commentaires des utilisateurs et suiveurs.

Création d'un nouveau projet

Pour créer un projet, cliquez sur le bouton rouge *Créer un projet* (en haut de la page d'accueil d'Elektor.Labs). Entrez ensuite un titre (explicite !), un commentaire et une description. Le commentaire est votre « bande-annonce », celle qui apparaîtra sur les pages montrant une vue d'ensemble des projets, donc soyez clair et concis (pas plus de 150 caractères). L'ajout d'une photo du projet est fortement recommandé, mais si vous n'en avez pas vous pourrez l'ajouter plus tard. Le bouton *Documents* permet de joindre des fichiers, photos, codes, etc. Parfois le type de certaines pièces jointes est prescrit afin de permettre une présentation appropriée sur le site.

Brouillons

C'est encore une nouveauté. Tant qu'ils sont en brouillon, les projets ne sont visibles que par vous et peuvent être modifiés sans restriction et même effacés. Le mode brouillon est utile si vous souhaitez présenter un projet abouti en un seul « post ». Relisez et polissez votre description jusqu'à en être satisfait, puis publiez-la.

Votre projet n'est pour l'instant qu'un brouillon et il n'est pas visible pour les autres utilisateurs. Vous pouvez encore le modifier.

Publier

Modifier

Attention, il n'y a pas de retour en arrière possible ; un projet publié est immédiatement visible du monde entier.

À la recherche du projet perdu

La richesse d'Elektor.Labs est formidable, mais le site perdrait tout son intérêt sans une bonne boussole pour s'y diriger. Nous avons donc ajouté plusieurs outils et filtres de recherche. Un mot-clé bien choisi, complété par des *tags* et plusieurs options de tri, vous permettra de trouver rapidement ce que vous cherchez. ▶

(150776 – version française : Hervé Moreau)

ELEKTOR-ID

- DÉTAILS DE MON COMPTE
- MES COORDONNÉES
- MES ABONNEMENTS
- MES PROJETS LABS
- MES PRÉFÉRENCES NEWSLETTER
- DÉCONNEXION

MODIFIER PROJET

Ce projet est public avec comme état En cours, c'est pourquoi certains champs ne peuvent plus être modifiés. Vous pouvez toujours [rajouter du texte >>](#).

S'il est vraiment important qu'un champ fermé soit modifié, p.ex. pour corriger une faute, veuillez contacter labs@elektor.com.

Titre	Elektorino Uno R4 [150790]
Photo du projet	 Ajouter des photos du projet Fichier JPEG, PNG ou GIF (max. 5 Mo par fichier). Dimensions minimales 400x300 pixels, format d'image 4:3.
Résumé	<p><p>This board is an evolution of the Arduino Uno R3 board. Identical form factor as the Uno but based on the ATmega328PB-AU, this board has more features than the Uno. Because it is backwards compatible you can think of it as revision 4 of the Uno. which is why we called it the R4.</p></p>
Description	<p>Gardez la description du projet succincte ("argumentaire éclair") et écrivez-la en anglais</p> <p>This board is an evolution of the Arduino Uno R3 board. Identical form factor as the Uno but based on the ATmega328PB-AU. All this board has more features than the Uno.</p>

bienvenue dans la section **CRÉER**

Clemens Valens, labo d'Elektor



redonner ses bits de noblesse à la programmation

Partout dans le monde, de nombreux secteurs, mais plus spécialement celui de l'informatique, déplorent une pénurie d'ingénieurs. Le champ d'application des ordinateurs et microcontrôleurs ne cesse de s'étendre et le nombre de lignes de code à écrire devient colossal. Si la programmation reste pour l'instant l'apanage des humains, peu d'entre eux sont disposés à l'apprendre, et encore moins à en faire un métier.

Pour pallier ce problème, gouvernements et entreprises tentent de créer des cours et produits qui éveilleraient le plus tôt possible l'intérêt des étudiants pour la programmation. Nombre de projets pédagogiques ont été proposés, même à destination des tout-petits, mais sans résultat probant. Les raisons de cet échec sont nombreuses, mais la première est que les bases de ces cours n'apprennent aux élèves rien de ce que la vie ne leur enseigne déjà : les boucles et conditions sont des structures que nous rencontrons quotidiennement.

Si (if) il n'y a plus de lait, va (goto) en acheter.

Tant que (while) ce n'est pas (not) le week-end, va (goto) travailler. Etc.

Chaque jour des millions de gens remplissent des grilles de sudoku et de mots croisés, et prouvent ainsi qu'ils ont assez de patience et d'aptitudes intellectuelles pour devenir d'excellents programmeurs. Mais les mettre au défi de résoudre un problème avec un langage informatique est impossible. Ça ne les intéresse tout simplement pas.

Rendre la programmation accessible à tous est une chose, la rendre attractive en est une autre.

la carte micro:bit

Même la BBC s'évertue à rendre la programmation attrayante par le biais d'une initiative consistant à distribuer une carte appelée *micro:bit* à chaque écolier de 12 ans du Royaume-Uni. Bien que conçues pour être *fun* et faciles à utiliser, au moins 99,99 % d'entre elles finiront probablement à la poubelle. Elles ne manquent pourtant pas d'intérêt, avec leur microcontrôleur à 32 bits, leurs matrice de LED, module Bluetooth, accéléromètre et magnétomètre, sans oublier les différents langages compatibles. S'il n'y a pas de *british* poubelles près de chez vous, essayez Ebay. Sur les bancs d'Elektor, nous planchons déjà sur des cartes d'extensions pour *micro:bit*. ▶



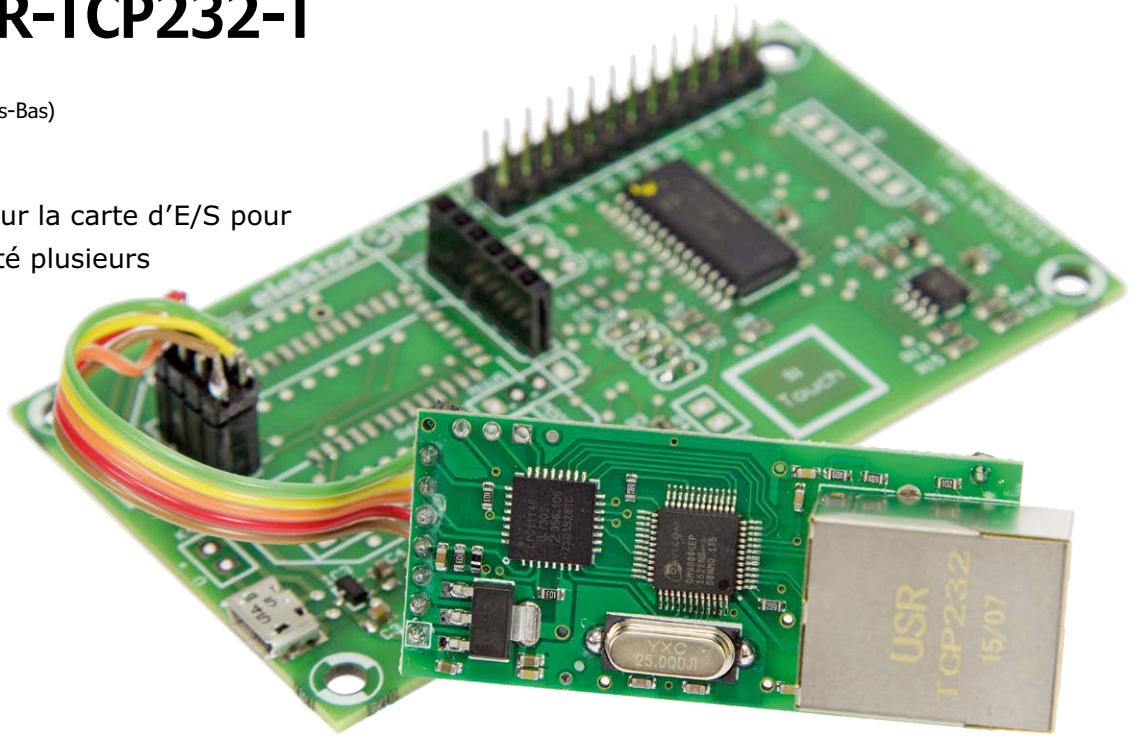
(150774 - version française : Hervé Moreau)

Près d'un million de cartes *micro:bit* ont été fabriquées.

Ethernet sur la carte d'E/S pour Android le module USR-TCP232-T

Elbert Jan van Veldhuizen (Pays-Bas)

Dans les différents articles sur la carte d'E/S pour Android, nous avons présenté plusieurs modules de communication qui s'y adaptent : Wi-Fi, Bluetooth ou USB. Il manque encore un module pour communiquer avec l'une des normes les plus importantes : Ethernet. Une lacune à présent comblée.



Le module USR-TCP232-T [1] est l'un des moins chers pour traduire les données d'une connexion Ethernet en un flux serial que la carte d'E/S pour Android comprend. L'intérêt de la liaison Ethernet, c'est de ne pas devoir passer par les ondes radio, donc d'être exempte de parasites.

Le module USR-TCP232-T connaît quatre modes de fonctionnement [2]. Il peut être serveur ou client. En mode serveur, c'est l'appli qui doit établir la liaison avec le module. En mode client, c'est le contraire, le module est l'initiateur de la liaison avec l'appli. Pour la carte d'E/S, nous devons placer le module en serveur : le logiciel standard pour les applis sur ordiphone ou tablette Android établit toujours la liaison lui-même.

En outre, tant en mode serveur que client, il faut choisir entre une liaison UDP ou TCP. Avec une UDP, les données sont envoyées au petit bonheur la chance : on ne vérifie pas si elles sont bien arrivées. En TCP, on vérifie même si elles sont parvenues dans le bon ordre et, au besoin, on les répète. Pour la carte d'E/S Android, le logiciel standard se sert du TCP, donc avec le mode serveur TCP du module USR-TCP232-T.

Ce module n'accepte pas le DHCP. En DHCP, le routeur partage les adresses IP entre les appareils dans le réseau IP, comme les PC ou les téléphones mobiles. Avec le module USR-TCP232-T, nous ne pouvons donner qu'une adresse IP fixe, statique, qui doit se situer dans le domaine IP du réseau (privé) auquel le module est couplé.

Il y a deux choses à faire pour mettre en relation un module USR-TCP232-T et la carte d'E/S Android [2]. D'abord, raccor-

der physiquement la carte d'E/S Android au module via un connecteur, puis configurer la liaison série et l'adresse IP du module USR-TCP232-T.

Liaison avec la carte d'E/S Android

Il n'y a au départ aucun connecteur prévu pour un module USR-TCP232-T sur la carte d'E/S. En fait, on dispose des connexions prévues pour les autres modules : la tension d'alimentation (3,3 V et masse) et les données sérielles, TX et RX. Mais le module USR-TCP232-T a en plus une broche de configuration, dont nous n'avons à nous occuper que s'il faut régler le module par l'intermédiaire du port série. Comme nous allons le régler par le réseau Ethernet, cette broche ne nous sert à rien.

Nous l'avons déjà vu, nous pouvons utiliser tous les connecteurs de la carte. J'ai pris celui de l'ESP8266 (MOD4). On peut réaliser un adaptateur de deux façons : câble plat ou morceau de plaque perforée à double face sur lequel nous souderons un connecteur pour le module USR-TCP232-T et le support monté sur le MOD4. La **figure 1** donne le schéma de câblage. En outre, il y a deux broches libres sur le connecteur Ethernet du module USR-TCP232-T qui ne sont reliées à aucun composant du module ; elles peuvent augmenter la stabilité mécanique de l'ensemble.

Configuration du module USR-TCP232-T

Pour le réglage de l'USR-TCP232-T, on peut télécharger un programme pour Windows depuis le site du fabricant [4]. Il le

régle au moyen d'un paquet UDP spécial à envoyer au module avec tous les paramètres [3].

Ci-dessous, une liste décrit point par point comment régler le module USR-TCP232-T (cf. aussi la **figure 2**). Vous devez d'abord déterminer quelle adresse utiliser dans votre réseau et le masque de sous-réseau. Sur un PC sous Windows, ouvrez une invite de commande DOS en tapant « cmd » dans le menu démarrer et saisissez « ipconfig ». Vous y verrez alors l'adresse du PC et le masque de sous-réseau. Choisissez une adresse IP assez haute dans le sous-réseau, par exemple si le masque est 255.255.255.0, vous pouvez donner comme dernier nombre de l'adresse IP .240. Elle n'est pas utilisée, à moins qu'il y ait des centaines appareils reliés à ce sous-réseau. Dès que le routeur constate que cette adresse est en service, il s'absent de la donner à un autre appareil. On peut aussi paramétriser le serveur DHCP dans le routeur pour qu'il n'attribue pas dynamiquement toutes les adresses. C'est ce que j'ai fait de manière à ce que le serveur ne distribue que les adresses entre .10 et .100. On peut alors fixer d'autres adresses statiques dans les appareils périphériques. On peut choisir librement le numéro de port. Des valeurs typiques sont 23 (port pour Telnet), 2000 (port pour les modules RN-171) ou 20108 pour celui du module USR-TCP232-T.

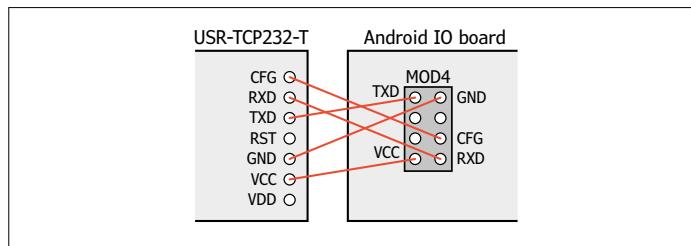


Figure 1. Schéma de câblage des deux connecteurs du câble de liaison entre le module USR-TCP232-T et la carte d'E/S pour Android.

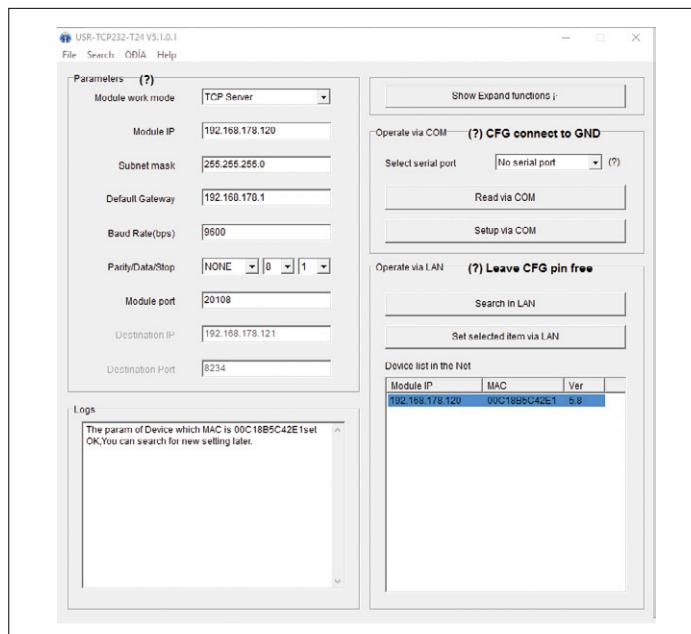
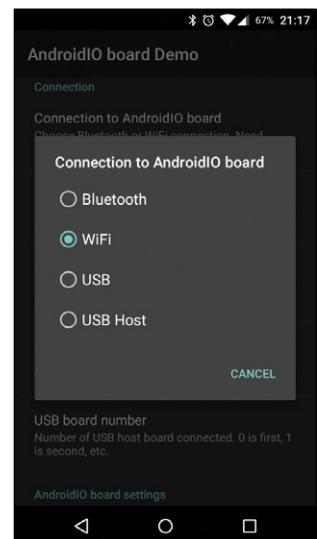


Figure 2. L'écran de réglage du programme USR-TCP232-T24 V5.1.0.1.exe pour configurer le module.

Figure 3. Dans l'appli de démonstration *Android IO board Demo*, il faut choisir la configuration WiFi dans *Connection to Android IO board* parce que le module Ethernet (réseau IP) est relié au connecteur MOD4 (WLAN).



Dans l'exemple qui suit, le masque de sous-réseau est 255.255.255.0 et le module reçoit l'adresse IP 192.168.178.1. L'adresse MAC est différente pour chaque module, donc celle qui figure ici n'est qu'un exemple. Suivez les étapes :

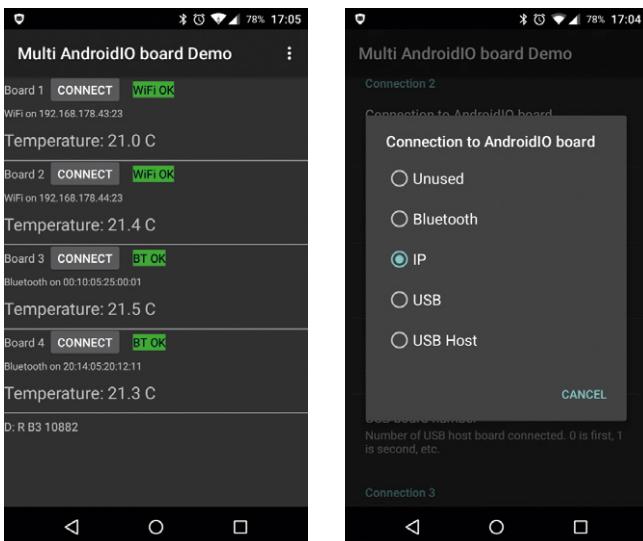
- Branchez l'USR-TCP232-T par câble Ethernet au réseau auquel le PC est aussi relié.
- Mettez le module sous tension. N'utilisez pas la broche de configuration sur le module (ne la reliez pas au 3,3 V).
- Lancez le programme de configuration (USR-TCP232-T24 V5.1.0.1.exe).
- Cliquez sur « Search in LAN ». Le programme découvrira tout seul le module sur le réseau.
- Le module apparaît dans la « Device list in the net ». Sélectionnez le module en cliquant dessus.
- Choisissez les paramètres suivants :
 - Module work mode : TCP server
 - Module IP : 192.168.178.120
 - Subnet mask : 255.255.255.0
 - Default gateway : 192.168.178.1
 - Baud Rate (bit/s) : 9600
 - Parity/Data/Stop : NONE, 8, 1
 - Module port : 20108
 - « Destination IP » et « Destination port » sont en gris, on ne peut pas les remplir.
- Cliquez « Set selected item via LAN »
- Dans le champ « Logs » apparaît : « The param of Device which MAC is 00C18B5C42E1 set OK, You can search for new setting later. »
- Le module est prêt à l'usage.

Réglages dans l'appli

Pour atteindre le module USR-TCP232-T à partir de l'appli sur le téléphone Android (par ex. l'appli de démonstration *Android I/O Board Demo*), il faut régler sur Wi-Fi la « Connection to Android I/O-board » (**figure 3**) et pour l'adresse et le port Wi-Fi l'adresse IP et le port du module USR-TCP232-T. Comme le module Ethernet est relié à la platine par MOD4 (WLAN), « WiFi » est en réalité le « réseau IP ».

Commander plusieurs cartes d'E/S Android en même temps

Il est possible de piloter plusieurs cartes d'E/S Android à partir d'une seule appli. On peut même mélanger différentes techniques de communication IP (WiFi et Ethernet), Bluetooth et



USB (cf. **figure 4**). Il n'y a d'ailleurs aucune limite au nombre de cartes d'E/S Android ! Mais surtout, les réseaux IP permettent de couvrir de grandes distances entre les cartes d'E/S, et pourtant, de les piloter et les interroger avec une seule appli. Quand on commande plusieurs cartes d'E/S, il faut créer pour chacune d'elles un objet avec une classe de fonction d'E/S. On peut aussi former un tableau (*array*) avec ces objets si cela simplifie le code. Par exemple :

```
IOBoardFunctions[] IOBoard = new IOBoardFunctions[4];
for (int i=0; i<4; i++) { IOBoard[i] = new
    IOBoardFunctions(); }
```

Le choix de l'objet détermine quelle carte d'E/S servira à initialiser et établir la connexion pour la transmission de données. Un exemple :

```
IOBoard[2].initiate(2, hnd, «192.168.178.120», 23, 1,
    this);
```

Ceci fait en sorte que l'objet *IOBoard[2]* soit couplé à la carte d'E/S avec l'adresse IP et le numéro de port indiqués.

Pour le renvoi de toutes les données aux différentes cartes d'E/S, nous pouvons utiliser le même gestionnaire d'événement (*handler*) pour traiter toutes les données. Dans le deuxième exemple ci-dessus, le premier paramètre fixé par *.initiate* servira de numéro de canal lors de tous les transferts dans le

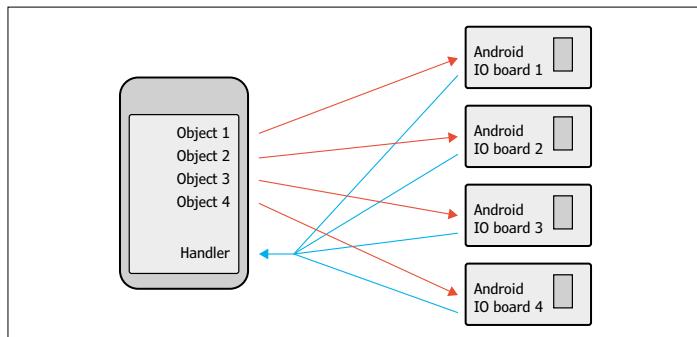


Figure 5. Toutes les données en provenance des cartes d'E/S pour Android sont traitées dans un seul et même gestionnaire d'événement.

Figure 4. Dans l'appli *Multi AndroidIO board Demo*, on trouve quatre cartes différentes pour les températures. Pour chaque carte, on peut choisir un mode de liaison différent.

champ *.arg1* de l'objet *message* [5]. C'est ainsi que l'appli saura exactement de quelle carte d'E/S proviennent les données. La **figure 5** le représente graphiquement.

Une appli de démonstration, code source inclus, qui relève les capteurs de température de quatre cartes d'E/S en même temps est jointe à cet article. Pour chaque carte d'E/S, on choisit dans un menu le canal de communication auquel la carte est reliée et l'appli lira la valeur du capteur une fois par seconde. Le code source explique comment commander plusieurs cartes d'E/S Android en cours de fonctionnement. Ce code et le fichier apk sont à télécharger sur [6].

(150804 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] Page du module *USR-TCP232-T* : www.usriot.com/Product/20
- [2] *Carte d'E/S pour Android*, Elektor 09/2015 : www.elektormagazine.fr/150057
- [3] Manuel du module *USR-TCP232-T* : www.usriot.com/download/T24//USR-TCP232-T24-EN%20V3.2.5.pdf
- [4] Logiciel de configuration : <http://www.usriot.com/download/software/USR-TCP232-T24V5.1.1.20.rar>
- [5] Description de la classe *message* : <http://developer.android.com/reference/android/os/Message.html>
- [6] Page du projet : www.elektormagazine.fr/150804

Nouvelle version des fonctions de la carte d'E/S

Dans l'appli de démonstration se trouve une nouvelle version Android d'*IOBoardFunctions* pour la carte d'E/S, la classe avec toutes les bibliothèques pour cette carte. Cette version comporte quelques améliorations.

Toutes les *IOBoardFunctions* se trouvent désormais dans un seul fichier au lieu de cinq, ce qui simplifie l'emploi de ces fonctions dans l'élaboration de son projet.

On peut aussi changer d'adresse IP sans devoir quitter l'appli. On peut même changer de moyen de communication, par ex. de réseau IP vers USB ou Bluetooth.

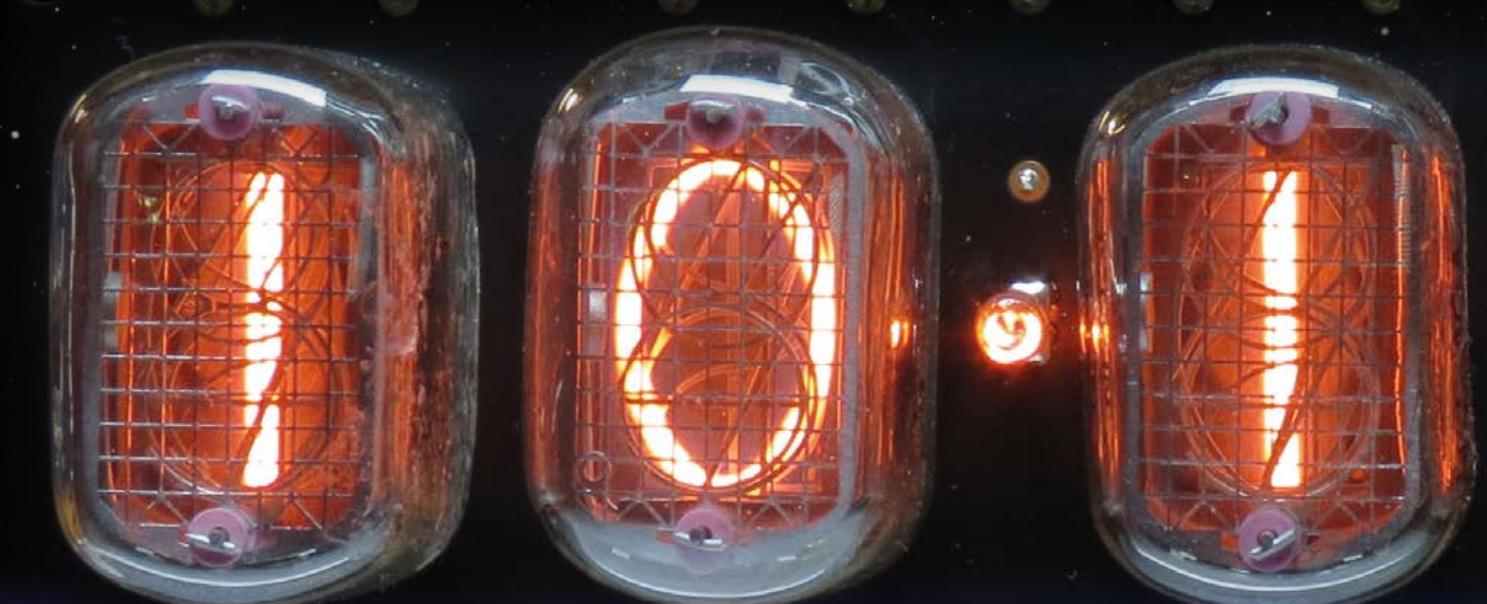
Le nombre de fonctions différentes *.initiate* est rationalisé, il n'y a plus qu'une seule fonction pour les applis qui offrent toutes les techniques de communication et en outre, une par moyen de communication (Bluetooth, IP, USB périphérique et USB hôte).

Il y a en tête du fichier *IOBoardFunctions.java* une explication détaillée à ce sujet.

précision à la seconde près grâce au satellite

Willem Tak (Pays-Bas)

nouvelle horloge Nixie pilotée par GPS





On garde les mêmes et on recommence, mais avec une précision accrue. *L'Horloge Nixie à récepteur GPS*, dite « suisse », parue en octobre 2014 a, depuis, accouché d'une fille encore plus douée qui ne craint pas de montrer la vérité de la seconde, et toujours dans la chaleur du tube.

Caractéristiques

- Horloge radiopilotée par GPS
 - Précise à la seconde près
 - Horloge interne pour suppléer au signal GPS évanoui
 - Passage automatique à l'heure d'été/hiver

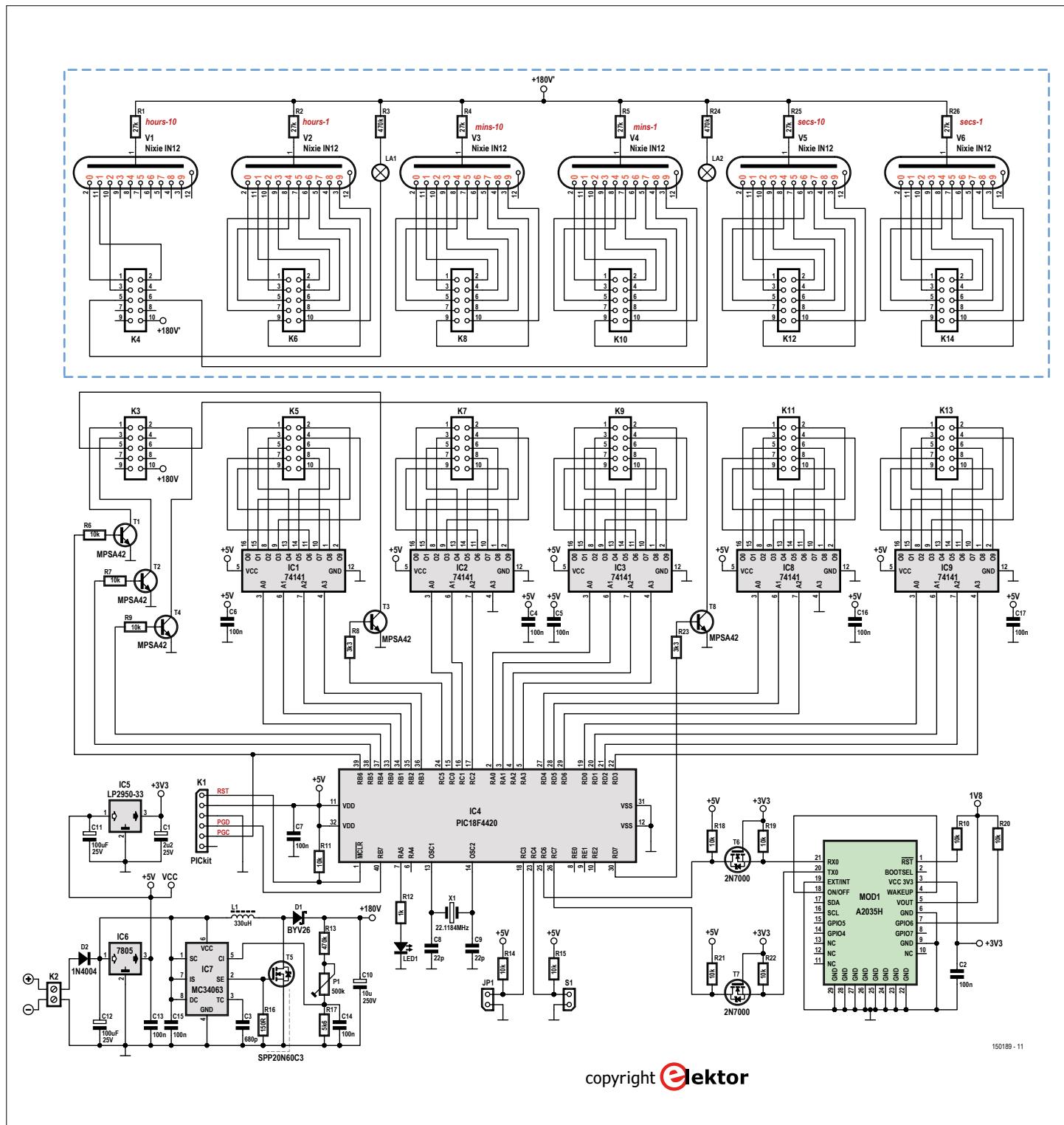


Figure 1. L'horloge Nixie « suisse » s'est enrichie de deux tubes supplémentaires et d'un contrôleur avec plus d'E/S pour les piloter.

Le magazine Elektor d'octobre 2014 vous a présenté mon horloge à Nixie qui tire le temps réel d'un module GPS A2035H (de Maestro) pour en obtenir une grande précision. Et pourtant, sur quatre tubes, il n'était pas possible d'égrainer les secondes. D'autant que, malgré leur présence dans le logiciel (version 2.0 comprise), le matériel ne permettait pas de piloter suffisamment de lignes d'E/S pour gérer six tubes.

Davantage de broches

Il aurait été possible de s'en sortir avec des extensions I²C par ex., mais le circuit en serait devenu trop compliqué à mon goût. J'ai choisi de repartir d'un PIC à 40 broches, le 18F4420. Bon marché, il est largement disponible.

En principe, tous les ports sont restés identiques, seuls les numéros des broches changent en raison de l'augmentation de leur nombre. Le schéma de la nouvelle version à la **figure 1** montre le grand frère du PIC18F2480 dans un environnement technique éprouvé, tandis que le reste du schéma n'a subi que peu de modifications, en dehors de la commande des deux tubes Nixie supplémentaires, confiée au port D. Sept de ses lignes s'occupent des décodeurs de secondes. Le huitième nouveau bit servira à attaquer une petite ampoule au néon supplémentaire pour afficher le point sexagésimal entre les minutes et les secondes.

Autre amélioration

Outre la question de l'affichage des secondes, de nombreuses remarques sont parvenues à propos du réglage du fuseau horaire (UTC+1 pour l'Europe centrale). Cela ne pouvait être modifié que dans le code source pour le microcontrôleur, ce qui – il est vrai – n'est pas très pratique. Dans la nouvelle version de l'horloge Nixie, il est désormais possible de choisir la zone horaire après une réinitialisation (RàZ) par l'interrupteur S1.

Le schéma

Parcourons sommairement le schéma. Le PIC18F4420 collecte les données du module GPS et commande les tubes Nixie. Sa fréquence d'horloge de 22,1184 MHz est un multiple convenable du débit binaire de 4 800 bauds du module GPS. Le PIC peut aussi allumer un témoin à LED (LED1) qui clignote après une RàZ et marque chaque réception d'une chaîne

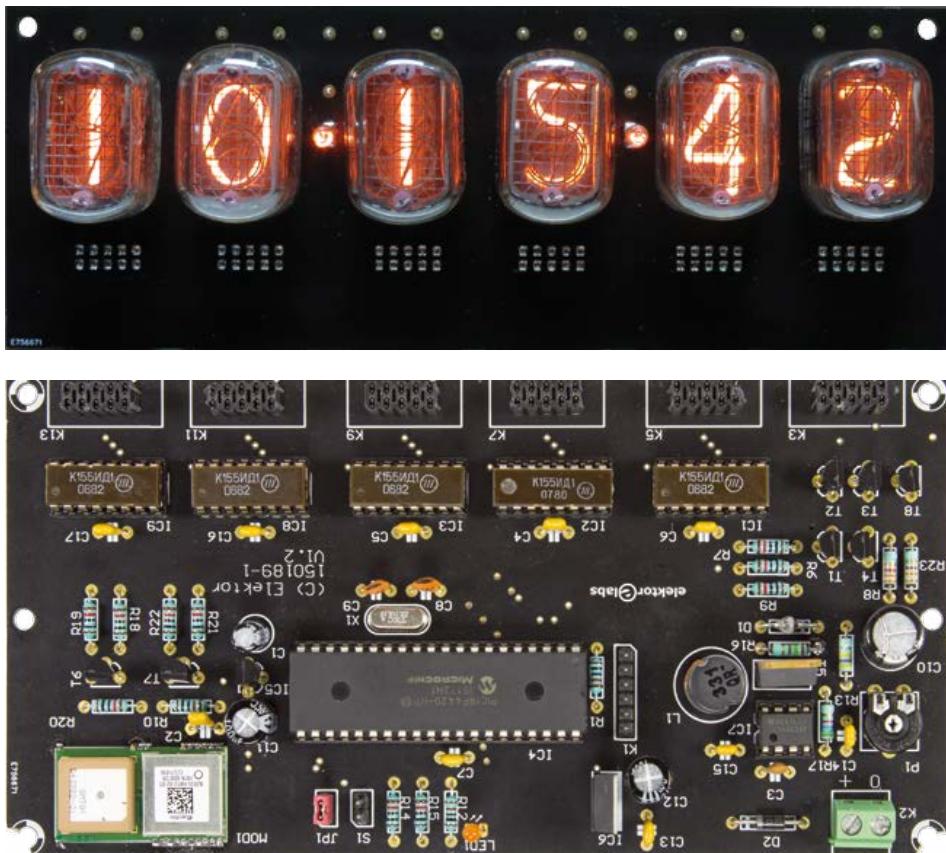
GPS correcte. Si ce témoin reste allumé, c'est qu'il y a perte de contact.

On peut programmer le PIC en circuit à l'aide d'un PICkit 2 ou PICkit 3 (cf. encadré *Vicissitudes du programmeur*). Le cavalier JP1 décide de l'affichage ou non du zéro non significatif (présent : pas de zéro ; absent : zéro inscrit).

Le module GPS MOD1 (A2035H) inclut toute l'électronique et une antenne pour recevoir les signaux GPS. Comme le module GPS travaille sous 3,3 V alors qu'il faut 5 V pour le PIC, j'ai intercalé dans les lignes de données deux changeurs de niveau avec les FET T6 et T7, et les résistances R18 + R19 ainsi que R21 + R22. Comme pilotes des tubes Nixie, j'avais

je les ai remplacés par des IN-14 qui sont en plus compatibles avec les autres tubes de forme ovale comme le ZM1100 et le CD56. Ce nouveau type est lisible par le sommet de l'ampoule. Il a donc fallu séparer de la carte mère la partie affichage, qui peut dès lors servir directement de face avant. Mais il est aussi plus facile de construire un affichage personnalisé avec de la plaque perforée ou d'utiliser des tubes avec un autre brochage. Six embases à deux rangées de picots assurent la fixation de l'affichage sur la carte mère.

On peut alimenter le circuit sur un adaptateur secteur de 9 à 15 V_{CC}. La haute tension pour les tubes Nixie provient



coutume d'utiliser des puces 74141, mais depuis lors, elles sont devenues rares. La solution de rechange est le circuit russe K155ID1. Nul besoin de cette puce pour attaquer V1, puisque du chiffre de dizaines d'heures, on n'use que le 0, le 1 et le 2 : un triplet de transistors suffit. Pour les séparateurs entre heures, minutes et secondes, deux transistors alimentent les loupiotes au néon.

Les tubes Nixie de l'horloge précédente sont aussi devenus rares et donc chers,

d'IC7, un convertisseur survolteur du type MC34063. Une diode rapide D1 et la bobine L1 produisent des pics de surtension qui sont stockés dans le condensateur électrolytique haute tension C10. Si jamais la rétroaction par la broche 5 d'IC7 est interrompue, la tension risque de s'élever inconsidérément jusqu'à faire exploser le condensateur électrolytique. Vérifiez donc soigneusement cette liaison avant toute mise en service.

La tension d'alimentation de 180 V atteint chaque anode des Nixie à travers R1, R2,

Liste des composants

Résistances :

(5%, 1/4 W)
 R1, R2, R4, R5, R25, R26 = 27 kΩ
 R6, R7, R9, R10, R11, R14, R15, R18, R19, R20, R21, R22 = 10 kΩ
 R3, R13, R24 = 470 kΩ
 R8, R23 = 3,3 kΩ
 R12 = 1 kΩ
 R16 = 150 Ω
 R17 = 5,6 kΩ
 P1 = 500 kΩ potentiomètre d'ajust.

Condensateurs :

C1 = 2,2 µF, 50 V au pas de 2 mm
 C2, C4, C5, C6, C7, C13 à C17 = 100 nF, 50 V, 20%
 C3 = 680 pF, 100 V Y5P, au pas de 2,5 mm
 C8, C9 = 22 pF, 50 V C0G/NP0, au pas de 2,5 mm
 C10 = 10 µF, 250 V 20 %, radial, au pas de 5 mm

C11, C12 = 100 µF, 25 V au pas de 3,5 mm

Inductance :

L1 = 330 µH, 900 mA, radial 10 x 15 mm

Semi-conducteurs :

D1 = BYV26
 D2 = 1N4004
 LED1 = LED à tête plate, rouge, 3 mm
 T1, T2, T3, T4, T8 = MPSA42
 T5 = SPP20N60C3
 T6, T7 = 2N7000
 IC1, IC2, IC3, IC8, IC9 = K155ID1 (74141)
 IC4 = PIC18F4420, programmé, réf. 150189-41 (www.elektor.fr)
 IC5 = LP2950
 IC6 = 7805
 IC7 = MC34063

Divers :

JP1 = embase à 2 picots

K1 = embase SIL à 6 picots au pas de 2,54 mm

K2 = bornier à 2 vis au pas de 5,08 mm

K3, K5, K7, K9, K11, K13 = embase verticale à 2x5 picots

K4, K6, K8, K10, K12, K14 = embase à 2x5 picots coudés

LA1, LA2 = ampoule néon à fils T1.1/4

MOD1 = module GPS A2035H

avec antenne interne

S1 = interrupteur à levier, SPDT, 20 V 0,4 VA

V1 à V6 = tube Nixie IN-12

X1 = quartz 22,1184 MHz

cavalier pour JP1

circuit imprimé, réf. 150189-1

(www.elektor.fr)

connecteur CC pour montage en boîtier :

PC-010 (www.tme.eu/en/details/pc-010/dc-power-connectors)

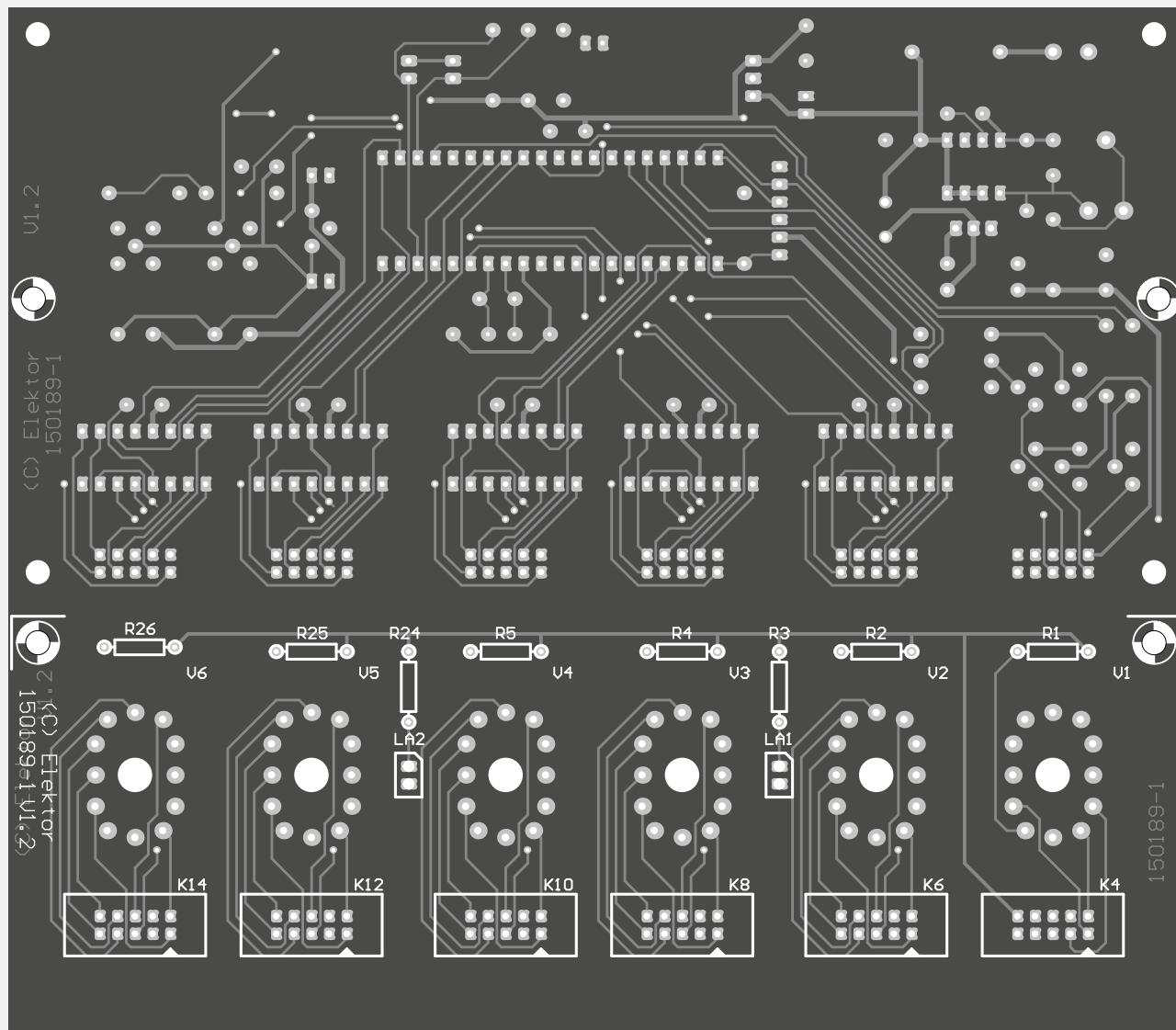


Figure 2. Pour mettre en valeur la lumière chaude des tubes Nixie, nous avons choisi un circuit imprimé de couleur sombre pour accentuer le contraste.

R4, R5, R25 et R26. Si vous utilisez un autre modèle de tube, il faudra adapter leur valeur au courant optimal. L'alimentation du reste de l'électronique est assurée par deux puces de stabilisation, un 7805 (IC6) pour le PIC et les circuits pilotes et un LP2950-33 qui fournit le 3,3 V au module GPS.

Récupération du temps GPS

Le logiciel précédent ne demandait que peu de modifications, exception faite de la sélection du fuseau horaire et de la production du code hexadécimal pour la nouvelle cible, le PIC18F4420. N'empêche, pour ne rien laisser dans l'ombre, nous allons revisiter l'ensemble du logiciel. Comme d'habitude, le code source et l'hexadécimal sont disponibles sur le site du magazine [1]. Si vous ne souhaitez pas le programmer vous-même, le PIC programmé [2] est aussi disponible dans l'e-choppe.

Le système GPS se base sur le **Temps Universel Coordonné, UTC** (*Coordinated Universal Time*) [3], celui des horloges atomiques embarquées dans les satellites. La référence à GMT est maintenant anachronique.

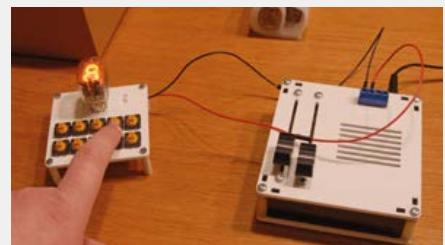
Voici comment se déroule l'acquisition des données GPS. Le module extrait la trame *GPRMC* (Enable RMC) [4]. L'initialisation prévoit que seule la chaîne de caractères *UTC* soit envoyée une fois par seconde, les autres sont ignorées (Disable).

Le PIC scrute sans arrêt l'arrivée de données dans le tampon RS232. Le chien de garde intégré le surveille et si rien n'est par-

Produits disponibles

Pour ce projet, l'e-choppe vous propose un kit, un boîtier, un circuit imprimé et un contrôleur tout programmé.

Le kit contient aussi les tubes Nixie testés individuellement à la main sur un appareil fait expressément (cf. photo).



venu une minute après le lancement, il déclenche une RàZ du PIC. Le témoin LED1 est resté allumé pendant cette minute. Dès réception d'une chaîne valide, la ligne RS232 reste sous surveillance, mais différemment. Le témoin continue aussi à indiquer une éventuelle coupure. Quand des données sont introduites, le PIC vérifie l'authenticité de la chaîne avant de transférer les données jusqu'à ce qu'il trouve un <CR> (ASCII 13). Il calcule alors la somme de contrôle et la compare à celle transmise. Si elles sont égales, il déclare valide la donnée.

Reste à calculer le décalage pour donner la bonne heure, été comme hiver. Il a recours à une table, qui court jusqu'en 2020, pour

déterminer laquelle est en vigueur. Pour finir, on convertit le temps en notation hexadécimale avec des variables séparées pour les heures, minutes et secondes. Il y a encore dans le logiciel une conversion d'ASCII en BCD pour garder la compatibilité avec d'anciennes versions.

En principe, nous avons maintenant le temps GPS correct, mais il subsiste un souci avec les secondes. La transmission de la chaîne GPS est sujette aux conditions locales de réception, qui changent d'un endroit à l'autre, ce qui peut occasionner des ratés. Tant qu'on se contente d'afficher les heures et les minutes, on ne remarque rien, mais avec les secondes, mieux vaut ne pas afficher d'erreur. Pour l'éviter, j'ai décidé de programmer une horloge en temps réel avec un temporisateur interne. On appelle ainsi exactement toutes les 50 ms une routine d'in-

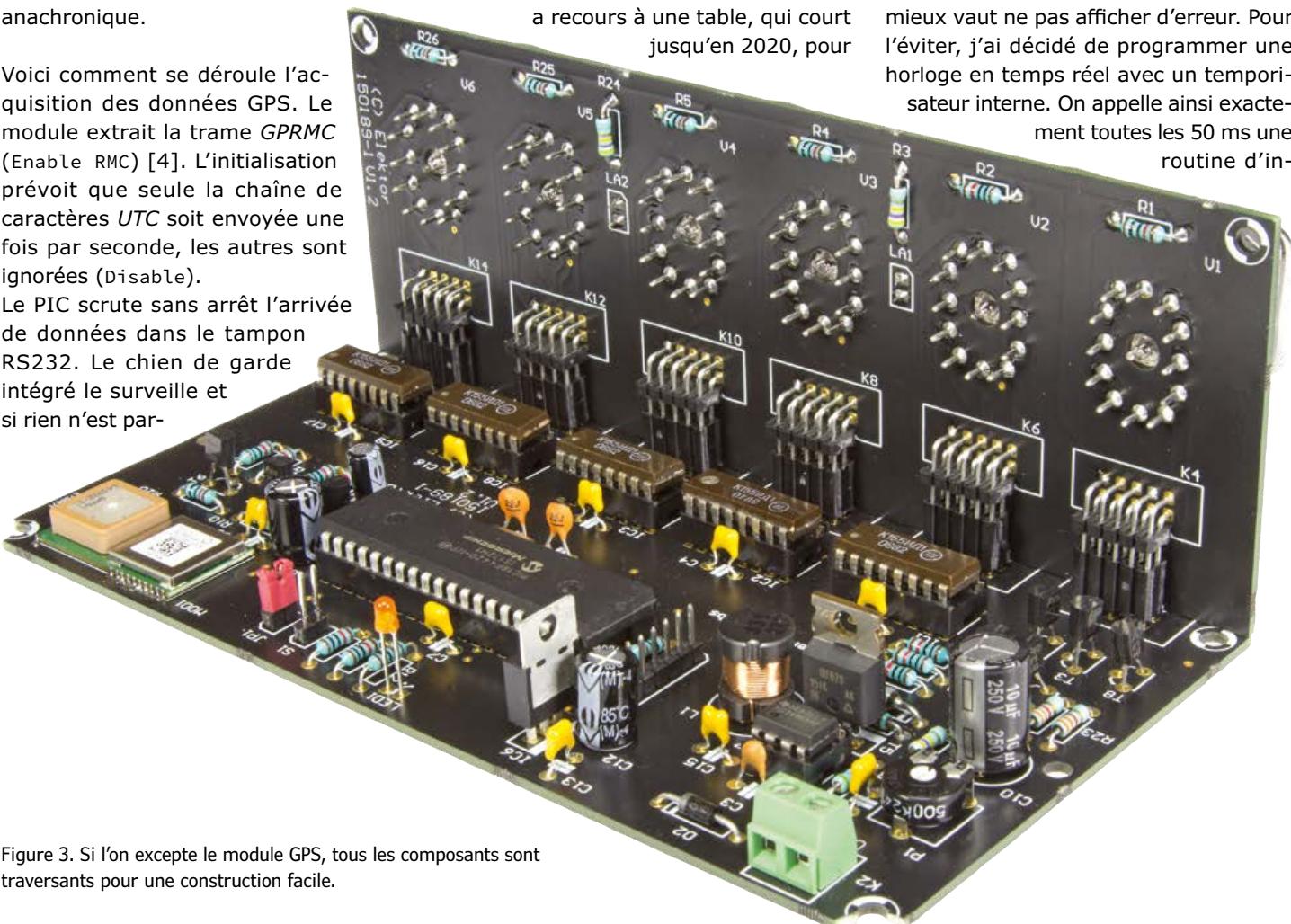


Figure 3. Si l'on excepte le module GPS, tous les composants sont traversants pour une construction facile.

Vicissitudes du programmeur

Selon Microchip, le PICkit 2 et le PICkit 3 sont destinés à la programmation du PIC18F4420. Lors de la programmation de notre prototype, le PICkit 3 a impeccamment fonctionné. Mais avec le PICkit 2, impossible d'alimenter le contrôleur sur le programmeur. Ce n'est pas insurmontable, rien n'empêche d'utiliser l'alimentation du circuit, mais quand même, pourquoi pas ?

Pour faire court, quand le circuit est alimenté de l'extérieur, le PICkit 2 fonctionne bien. Et même, quand il s'est mis en marche, vous pouvez débrancher l'alimentation externe. Il semble donc que le logiciel dans le PICkit 2 soit victime d'un bogue. Microchip ne prend plus en charge ce programmeur et, à vrai dire, nous n'avons pas ratissé la Toile à la recherche d'une solution.

Encore une petite astuce : il n'est pas possible de brancher le programmeur directement sur le connecteur ISP : le régulateur 5 V et le condensateur réservoir l'encombrent. Un prolongateur SIL à six contacts et une embase à picots coudés, soudés dessus, vous feront un adaptateur parfait entre l'embase mâle pour ISP et le programmeur, comme à la **figure 4**.



Figure 4. Pour brancher le programmeur, mieux vaut fabriquer un accessoire avec une barrette à picots coudés et un prolongateur de bus SIL.

Tableau 1. Réglage du fuseau horaire

UTC = 0	UTC+0
UTC = 1	UTC+1 (valeur standard)
UTC = 2	UTC+2
UTC = 3	UTC+3
UTC = 4	UTC+4
UTC = 5	UTC+5
UTC = 6	UTC+6
UTC = 7	UTC+7
UTC = 8	UTC+8
UTC = 9	UTC+9
UTC = 10	UTC+10
UTC = 11	UTC+11
UTC = 12	UTC+12
UTC = 13	UTC-1
UTC = 14	UTC-2
UTC = 15	UTC-3
UTC = 16	UTC-4
UTC = 17	UTC-5
UTC = 18	UTC-6

UTC = temps universel coordonné

UTC = 19	UTC-7
UTC = 20	UTC-8
UTC = 21	UTC-9
UTC = 22	UTC-10
UTC = 23	UTC-11
UTC = 24	UTC-12
UTC = 25	UTC+3.30
UTC = 26	UTC+4.30
UTC = 27	UTC+5.30
UTC = 28	UTC+5.45
UTC = 29	UTC+6.30
UTC = 30	UTC+8.45
UTC = 31	UTC+9.30
UTC = 32	UTC+10.30
UTC = 33	UTC+11.30
UTC = 34	UTC+12.45
UTC = 35	UTC-3.30
UTC = 36	UTC-4.30
UTC = 37	UTC-9.30

terruption. Comme l'écart entre les deux temps doit rester minimal, le réglage doit être réalisé avec précision par quartz. Il coexiste dans le logiciel l'heure produite par le PIC, PIC_HR, et celle de la chaîne GPS. On retrouve l'impulsion de 50 ms sur RA4, la broche 6 du PIC.

L'horloge interne démarre bien sûr de 00:00:00, il faut une réception GPS valide pour la régler. Cela peut prendre un certain temps, mais dès qu'une chaîne valide arrive, le PIC la synchronise et l'horloge tourne au rythme des impulsions. Ensuite, un double mécanisme de vérification entre en jeu pour contrôler la stabilité de la réception GPS. Il analyse chaque chaîne GPS et, si elle est correcte, il la stocke dans un tampon qui peut en contenir dix. L'heure UTC correspond au nombre binaire de secondes écoulées depuis minuit. Le maximum étant de $24 \times 60 \times 60 = 86400$, 3 octets sont donc nécessaires pour les compter et les inscrire. Le nouveau temps est toujours inséré à la 10^e position, ce qui décale d'une place tout le tampon, donc le temps le plus ancien arrive à la 1^{ère} position. Si le débit de données du GPS a été constant, la différence entre ces deux valeurs est exactement de 9 s, auquel cas le drapeau GPS_STABLE est levé. On en déduit que le signal GPS est fiable et on l'emploie pour synchroniser l'horloge du PIC.

Cette synchronisation se répète au moins une fois par heure. Quand l'heure du PIC passe à xx:00:30, la routine d'interruption lance une demande de synchro. Si le signal GPS est stable, le PIC est mis à l'heure du GPS. Ce moment de référence est choisi de manière à ce qu'une correction éventuelle ne soit visible que dans les secondes, mais pas plus haut. De toute façon, sur les différentes horloges que j'ai construites, l'écart ne dépasse jamais la seconde, pour autant que la boucle soit réglée précisément sur 50 ms.

Pourtant, une synchronisation par heure n'est pas toujours suffisante. Principalement en phase de démarrage, il arrive que le temps validé issu du récepteur, souvent en l'absence d'information de coordonnées, soit totalement déphasé par rapport au temps réel et le reste longtemps. C'est très ennuyeux qu'un temps erroné soit transmis au PIC et affiché pendant près d'une heure.

Aussi, un second mécanisme de vérification, qui élimine aussi les boucles d'interruption imprécises, sert de moyen préventif du phénomène. Chaque seconde, le temps du PIC est aussi converti en secondes écoulées dans un mot de trois octets. Dès que le signal GPS est stable et tant qu'il le reste, on calcule la différence entre les deux valeurs. Si elle dépasse la valeur arbitraire de 3, le temps du PIC est aligné sur celui du GPS. La méthode peut sembler pointilleuse, mais en pratique, elle s'est révélée infaillible depuis longtemps.

La fiabilité du signal s'affiche sur l'ampoule au néon entre les heures et les minutes. Si elle clignote ou reste allumée, tout va bien. Mais quand elle s'éteint, c'est que l'horloge ne tourne plus que sur son signal interne, parce que depuis un certain temps, une trentaine de secondes, elle n'a plus reçu de chaîne GPS valide et qu'elle risque donc de dérégler.

Mise en service

Bien que l'horloge reçoive automatiquement l'heure du module GPS, il y a quelques paramètres à ajuster soi-même. L'interrupteur S1 sert à définir le fuseau horaire et le passage automatique à l'heure d'été. On commence par éteindre l'horloge et la rallumer. On pousse sur S1 pendant 5 s. Le tube Nixie de gauche indique le réglage de l'heure d'été : un 0 signifie pas de passage automatique. Avec S1, on peut le mettre à 1 pour demander le changement d'heure automatique.

Attendre ensuite que le premier tube se mette à clignoter et appuyer encore sur S1. Les deux tubes des minutes affichent alors un nombre entre 0 et 37 qui représente la zone horaire sélectionnée, en correspondance avec le **tableau 1**. S1 permet alors de parcourir les différentes valeurs. Quand on relâche le bouton, la valeur choisie s'inscrit en EEPROM et l'horloge démarre dans cette configuration.



Si vous avez choisi le changement d'heure manuel hiver/été, vous pourrez avancer l'horloge d'une heure en appuyant brièvement sur S1. Après une dizaine de secondes, l'affichage s'adapte.

Construction

Le circuit imprimé pour cette horloge à Nixie (disponible dans l'e-choppe [2]) est à la **figure 2**. Les deux parties sont rassemblées en une seule plaque. C'est moins cher que deux circuits séparés, mais il faut les scinder soi-même. L'implantation des composants n'est pas très difficile, vous pouvez vous aider de la vidéo que nous avons déposée sur [5]. Tous les composants sont à fils, sauf le

module GPS (cf. **figure 3**). Celui-ci est muni de pastilles à souder qu'il faut lier aux pastilles correspondantes du circuit imprimé au moyen de soudure. On le réalise fort bien à l'aide d'un fer à panne fine. Les plans de masse à la face opposée au module ne doivent pas forcément être étamés, on ne le réussit qu'au four à refusion.

Implantez d'abord les composants les moins hauts, puis les plus grands. Les régulateurs n'ont pas besoin de radiateur. Il faut de la prudence avec les tubes Nixie, ils sont fragiles et leurs fils de connexion sont très fins. Un petit support peut les stabiliser sur la carte, c'est une option. Coupez les fils à des longueurs différentes, en escaliers, mais pas trop courts, pour les introduire plus facilement un à un dans les trous de la carte. N'en soudez qu'un, positionnez alors le tube convenablement, à la verticale, avant de souder les autres.

Quand tout est correctement installé, branchez un adaptateur secteur, par ex. de 12 V et 1 A. Attendez que le module GPS ait une bonne réception et profitez bien de votre garde-temps attractif ! La tension sur les tubes est suffisamment élevée pour prévoir un boîtier adéquat qui évitera à quiconque un choc électrique. ▶

(150189 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] Tracé des pistes, code source et hexadécimal : www.elektormagazine.fr/150189
- [2] Produits disponibles dans l'e-choppe : www.elektor.fr/150189
- [3] UTC : https://fr.wikipedia.org/wiki/Temps_universel_coordonné
- [4] GPRMC : https://fr.wikipedia.org/wiki/NMEA_0183
- [5] Montage vidéo : https://youtu.be/p_rITXYVsRQ

i-Pendulum

2^e partie - logiciel, assemblage, tour de contrôle

Jean-Sébastien Gonsette (Belgique)

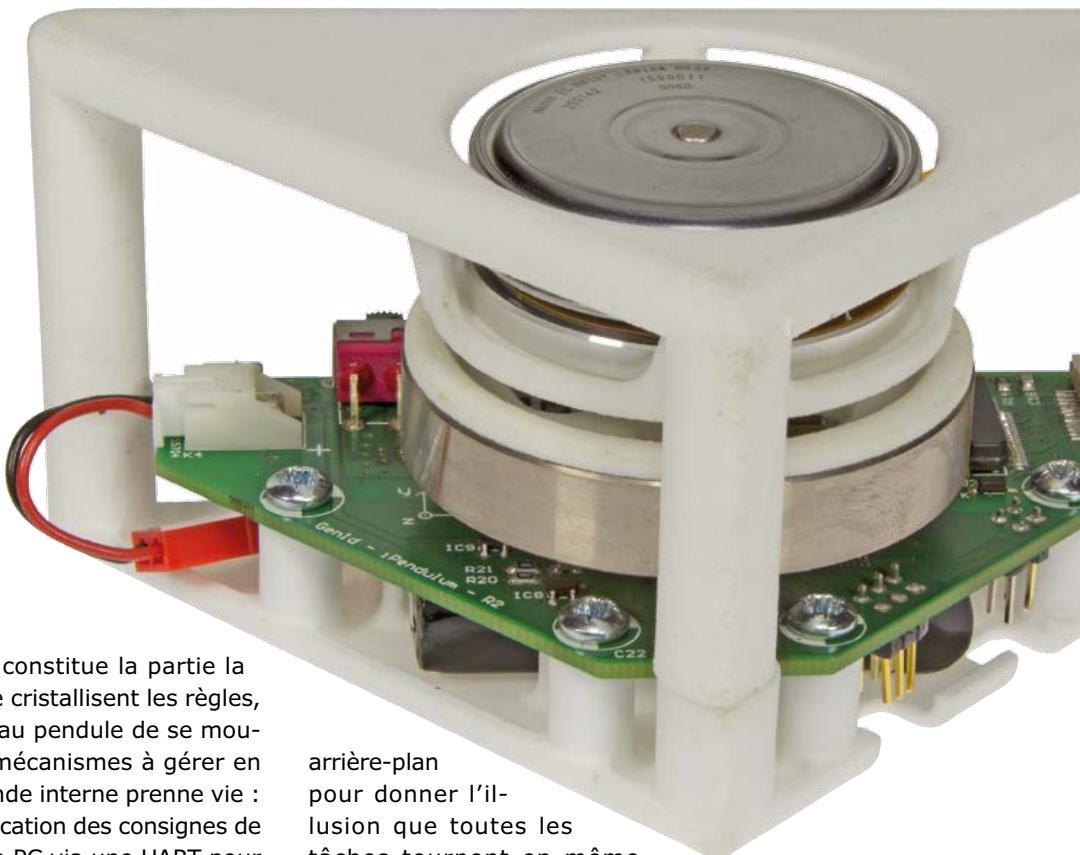
Après la théorie, place à la pratique ! Cette seconde partie vous guidera dans la construction de votre pendule inversé. Une fois le câblage du circuit électronique et l'assemblage des pièces mécaniques terminés, vous pourrez ausculter le cœur du pendule avec le logiciel sous Windows prévu à cet effet.

Logiciel

Le logiciel embarqué dans le µC PIC constitue la partie la plus musclée du projet, c'est ici que se cristallisent les règles, modèles et équations qui permettent au pendule de se mouvoir. De plus, il y a toutes sortes de mécanismes à gérer en arrière-plan pour que tout ce petit monde interne prenne vie : communication avec les capteurs, application des consignes de couple moteur, communication avec le PC via une UART pour remonter les télémétries, etc. La boucle de régulation en elle-même impose quelques contraintes. En effet, le pas de temps de numérisation est de l'ordre d'une dizaine de ms. Même si la charge de calcul n'est pas très élevée, le logiciel doit être réactif. Aussi, tout le logiciel qui n'est pas dans cette boucle de régulation, comme la communication par UART, doit pouvoir fonctionner en étant interrompu régulièrement.

Écrire un tel programme pour un processeur nu n'est pas facile. L'approche élémentaire, à savoir une super-boucle principale qui appelle tour à tour tous les modules, n'est possible que si ces modules ne sont pas nombreux. De plus, cela devient vite un casse-tête quand les périodicités de chacun ont des ordres de grandeur différents. Typiquement, si une boucle de traitement rapide doit coexister avec une boucle de calcul plus lente en arrière-plan, il faut réfléchir à comment concilier les deux : temps partagé coopératif, recours à des interruptions, etc. Si en plus vous désirer exploiter les mécanismes d'économie d'énergie du processeur (mise en sommeil quand il n'a rien à faire), c'est un véritable enfer. Dans tous les cas, ce n'est viable qu'à petite échelle, car cela revient à faire le travail d'un système d'exploitation (OS).

Un système d'exploitation en temps réel (*Real-Time Operating System*, RTOS), quant à lui, offre l'avantage de pouvoir organiser son code de façon plus modulaire. Chaque partie de l'application peut tourner indépendamment des autres dans sa propre tâche ; l'OS s'occupe lui des découpages temporels en



arrière-plan pour donner l'illusion que toutes les tâches tournent en même temps. De plus, l'OS offre toutes sortes de moyens structurés pour la communication des tâches entre elles (en évitant d'horribles variables globales). Par rapport à un OS traditionnel, un RTOS est léger et réactif. Comme il nécessite peu de mémoire, il peut même être déployé sur de petits microcontrôleurs. C'est pour toutes ces raisons que le micrologiciel du pendule tourne sur un RTOS maison appelé *NanoScale* (plus d'informations en [1]).

Architecture

La **figure 1** résume l'architecture de l'application embarquée dans le pendule, organisée en trois sous-systèmes :

1. Gestion de la **communication** avec le monde extérieur via une interface série. Une tâche réceptionne les commandes, tandis qu'une deuxième collecte toutes les demandes de transmission de l'application et envoie les messages correspondants un à un. La tâche d'envoi réalise un multiplexage temporel des messages à envoyer. Ce sont soit des réponses à des commandes entrantes, soit des télémétries envoyées spontanément.
2. Le **contrôle** est chapeauté par une tâche à haute priorité, activée toutes les 10 ms. À chaque activation, elle doit acquérir les valeurs des capteurs, estimer l'état correspondant du pendule, puis obtenir le couple moteur à appliquer en fonction de l'algorithme en cours. Il y a un algorithme pour

chaque fonction élémentaire du pendule : saut, équilibre statique, balancement autour de la position d'équilibre, etc.

3. Enfin, le sous-système **management** se charge des tâches d'ordre général : activer/désactiver le *contrôle*, vérifier l'état de charge de la batterie, ou encore faire clignoter les LED.

Initialisation et abstraction du microcontrôleur

Le module *Board Support Package* (**BSP.c**) initialise le contrôleur. Tout d'abord il configure la fréquence de cadencement de l'horloge interne, ainsi que toutes les E/S nécessaires pour attacher les différents périphériques du circuit. Ensuite quatre pilotes de périphérique sont initialisés : bus SPI, UART, pilote de l'accéléromètre ADXL345 et pilote du gyroscope ISZ2510. Les deux derniers utilisent le bus SPI pour communiquer avec leur homologue électronique sur le circuit imprimé. Enfin, le RTOS est initialisé.

Le module BSP propose en plus une couche d'abstraction qui permet d'isoler le μ C du reste de l'application. Il contient donc toutes les routines de traitement des interruptions, en particulier INT2 reliée à la broche de la sortie tachymétrique du contrôleur moteur. Celle-ci délivre une impulsion à

chaque huitième de tour du moteur, ce qui permet d'en déduire sa vitesse. Enfin, l'abstraction repose sur un ensemble d'API spécifiques. Le module propose des fonctions de bas niveau pour piloter les LED, simuler une EEPROM dans la mémoire flash interne, lire la tension de la batterie ou encore piloter le contrôleur moteur.

Interfaces externes

Le module **battery.c** est simple : lecture de la tension de la batterie via une entrée analogique du μ C, et correction de cette valeur brute avec un facteur de calibrage. En outre il estime la charge restante de la batterie, en fonction de la tension et du courant débité.

Le module **motor.c** offre des interfaces pour donner des consignes au moteur via le circuit intégré L6235 (IC3). Concrètement, IC3 régule l'intensité du courant qui circule à travers les bobines du moteur en fonction d'une valeur de consigne fixée par un signal analogique V_{ref} . Comme le couple d'un moteur sans balai est proportionnel au courant qui le parcourt, en théorie la régulation fixe une consigne de couple et IC3 se charge de l'appliquer. Il y a cependant deux hics : ce circuit intégré ne fonctionne pas en mode quatre quadrants. Il ne régule le couple que quand celui-ci est dans le même sens que la rotation de la roue. De plus, il n'est pas capable de travailler avec des consignes de couple faibles.

Une technique de commande originale du circuit L6235 permet de résoudre le premier problème : envoyer un signal MLI sur sa broche *FWD* (qui sert à choisir le sens de rotation du moteur). Si on applique un signal MLI, le pont en H qui pilote le moteur bascule très rapidement, d'où une modulation de la tension appliquée au moteur au prorata du rapport cyclique choisi. Consultez le document [2] pour plus d'informations sur cette technique. J'ai ainsi pu trouver empiriquement une combinaison de signaux qui permet de réguler un couple négatif, c.-à-d. un couple qui freine la roue.

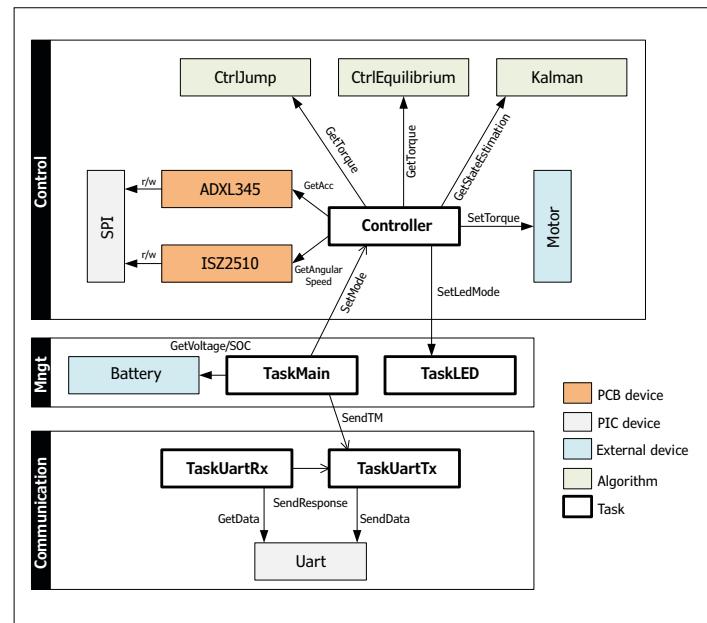


Figure 1. Architecture logicielle.

Le deuxième problème est plus épique et pas encore résolu de manière satisfaisante. Pour le moment, je me contente de contourner la régulation du L6235 lorsque de petites valeurs de couple sont nécessaires. J'utilise alors la technique de modulation de la tension expliquée ci-dessus, en me basant sur la courbe de fonctionnement théorique du moteur. J'obtiens ainsi un couple moteur moyen pour un pas de temps de régulation dt . Le résultat n'est pas à la hauteur du fait d'une discontinuité lorsque le sens de rotation du moteur s'inverse. Pour le moment, cela empêche de réguler le pendule autour d'une vitesse de roue nulle.

Pilote des capteurs

Le pilote du capteur ADXL345 (IC4) se trouve dans le module éponyme **ADXL345.c**. Il s'agit d'une API qui reflète les fonctions du capteur : sélection de la vitesse de transmission des données, mode « économie d'énergie », etc. Le pilote communique avec le capteur en émettant les trames SPI *ad hoc*. La fonction principale est la récupération des dernières valeurs d'accélération (en mg) lues sur les trois axes : `ADXL345_GetAccelerations`. Le pilote du capteur ISZ2510 (IC6) fonctionne de façon similaire et se trouve dans le module **ISZ2510.c**. Sa fonction principale est également la récupération de la dernière valeur de vitesse angulaire (en millièmes de $^{\circ}/s$) : `ISZ2510_GetAngularSpeed`.

Répartition des tâches

Le travail du μ C est réparti en différentes tâches avec divers degrés de criticité. L'OS régit ces tâches en basculant sans cesse l'exécution sur la tâche active avec la priorité la plus élevée. La tâche avec la priorité la plus faible est évidemment celle qui s'occupe de l'animation des trois LED : **TaskLED.c**. Chacune des LED est associée à un petit automate fini qui les fait clignoter séparément ou de façon synchronisée. J'y reviens plus loin. Par ordre de priorité vient ensuite la tâche de gestion **TaskMain.c**. Au démarrage, elle s'assure que toutes les fonctions internes du pendule sont en ordre de marche : contrôle du moteur et réponse correcte des capteurs. Si tout est OK, elle active la



```
// Compute state feedback current
torque = -K1*body_a -K2*body_w -K3*wheel_w;
// Compute torque
torque *= p->Km;
```

Figure 2. L'équilibre du pendule repose sur ces simples lignes de code.

tâche de contrôle et se met ensuite en attente de chaque fin de cycle de celle-ci. Dès que la fin d'un cycle est signalée, toutes les 10 ms, elle récolte toutes les données d'intérêt et les envoie dans des trames de télémetrie au travers de l'UART. Ces données sont constituées des valeurs renvoyées par les capteurs, de l'état estimé par le filtre de Kalman, et finalement des consignes envoyées au moteur pour la régulation. En plus de cela, la tâche vérifie aussi toutes les minutes que la tension de la batterie n'est pas descendue en dessous d'un niveau acceptable. La tâche **TaskUartTx.c** envoie toutes les données (messages) émanant du pendule vers l'UART : réponses à des commandes ou télémetries. Un module avec un message à envoyer l'ajoute dans une file de type FIFO ; les messages sont défilés un par

un par cette tâche pour être envoyés sur l'UART.

La tâche **TaskUartRx.c** traite toutes les commandes entrantes dans l'UART, qui permettent d'obtenir des informations sur l'état du système et qui ne sont pas envoyées automatiquement dans les télémetries : état de l'OS, état de la batterie, etc.

La tâche la plus critique est celle qui s'occupe de la régulation du pendule toutes les 10 ms : **Controller.c**. Un cycle de régulation est constitué des étapes suivantes :

1. acquisition des valeurs des capteurs (accéléromètre et gyroscope)
2. estimation de l'état du pendule en fonction de ces valeurs au travers du filtre de Kalman (implémenté dans **KalmanFree.c**)
3. calcul de la consigne de couple à appliquer au moteur en fonction du mouvement en cours d'exécution (**CtrlEquilibrium.c** ou **CtrlJump.c**)
4. et enfin application de la consigne moteur.

La substantifique moelle de la régulation (**fig. 2**) est réduite à deux lignes de code qui calculent à chaque instant le couple à délivrer au moteur pour maintenir l'équilibre du pendule. Le reste n'est que du détail, mais il ne faut pas perdre de vue que justement, le diable se cache dans les détails.

Liste des composants

Résistances

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

R1, R21 = 10 kΩ
R2 = 330 Ω
R3, R4, R5, R22 = 130 Ω
R6 = 100 Ω, 1206, 0,25 W, 1%
R7 = 100 kΩ
R8, R9, R10, R11 = 1 Ω, 1206, 0,25 W, 1%
R12 = 56 kΩ
R13 = 11 kΩ
R14, R20 = 20 kΩ
R15, R26 = 24,9 kΩ
R16, R17, R18 = 4,7 kΩ
R19 = 1 kΩ
R23 = 215 kΩ
R24 = 15 mΩ, 2512, 1 W, 1%
R25 = 160 kΩ

Condensateurs

(CMS 0805, 50 V, 10% sauf mention contraire)

C1, C37, C40 = 10 µF, 16 V, 1206
C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C10, C21, C22, C23, C25, C26, C30, C31 = 100 nF
C9, C11, C12, C17, C24, C36, C39 = 10 nF
C13, C15, C33 = 220 nF
C14, C29 = 68 µF, 16 V, 20%, 0,05 Ω, SMD-D
C16 = 5,6 nF
C18 = 1,2 nF
C19 = 33 nF
C20, C32, C35, C38 = 1 µF
C27, C28 = 47 µF, 10 V, 20%, 0,035 Ω, SMD-D
C34 = 100 pF

Inductance

L1 = inductance blindée de forte puissance
- 5,0 µH

Semi-conducteurs

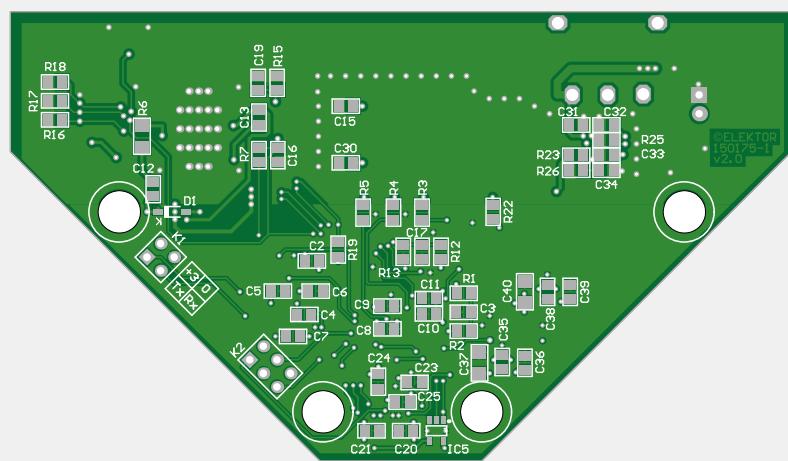
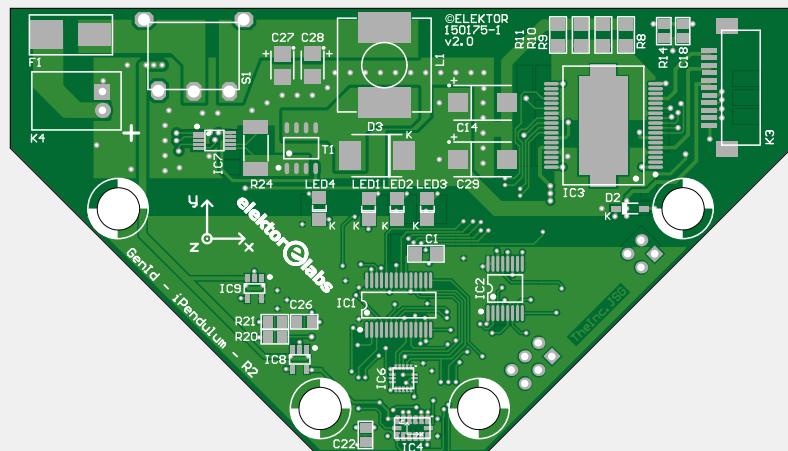
D1, D2 = 1N4148W

D3 = MBR5340T3G

LED1 = LED, CMS, 1206, rouge

LED2 = LED, CMS, 1206, jaune

LED3, LED4 = LED, CMS, 1206, vert



IC1 = dsPIC33EP128MC202-I/SS,
échantillon Microchip
IC2 = SN65C3221E

IC3 = L6235PD
IC4 = ADXL345BCCZ
IC5 = SN74AHC1G32DBVT

Assemblage du pendule

Les dimensions restreintes du pendule font que l'encombrement du circuit imprimé constitue une contrainte majeure. Celui-ci accueille donc des composants CMS sur les deux faces. Le second souci vient des deux capteurs : l'accéléromètre et le gyroscope. Ce genre de composants n'existe pas en boîtier autre que LGA (*Land Grid Array*), ils n'ont donc pas de pattes soudables au fer à souder : passage au four obligatoire ! Le connecteur K1 permet de charger dans le µC le micrologiciel (disponible ici [3]). Le code source est également disponible et peut être recompilé avec l'environnement MPLAB X de Microchip. La **figure 3** montre les différentes « couches » du pendule assemblé.

Test du circuit imprimé

Testez le circuit imprimé peuplé avant de passer à la mécanique. Alimentez-le avec une tension comprise entre 6 et 9 V sur K4, ou connectez la batterie LiPo. La LED4 doit s'allumer pour signaler la présence de l'alimentation. Le programme vérifie ensuite qu'il peut communiquer avec l'accéléromètre et le gyroscope.

Ensuite connectez le moteur sur K3. Saisissez le moteur par son stator et mettez sous tension. Le moteur tournera brièvement et, si tout se passe bien, la LED1 ne clignotera pas.

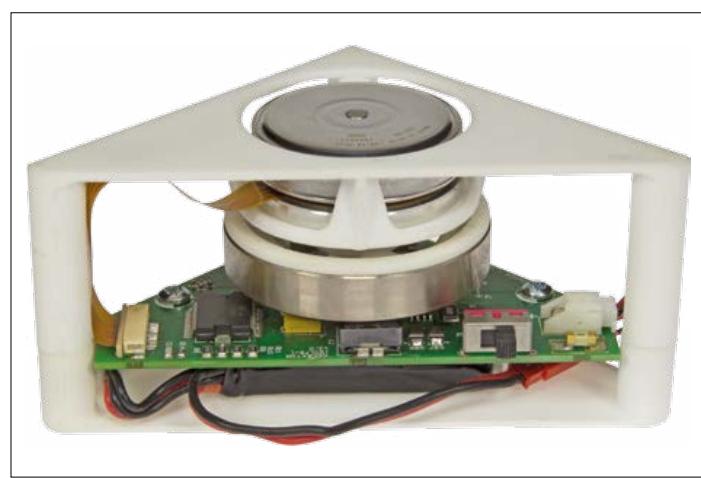
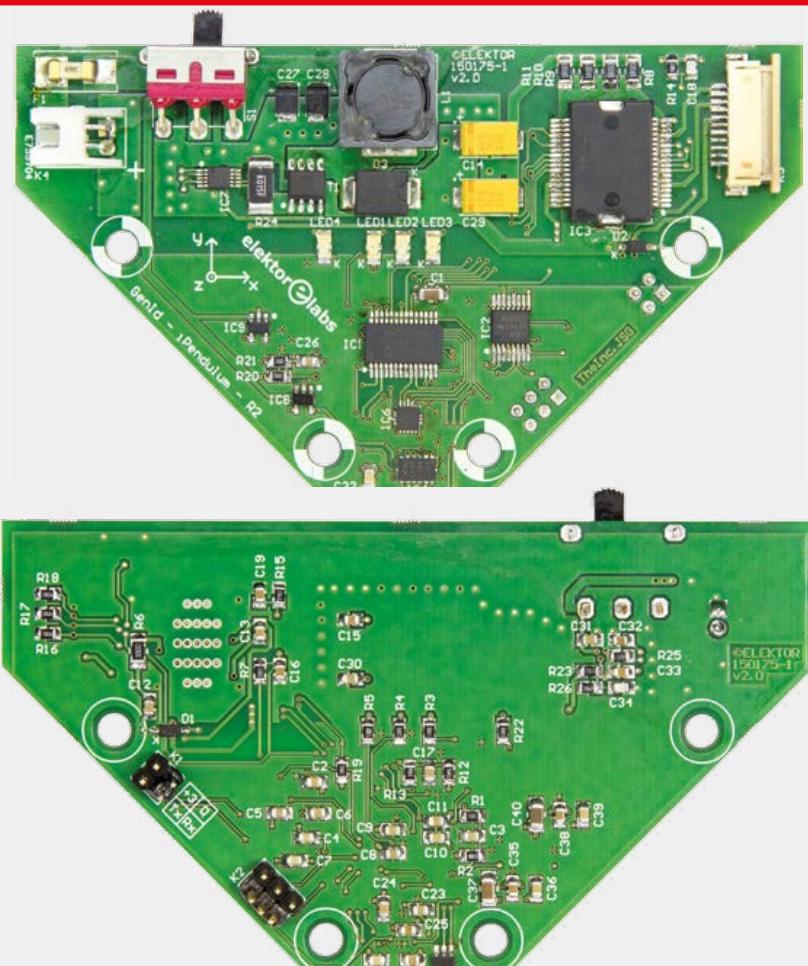


Figure 3. Pendule assemblé, de bas en haut : la batterie, le circuit imprimé, la roue d'inertie et le moteur, le tout pris en sandwich dans les deux demi-coques.

Le circuit imprimé porte trois LED (rouge, jaune, vert) qui signalent de façon sommaire ce que le pendule est en train



IC6 = ISZ-2510

IC7 = MAX668

IC8 = LP2985-33DBVTE4

IC9 = LP2992IM5-3.3/NOPB

T1 = FDS6680AS

Divers

F1 = fusible, 8 A, 125 V, CMS
 K1 = embase, 2x2, pas de 2,54 mm
 K2 = embase, 2x3, pas de 2,54 mm
 K3 = connecteur FFC/FPC, ZIF, 11 points, pas de 1 mm, à angle droit
 K4 = connecteur S2B-XH-A
 S1 = commutateur à glissière, SPDT, à angle droit
 Circuit imprimé

M1 = moteur plat, Maxon EC 45, Ø 42,9 mm, sans balais, 12 V, 30 W, avec capteurs à effet Hall
 BAT1 = batterie LiPo, 7,4 V, 2S, 30 C, 450 mAh

Pièces mécaniques

Demi-coque du circuit imprimé, imprimée en 3D
 Demi-coque du moteur, imprimée en 3D
 Moyeu de la roue d'inertie, imprimé en 3D
 Roue d'inertie, Ø externe = 55 mm, Ø interne = 48 mm, H = 10 mm, AWSM-D-D55-V48-T10 de Misumi
 Vis pour moteur, M3, 6 mm
 Vis pour demi-coques et circuit imprimé, NO6X1/2
 Câble d'adaptation pour la batterie

Câble d'adaptation pour la batterie

Connecteur RCY - contacts mâles à sertir + boîtier
 Connecteur XH - contacts femelles à sertir + boîtier
 Fil AWG 20, rouge, 40 mm
 Fil AWG 20, noir, 40 mm



Figure 4. Roue d'inertie ajoutée sur le moteur.

de faire. La plus importante, LED1 rouge, indique les erreurs critiques qui empêchent le pendule de fonctionner. Son clignotement dépend alors de la source de l'erreur. Un clignotement simple signifie que la tension de la batterie est trop faible ; clignotement par salve de deux flashes si le moteur n'est pas détecté ; clignotement par salve de trois ou quatre flashes si

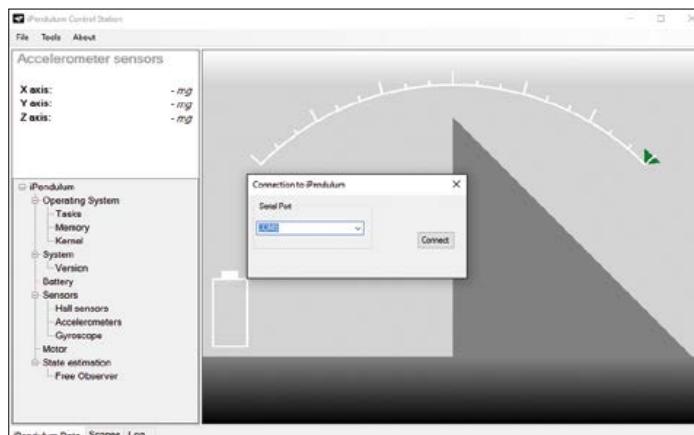


Figure 5. Connexion du pendule au logiciel de diagnostic *iPendulum Control Station*.

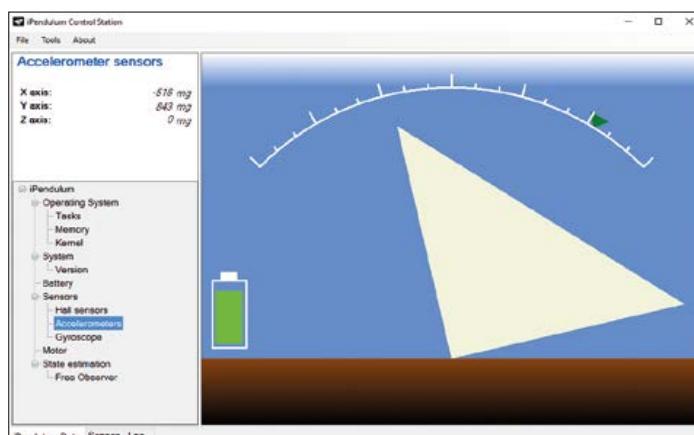


Figure 6. Vue du pendule avec l'orientation qu'il présente dans le monde réel.

le processeur ne parvient pas à dialoguer avec les capteurs. Lorsque le pendule fonctionne normalement, plusieurs états sont possibles. Le premier est l'attente d'un positionnement stable avant d'effectuer un saut. Dans ce cas, aucune LED n'est allumée. Lorsque le pendule est prêt à effectuer un saut et accélère sa roue d'inertie, il anime un chenillard qui se déplace dans la direction du saut. Enfin, seule la LED3 verte clignote lorsque le pendule maintient son équilibre.

Inventaire des composants

L'assemblage du pendule est un jeu d'enfant si on dispose de toutes les pièces requises. Voici leur inventaire :

1. Circuit imprimé en état de marche, mais à ce stade cela devrait être réglé.
2. Batterie LiPo 2S de 5 cm × 3 cm × 1 cm. J'ai utilisé la référence 7,4V Lipo 2S 30C 450mah de TeamOrion. Le câble d'alimentation de cette batterie se termine par un connecteur JST-RCY (appelé connecteur BEC chez les modélistes), non soudable sur circuit imprimé. Il faut donc fabriquer un adaptateur pour passer du connecteur JST-RCY de la batterie au connecteur JST-XH du circuit imprimé. Il existe des pinces onéreuses pour assembler en un tournemain le fil, le connecteur en plastique et les terminaisons métalliques. Elles ont aussi la fâcheuse tendance de n'être compatibles qu'avec un seul type de connecteur. Mon conseil : assemblez les connecteurs à la main et au fer à souder. Cela prend plus de temps, mais ce n'est pas un problème pour un seul câble.
3. Trois pièces en plastique : une demi-coque = support du moteur, une demi-coque = support du circuit imprimé, le moyeu de la roue d'inertie (fichiers d'impression en 3D en [3]). J'ai eu recours à un service d'impression à la demande ([4]) et j'ai choisi comme matériau du plastique blanc de base. N'optez pas pour un autre matériau, car cela aura un impact sur le poids du pendule et les tolérances pour les dimensions.
4. Moteur sans balai, série EC 45 Flat, n°200142, de Maxon. Grâce à sa forme très plate, ce moteur est parfait pour se glisser dans le pendule.
5. Anneau métallique pour donner sa masse à la roue d'inertie ; diam. ext. = 55 mm, diam. int. = 48 mm, épaisseur = 10 mm ; réf. AWSM-D-D55-V48-T10 de Misumi ([5]). Durant la conception, j'ai évité l'usinage de pièce métallique compliquée. La partie complexe de la roue est donc imprimée en plastique, tandis que le pourtour extérieur est un simple anneau métallique.
6. Un peu de visserie pour assembler toutes les pièces : trois vis M3 de 6 mm pour fixer le moteur, sept autres vis pour plastique pour le circuit imprimé et les demi-coques.

Mécanique

La roue d'inertie est l'élément qui demande le plus d'attention. Il faut d'abord placer l'anneau métallique sur le moyeu en plastique. En principe les dimensions doivent correspondre et un serrage à l'étau est suffisant pour les fixer ensemble définitivement. Si l'anneau a du mal à rentrer, passez un coup de lime sur le moyeu. Si l'anneau est « trop large », ajoutez quelques gouttes de super glue. Ensuite, repercez le trou central du moyeu en plastique (\varnothing 4 mm) pour y insérer l'axe moteur : soyez le plus droit possible, utilisez par ex. une perceuse à

colonne. Testez au préalable votre mèche dans un autre support. Tout déséquilibre se traduira par un balourd lorsque la roue sera en rotation.

Fixez le moteur dans sa demi-coque en plastique avec ses trois vis. Faites passer la nappe de câble à travers le trou de la coque. Insérez la roue d'inertie sur l'axe (**fig. 4**). Pour cette opération, appuyez sur l'axe central du moteur, et non pas sur le pourtour extérieur, afin de ne pas voiler le moteur. Si ça ne rentre pas, agrandissez un peu le trou. Si ça ne sert pas assez, fixez le tout avec un peu de colle.

Attention : la roue d'inertie se trouve juste au-dessus de l'inductance L1, il y a vraiment très peu d'espace entre les deux. Pour remédier à cela, avant de visser le moteur, il est préférable de rajouter une fine rondelle entre le moteur et le support imprimé en 3D. Cela permet d'avoir env. 1 mm entre la roue libre et L1. Par la suite, j'ai modifié les fichiers 3D pour éviter l'ajout de rondelles.

Les étapes délicates sont terminées. Vissez le circuit imprimé dans sa demi-coque avec quatre des vis pour plastique. Ajoutez le câble de connexion à la batterie. L'étape finale consiste à rassembler les deux moitiés du pendule. Connectez la nappe du moteur à K3. Assemblez les deux demi-coques avec les trois dernières vis pour plastique. Félicitations ! Le pendule est presque prêt à l'emploi. Il ne vous reste plus qu'à glisser la batterie LiPo chargée dans son emplacement derrière le circuit imprimé.

Mise en route

Le pendule ne tente de s'équilibrer ou de sauter que lorsqu'il est correctement orienté, c.-à-d. quand l'axe autour duquel il pivote est en contact avec le sol. Par contre si le moteur est orienté vers le bas ou vers le haut, le pendule se met en attente. Positionnez-le donc sur le flanc gauche ou droit et actionnez l'interrupteur. Après cinq secondes d'immobilité dans cette position, le pendule tentera de réaliser un saut. Il accélère sa roue d'inertie puis la bloque afin de basculer dans sa position d'équilibre. Vous pouvez aussi le placer directement en équilibre en le soulevant manuellement depuis sa position de repos. Dès que l'angle du pendule est suffisant, le moteur délivre le couple nécessaire pour remonter seul à son point d'équilibre. Si vous déséquilibrer le pendule, celui-ci tentera de rattraper le coup autant que possible. Au-delà d'un certain point cependant, il devra bien capituler et retombera sur le flanc. Il retentera alors un saut après les cinq secondes d'immobilité nécessaires.

Connexion à la tour de contrôle

Le logiciel *iPendulum Control Station* (disponibles en [3]) est un petit programme écrit en C# qui tourne sous Windows. Il permet de se connecter à la liaison série du pendule afin de collecter des informations sur l'état du micrologiciel, ainsi que calibrer les organes internes. Ce programme ne sert qu'à des fins de diagnostic, ou durant le développement du pendule, pour observer en temps réel de ce qui se passe à l'intérieur. Lancez le programme, allez dans le menu *Tools* → *Connect*. Choisissez le numéro de port COM auquel est connecté le pendule et établissez la connexion (**fig. 5**). Si tout se passe bien, la boîte de dialogue de connexion disparaît et l'écran principal s'affiche en couleur. Il contient une représentation stylisée du pendule et de l'angle qu'il fait avec le sol (**fig. 6**). Différents

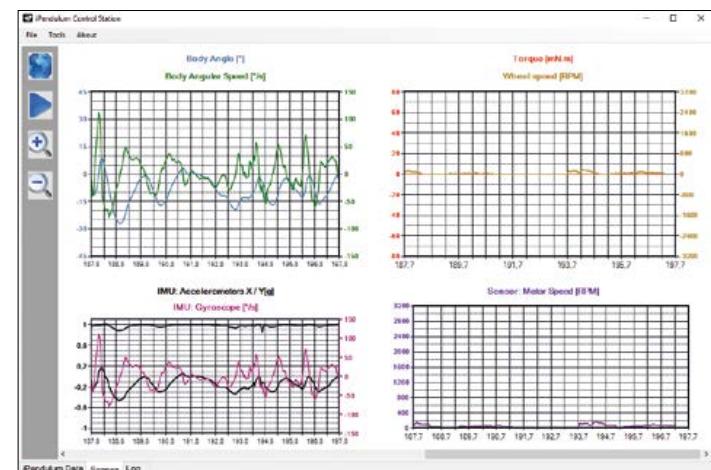


Figure 7. Historique des télémétries transmises par le pendule, rassemblées dans quatre graphes.

onglets sont disponibles dans le bas de la page. Par défaut, l'écran principal est sélectionné et affiche les informations en temps réel du pendule.

Description de l'application

Faites bouger le pendule à la main, vous verrez ses mouvements sur l'écran principal. Le volet de gauche contient un arbre à dérouler pour observer l'état complet du pendule en temps réel :

- *Operating System* : informations spécifiques au RTOS (version, utilisation de la mémoire, tâches, pourcentage d'utilisation du CPU)
- *System* : informations générales sur le micrologiciel
- *Battery* : tension de la batterie et état de charge
- *Sensors* : données brutes retournées par les capteurs
- *Motor* : couple délivré par le moteur
- *State* : état du pendule tel qu'estimé par le filtre de Kalman.

L'onglet *Scopes* (2^e écran) contient l'historique des télémétries transmises par le pendule, sous forme de quatre graphes synchronisés entre eux et qui affichent toujours la même fenêtre temporelle (**fig. 7**) :

1. en haut à gauche, état estimé du pendule
2. en haut à droite, informations sur le moteur : couple délivré et vitesse
3. en bas à gauche, informations retournées par l'accéléromètre et le gyroscope
4. en bas à droite, vitesse brute mesurée par le contrôleur moteur. Cette vitesse est toujours positive, quel que soit le sens de rotation du moteur, car le contrôleur ne peut physiquement pas distinguer l'un ou l'autre cas.

Tous les graphiques sont rafraîchis dynamiquement au fur et à mesure de l'arrivée des données. Vous pouvez zoomer avec la roulette de la souris ou les boutons dédiés sur la gauche de l'écran. Vous pouvez aussi faire défiler les graphiques, soit avec la barre de défilement horizontale, soit en cliquant dans un graphique et en déplaçant la souris.

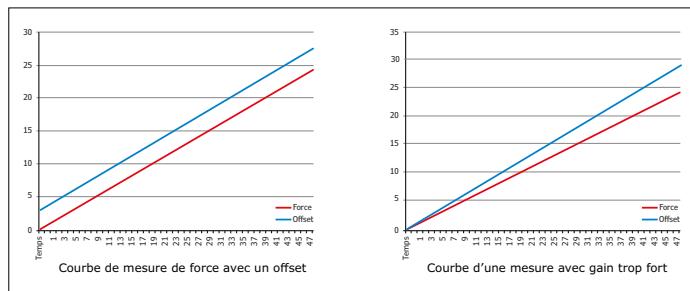


Figure 8. Calibrage des capteurs inertIELS. À gauche : en rouge la courbe exacte, en bleu la courbe affectée d'un biais. À droite : en rouge la courbe exacte, en bleu la courbe affectée d'une erreur d'échelle (gain).

Dans l'onglet **Log** (3^e écran), vous pouvez spécifier le fichier dans lequel stocker le contenu complet du dialogue qui a lieu entre l'application et le pendule. Choisissez un fichier et cliquez ensuite sur *Start Logging* pour démarrer l'enregistrement.

Calibrage de la batterie

Le pendule envoie une mesure de la tension délivrée par la batterie. Elle donne une idée de l'état de charge, ce qui évite d'atteindre la tension critique en dessous de laquelle la batterie LiPo sera endommagée. Ce seuil est d'env. 3,7 V/cellule, soit 7,4 V ici. Le menu *Tools → Calibration → Battery* permet de calibrer la chaîne de mesure de cette tension dans une boîte de dialogue avec deux champs : affichage de la mesure brute, saisie de la mesure calibrée. Pour la connaître, mesurez la tension de la batterie avec un voltmètre.

Calibrage des capteurs inertIELS

Le pendule estime en permanence sa vitesse de rotation, ainsi que l'angle qu'il forme avec le sol, à l'aide du gyroscope et de l'accéléromètre. Ces capteurs présentent de nombreuses erreurs de mesure propres. Toutefois, comme la précision n'est pas critique ici, seuls les biais et les erreurs d'échelle méritent d'être corrigés (**fig. 8**).

Un biais est une erreur systématique constante qui affecte toutes les mesures de la même façon. Pour la connaître, il suffit de mettre le capteur dans une position où il devrait indiquer zéro, puis de lire sa valeur de sortie.

C'est facile pour le gyroscope : on lit la sortie du capteur quand le pendule est au repos pour connaître le biais. Cette erreur facile à corriger peut avoir un gros impact. En effet un gyroscope mesure une vitesse de rotation, dont l'intégration peut donner une idée de la position. Intégrer une erreur constante revient alors à obtenir une erreur sur la position qui croît sans fin. Notez également que le biais d'un capteur gyroscopique

a une furieuse tendance à dériver avec la température ou à varier lentement avec le temps.

La situation est moins simple pour les accéléromètres, car il faut positionner le capteur selon un axe perpendiculaire à un plan horizontal pour obtenir une valeur nulle. Plus facile à dire qu'à faire ! Il est difficile d'aligner parfaitement un capteur de cette façon. La solution est de faire la moyenne des valeurs des accéléromètres dans deux situations antisymétriques, de manière à ce que les déviations par rapport à l'horizontale se compensent mutuellement. Les biais sur les accéléromètres ont une incidence plus faible sur les gyroscopes. En effet les accéléromètres fournissent directement une image de la position du pendule, sans qu'une étape d'intégration soit nécessaire. L'erreur d'échelle affecte le gain du système. La valeur délivrée présente donc un gain non unitaire par rapport à la valeur exacte. Le gain du gyroscope n'est pas corrigé dans le pendule, car il faut des équipements spécifiques pour mettre le pendule en rotation à une vitesse précise dans le but de mesurer cette erreur. Par contre il est possible de corriger les gains des accéléromètres, car nous disposons d'une valeur de référence toute prête : la gravité. Si le pendule est à plat ou sur le flanc, les accéléromètres mesureront soit une accélération nulle, soit une fraction bien précise de g .

C'est complexe, mais la procédure de calibrage (menu *Tools → Calibration → IMU*) est là pour vous aider. Il suffit de mettre le pendule dans une position bien définie à chaque fois qu'on vous le demande. Suivez les instructions jusqu'au bout pour terminer la procédure.

Conclusion

Maintenant vous savez tout du pendule inversé. J'espère que ce projet aura éveillé votre curiosité, et levé un coin de voile sur les méthodes de régulation modernes. Ce pendule n'a pas d'autre utilité en soi que d'amuser, d'intriguer, ou tout simplement de faire découvrir et expérimenter de nouvelles techniques. Toutefois il ne faut pas perdre de vue que ces techniques sont omniprésentes dans notre vie quotidienne, que ce soit dans les objets que nous utilisons ou dans la nature. Les boucles de régulation sont à l'œuvre dans les voitures, systèmes de communication ou encore les avions et les fusées pour suivre une trajectoire stable. Le monde du vivant fait montre de telles capacités, par ex. dans les interactions entre protéines dans les cellules ou encore pour tout autre paramètre biologique qui nécessite d'être régulé : température, pression sanguine, etc.

Comme les codes du pendule (micrologiciel et tour de contrôle) sont complètement ouverts, c'est maintenant à vous de jouer !

(150695)

Liens

- [1] www.genid.eu/dp/?q=Products\NanoScale\WhatIsNanoScale
- [2] www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/design_tip/DM00052458.pdf
- [3] Fichiers du circuit imprimé, micrologiciel, fichiers pour imprimante 3D (demi-coques, moyeu de la roue d'inertie), logiciel pour Windows : www.elektormagazine.fr\150695
- [4] Impression 3D à la demande : <http://www.sculpteo.com>
- [5] Misumi : www.misumi-europe.com

hors-circuits

le filtrage numérique

sans stress

les filtres IIR

Robert Lacoste (Chaville)

Après deux articles dédiés respectivement aux filtres à réponse impulsionnelle finie (FIR) et aux filtres *Cascaded Integrator Comb* (CIC), il est temps de conclure cette mini-série sur le filtrage numérique. Je vous présente ici une dernière famille d'algorithmes : les filtres à réponse impulsionnelle infinie (en abrégé IIR, pour **Infinite Impulse Response**). Il est vrai que ces filtres sont un peu plus délicats à manipuler et à comprendre que les précédents. En général ils sont présentés à l'aide de notions mathématiques quelque peu abstraites (pôles et zéros, transformées en Z, etc.) et éloignées du monde des électroniciens. Pas de panique ! Je vais vous expliquer comment marche un filtre IIR en n'utilisant que des analogies électroniques... et un peu de maths de niveau lycée.

FIR et IIR

Commençons par un rappel de quelques bases : un filtre numérique repose sur un algorithme qui accepte un signal en entrée, c'est-à-dire un flux de nombres, et fournit une version filtrée de ce signal en sortie. Comme la machine à remonter le temps reste à inventer, un filtre numérique en temps réel ne peut calculer la valeur de sortie suivante qu'en utilisant des valeurs plus anciennes du signal d'entrée. Nous en avons vu un premier type : le filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) qui a une « mémoire » finie du temps. En pratique, il prend les N derniers échantillons du signal d'entrée et les utilise pour calculer la valeur de sortie suivante (**figure 1**, à gauche) via une combinaison linéaire. L'exemple le plus simple de filtre

FIR est la moyenne glissante. L'algorithme d'un tel filtre, pour effectuer la moyenne des dix derniers échantillons d'entrée, ressemble à :

Pour chaque pas de temps (i), faire :

Moyenne = 0

pour j = 0 à 9, faire :

Moyenne = Moyenne+EchEntrée[i-j]

EchSortie[i] = Moyenne / 10

Comme chaque nouvelle valeur de sortie est une combinaison linéaire d'un nombre fini de valeurs d'entrée précédentes, ici dix, on a bien un filtre FIR avec tous les coefficients égaux à 1.

Le filtre à réponse impulsionnelle infinie (IIR) est un deuxième type de filtre numérique en temps réel. Son algorithme est un peu plus complexe, mais beaucoup plus puissant et général : le filtre IIR ne se restreint pas aux valeurs précédentes du signal d'entrée, chaque valeur de sortie est la combinaison linéaire des N valeurs d'entrée précédentes, mais aussi des N valeurs de sortie calculées précédemment (**figure 1**, à droite). Donc, un filtre IIR comporte une contre-réaction : sa sortie est rebouclée vers son entrée. Par conséquent, un changement du signal d'entrée peut avoir une influence sur la sortie pendant un temps très long, théoriquement infini, d'où le nom du filtre.

Revenons à l'exemple du filtre à moyenne glissante. Plutôt que de calculer la moyenne des dix dernières valeurs d'entrée (cas du FIR), on peut appliquer un autre algorithme : la moyenne pondérée. Il s'agit d'ajuster une moyenne déjà calculée en fonction de la valeur d'entrée suivante. Voici l'algorithme correspondant, qui est, vous l'aurez compris, un exemple de filtre IIR rudimentaire :

```
EchSortie[0] = EchEntree[0]
```

Pour chaque pas de temps (i), faire :

```
EchSortie[i] = (1-x) * EchSortie[i-1] + x *  
EchEntree[i]
```

La **figure 2** montre le résultat d'un tel filtre appliqué à un signal sinusoïdal bruité, avec $x = 0,2$. Augmenter la valeur de la constante x réduit l'effet du filtrage, et réciproquement. Ici, le signal de sortie est calculé en multipliant la dernière valeur d'entrée et la dernière valeur de sortie par des constantes et en additionnant le tout. On peut bien entendu construire des filtres plus complexes en n'utilisant non pas une seule valeur du passé, mais plusieurs. Cela donne la forme générale d'un filtre IIR, voir **figure 3**. Le principe est toujours le même : il suffit de stocker dans un tampon circulaire les N derniers échantillons d'entrée et de sortie, puis à chaque pas de temps de multiplier chaque valeur par une constante et d'additionner le tout.

Vous l'aurez compris : le filtre FIR n'est qu'un cas particulier du filtre IIR, avec la moitié des coefficients à zéro pour annuler toute rétroaction. Donc un filtre IIR est forcément plus puissant qu'un FIR. Son principal avantage est que la contre-réaction permet d'obtenir un filtre équivalent à un FIR, mais avec bien moins de calculs. Revenons à la moyenne glissante : avec un FIR, on effectue dix multiplications par échantillon, contre deux pour l'IIR avec un résultat du filtrage grossièrement similaire. Le filtre IIR présente-t-il un inconvénient ? Bien sûr que oui, car rien n'est gratuit. Le calcul des coefficients d'un filtre IIR et sa mise en œuvre ne sont pas toujours une partie de plaisir. Des valeurs incorrectes pour les coefficients ou bien des erreurs d'arrondis un peu trop grandes lors de la mise en œuvre entre autres peuvent provoquer une divergence numérique. Par exemple, vérifiez ce que donne l'algorithme de la moyenne glissante si la somme des deux coefficients est par erreur légèrement supérieure à un : la valeur de sortie devient infinie après quelques itérations... Les électroniciens qui ont déjà conçu des amplificateurs avec contre-réaction le savent bien : un tel montage peut être superbement stable ou pas, selon les précautions prises...

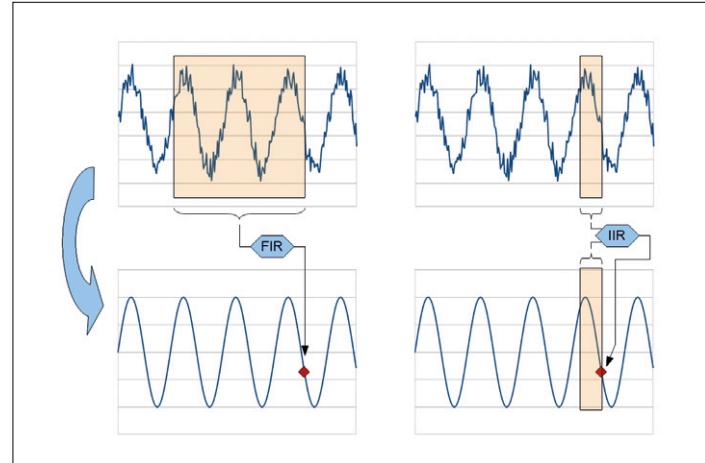


Figure 1. Un filtre à réponse impulsionnelle finie (FIR) calcule la valeur suivante du signal de sortie en fonction d'un segment de durée finie du signal d'entrée. Le filtre IIR utilise les valeurs précédentes du signal d'entrée, mais aussi les valeurs de sortie calculées précédemment, d'où une rétroaction.

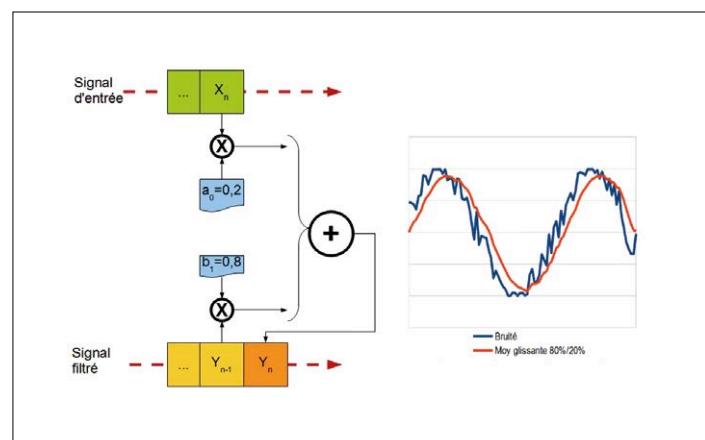


Figure 2. Un filtre à moyenne pondérée est un exemple de filtre IIR. Ici, la valeur de sortie suivante est calculée en prenant 20 % du signal d'entrée et 80 % du signal de sortie précédent, ce qui forme un filtre passe-bas.

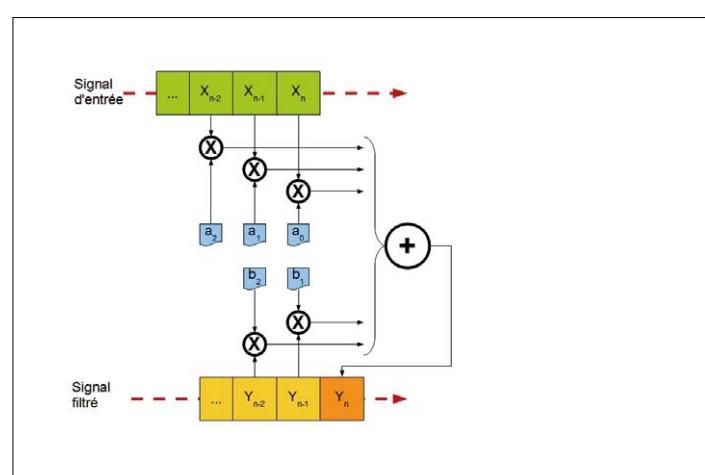


Figure 3. Voici la forme générale d'un filtre IIR. La valeur de sortie suivante est une combinaison linéaire des N valeurs d'entrée et de sortie précédentes. Le nombre N est le rang du filtre.

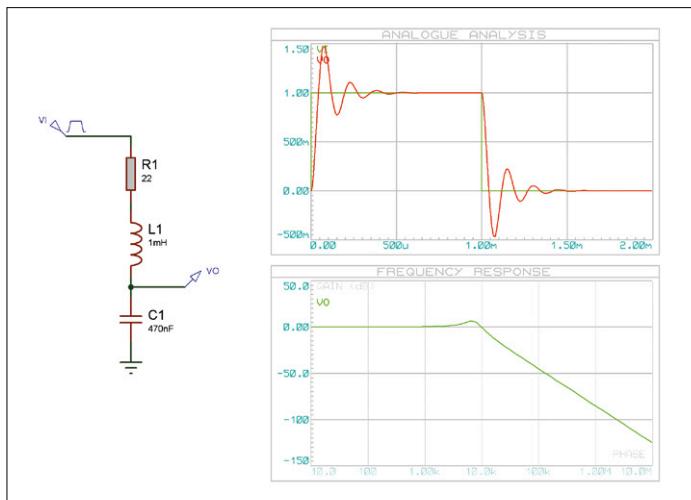


Figure 4. Un filtre passe-bas RLC simple et sa simulation dans le domaine fréquentiel.

Une approche analogique

Je vous expliquerai un peu plus loin comment calculer un filtre IIR en pratique, mais je vous propose une petite digression que je crois intéressante (les lecteurs vraiment rebutés par quelques formules peuvent sauter ce paragraphe, mais ça serait dommage !). Voyons pourquoi un filtre IIR est presque identique à un filtre analogique classique !

Ma démonstration repose sur un filtre RLC passe-bas d'ordre 2 (schéma, **fig. 4**). L'inductance de 1 mH est en série avec un condensateur de 470 nF et une résistance de 22 Ω. Sa fréquence de résonance est égale à $1 / (2\pi \cdot \sqrt{LC}) = 7,34$ kHz ; la fréquence de coupure à 3 dB est à 11 kHz environ. J'ai simulé ce filtre sous Proteus [1] (c'est également possible avec un logiciel gratuit comme LT-Spice). La simulation montre une réponse passe-bas classique, avec une suroscillation (overshoot) assez grande (facile à réduire avec une résistance de charge adaptée, mais ce n'est pas mon sujet ici).

Maintenant, passons à quelques calculs simples. Vous ne disposez que d'un tableur, et vous souhaitez calculer le signal de sortie de ce filtre pour un signal carré en entrée. Comment faire ? Regardez la **figure 5** et suivez-moi étape par étape. Commençons par les équations de base. Tout d'abord la loi de Kirchhoff dit que la tension d'entrée est la somme des tensions aux bornes des trois éléments en série :

$$(1) \quad V_i = V_R + V_L + V_o$$

Ensuite la loi d'Ohm affirme avec raison que la tension aux bornes de la résistance est proportionnelle au courant traversant l'ensemble :

$$(2) \quad V_R = R \cdot i$$

De même, vous l'avez peut-être un peu oublié, mais les deux équations qui régissent l'inductance et le condensateur sont les suivantes :

$$(3) \quad V_L = L \frac{di}{dt}$$

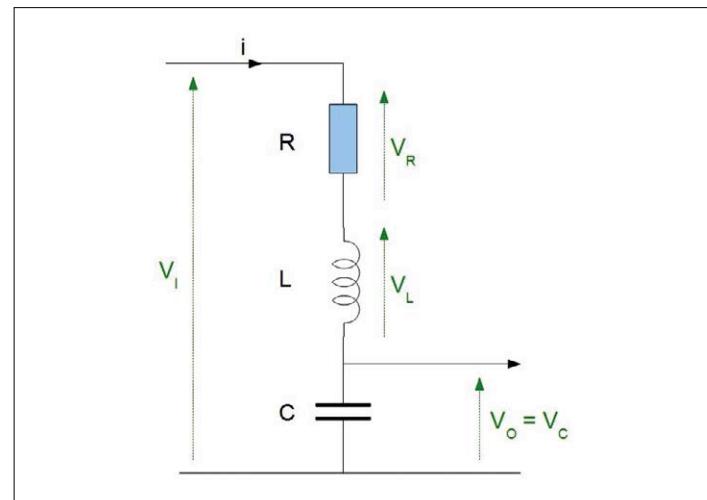


Figure 5. Un modèle de filtre RLC, nécessaire pour calculer la tension de sortie en fonction du signal d'entrée.

$$(4) \quad i = C \frac{dV_o}{dt}$$

Dans ces équations, les termes dx/dt désignent la dérivée par rapport au temps de la variable x , c'est-à-dire la pente de la courbe $x(t)$. Maintenant, fusionnons les trois équations (1), (2) et (3), on obtient :

$$(5) \quad V_i = R \cdot i + L \frac{di}{dt} + V_o$$

En remplaçant le courant i par sa valeur donnée par l'équation (4), on a finalement :

$$(6) \quad V_i = RC \frac{dV_o}{dt} + LC \frac{d^2V_o}{dt^2} + V_o$$

Cette formule, appelée par les puristes *équation aux dérivées partielles du second ordre*, est l'équation fondamentale qui régit ce circuit RLC. La tension d'entrée V_i est liée à la tension de sortie V_o , mais aussi à ses dérivées premières et secondes par rapport au temps. Les mathématiciens ont bien sûr calculé des solutions exactes pour ce type d'équation, ce qui donne des réponses stables ou pas, plus ou moins amorties selon les paramètres.

Oublions les solutions exactes : si l'on n'a qu'un tableur sous la main, on fait comment ? Plutôt que de rechercher une solution exacte, nous allons avoir une autre approche et nous rappeler que les signaux sont « à temps discret », c'est-à-dire constitués d'échantillons pris à des instants successifs.

Mais que faire des dérivées ? Si l'écart de temps entre deux échantillons est faible, on peut faire une approximation de la dérivée, à savoir la différence entre deux échantillons successifs, divisée par l'intervalle de temps :

$$(7) \quad \frac{dx}{dt} \approx \frac{x(n) - x(n-1)}{\Delta t}$$

De même, croyez-moi (ou démontrez-le par vous-même), une dérivée seconde peut être donnée par :

$$(8) \frac{d^2x}{dt^2} \approx \frac{x(n) - 2 \cdot x(n-1) + x(n-2)}{\Delta t^2}$$

Ces approximations permettent de réécrire l'équation (6) sans dérivées. C'est un peu pénible je vous l'accorde, mais on arrive, sauf erreur, à quelque chose comme ça :

$$(9) V_l(n) = \frac{RC}{\Delta t} [V_o(n) - V_o(n-1)] + \frac{LC}{\Delta t^2} [V_o(n) - 2V_o(n-1) + V_o(n-2)] + V_o(n)$$

En bricolant un peu la chose, on peut exprimer avec cette formule la valeur de sortie suivante en fonction des autres paramètres :

$$(10) V_o(n) = \frac{\Delta t^2}{a} x V_l(n) + \frac{RC\Delta t + 2LC}{a} x V_o(n-1) - \frac{LC}{a} x V_o(n-2)$$

(avec $a = LC + RC\Delta t + \Delta t^2$, une constante).

Ouf, c'est fini ! Regardez cette formule de près : le calcul du prochain échantillon de sortie $V_{o(n)}$ est une combinaison linéaire du dernier échantillon d'entrée $V_{l(n)}$, du dernier échantillon de sortie $V_{o(n-1)}$ et de l'avant-dernier échantillon de sortie $V_{o(n-2)}$, avec des coefficients un peu compliqués, mais constants. Cela ne vous rappelle rien ? Mais si bien sûr, c'est exactement un algorithme de filtre IIR !

Juste pour le plaisir, j'ai codé pour vous cette formule dans un tableur (LibreOffice Calc), et le résultat est illustré sur la **figure 6**. Comparez ce résultat avec le graphe donné par la simulation analogique (figure 4) et vous devriez être convaincu que le calcul était juste. Il n'y a pas de miracle, en fait nous n'avons fait que résoudre par approximation l'équation différentielle, et tous les simulateurs de circuits, comme Spice, utilisent une méthode de ce genre !

Et dans la vraie vie ?

Je vous ai montré comment extraire un filtre IIR d'un filtre analogique standard, mais je suis certain que vous n'avez pas envie de faire ce genre de calcul pour un filtre plus complexe. Heureusement, il existe des solutions nettement plus simples pour le concepteur, sous la forme d'outils logiciels de synthèse et de simulation de filtres IIR. Je connais au moins trois options gratuites (voir liens ci-après).

Le premier est un **calculateur de filtre IIR en ligne** [2] développé par Tony Fisher de l'Université de York, en Angleterre. Rien à installer, il suffit d'entrer le type de filtre voulu (passe-bas, passe-haut, passe-bande ou bande étroite (*notch*)), de sélectionner la forme de réponse désirée (Butterworth, Bessel et Chebyshev), l'ordre du filtre, la fréquence d'échantillonnage et la fréquence de coupure et de cliquer sur un bouton.

La deuxième option, que j'utiliserai comme exemple dans une minute, est un logiciel nommé **Winfilter** [3], développé par Adrian Kundert. Sa dernière version date de 2004, mais il est encore parfaitement exploitable sur un PC sous Windows 7 et offre une belle interface graphique.

Si vous préférez des logiciels à code source ouvert, vous pouvez utiliser **SciLab** [4], comme je le fais régulièrement dans cette rubrique. Recherchez sur le web un document intitulé « Le traitement du signal avec SciLab », il contient un chapitre de

35 pages sur les filtres IIR... D'autres logiciels commerciaux, mais à un prix abordable, sont également de bonnes options, comme le logiciel ScopeIIR [6] de Iowegian International ou Fiziw [7] de l'Université de Berkeley.

Terminons avec un petit exemple d'utilisation de Winfilter. Hypothèses : signal audio numérisé à 44 késch/s auquel il faut appliquer un filtre passe-bas de type Butterworth, avec une fréquence de coupure de 3000 Hz. L'atténuation sera d'au moins 20 dB à 6 kHz, c'est-à-dire une octave au-dessus la fréquence de coupure ($2 \times 3 \text{ kHz} = 6 \text{ kHz}$...). Un filtre du 1^{er} ordre fournit une atténuation de 6 dB par octave, donc il faut un filtre passe-bas du 4^e ordre (car $4 \times 6 \text{ dB} = 24 \text{ dB}$). Maintenant, il suffit de télécharger, installer et lancer Winfilter, et d'entrer les données. Cliquez sur Calculate Filter et la magie opère (**fig. 7**). Winfilter calcule le filtre IIR correspondant, la réponse en fréquence et la réponse impulsionnelle, et même le retard de groupe. Prodigieux !

Mais le tour de magie n'est pas fini. Dans le menu Output de Winfilter, vous trouverez des options pour produire automatiquement le code C ou VHDL du filtre ! Vous avez même la

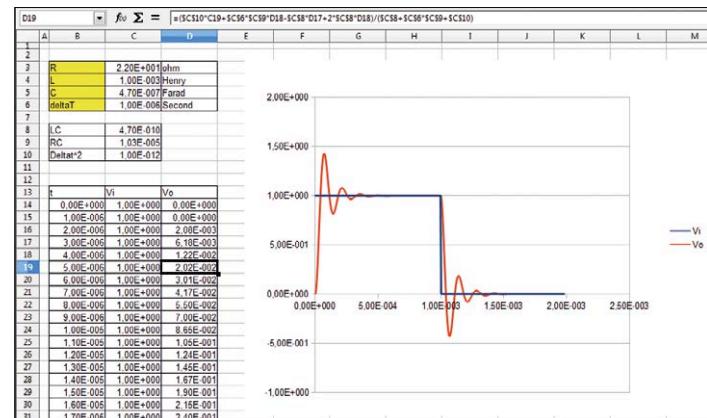


Figure 6. Voici la feuille de calcul du filtre RLC transformé en un filtre IIR. Regardez la formule dans la barre d'en-tête, c'est une transcription de la formule de calcul trouvée. Le signal de sortie est, comme prévu, très proche de la simulation Spice donnée en figure 4.

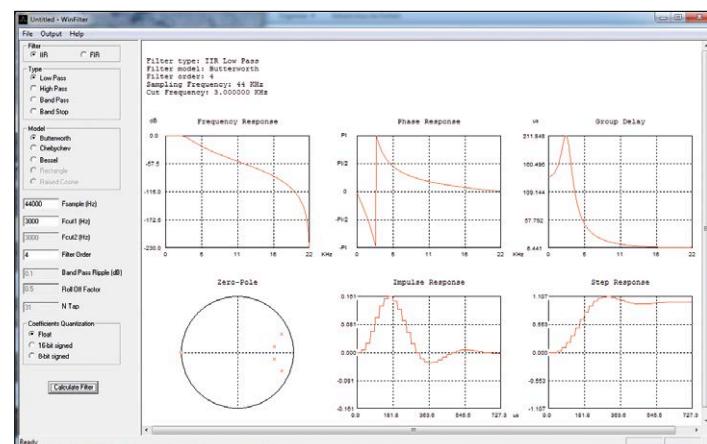


Figure 7. Winfilter permet de calculer et de simuler tous les types de filtres IIR juste en entrant leurs principales caractéristiques (à gauche). Les courbes donnent le comportement du filtre dans les domaines fréquentiels et temporels.

Listage 1. Code C produit par Winfilter pour l'exemple du filtre passe-bas (voir texte), avec des entiers sur 16 bits.

```
*****
WinFilter version 0.8
http://www.winfilter.20m.com
akundert@hotmail.com

Filter type: Low Pass
Filter model: Butterworth
Filter order: 4
Sampling Frequency: 44 KHz
Cut Frequency: 3.000000 KHz
Coefficients Quantization: 16-bit

Z domain Zeros
z = -1.000000 + j 0.000000

Z domain Poles
z = 0.657133 + j -0.115245
z = 0.657133 + j 0.115245
z = 0.785067 + j -0.331076
z = 0.785067 + j 0.331076
*****
#define NCoef 4
#define DCgain 512

__int16 iir(__int16 NewSample) {
__int16 ACoef[NCoef+1] = {
5315,
21261,
31892,
21261,
5315
};

__int16 BCoef[NCoef+1] = {
8192,
-23629,
26498,
-13541,
2647
};

static __int32 y[NCoef+1];
//output samples
// Warning!!!!!! This variable should be
// signed (input sample width +
// Coefs width + 4 )-bit width to avoid
// saturation.

static __int16 x[NCoef+1];
//input samples
int n;

//shift the old samples
for(n=NCoef; n>0; n--) {
x[n] = x[n-1];
y[n] = y[n-1];
}

//Calculate the new output
x[0] = NewSample;
y[0] = ACoef[0] * x[0];
for(n=1; n<=NCoef; n++)
y[0] += ACoef[n] * x[n] - BCoef[n] * y[n];
y[0] /= BCoef[0];
return y[0] / DCgain;
}
```

possibilité de créer et de simuler des versions qui effectuent les calculs en nombres flottants ou entiers. Le **listage 1** vous montre le code produit pour notre filtre passe-bas à 3000 Hz en version « entiers sur 16 bits ». Celui-ci serait très facile à planter dans un microcontrôleur.

Pour conclure

Soyons honnêtes. L'utilisation d'outils comme Winfilter peut rendre la conception de filtres IIR en apparence très simple, mais les difficultés se cachent souvent dans les détails. À ce stade, rien ne remplacerait une analyse mathématique un peu plus poussée avec quelques mots sur les notions de pôles et de zéros, mais de manière très schématique un filtre IIR peut mal se comporter (c'est-à-dire diverger numériquement ou donner des résultats en apparence fantaisistes). Pour faire simple, un filtre « gentil », c'est-à-dire avec un ordre assez faible et une réponse pas trop raide, fonctionnera probablement très bien tant que vous prenez garde à ce qu'il n'y ait pas de débordement dans les calculs. Par contre un filtre plus raide peut faire apparaître des problèmes de stabilité liés aux erreurs d'arrondis dans les calculs.

L'autre risque évoqué est l'impact des débordements numériques,

potentiellement catastrophiques. Prenez par exemple le cas d'un signal d'entrée provenant d'un CA/N à 8 bits et chargé pour les calculs dans un registre à 16 bits (donc avec les 8 bits de poids fort à zéro). Si, pour une raison ou une autre, l'un de ces bits de poids forts devient égal à 1, par ex. suite à un *bug* ou un parasite quelque part, alors un filtre IIR qui traite ce signal peut diverger. Dans le cas d'un filtre FIR, cela aurait pour conséquence un signal de sortie déliant pendant quelques échantillons, mais par définition un filtre IIR a une réponse impulsionnelle infinie, donc le filtre peut très bien ne jamais redonner de valeurs correctes, à moins d'une remise à zéro matérielle...

Que cela ne vous effraie quand même pas, concevoir et mettre en œuvre un filtre IIR est en règle générale très facile grâce aux outils disponibles. Cependant il vaut mieux connaître ce genre de problème potentiel, et se rappeler que les filtres FIR sont nettement plus simples, mais plus gourmands en ressources de calcul. L'important est de connaître les différentes options pour choisir la mieux adaptée à votre projet. Ceci conclut cette mini-série sur les filtres numériques, maintenant à vous de jouer !

(150794)

Cet article a été publié dans la revue *Circuit Cellar* (n°267, octobre 2012).

Liens

- [1] Suite logicielle de conception et de simulation Proteus : www.labcenter.co.uk
- [2] Calculateur de filtre IIR en ligne de Tony Fisher : <http://www-users.cs.york.ac.uk/~fisher/mkfilter/>
- [3] Logiciel de conception de filtres numériques Winfilter, Adrian Kundert : www.winfilter.20m.com
- [4] Logiciel de calcul numérique SciLab, SciLab consortium : www.scilab.org
- [5] Document *Signal Processing with SciLab*, SciLab group – INRIA Meta2 Project : <http://wiki.scilab.org/Tutorials%20archives?action=AttachFile&do=view&target=signal.pdf>
- [6] Logiciel de conception de filtres IIR pour Windows, ScopeIIR, Iowegian International : <http://www.iowegian.com/scopeiir>
- [7] Logiciel de conception de filtres numériques, Fiwiz : <http://www1.icsi.berkeley.edu/~storn/fiwiz.html>
- [8] Documents de cet article : www.elektormagazine.fr/150794

canne télémétrique vocale

**Raspberry Pi
+ ultrasons
+ synthèse vocale**

**= aide
pour les
malvoyants**

Bera Somnath (Inde)



Ce télémètre vocal mesure et annonce la distance qui le sépare des objets. Il peut aussi déclencher une alarme sonore ou activer un vibreur lorsque la distance mesurée est inférieure à une certaine limite programmable. Vous avez un RPi et un capteur de distance à ultrasons ? Laissez-vous guider, et peut-être inspirer, car ce montage expérimental illustre parfaitement le potentiel d'une technologie embarquée, grand public, comme le RPi.

Un brin de compétences en design industriel devrait permettre de transformer ce projet en canne blanche électronique pour aveugles et malvoyants. Les alarmes se déclenchent en fonction du « niveau de danger » défini par l'utilisateur, et sont actionnées par des relais commandés via des E/S à usage général. Les sorties à relais peuvent activer des dispositifs vibrants afin de fournir un retour tactile à l'utilisateur.

Pourquoi RPi ?

Windows est préféré pour les jeux, Linux pour les réseaux. De la même façon, le Raspberry Pi s'avère un des meilleurs choix pour les systèmes automatisés de petite taille où la consommation doit être aussi faible que possible. Une carte Arduino peut suffire dans certains cas, mais puisqu'il s'agit d'un simple microprocesseur, cette carte est plus adaptée à un rôle d'« esclave » que de « maître ». De son côté, le RPi peut simultanément exécuter des fonctions, surveiller et administrer des processus, le tout avec rapidité.

Matériel

Vous identifierez sans peine les principaux composants de la carte (fig. 1) : un capteur de distance à ultrasons HC-SR04 à 4 broches sur K1, un Raspberry Pi modèle A ou B avec le système d'exploitation Raspbian Wheezy, un écran LCD optionnel compatible HD 44780 de 2 x 16 caractères, quelques transistors, un convertisseur I²C-parallèle MC23008 de Microchip (IC1), et deux transistors FET pour la commande des relais RE1 et RE2, dont les contacts sont reliés aux borniers K2 et K3.

Le circuit est alimenté en +5 V par le connecteur micro-USB PWR IN du RPi. La plupart des signaux échangés entre le RPi et le circuit passent par les broches GPIO, et toutes les commandes utilisateur par le poussoir S1.

Notez que les transistors FET et le poussoir sont alimentés par le rail +3,3 V du RPi.

Pour la fonction sonar, le RPi envoie les impulsions par la ligne TRIG (GPIO25)

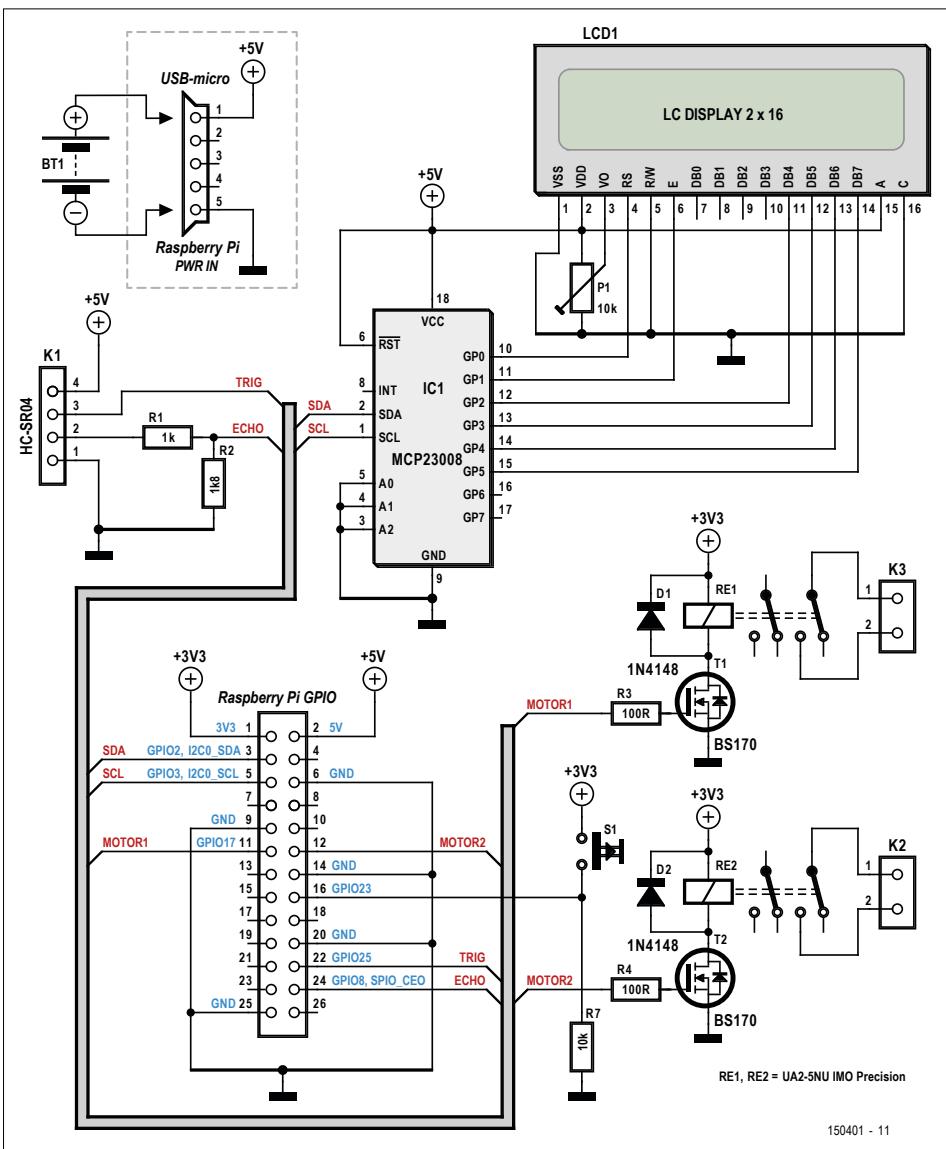


Figure 1. Le Raspberry Pi est si puissant et possède tellement de lignes GPIO qu'il n'a fallu que quelques composants supplémentaires pour concevoir la canne parlante. Le LCD est optionnel. Le menu et les valeurs affichées peuvent être utiles à la personne qui accompagne ou assiste l'utilisateur, et ils peuvent servir à paramétriser le dispositif.

Caractéristiques

- Canne télémétrique pour aveugles et malvoyants
- Alarme par buzzer/vibreur pour distance ≤ 1 m et > 2 m
- Transducteur à ultrasons avec résolution de 0,3 cm
- Distances lues par synthèse vocale, avec écart minimal de lecture réglable par logiciel (delta type : 2 à 5 cm)
- Commandé par Raspberry Pi
- Affichage des mesures sur LCD (optionnel)
- Code RPi téléchargeable gratuitement

Liste des composants

Résistances

R1 = 1 kΩ
 R2 = 1,8 kΩ
 R3, R4 = 100 Ω
 R7 = 10 kΩ
 P1 = ajustable de 10 kΩ, horizontal

Semi-conducteurs

IC1 = MCP23008-E/P, Microchip
 (réf. 1439387, Newark/Farnell)
 D1, D2 = 1N4148
 T1, T2 = BS170

Divers

K1 = embase femelle, 4 voies, 90 °
 K2, K3 = bornier pour CI à 2 voies,
 pas de 5,58 mm
 S1 = bouton à effleurement, 6 x 6 mm
 RE1, RE2 = relais, DPDT, 5 V,
 modèle UA2-5NU de IMO Precision Controls,
 (réf. 1094048, Newark/Farnell)
 LCD1 = LCD, alphanumérique, 2 x 16 car.
 (réf. 120061-74, www.elektor.fr)
 Capteur de distance à ultrasons
 (réf. 140194-91, www.elektor.fr)
 Carte de prototypage ELPB-NG
 (réf. 150180-1, www.elektor.fr)

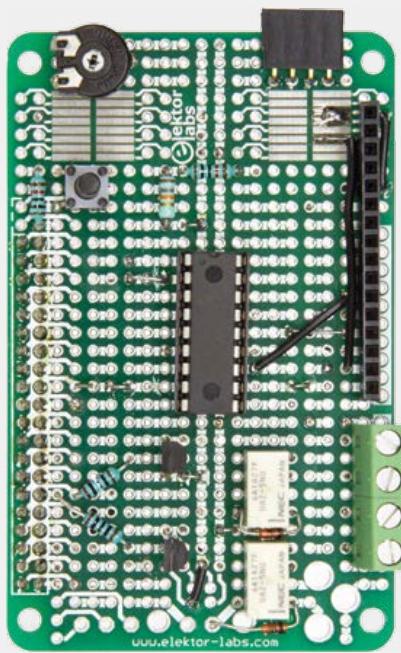


Figure 2. La carte de prototypage Elektor ELPB-NG utilisée pour assembler le projet.

et écoute la réponse sur la ligne ECHO (GPIO8/SPI0_CE0). Le temps écoulé entre une salve émise et celle reçue sert à calculer la distance entre le transducteur à ultrasons et l'objet réfléchissant ; la vitesse du son est considérée comme constante. Le signal a une fréquence d'environ 40 kHz. La proximité d'une personne équipée d'un module similaire (ou d'une voiture avec un radar de stationnement !) peut provoquer des interférences. Je travaille à une solution. La portée du module HC-SR14 est d'environ 2 à 5 cm, pour une précision d'environ 0,3 cm et un angle d'ouverture de 15 °.

Un petit haut-parleur est relié à la sortie audio du RPi, mais on peut aussi utiliser un casque ou des oreillettes. L'écran LCD est optionnel.

Logiciel

Nous vous conseillons d'avoir le code RPi du projet sous les yeux pour poursuivre la lecture de l'article (code disponible en [1]). Le **listage 1** est la routine qui traite l'écho des ultrasons.

Synthèse de la parole

Vous aurez à installer un synthétiseur vocal si vous souhaitez adapter le projet

à votre langue et/ou l'utiliser avec une voix particulière. On trouve de nombreux logiciels de synthèse de la parole sur l'internet, le plus polyvalent étant à mes yeux espeak, gratuit qui plus est. Citons également Festival, Pico et Cepstral [2]. espeak utilise une méthode de synthèse vocale différente de celle des autres synthétiseurs texte-parole *open source* et possède un son unique. Le rendu n'est peut-être pas très naturel ou « lisse », mais selon moi les voix ont une élocation suffisamment distincte pour être facilement compréhensibles. Pour l'installer :

```
$> sudo apt-get update
$> sudo apt-get upgrade
$> sudo apt-get install alsa-utils
```

Ouvrez ensuite le fichier `/etc/modules` avec nano, et ajoutez la ligne suivante :

```
$> sudo nano /etc/modules
snd_bcm2835
```

Enregistrez le fichier (Ctrl+o), quittez nano (Ctrl+x), puis redémarrez le RPi :

```
$> sudo reboot
```

Installez les programmes suivants :

```
$> sudo apt-get install mplayer
$> sudo apt-get install espeak
$> sudo apt-get install espeak-gui
```

espeak est maintenant installé. Pour consulter son manuel :

```
$> man espeak ou $> espeak -h
```

La sortie audio du RPi n'est pas assez puissante pour attaquer autre chose qu'un casque. Afin de tester espeak, il faut donc relier un amplificateur à la prise audio du RPi. Après avoir lancé *espeak-gui*, on peut attribuer différents critères à la voix du synthétiseur, dont la hauteur et le volume. Voici quelques exemples :

```
$> espeak "Bonjour, bienvenue chez
      Elektor" // voix masculine
$> espeak -vfr+f3 «Bonjour,
      bienvenue chez Elektor» // voix
      féminine
$> espeak -vfr+f3 -k9 -s150 -a200
      «Bienvenue chez Elektor» // voix
      aiguë, volume max., féminine
```

Ce projet a également besoin du module Python *rpi.gpio* [3]. Téléchargez la dernière version et installez-la.

Une canne, pas un perroquet

Le Raspberry Pi y laisserait tout son jus de framboise à force de répéter encore et toujours les mêmes valeurs. Le programme contient donc un tableau dans lequel sont stockées les vingt dernières distances mesurées. Lorsque la différence entre la dernière distance et la valeur en cours est supérieure à la différence par défaut (sv dans le code, 2 cm ici), le RPi énonce la distance mesurée, sinon il reste muet. La constante sv est déclarée au début du code, vous pouvez la modifier en fonction de vos besoins.

1 2 3, test micro

En utilisant un amplificateur relié à la prise audio ou un casque, lancez le programme Python avec les droits d'administrateur :

```
$> sudo python ultra3.py
```

La première initialisation prend un certain temps. Le programme énonce d'abord le message de bienvenue, puis entre dans une boucle de mesure des distances. Les broches GPIO 25 et 8 sont reliées à deux relais de 5 V dont le rôle est d'émettre chacun un signal lorsqu'un objet est

détecté : un pour une distance > 200 cm (pas de danger), un autre pour une distance < 100 cm (danger). Pour aider les aveugles, les relais peuvent être connectés à deux petits vibreurs récupérés dans des vieux téléphones portables.

Enfin il faut modifier le fichier `/etc/rc.local` pour que le programme se lance au démarrage du RPi :

```
$> sudo nano /etc/rc.local
```

Ajoutez à la fin du fichier, avant « exit », la ligne suivante :

```
sudo python /home/pi/ultra4.py &
```

Le code associé à la canne parlante est intéressant à bien des égards. Je vous invite à l'étudier, l'expérimenter, le compléter, l'optimiser ou l'améliorer. Et bien sûr à partager vos résultats sur www.elektormagazine.fr/labs.

Construction

Puisque vous êtes en train de lire Elektor, il y a fort à parier que l'assemblage des composants électroniques vous posera moins de problèmes que le montage mécanique, sans parler d'éventuelles tentatives de « design industriel ou ergonomique ». Quoi qu'il en soit, le soudage est ici inévitable. Plutôt que de dessiner un circuit imprimé pour ce projet, le labo d'Elektor a utilisé sa carte de prototypage ELPB-NG, disponible dans l'e-choppe [4]. La carte assemblée se fixe sur le RPi. Voilà pour l'électronique. Reportez-vous à la **liste des composants** et à la **figure 2**, elles disent et montrent l'essentiel.

Le labo d'Elektor a utilisé les matériaux à sa disposition pour construire la canne et ainsi prouver la faisabilité du projet. Vous pouvez voir le résultat sur la **figure 3**, et chaque élément séparé sur les figures **3a** (RPi, carte d'extension, LCD, pas de haut-parleur), **3b** (batterie) et **3c** (télémètre à ultrasons).

On peut rendre la canne encore plus pratique en plaçant les vibreurs de façon à ce que l'utilisateur puisse associer leur vibration à la distance mesurée et au niveau de risque : ≤ 1 m (danger) ou > 2 m (danger relativement faible). On peut fixer le RPi et la carte ELPB NG un peu plus bas que la poignée, et arrimer

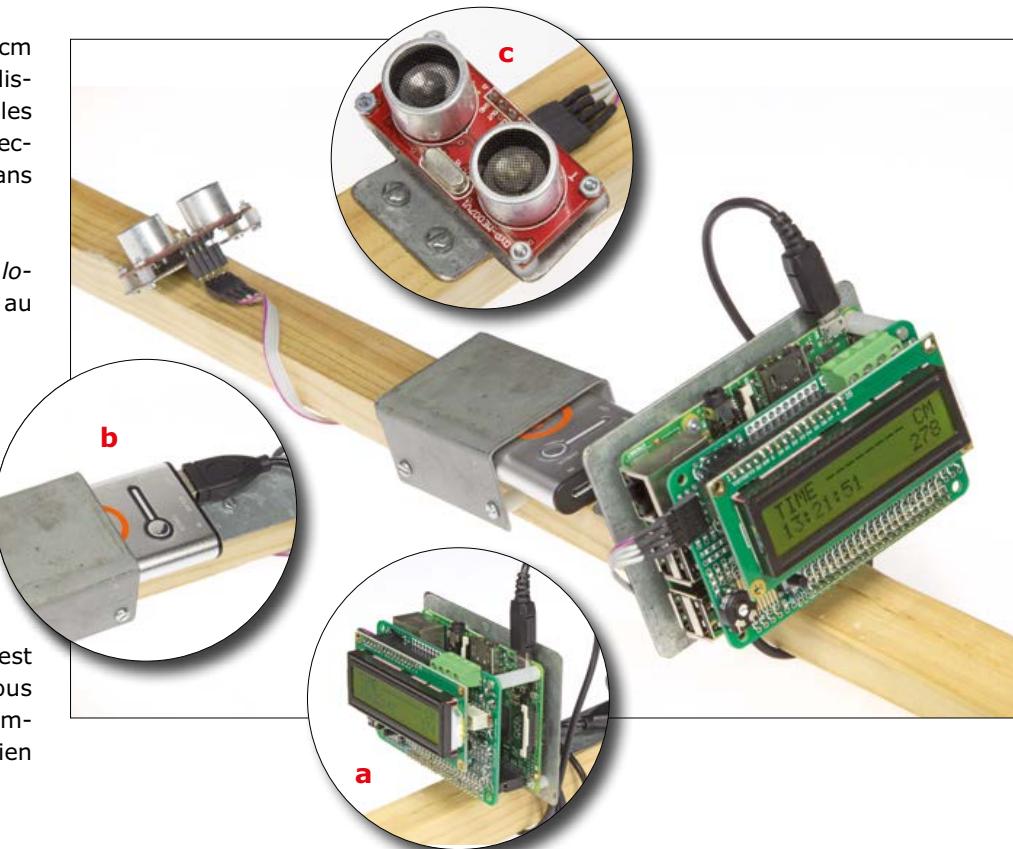


Figure 3. Montage expérimental sur un bâton de bois. **a.** Le RPi, la carte d'extension et le LCD solidement fixés en un seul bloc à l'extrémité de la canne. **b.** La batterie insérée dans un support métallique fixé à peu près au milieu de la canne. Ici nous avons utilisé un modèle Li-ion à recharge solaire. **c.** Le sonar positionné entre le quart et le tiers de la canne. Sa position a été déterminée expérimentalement. Elle devrait dépendre des souhaits et capacités physiques de l'utilisateur, ainsi que de l'angle d'ouverture du module.

Lancement automatique du script

Voici la recette :

- Copier le dossier `rpi_distance_meter` dans le répertoire `home/pi` du Raspberry Pi en utilisant une clé USB ou un programme comme WinSCP.
- Lancer le terminal et entrer `cd rpi_distance_meter`.
- Rendre le script de lancement exécutable avec la commande `sudo chmod 755 launcher.sh`.
- Revenir au répertoire d'accueil (`/home`) en tapant `cd`.
- Créer un dossier `logs` avec la commande `mkdir logs`.
- Lancer `crontab` avec `sudo crontab -e`. Crontab est un processus qui s'exécute en arrière-plan et permet d'ordonnancer des tâches.
- Dans la fenêtre `crontab`, entrez `@reboot sh /home/pi/rpi_distance_meter/launcher.sh >/home/pi/logs/cronlog 2>&1`. Le script sera lancé au démarrage.
- Redémarrez le RPi avec `sudo reboot` pour vérifier que le script se lance bien. Si ce n'est pas le cas, cherchez les erreurs dans le fichier `log` du dossier `logs`.

Le script se lance automatiquement au démarrage du RPi. Il émet un message de bienvenue, puis commence son cycle de mesure et d'annonce des distances. Le RPi ne parle que si la distance mesurée dépasse la distance précédente d'une valeur prédéfinie. Pour l'éteindre, appuyez sur le bouton. Le RPi annonce qu'il va se mettre hors tension.

Listage 1. Extrait du code RPi pour la canne parlante. Le code complet est en [1].

```
#print "Ultrasonic Measurement"
GPIO.setup(GPIO_TRIGGER,GPIO.OUT) # Trigger
GPIO.setup(GPIO_ECHO,GPIO.IN) # Echo

while shutdown == 0:
    GPIO.output(GPIO_TRIGGER, False)
    time.sleep(0.1)
    # Send 10us pulse to trigger
    GPIO.output(GPIO_TRIGGER, True)
    time.sleep(0.00001)

    GPIO.output(GPIO_TRIGGER, False)
    start = time.time()
    while GPIO.input(GPIO_ECHO)==0:
        start = time.time()
    while GPIO.input(GPIO_ECHO)==1:
        stop = time.time()
    elapsed = stop-start

#multiplied speed of sound (cm/s)
distance = elapsed * 34300 / 2
lcd.setCursor(0,0)
lcd.message("TIME ----- CM")
lcd.setCursor(0,1)
buf = "%0f" % distance
if distance>99:
    lcd.message(datetime.now().strftime('%H:%M:%S') +buf)
if distance<99:
    if distance>9:
        lcd.message(datetime.now().strftime('%H:%M:%S') +buf)
    if distance<=9:
        lcd.message(datetime.now().strftime('%H:%M:%S') +buf)

print " Distance : %.1f cm" % distance

if distance<=200 and distance>100:
    GPIO.output(motor1,1)
    GPIO.output(motor2,0)

elif distance<=100:
    GPIO.output(motor1,0)
    GPIO.output(motor2,1)

else:
    GPIO.output(motor1, 0)
    GPIO.output(motor2, 0)

# if the difference between the previous distance and the current
# distance is greater than a set value
if abs(prevDistance-distance)>sv:
    exitCode = subprocess.call(["espeak","-ven+f3","-a200",
    "-s120","%.0f" % distance])

prevDistance = distance
```



la batterie sous les cartes (plomb-acide, Li-ion, NiCd). Cette position répond à la plupart des usages. La sonde sonar doit être placée un peu en dessous du milieu de la canne pour que les objets situés au ras du sol, ceux susceptibles de faire trébucher l'utilisateur, soient détectés correctement.

La longueur de la canne est critique et devrait être adaptée aux aptitudes physiques et à la taille de l'utilisateur. Comme je l'ai dit plus haut, la synthèse vocale déclenchée par une mesure dépend de la valeur préréglée `sv` (*set value*). Si la personne utilise un casque dont le son ne peut pas être réglé, le volume peut être ajusté dans le programme `ultra3.py` en modifiant l'argument `-a` de la commande `espeak` ; la valeur par défaut est `-a200`, c'est-à-dire le volume maximal. ◀

(150401 – version française : Hervé Moreau)

Liens

- [1] Logiciel du projet : www.elektormagazine.fr/150401
- [2] Synthétiseur vocal Cepstral : www.cepstral.com/raspberrypi
- [3] Module RPi-GPIO : <https://sourceforge.net/projects/raspberry-gpio-python/>
- [4] Carte de prototypage ELPB-NG (*Elektor Labs Prototyping Board Next Generation*), réf. 150180-1 : www.elektor.fr

M€I

moniteur d'energiemètre intelligent



Joop Tap (Pays-Bas)



Aujourd'hui, les compteurs « intelligents » prolifèrent dans nos habitations. La consommation de gaz et d'électricité peut être lue sur place ou bien à distance. Notre moniteur M€I rend ces données accessibles à l'abonné. D'un simple coup d'œil, vous connaitrez votre consommation instantanée ou bien la puissance restituée au secteur par vos panneaux solaires. Mais attention : cela peut être addictif, surtout si vous venez de les installer !

Caractéristiques

- Lecture des consommations journalières, mensuelles et annuelles de gaz et d'électricité
- Lecture de la puissance consommée
- Lecture de la puissance produite
- Enregistrement des données sur une carte SD
- Réseau Wi-Fi ou câblé
- Envoi des données par Internet vers un récepteur particulier

les données de la veille et n'enregistrent les informations du compteur que pendant quelques mois ; et d'autres vous font même payer pour ce service.

En quoi consiste le M€I ?

Les données du compteur (chez l'auteur un modèle de la série G350 de Landys+Gyr répondant aux normes des Pays-Bas, semblables à celles d'autres pays européens) sont envoyées vers une interface et ensuite diffusées par Wi-Fi dans toute la maison. [Elles sont conformes au protocole DSMR 4.0 (*Dutch Smart Meter Requirements*) puisque l'auteur réside aux Pays-Bas.] Ces données peuvent être traitées sur le moniteur M€I ou vues sur un grand afficheur à LED. Avec le moniteur, tous les états du compteur peuvent être lus, et les consommations de gaz ou d'électricité (journalières, mensuelles et annuelles) enregistrées. Les données importantes sont transférées toutes les

Si vous avez un compteur dit intelligent (aussi appelé communicant [1]), vous pouvez en extraire nombre d'informations. Il existe des applis qui permettent d'enregistrer la consommation, mais je voulais pouvoir voir des informations en temps réel sur un grand afficheur à LED, et aussi enregistrer les données sans limitation. Beaucoup d'applis ne donnent que

15 min sur une carte SD, dans un fichier texte avec séparation par virgule, ce qui permet – entre autres – d'élaborer par la suite un graphique des consommations.

Comment cela fonctionne-t-il ?

Un petit boîtier d'interface est relié au port de communication P1 du compteur ; le dialogue sur ce port est conforme aux normes EN 13757-2 (filaire) et EN 13757-4 (radio), c'est-à-dire la norme européenne M-Bus [2]. L'auteur a réalisé deux versions de son montage : une pour réseau câblé (**fig. 1**), et une pour la transmission des données par Wi-Fi (**fig. 2**), pour que celles-ci soient disponibles sans fil dans toute la maison. Toutes les données du compteur sont lues toutes les 10 s, et envoyées sous forme de trame UDP (*User Datagram Protocol* – protocole de datagramme utilisateur) à 115 200 bauds. Pour que le signal soit reconnu comme signal série, il est d'abord



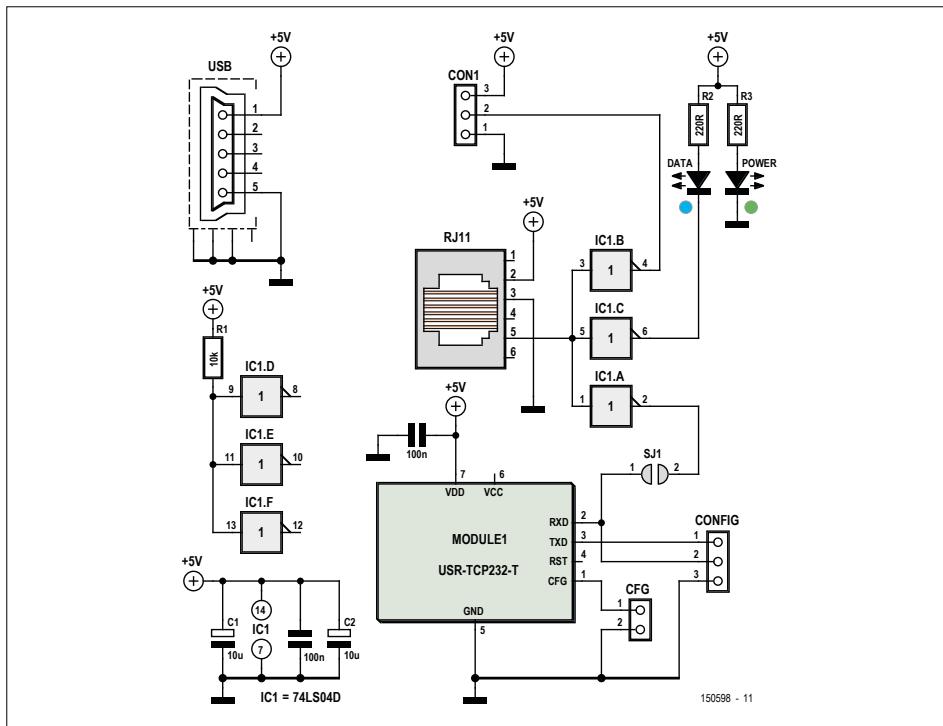


Figure 1. La version TCP/IP de l'interface de lecture des données est construite autour d'un module USR-TCP232T.

inversé ; il est alors disponible au niveau TTL sur CON1 (interface TCP/IP) ou DATA_OUT (interface Wi-Fi).

L'interface TCP/IP ne comporte rien de plus qu'un circuit inverseur TTL et un module USR-TCP232-T à configurer. C'est possible par le réseau, à l'aide du logiciel fourni avec le module. Deux LED – une pour l'alimentation et une pour les données – indiquent l'état de l'interface. L'interface Wi-Fi est un peu plus fournie, elle repose sur le module WiFi RN-171. Celui-ci nécessite aussi une configuration, pour laquelle on relie l'interface à un ordinateur via IC2, un convertisseur RS232-USB, et un connecteur mini-USB. La procédure à suivre est décrite sur le site du magazine [3]. Après cette configuration initiale, les modifications ultérieures s'effectuent par le réseau lors d'une session Telnet.

Le signal provenant du compteur est ici aussi inversé par un 74LS04, et une adaptation de niveau est effectuée par T1, T2 et T3, le module WiFi travaillant en 3,3 V. Trois LED indiquent l'état de l'interface : une verte, clignotement lent s'il y a une liaison réseau et rapide en l'absence de liaison ; une bleue pour la réception des données du compteur ; et une rouge pour la transmission de données par Wi-Fi. Enfin, trois LED CMS indiquent également l'état lors de la programmation via le connecteur USB.

Les interfaces peuvent prendre place dans un boîtier en plastique, type 1591MBK de chez Hammond. Les interfaces peuvent être reliées au port de communication P1 du compteur par un câble 1:1 avec connecteurs RJ11. Un adaptateur 5 V avec connecteur mini-USB est parfait pour l'alimentation ; dans l'interface Wi-Fi, un MCP1703 assure la conversion en 3,3 V pour le module WiFi.

Les données retransmises par l'interface TCP/IP ou Wi-Fi doivent bien entendu être visibles. Deux solutions dans ce projet : sur le moniteur ou sur un afficheur à LED externe.

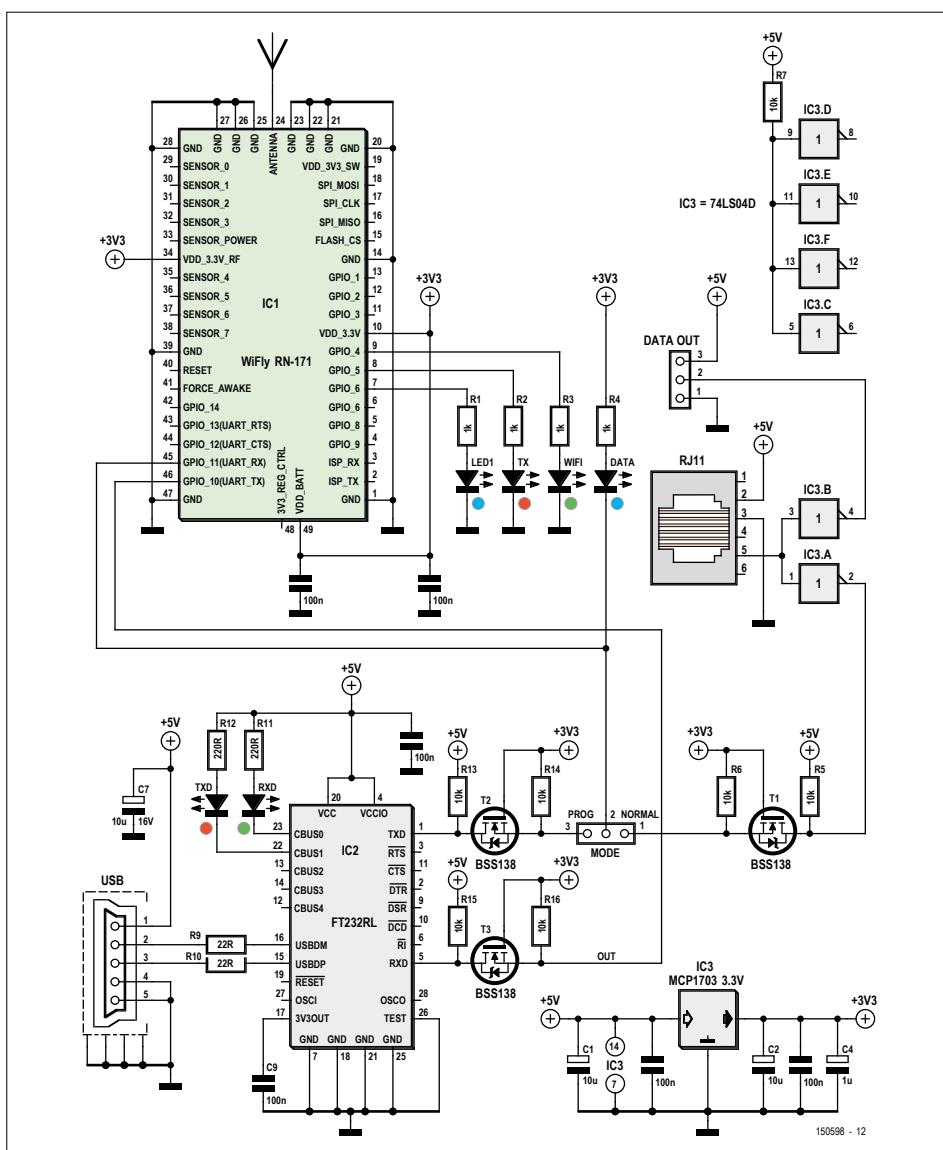


Figure 2. Un peu plus « d'intelligence » dans la version Wi-Fi de l'interface, pour piloter le module WiFi RN-171.

Réception de données avec M€I

Le moniteur M€I analyse les données provenant de l'interface Wi-Fi, et celles-ci sont présentées sur un afficheur LCD à quatre lignes. Les données les plus importantes sont aussi transférées sur une carte SD et transmises par Wi-Fi vers l'afficheur à LED.

Les données reçues par le moniteur sont directement décodées et l'état du compteur analysé. Un microprocesseur, ici un PIC18F2620, calcule les totaux, décomptes et pourcentages. Toutes les 15 min, les principaux paramètres

sont transférés sur une carte SD dans un fichier texte avec séparation par virgule. En cas de coupure de courant, les données journalières, mensuelles et annuelles sont conservées ; le stockage reprend dès réception d'un nouveau message du compteur. La carte SD peut être retirée pour consultation ou traitement des données sur un ordinateur.

Sur le schéma de la **figure 3**, on voit que l'interface WLAN est presque identique à celle de la figure 2. Une LED verte indique l'état de la liaison Wi-Fi, une bleue la réception des données du compteur, et

une rouge la transmission de données vers l'afficheur à LED externe.

Les données sont envoyées vers le PIC après adaptation de niveau par T3. Le processeur traite les données, pilote l'afficheur LCD et le buzzer, et gère le transfert de données vers la carte SD. Un petit extra, pour profiter des entrées-sorties du PIC : il y a un capteur de température DS18S20, relié via JP2. Ce capteur (IC4) partage une ligne avec le connecteur ISP. Les boutons-poussoirs (**fig. 4**) qui occupent également des lignes du connecteur ISP sont montés sur un circuit

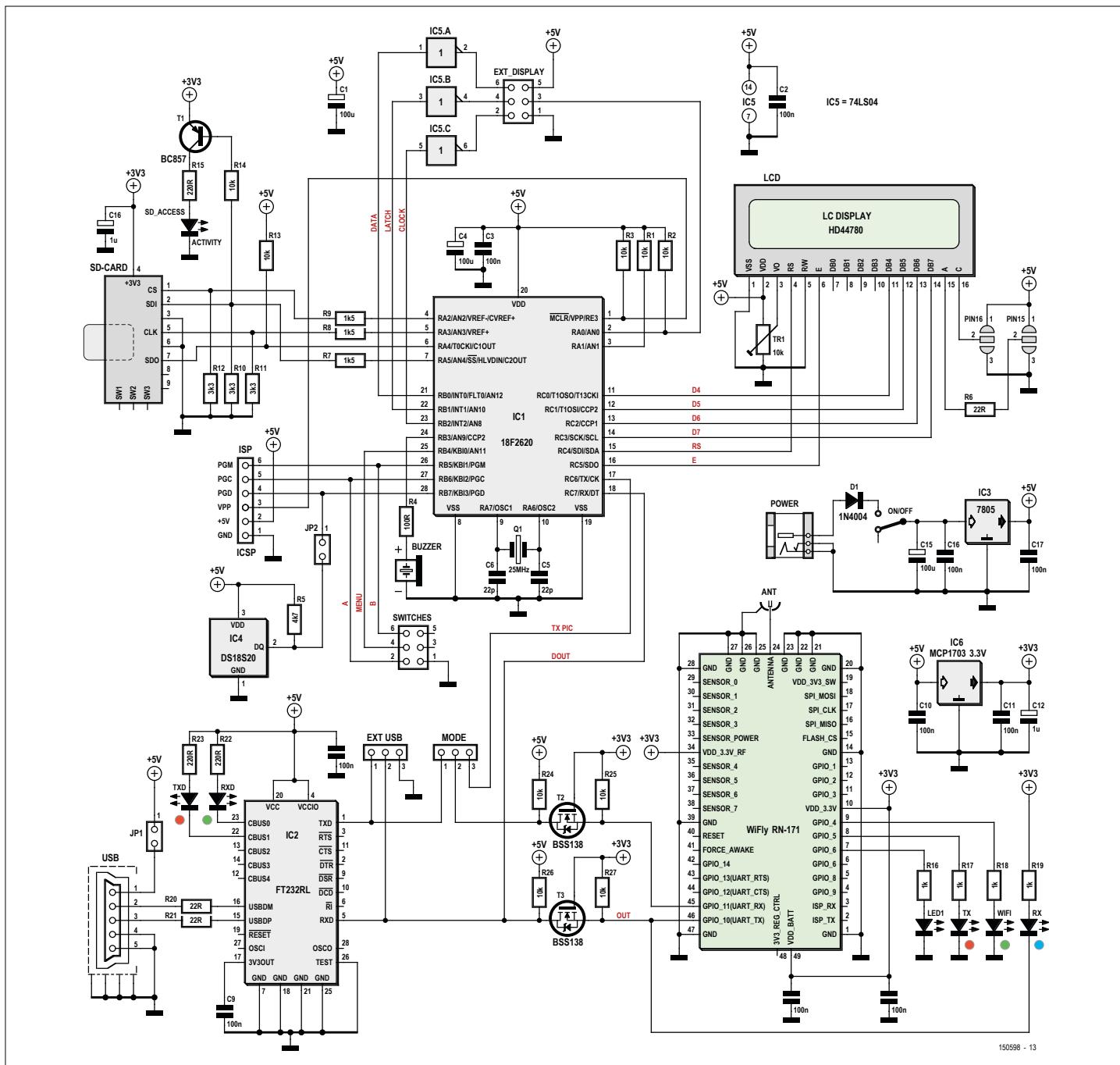


Figure 3. Le moniteur conditionne et conserve les données, et pilote l'afficheur à LED par une liaison Wi-Fi.

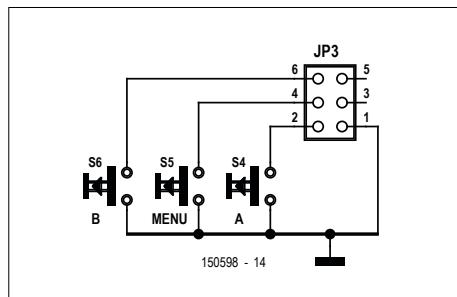


Figure 4. Les boutons-poussoirs de configuration sont sur un circuit imprimé séparé, intégré lors de la production aux circuits d'interface TCP/IP et Wi-Fi.

imprimé séparé et reliés au PIC via JP3. Lors d'un transfert de données vers la carte SD une LED rouge s'illumine. Il est important de ne pas retirer la carte à ce moment-là, les données pourraient être corrompues ! Il est même conseillé d'interrompre le stockage de données (menu n°9, touche B) avant de retirer la carte. Lors de sa remise en place, il faut d'abord contrôler l'intégrité de la carte (menu n°9, touche A) ; la mise en mémoire des données peut alors reprendre.

Les données sont transmises à l'afficheur à LED par le moniteur. Le menu

de configuration permet de déterminer quelles données sont montrées, et aussi de régler l'intensité lumineuse : automatique, en fonction de la lumière ambiante, ou maximale. En tous cas, la puissance consommée ou fournie est toujours montrée en temps réel. Si on a désactivé le signal sonore qui indique l'absence de liaison Wi-Fi, cela s'applique aussi à l'afficheur à LED. Il est également possible de relier, directement au circuit imprimé du moniteur, un afficheur externe 8x8, via EXT_DISPLAY (sans passer par WLAN).

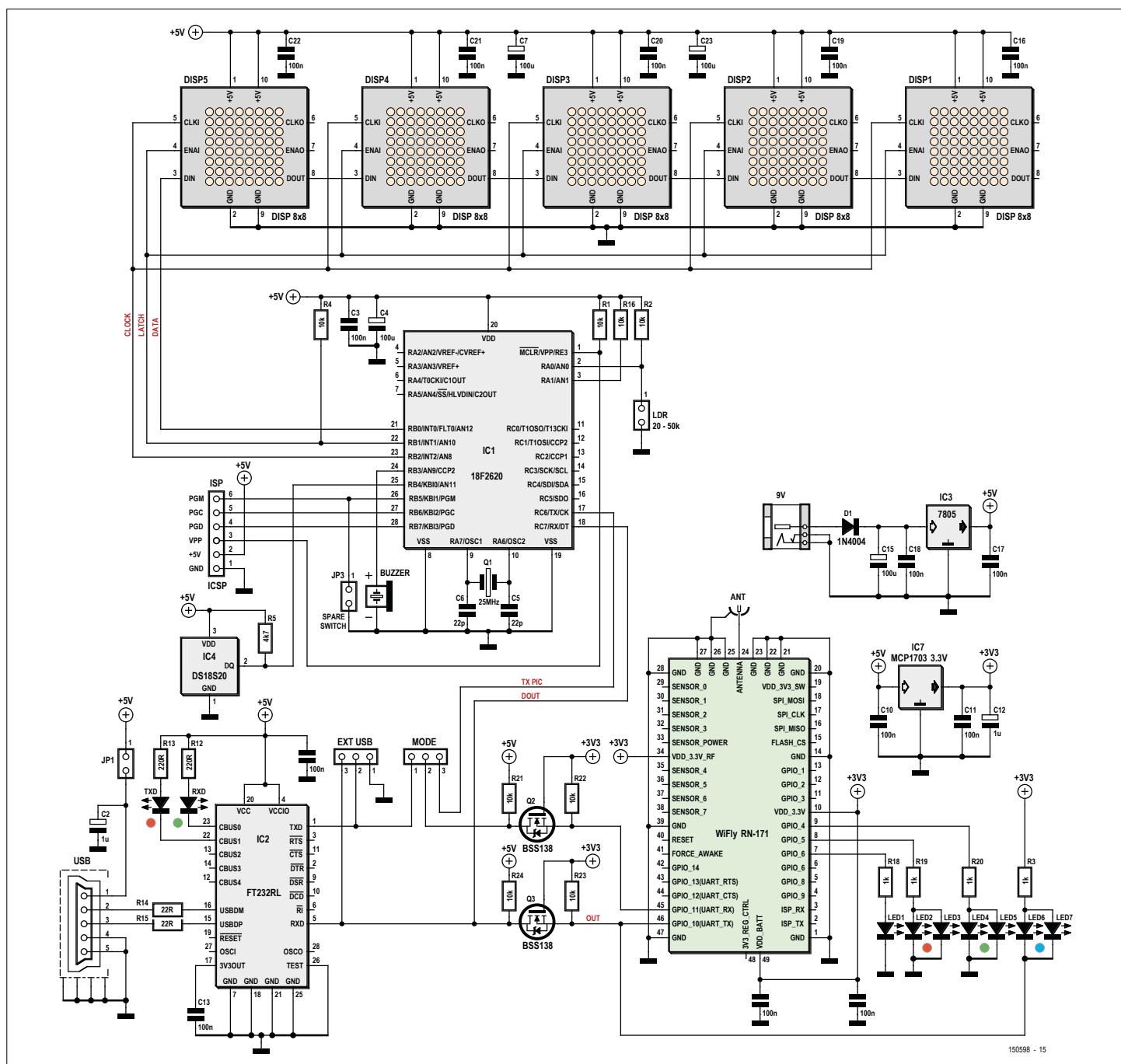


Figure 5. L'afficheur à LED utilise le même microprocesseur que celui du module de contrôle, un PIC18F2620, et peut être utilisé séparément.

Configuration du réseau

Avant de pouvoir utiliser le moniteur, il faut saisir le nom du réseau (SSID – Service Set Identifier) et son mot de passe. Une adresse IP pour l'envoi des données doit aussi être attribuée à l'interface et à l'afficheur à LED. La procédure à suivre est décrite sur le site du magazine [3].

Lorsque cette configuration est terminée, le cavalier MODE est placé sur « PIC » ; les modifications ultérieures s'effectuent par le réseau lors d'une session Telnet. Une interruption de la liaison est indiquée sur l'afficheur LCD, et aussi par un signal sonore faible (au choix).

Le code du microprocesseur a été écrit en PIC-BASIC avec compilateur Proton BASIC (version 3.5.5.4) de Crownhill Associates. Il en existe deux versions, pour compteur monophasé ou triphasé [3]. Attention : le logiciel a été écrit pour le protocole DSMR 4.0, et n'a pas été testé pour d'autres pays.

Un boîtier en aluminium de chez Monacor (type AH-102/SW) abrite le moniteur. Sur un côté on trouve le connecteur de la carte SD, les LED, l'antenne Wi-Fi 2,4 GHz et l'interrupteur marche-arrêt ; de l'autre côté un connecteur pour un adaptateur 7-12 V. L'afficheur LCD bleu 4x20 car. avec rétroéclairage et les trois boutons-poussoirs sont sur la face avant. Il va de soi que la consommation du circuit est faible (< 1 W), on doit veiller aux économies d'énergie ! L'éclairage de l'afficheur LCD s'éteint même après un certain temps si aucun bouton-poussoir n'est pressé.

Données sur l'afficheur à LED

Le circuit de l'afficheur à LED (fig. 5) ressemble beaucoup à celui du moniteur (fig. 3) ; la partie inférieure du schéma est identique. Le PIC pilote avec le circuit MAX7219 cinq modules d'affichage à LED 8x8.

Ici aussi trois LED indiquent l'état : une verte pour le Wi-Fi, une bleue pour la réception de données, et une rouge pour l'envoi éventuel de données vers un autre afficheur. Une photorésistance



(LDR – Light-Dependent Resistor) permet la mesure de la lumière ambiante et le réglage automatique de l'intensité lumineuse de l'afficheur.

Une interruption de la liaison Wi-Fi est indiquée par un message sur l'afficheur (« wifi? ») et un signal sonore faible.

Le module WiFly est configuré via la connexion USB pour utilisation en réseau (cavalier MODE sur « PROG ») ; on doit entre autres encoder le nom (SSID) et le mot de passe du réseau. La procédure est décrite sur le site du magazine [3]. Lorsque cette configuration est terminée, le cavalier MODE est placé sur « NORM » ; les modifications ultérieures s'effectuent par le réseau lors d'une session Telnet. Un autre cavalier sur le circuit imprimé permet de passer en mode test : toutes les LED sont allumées.

Le circuit imprimé à simple face est conçu de telle manière que les afficheurs y soient directement enfichés (construction en sandwich) ; il faut donc remplacer les picots coudés par des modèles droits. Il rentre dans un boîtier de 17 x 6 x 4,5 cm³. Les seuls connecteurs nécessaires sont pour un adaptateur 7-12 V et une antenne Wi-Fi.

L'afficheur est aussi économique, avec une consommation inférieure à 1,5 W.

Autres configurations

Il est possible d'utiliser seulement l'afficheur à LED, c'est-à-dire sans le moniteur, toujours via l'interface TCP/IP ou

Wi-Fi. Les données ne pourront pas être stockées sur une carte SD, et ne pourront être lues que la consommation journalière de gaz ou d'électricité et la puissance consommée ou fournie. L'afficheur doit bien entendu

être pourvu d'un logiciel spécifique. Les données provenant du compteur via l'interface Wi-Fi sont décodées et analysées par l'afficheur lui-même. L'afficheur montre alternativement la puissance instantanée consommée ou fournie, et au choix la consommation de gaz journalière ou le décompte journalier d'électricité. JP3 sert à sélectionner ce dernier affichage.

Lancez-vous !

Et pour finir, quelques conseils pour le montage de l'appareil. Il faut avant tout vérifier que le boîtier est de dimensions suffisantes pour le circuit imprimé du moniteur. Il convient ensuite de monter en premier le connecteur mini-USB, qui est le plus délicat. Chaque module devra être monté un « bloc » à la fois, avec test entre les étapes pour éviter de devoir chercher la panne éventuelle sur un circuit entièrement monté.

Quand le montage est terminé et que tout fonctionne, on peut commencer la programmation et l'installation.

Le microcode nécessaire et les instructions sont rassemblés sur le site du magazine [3], et l'auteur répondra volontiers à vos questions (en anglais ou néerlandais) via son site [4].

(150598 – version française Jean-Louis Mehren)

Liens

- [1] Compteur communicant : fr.wikipedia.org/wiki/Compteur_communicant
- [2] Informations sur le protocole M-Bus : en.wikipedia.org/wiki/Meter-Bus & www.m-bus.com
- [3] Page de l'article : www.elektormagazine.fr/150598
- [4] Contact avec l'auteur : slimmemeter.jimdo.com/contact ; photos, vidéos et informations diverses sur le site de l'auteur : slimmemeter.jimdo.com



bienvenue dans votre e-choppe

Elektor recommande



Horloge Nixie à six chiffres

Bien que les premiers tubes Nixie aient été commercialisés en 1955, de nos jours ils séduisent toujours autant. Quelle vedette des années 50 peut en dire autant ? Notre précédente horloge à quatre tubes Nixie (numéro d'octobre 2014) a rencontré un franc succès ; elle affichait les heures et les minutes avec précision grâce à un récepteur GPS. Bien que disponibles en interne, les secondes étaient perdues. Dans ce numéro, nous vous proposons une nouvelle version de l'horloge Nixie qui

affiche l'heure à la seconde près ! En plus elle tient compte automatiquement du changement d'heure (été/hiver). Nous vous la proposons sous forme de kit dans notre boutique en ligne.

Thijs Beckers
(rédacteur en chef, Pays-Bas)

www.elektor.fr/horloge-nixie



Vos favoris :

1. Raspberry Pi 3 (modèle B)

www.elektor.fr/raspberry-pi-3-b



2. SmartScope Labnition

www.elektor.fr/labnition-smartscope

3. Buggy Formula AllCode

www.elektor.fr/formula-allcode-buggy

4. Maker Kit - Internet des objets

www.elektor.fr/maker-kit-iot

5. DVD Elektor 2015

www.elektor.fr/dvd-2015

6. Kit de diagnostic Red Pitaya V1.1

www.elektor.fr/red-pitaya-diagnostic-kit

DVD Elektor 2000-2009



Ce DVD-ROM contient tous les numéros d'Elektor des années 2000 à 2009. Les 2200 articles d'Elektor réunis sur ce DVD-ROM sont présentés par ordre de parution (mois/année). Ils sont également classés par ordre alphabétique et par rubriques. Un index général permet d'effectuer des recherches dans tous les fichiers PDF du DVD-ROM même quand ils ne sont pas ouverts (31 000 liens hypertexte).



Prix (membres) : 80,10 €

www.elektor.fr/dvd-elektor-2000-2009-fr

Compilation BL600



Compilation BL600 en PDF : retrouvez les huit articles parus dans Elektor sur le BL600, un module de communication radio à consommation ultra-faible. Avec la carte de liaison pré-assemblée, vous pourrez accéder facilement et rapidement aux principaux signaux du module BL600 (I2C et son capteur de température, SPI et son convertisseur numérique-analogique) pour réaliser un thermomètre extérieur sans fil ou bien un interrupteur 230 V commandé.



Prix (membres) : 7,16 €

www.elektor.fr/e-select-compilation-bl600

Analyseur de Signal Par Ethernet



L'ASPE, *Analyseur de Signal Par Ethernet*, est un instrument trois-en-un, compact et bon marché : oscilloscope + générateur de signal + analyseur de spectre pratique. L'ASPE numérise des signaux avec des fréquences d'échantillonnage allant jusqu'à 1 MHz. Les signaux numérisés sont ensuite envoyés par Ethernet vers un PC pour y être affichés.



Prix (membres) : 67,46 €

www.elektor.fr/aspe



Un kit d'outils aux talents multiples pour tout réparer

Indispensable aux professionnels et amateurs

Tout pour réparer les appareils électroniques : tournevis, pinces...

Kit totalement repensé

Contenu du kit

- Bracelet de protection antistatique
- Ventouse pour les pièces difficiles à saisir
- 3x outil d'ouverture iFixit pour plastique mou
- 6x outil pointu d'ouverture iFixit
- Pince croisée en nylon
- Pince à bec coudé, antistatique
- Pince à bec droit, antistatique
- 2x *spudger* en plastique, antistatique, à usage multiple
- Spudger* en métal pour forcer, pousser...
- Jimmy – l'outil qui ouvre tous les boîtiers
- Tapis magnétique de récupération des vis et autres pièces
- 64 embouts pour réparer les petits appareils électroniques
- Trousse solide et compacte



Prix (membres) : 58,46 €

www.elektor.fr/all-new-pro-tech-toolkit

Pro Tech Toolkit

nouvelle version

Raspberry Pi 3 modèle B

+ compilation RPi

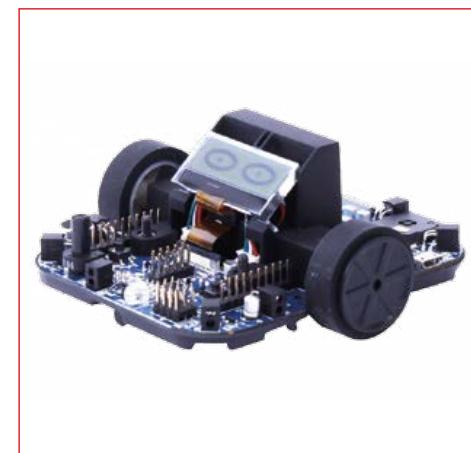
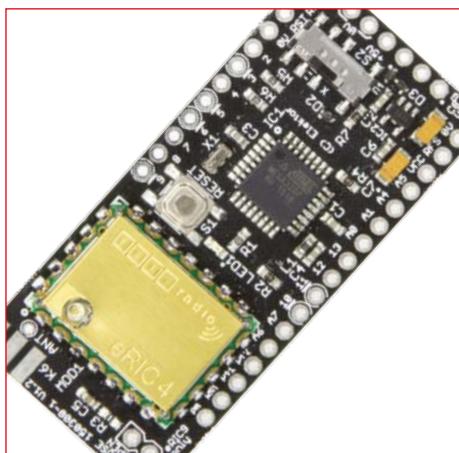
e-choppe Elektor en ligne

Votre panier d'achats pour l'électronique

eRIC Nitro

DVD Elektor 2015

Formula AllCode Robot Buggy



eRIC Nitro réunit un µC ATmega328 AVR avec chargeur d'amorce Arduino et un module radio eRIC à faible consommation dans la bande ISM (868 ou 915 MHz avec eRIC9). **Attention !** Les modules eRIC4 et eRIC9 ne sont pas fournis avec la carte eRIC Nitro ; selon votre choix, il faut les commander séparément. Le µC et le module RF travaillent ensemble ou indépendamment, ce qui vous fait en tout cas deux puissants microcontrôleurs sur une carte de 2,5 x 5 cm.



Prix (membres) : 26,96 €

www.elektor.fr/eric-nitro

Ce DVD-ROM réunit tous les articles d'ELEKTOR parus au cours de l'année 2015, en français (mais aussi en anglais, allemand et néerlandais). Il contient le texte des articles ainsi que les schémas, et tous les dessins des circuits imprimés, sous forme de fichiers à haute résolution. Une fonction de recherche dans la table des matières vous permet de trouver immédiatement l'article souhaité.

Prix (membres) : 24,75 €

www.elektor.fr/dvd-2015

Que vous soyez déjà un passionné de robots ou bien un débutant qui souhaite développer ses connaissances en matière de robotique, Formula AllCode est fait pour vous. Le principal avantage de Formula AllCode est que vous pratiquerez la robotique avec les plateformes matérielle et logicielle de votre choix. Formula AllCode comprend un cours complet de robotique.



Prix (membres) : 224,10 €

www.elektor.fr/formula-allcode-buggy



par **Frans Andries**

Le colis avec le *shield* à VFD pour Arduino Uno s'est fait attendre, mais ma patience a été récompensée ! C'est avec plaisir que j'ai passé une partie de mes vacances à assembler ce kit. C'était quand même un défi parce que c'est surprenant d'avoir autant de composants au centimètre carré. Comme le tube le plus à droite ne fonctionnait pas correctement, j'ai compris que j'avais fait une erreur d'inattention : j'avais permuted deux transistors. Avec

quelques mesures, j'ai pu localiser facilement le problème et le régler. Depuis les tubes VFD s'allument parfaitement. Si seulement j'avais suivi les recommandations de l'article...

Aujourd'hui je projette de télécharger le code source de l'horloge et de l'adapter un peu pour qu'il puisse tourner avec un signal d'horloge en temps en réel sur I²C. Enfin j'installerai le *shield* dans un boîtier de type rétro, fait maison.

En résumé : les tubes VFD sont magnifiques et le kit est de très bonne qualité !

Plus d'informations sur le kit du *shield* à tubes VFD ici :

www.elektor.fr/arduino-vfd-shield

... vous aussi envoyez-nous votre avis sur votre produit favori d'Elektor ; si nous le retenons pour une publication, vous recevrez en échange un bon d'achat de 100 € à valoir dans l'e-choppe d'Elektor...

J'essaye : www.elektor.fr/rotm



layar
INTERACTIVE PRINT

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





Raspberry Pi 3 (modèle B) + compilation RPi

Le Raspberry Pi 3 (modèle B) est un ordinateur miniature de la taille d'une carte de crédit. Il repose sur un processeur à quadruple cœur ARM Cortex-A53, le BCM2837 de Broadcom, cadencé à 1,2 GHz. Cela signifie qu'il est 50 à 60% plus rapide que le Raspberry Pi 2 B. La communication par Wi-Fi 802.11n et Bluetooth 4.1 est maintenant intégrée au RPi 3 ; ce nouveau modèle est toujours rétrocompatible avec les modèles précédents.



Prix (membres) : 44,96 €

www.elektor.fr/raspberry-pi-3-model-b

Kit de l'interrupteur Bluetooth

avec boîtier Hammond

Raspberry Pi 3 modèle B

+ compilation RPi

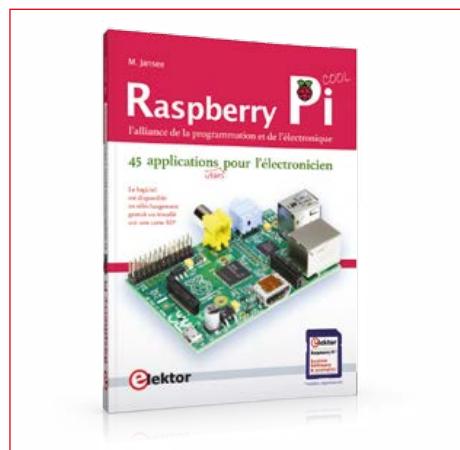
e-choppe Elektor en ligne

Votre panier d'achats pour l'électronique

Raspberry Pi : 45 applications utiles pour l'électronicien

Compilation Raspberry Pi

Mooshimeter



Après une courte présentation du R. Pi, vous installez le logiciel. Suit une introduction brève au système Linux et à la programmation en Bash, Python et Javascript. L'auteur expose seulement ce qui est nécessaire pour comprendre les projets et les adapter à vos besoins, puis il vous propose des projets plaisants, certains simples (clignotant alternatif, commande de moteurs), d'autres compliqués (régulation de vitesse de moteur, serveur ouïe avec CGI...).

Téléchargez ici la version numérique de la compilation Raspberry Pi : 17 articles parus dans le magazine Elektor ! Après l'achat, le lien de téléchargement restera disponible dans votre compte. Avec ce document PDF, vous découvrirez le monde de Raspberry Pi sur votre ordinateur, votre tablette tactile ou votre téléphone.

Le Mooshimeter est un outil de mesure multivoie, relié par Bluetooth 4.0 à un écran graphique de haute résolution, à savoir un ordiphone ou une tablette. Il permet d'effectuer des mesures en toute sécurité jusqu'à 600 V et 10 A, avec une résolution de 24 bits, jusqu'à une distance de 40 m environ, et d'enregistrer des résultats sur une période de 6 mois.



Prix (membres) : 33,75 €

www.elektor.fr/rpi



Prix (membres) : 8,55 €

www.elektor.fr/raspberry-pi-compilation-pdf



Prix (membres) : 121,46 €

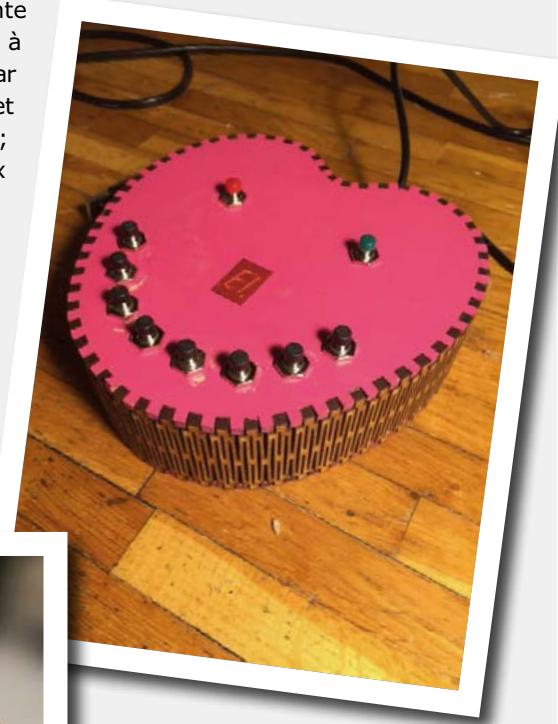
www.elektor.fr/mooshimeter

bienvenue dans la section **PARTAGER**

Thijs Beckers (Elektor NL)

En préambule à la section PARTAGER de ce mois, je voudrais vous entretenir du projet qu'un de nos traducteurs m'a envoyé. Vous devez savoir que nous accordons une grande confiance à nos traducteurs et à leurs connaissances techniques, et cette relation particulière permet des conversations ouvertes et intéressantes. Leur intérêt pour l'électronique est manifeste, et cela mène quelquefois à des « présentations » spontanées de leurs projets et « bricolages ».

La charmante petite boîte à musique que vous voyez sur la photo a été réalisée par notre traducteur Kees de Groot pour sa petite-fille, et voici ce qu'il m'en a dit : « Le boîtier est particulier ; les côtés sont courbés, j'ai donc utilisé des panneaux de MDF (*Medium Density Fiberboard* – fibres à densité moyenne) de 3 mm d'épaisseur. Il est peint en rose, mais à part ça, rien d'extraordinaire. Les touches donnent une gamme diatonique (do, ré, mi, fa, sol, la, si, do), le bouton rouge sert à l'enregistrement et le vert à la lecture. Je voudrais aussi programmer un système de question-réponse, mais je n'en suis pas encore là. Il faut juste encore un câble USB plus long pour l'alimentation et éventuellement reprogrammer le microcontrôleur. »



Si vous avez lu l'introduction de la section CRÉER de Clemens Valens – où il parle de la carte BBC *micro:bit* – et si elle vous intéresse, il vous faudra prendre votre mal en patience. Des millions de circuits ont été fabriqués pour atteindre l'objectif

ambitieux de la BBC, mais au moment de la rédaction aucune carte *micro:bit* n'était disponible pour les amateurs. Même sur les sites de vente d'occasion comme eBay (.co.uk dans ce cas), la carte est pratiquement introuvable ; il faut attendre que des écoliers se lassent de leur « jouet » et le mettent en vente. Je le redis donc, un peu de patience !

Dans les pages qui suivent, quelques trouvailles intéressantes que nous souhaitons partager avec vous : le *Fairphone* (l'ordiphone socialement responsable), l'amplificateur *Zen*, et bien entendu notre rubrique Rétronique ; sans oublier notre traditionnel et bien connu casse-tête Hexadoku pour finir en beauté.

(150782 – version française : Jean-Louis Mehren)

céramique contre tantale

avantages et inconvénients des matériaux des condensateurs

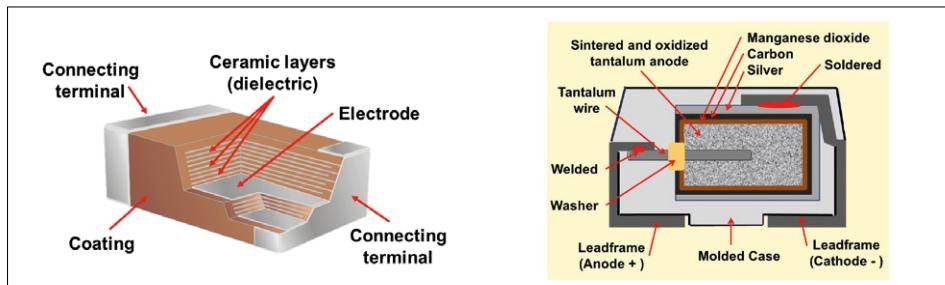
Il fut un temps où les électroniciens ne juraient que par les condensateurs au tantale. Il semble que désormais on n'utilise que des condensateurs à isolant en céramique. Voyons les pour et contre de chaque type.

Harry Baggen (labo d'Elektor)

Au labo d'Elektor, Ton Giesberts travaille actuellement sur le circuit imprimé d'une platine de traitement numérique du signal (DSP – *Digital Signal Processing*) à réseau de portes programmables (FPGA – *Field-Programmable Gate Array*) ; cette platine fera l'objet d'un article dans le magazine. Il y a peu, Daniel Uppström, l'auteur du projet, a suggéré de remplacer certains condensateurs céramique par des modèles au tantale, à cause de leurs meilleures caractéristiques. On trouve actuellement des condensateurs céramique CMS sur la plupart des circuits, même pour des valeurs relativement élevées (10 ou 22 μ F) ; des modèles au tantale sont bien entendu aussi disponibles pour ces valeurs. Ton ne se satisfait jamais d'une simple suggestion, il s'est précipité sur l'internet pour rechercher de la documentation sur le sujet. Il est tombé sur un texte de Charles Gervasi, daté de 2012, sur le site *element14* [1], qui expose les différences entre les deux types de condensateur. Ce texte est lui-même basé sur une note d'application de Kemet, datée de 2008 [2]. Nous résumons ici les points les plus importants de ces deux sources. Il semblerait bien que les condensateurs céramique ne soient pas aussi parfaits que ça.

Inconvénients des condensateurs à isolant en céramique :

- La capacité diminue avec le temps ; un peu plus pour les diélectriques Y5V et Z5U que les diélectriques X5R et X7R. En les dessoudant et ressoudant, on retrouve leur valeur initiale, ce processus rétablit la structure cristalline dans son état original. Hélas, le « déclin » recommence par la suite !



Structure des condensateurs CMS : céramique (à gauche) et au tantale (à droite). (Illustrations : Wikipédia)

- La capacité diminue en présence d'une tension continue aux bornes du condensateur. Plus la tension est élevée, plus la diminution est forte, et cela peut atteindre la moitié de la valeur initiale.
- Les condensateurs céramique peuvent se comporter comme un élément piézoélectrique dans la plage de fréquence de 30 Hz à 30 kHz. Ils peuvent créer du bruit, ou capter le bruit ambiant et produire un signal électrique parasite.
- Ils sont sensibles aux contraintes mécaniques une fois soudés sur un circuit imprimé, ce qui peut engendrer des fissures (appelées *flex cracks* en anglais) dans les couches très fines du condensateur. Plus le condensateur est gros, plus il est fragile.
- La valeur de la capacité est plus basse en présence d'une tension continue qu'en présence d'une tension alternative. Ceci n'a guère d'importance dans la plupart des applications.

Inconvénients des condensateurs au tantale :

- Ils sont polarisés, et il faut donc faire attention lors du montage.
- Pour garantir la stabilité du condensateur au tantale, la tension à ses bornes ne doit pas excéder la moitié de la tension de service nominale. Cette tension de service di-

mine fortement aux hautes températures.

- La capacité diminue en haute fréquence.
- Le courant de fuite d'un condensateur au tantale est supérieur à celui d'un condensateur céramique.
- La résistance série équivalente (ESR – *Equivalent Series Resistance*) est plus grande que celle d'un condensateur céramique, mais tout de même plus petite que celle d'un condensateur électrolytique aluminium.
- Risque d'explosion lors d'un dépassement du courant ou en cas de défaillance. Ceci limitait autrefois l'emploi des condensateurs au tantale, mais les fabricants ont depuis résolu le problème en employant des matériaux différents lors de la production.

En fonction de votre application, il peut être intéressant d'alterner condensateurs céramique et au tantale. Le prix a peu d'importance, il est sensiblement le même pour les deux types. Les condensateurs au tantale sont plus robustes et conservent leurs caractéristiques sur une plus large plage de tensions ; les condensateurs céramique ont un courant de fuite plus faible, une résistance série équivalente plus petite, et un meilleur comportement en haute fréquence. En tous cas, vous savez désormais à quoi faire attention !

(150785 – version française : Jean-Louis Mehren)

Liens

[1] www.element14.com/community/community/news/blog/2012/04/30/why-do-they-even-make-tantalum-capacitors

[2] www.kemet.com/Lists/TechnicalArticles/Attachments/93/2008-11%20Update%20-%20Ceramic%20versus%20Tantalum.pdf

pour l'audiophile zen

compliqué un ampli ? pas du tout !

Harry Baggen (labo d'Elektor)

Méditation, beauté, simplicité, c'est zen. On peut être audiophile et zen, en voici la preuve. Un amplificateur zen tâche d'allier le minimum de composants au maximum de qualité du son pour qu'il vous procure détente et concentration. Prêt pour un parcours initiatique ?

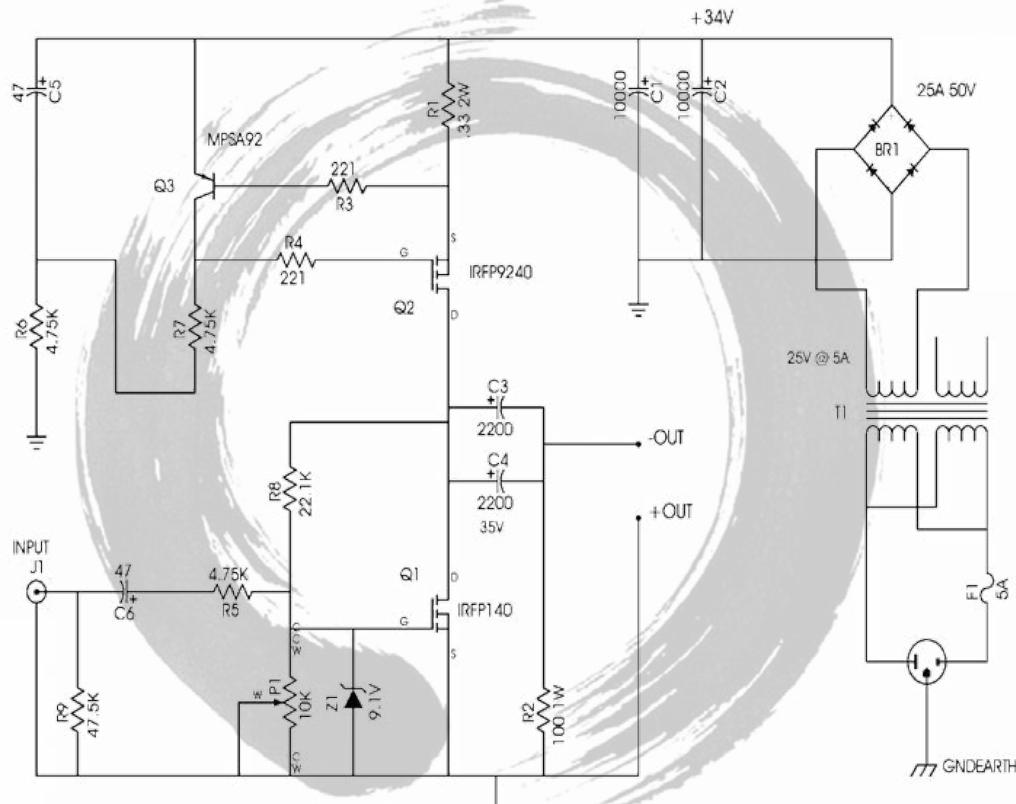
Beaucoup d'amateurs de bonne musique construisent encore leurs appareils eux-mêmes, de l'amplificateur aux enceintes acoustiques. On en rencontre de deux tendances : les auditeurs et les technophiles. Le premier groupe recherche la meilleure impression auditive sans se tracasser de sophistication technique, les amateurs se décident à l'oreille. Le deuxième groupe est à l'affût de spécifications techniques exceptionnelles, comme une large bande passante et une distor-

sion infinitésimale. Mais par bonheur, il y a encore des enthousiastes qui s'efforcent de réaliser le meilleur compromis entre sonorité et caractéristiques techniques dans leurs projets.

Je voudrais vous faire découvrir ici un ampli final Zen, un projet développé en 1994 par un gourou de l'audio, Nelson Pass [1] et toujours fabriqué par de nombreux amateurs en différentes versions. Sur les 22 dernières années, de

nombreuses variations sont apparues, assorties de noms évocateurs tels que *Son of Zen*, *Death of Zen* ou *Bride of Zen* (un préampli).

En réalité, en quoi consiste le concept zen ? Nelson Pass a cherché comment concevoir l'étage de puissance avec le moins possible de composants et il est arrivé à un schéma dans lequel il n'y a qu'un gros MOSFET et une source de courant. Sa devise : plus c'est simple et





une ampoule comme source de courant sur des amplis zen !

moins il y a de composants, moins ils pourront dégrader le signal audio. Mieux vaut choisir plus d'inoffensifs produits de distorsion qu'un projet très compliqué avec de fortes rétroactions. L'amplificateur zen d'origine se résume à 18 composants plus une alimentation, dans lesquels on ne trouve que trois composants actifs : un MOSFET et un transistor pour la source de courant et un MOSFET pour l'amplification de puissance du signal audio. Cet amplificateur en classe A n'a que 20 % de rendement et ne peut fournir que 20 W, alors que la distorsion commence à augmenter. À 1 W, la distorsion est un peu supérieure à 0,5 %, rien que des harmoniques paires. Comme l'ampli dissipe environ 70 W par canal, il lui faut un énorme radiateur. L'alim est aussi de taille et Nelson conseille un transformateur surdimensionné de 25 V/6 A au secondaire pour son ampli zen. Dans son premier article, Nelson est clair et net sur le son de son ampli zen : avec le bon haut-parleur, c'est tout simplement merveilleux.

Les années suivantes, Nelson en a présenté différents successeurs. Il a développé une version avec encore moins de composants en remplaçant toute la partie source de cour-

rant par... une ampoule à incandescence de 300 W ! Il a apporté différentes modifications à la source de courant, produit une version avec tampon d'entrée, des alimentations stabilisées, une structure complémentaire, une autre super symétrique ainsi qu'une à rétroaction. Tous ces projets sont visibles sur son site DIY [2] sous l'onglet *Projects -> Amplifiers* dans la liste de variations Zen 1 à 9.

Sur le site d'Elliot Sound Products [3], on trouve aussi des projets zen qui mettent en œuvre des transistors au lieu de MOSFET. L'ampli *Death of Zen* y est décrit en version à haut-parleur et une autre pour casque d'écoute.

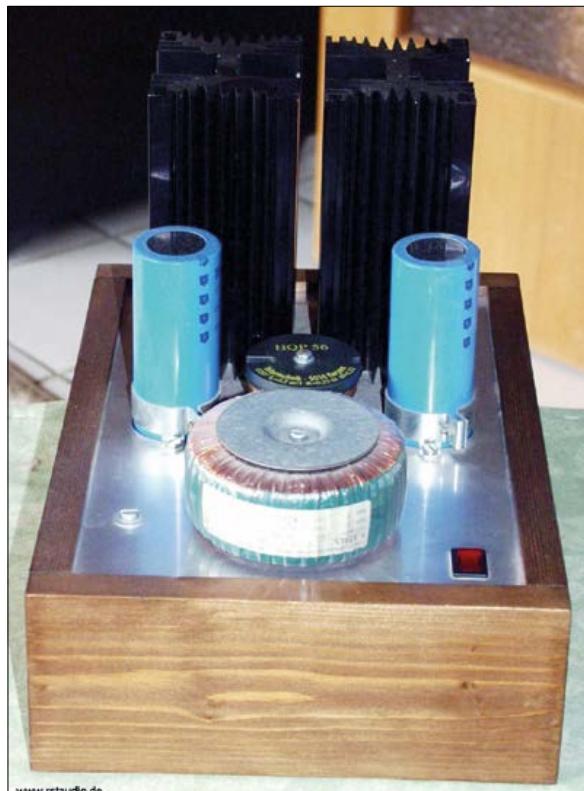
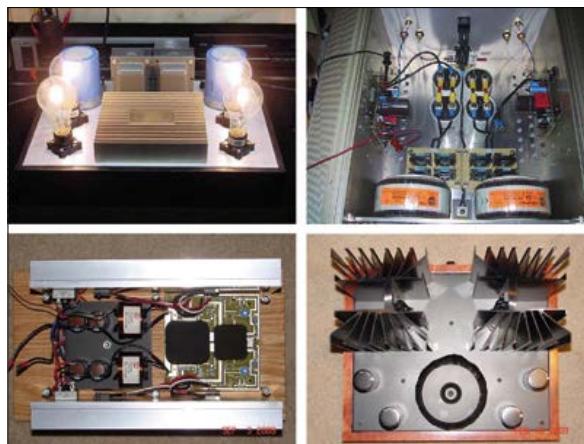
Bien sûr, on a vu arriver aussi des amplis zen à tubes et des variantes hybrides à tubes et FET. Il en existe d'ailleurs des modèles commerciaux, comme l'ampli zen à triode de Decware [4].

Dans le monde des constructions maison, de nombreux enthousiastes ont surfé sur la vague zen. On peut voir sur le site de Nelson Pass pas mal de photos de personnes qui ont reproduit l'un de ses projets et c'est là qu'on trouve les créations les plus originales, elles valent le coup d'œil. Si la veine zen vous tente, rendez-vous sur le site de Ralph Stens [5]. Il y expose une quantité de photos sur la manière dont il a réalisé sa version de l'ampli *Son of Zen*. Et si vous voulez en apprendre davantage, visitez le forum de diyAudio dont une section spéciale est dédiée aux réalisations de Nelson Pass [6].

(150786 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] www.passdiy.com/pdf/zenamp.pdf
- [2] www.passdiy.com
- [3] <http://sound.westhost.com/projects-0.htm#pwr>
- [4] [www.decware.com/newsite/SE84CKC.html](http://decware.com/newsite/SE84CKC.html)
- [5] http://rstudio.de/Zen/zen_en.html
- [6] www.diyaudio.com/forums/pass-labs/



Balaise, l'ampli Hi-Fi un trentenaire de 1 000 W

Thomas Scherer (Allemagne)

Surprise ! Lors de la séance inaugurale du *World DIY Segway Cloners Club* en 2012, au fin fond de l'Allemagne, Günter Gerold, l'organisateur, m'a mis sous les yeux un témoin de mon passé, un énorme amplificateur, un monstre d'un kilowatt que j'avais conçu trente ans plus tôt.

Caractéristiques techniques

- 2 x 250 W (8 Ω), 2 x 500 W (4 Ω) ou 1 x 1000 W (8 Ω)
- Bande passante : 8 Hz à 100 kHz (+0 / -3 dB)
- Distorsion : 0,1 % (1 kW) ; 0,01 % (600 W)
- Facteur d'amortissement : > 100
- Mise sous tension progressive du transformateur
- Surveillance de tension continue en sortie, commande de ventilateur
- Sensibilité d'entrée : 0,775 V_{eff} (0 dB) pour la puissance nominale
- Poids : devinez !

C'était le bon temps : les composants avaient des pattes, les circuits étaient troués et un rouleau entamé de soudure suffisait à plomber tout son projet d'ampli audio. Outre le plaisir de réaliser soi-même une pièce unique, on économisait pas mal d'argent. Chez Elektor, c'était une tradition les amplificateurs de puissance. Elle avait démarré lors de la première parution allemande de la revue en mai 1970, avec *Edwin*, un modèle ultra simple de 20 W à construire soi-même. Je l'ai repris des années plus tard.

Par la suite est sortie une version d'une puissance de sortie imposante pour l'époque, 54 W. Les amplis de sortie se sont succédé alors, tous d'inspiration différente pour diverses caractéristiques et puissances. Je les ai tous construits et ce n'est pas par hasard si j'ai obtenu un poste au berceau de ces réalisations : chez Elektor. C'était une époque exaltante : le premier ordinateur à la mode Elektor, qui ronronnait en BASIC sur le SC/MP de National Semiconductor (lisez [1] et allez voir sur Google !) venait à peine d'être délogé par le Junior Computer, en technologie MOS 6502. Tous les téléphones étaient beiges et se paraient d'un étrange disque tournant à la place des boutons. En ce temps-là, les amplificateurs couvraient des puissances de 40 W à 200 W. Il y avait du changement dans l'air...



À coups de watts

En 1986, le cœur gros, je décide de quitter Elektor pour poursuivre mes études à l'université. Une décision difficile à prendre : chez Elektor, je naviguais à la pointe des développements technologiques, entouré de collègues et d'une ambiance de créativité incomparables. Aussi, j'ai voulu présenter à la Rédaction et aux nombreux lecteurs un cadeau de départ spécial. À l'insu de mes collègues, j'avais travaillé à un projet d'ampli capable de fournir aux haut-parleurs un son de haute qualité à la puissance alors inimaginable de 1 000 W. J'ai conçu le circuit analogique à la seule force du calcul mental

(d'accord, avec un peu d'aide de ma calculette programmable Sharp), sans simulateur ni outil de conception assistée par ordinateur. Tous calculs faits et le schéma dessiné sur papier à la règle et à l'encre, j'ai soumis le résultat de mon travail au comité d'évaluation et attendu le jugement des collègues lors de la conférence de rédaction suivante. Je n'étais bien sûr pas le seul audiophile de l'équipe et j'étais prêt à accepter, au mieux, un signe d'agrément, au pire, les index pointés sur la tempe pour dire « et c'est supposé marcher, ça ? ». Ouf ! Le projet fut approuvé !

Après avoir parcouru tous les mémos rédigés sur le circuit, j'ai refait tous les calculs et seulement alors, lancé le projet

Elektor du nom de *Gigant* (géant en français), sous lequel il est paru dans l'édition allemande. Le magazine anglais a affiché plus modestement *High Power AF Amplifier*, tandis qu'en français, il s'est appelé « balaise », grand et fort, de *balèz*, dans l'argot aéronaval de Guy Raedersdorf (éditeur en chef). Première étape, le bureau de dessin qui en a tiré le splendide schéma que vous pouvez admirer à la **figure 1**. On a acheté les composants et dessiné un circuit imprimé à la main, avec des décalcomanies Seno. Une fois le tout assemblé, j'ai finalement pu voir la manifestation physique de mon œuvre. Je l'ai maintenu hors tension au laboratoire, le temps d'une dernière vérification, pour éviter tout dégagement de fumée.

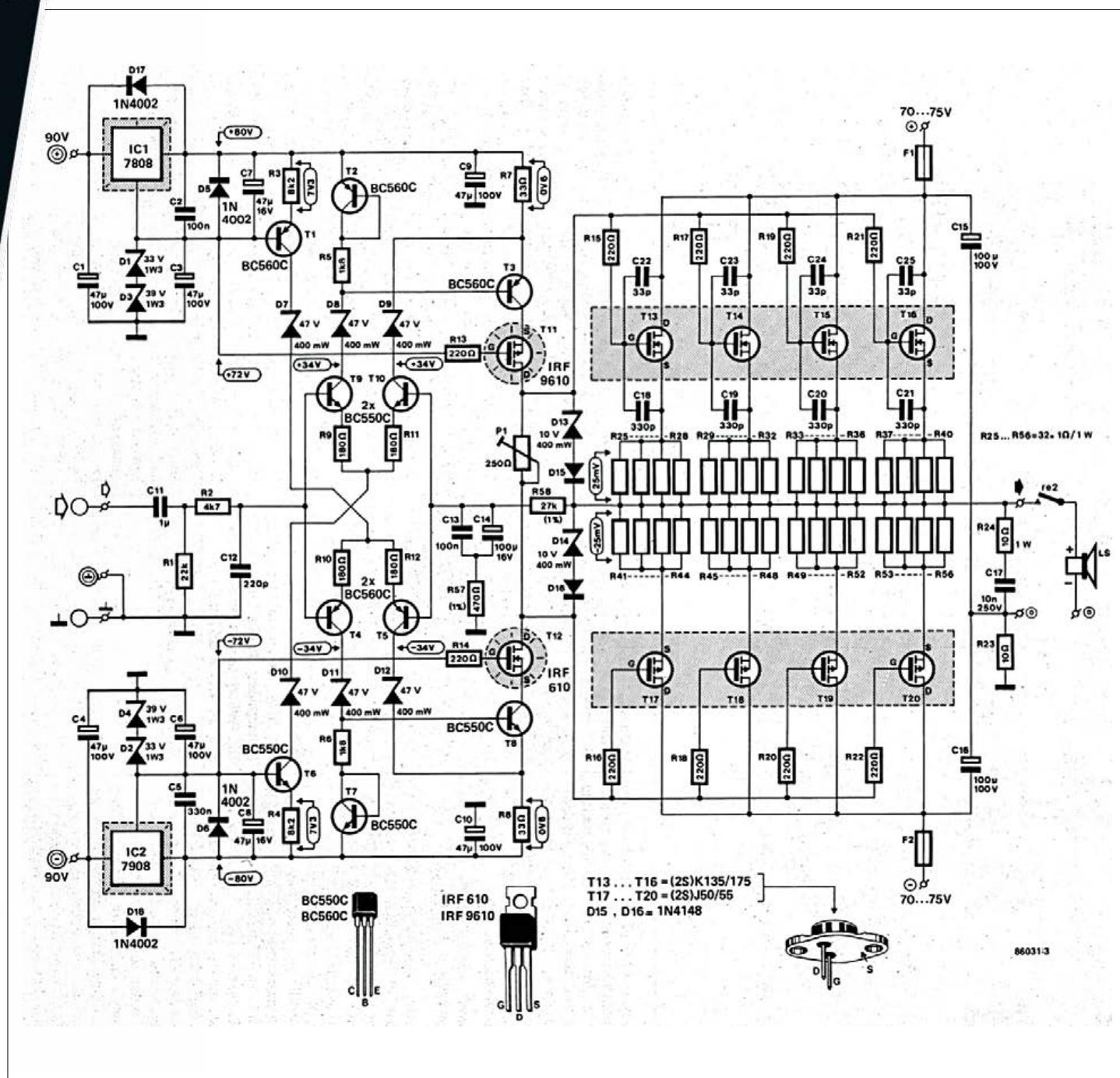


Figure 1. Le schéma : un étage de sortie totalement symétrique avec deux circuits intégrés, 20 transistors, 10 diodes, 17 condensateurs, 56 résistances et 1 potentiomètre d'ajustage. Chacun des huit MOSFET de puissance dissipe environ 40 W à pleine charge.

Le circuit et les essais

Ce qui frappe au premier regard dans ce schéma, c'est la symétrie du dessin et la séparation manifeste entre amplification de tension et amplification de courant. L'amplitude de la tension d'alimentation de ± 90 V est aussi surprenante de prime abord. À pleine puissance, y aura-t-il vraiment plus de 125 V_{crête} entre les connexions du haut-parleur ? Habitué aux circuits à basse puissance, sous 48 V tout au plus, le tracé de pistes cuivrées de 1,5 mm² est un peu effrayant, mais pas le temps de s'en étonner, il faut passer aux essais.

Je me souviens comme si c'était hier du laboratoire audio et de ses quatre appareils imposants : un oscilloscope Philips, un générateur de signaux, un réseau de résistances de puissance colossale et, le plus marquant, un analyseur de spectre

Bruél & Kjær d'un prix exorbitant. Enfin, pour sustenter tout le bazar, deux volumineuses alimentations de laboratoire à sorties réglables jusqu'à 100 V et du punch à revendre. Je me suis éloigné, et quand on a branché les alimentations sur l'amplificateur, la sueur perlant sur mon front, j'ai poussé la tension jusqu'à la bonne valeur. Fort heureusement, mes craintes n'étaient pas fondées : juste un faible courant s'est mis à circuler et il ne s'est produit aucune des oscillations redoutées à la sortie. Ouf !

L'émoi ne retombe pas pour autant : avec précaution, j'ajuste P1 pour fixer un courant de repos de 100 mA dans chaque paire complémentaire de transistors de sortie. Tout reste calme. Avec 150 V d'alimentation, je sais que la dissipation permanente est d'environ 60 W. Attendre et surveiller la stabilité du courant : il se maintient. En effet, l'avantage des MOSFET Hitachi tellement chers est que contrairement aux bipolaires, ils n'ont pas un coefficient de température négatif, donc ils ne subissent pas d'avalanche thermique. De surcroît, leur capacité d'entrée est très faible, même comparée aux modernes MOSFET de puissance. En conséquence, le courant dans T11 et T12, ainsi que la puissance de l'étage intermédiaire peuvent rester dans des limites raisonnables. L'inconvénient réside dans la grande résistance drain-source des MOSFET, ce qui cause une chute de tension de près de 10 V lors des pics de courant de 4 A à travers chaque MOSFET. On ne peut pas tout avoir. L'étape suivante, c'est l'épreuve du temps : tenir la forte puissance pendant une longue période. Un voile de chaleur surmonte vite les résistances de charge et le radiateur massif de l'ampli s'échauffe rapidement. Mais après cinq minutes de fonctionnement, on peut encore le toucher. Tout semble stable. Imaginez mon soulagement ! Il ne reste plus qu'à mesurer les performances de l'appareil en distorsion et quelques autres paramètres caractéristiques, voyez l'**encadré**.

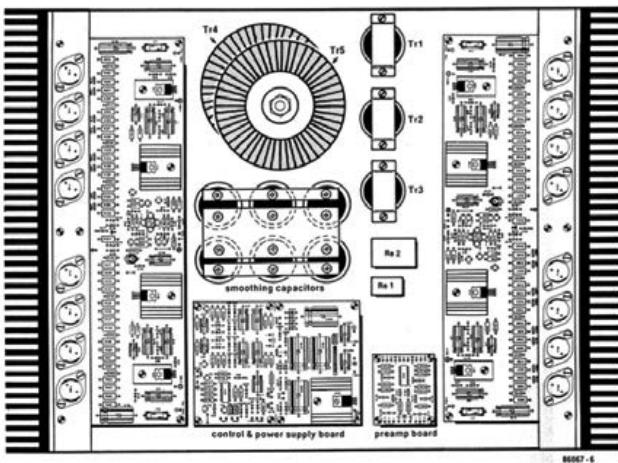
À ce stade, il me fallait encore construire le prototype de son alimentation propre, avec le transformateur, tester le circuit de protection, puis écrire les deux parties de l'article d'accompagnement, que vous pouvez télécharger gratuitement en [2], cadeau de Rétronique.

D-I-S-C-O

J'étais très fier quand, en mai 1986, le magazine a fait son apparition dans les kiosques à journaux. Sa couverture gentiment rétro (**en-tête**) mettait en vedette ma réalisation, ce qui a longtemps impressionné mes camarades étudiants. L'article d'alors donne beaucoup de détails sur la construction de l'ensemble, non seulement l'alim et les protections, mais aussi la mécanique.

Les **figures 2a** et **2b** sont les dessins de réalisations possibles avec refroidissement passif ou actif à l'aide d'un ventilateur (2b). Quelques mots sur la protection : il est essentiel de retarder le branchement du haut-parleur, parce que le transitoire d'enclenchement d'un étage final de 1 kW est un événement que vous ne voudriez pas entendre deux fois, on ne peut pas se passer d'un démarrage en douceur pour le transformateur secteur. Si jamais vous connectez une charge de 1 500 VA au mauvais moment de l'alternance du réseau, le noyau du transformateur se sature et le fusible saute. Rien que le courant d'attaque pour la charge

a



b

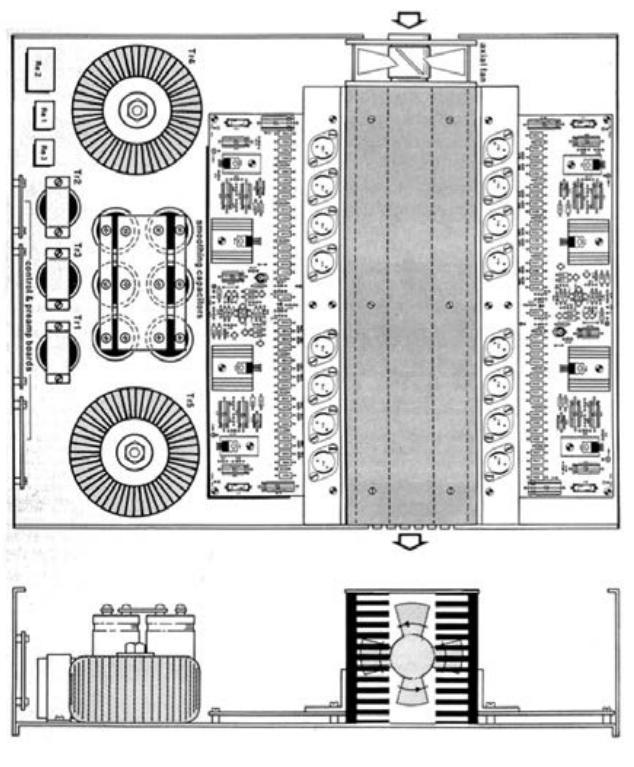


Figure 2. Construction avec refroidissement passif (2a) ou actif à l'aide d'un ventilateur (2b).

de la grappe de condensateurs électrolytiques de lissage suffirait à vous faire visiter le tableau de fusibles.

Jusqu'ici, tout va bien. L'ampli « Balaise » a suscité un intérêt considérable. Par exemple, le magazine allemand *Elektronik* l'a évoqué dans son édition [3] de mai 86 sur le thème de l'électronique de puissance. J'ai construit ma propre version du circuit dans une énorme enceinte Hi-Fi qui pesait plus de 70 kg et je l'ai transportée pendant dix ans lors de tous mes déménagements avant de réussir à la vendre pour un prix décent. C'est ainsi que j'ai découvert que tous mes clients potentiels n'étaient pas aussi amoureux que moi d'elle !

Je suis encore parfois curieux de savoir qui aurait vraiment envie de construire un amplificateur d'une telle puissance et pourquoi. Une réponse m'est venue d'un ami de mon frère cadet, un certain Bernd Engist, en passe de devenir ingénieur en électronique. Bien entendu, il avait été un lecteur avide d'*Elektor* depuis l'adolescence et avait aménagé une discothèque dans le voisinage avec deux de mes amplis. Il m'a raconté les heures de surcharge continue, les erreurs de connexion et les transistors de sortie grillés et encore qu'il avait vu mon ampli en service dans d'autres discothèques. J'invite les lecteurs désireux de se remémorer l'ère du pantalon patte d'eph, des épaulettes et des cheveux longs à danser encore sur [4].

Réunion

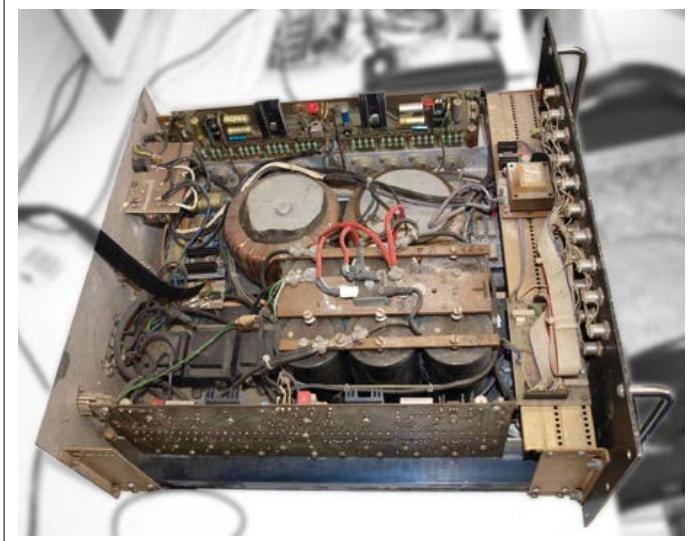
J'avais pratiquement oublié toute cette histoire quand, il y a quatre ans, je me suis trouvé face au stand de Günter à la réunion du *Segway Cloners Club*. Depuis des jours, il était impatient de me montrer « son » amplificateur. J'étais impressionné par la patine des années 80 qu'il exhibait encore : les **figures 3a** et **3b** montrent la face avant et la construction intérieure. Je ne peux qu'imaginer le nombre de milliers de personnes se trémoussant avec leurs accessoires funky sur des chansons jouées fortissimo grâce à cet ampli.

Günter est un expert en conception de radio et télévision, il a son propre atelier où il crée des appareils électroniques industriels. Dès 1986, il a été séduit par le schéma de l'amplificateur. Rempli d'enthousiasme, il a gravé ses circuits imprimés et en a construit une version à refroidissement passif de 2 x 500 W, en prévoyant le moyen de les monter en pont. Avec ses amis, il a ensuite organisé des parties dansantes dans les salles locales et des festivals dans la région, emportant ses éclairages, ses boules à facettes, stroboscopes et autre attirail. Tout cela lui a permis de gonfler son maigre salaire de stagiaire. Malgré les rudes conditions et les transports entre les spectacles, Günter assure que son matériel a bien tenu le coup. C'est toujours un plaisir d'avoir un client satisfait... 

(150738 – version française : Robert Grignard)



a



b

Figure 3. Face avant (3a) de l'amplificateur de Günter Gerold avec sa patine originale des années 80. Sa discothèque mobile invite à la fête ! Avec la vue du haut (3b), vous pouvez constater l'effet du passage de la fumée de milliers de cigarettes à travers l'ampli.

ESTD 2004

www.elektor.tv 

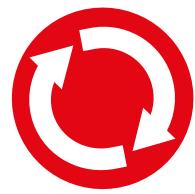
Rétronique est une rubrique mensuelle sur les pages glorieuses et jaunies de l'électronique, avec occasionnellement des montages de légende décrits dans *Elektor*. Si vous avez des suggestions de sujets à traiter, merci de les télégraphier à redaction@elektor.fr

Liens et références

- [1] *Elektor SC/MP Computer* (1978), rubrique Rétronique, Elektor avril 2005 : www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-200504/10104
- [2] *balaise, un kilowatt de fidélité*, Elektor mai et juin 1986 ; téléchargement gratuit sur www.elektormagazine.fr/150738
- [3] *One Kilowatt Hi-fi*, Elektronik novembre 1986, page 213 (en allemand)
- [4] *I Feel Love*, Donna Summer : <https://goo.gl/XKMaeK>

projet 2.0

corrections, mises à jour et courrier des lecteurs



Construisez vous-même un poste de soudage de CMS avec Platino

Elektor 07/2015, p. 99
(140107)

Mon poste de soudage est en service depuis environ six mois et j'en suis réellement très content. Pour tous ceux qui envisagent de construire ce poste de soudage, j'ai un avertissement ainsi que deux propositions d'amélioration.

Comme alimentation, j'ai utilisé un transformateur toroïdal de 50 VA avec des diodes de redressement. D'abord tout fonctionnait bien, mais un défaut dans le jack stéréo a détruit une pointe de chauffe de Weller. Il est apparu que la plupart des connecteurs stéréo du type montré dans l'article possèdent deux positions mécaniquement

stables lorsqu'ils sont enfichés. La mauvaise posi-

tion court-circuite l'élément chauffant avec le thermocouple. À la mise sous tension, le thermocouple grille en quelques fractions de seconde.

Lorsque le poste de soudage est éteint, il faut enficher à fond le jack stéréo de la pointe de chauffe. Ensuite on peut allumer le poste.

Lorsqu'on débranche le connecteur, il y a aussi un court-circuit pendant un temps très court entre le thermocouple et l'élément chauffant. Parmi les quatre modèles différents de prise, seule la prise carrée ne provoquait pas ce court-circuit ; on peut l'utiliser, mais elle n'est pas très jolie.

Ma première proposition d'amélioration est de prévoir une liaison avec la terre pour relier l'enveloppe externe de la pointe de chauffe avec la terre de la pièce à souder, par un fil ou un câble avec des pinces crocodile. Les blocs d'alimentation et les installations domestiques n'ont pas tous une terre de protection, et il y a suffisamment de courant de fuite pour détruire un semi-conducteur sensible. Il y a un an déjà, une liaison à la masse défectueuse m'a coûté un beau microcontrôleur, toutefois lors de travaux avec un autre poste de soudage.

Ma seconde proposition concerne le confort : lorsque le poste de soudage travaille avec la fonction *Timer*, il serait utile de savoir que la temporisation est écoulée sans avoir besoin de jeter un œil au poste ou bien de le



ressentir sur la pointe de chauffe. On pourrait monter un haut-parleur piézoélectrique en parallèle sur la pointe de chauffe. On entendrait alors que la temporisation est écoulée. Le volume et la hauteur du son sont une affaire de goût et pourraient être déterminés expérimentalement. Lorsque le poste de soudage aurait atteint la bonne température, le piézo gazouillerait doucement ; pendant la phase de chauffe, il serait plus bruyant.

Siv Evert Olsson, Suède

Merci pour votre précieux avertissement ! En effet la force de retenue (après enfichage) de certaines prises pour jack n'est pas très grande. Ici on pourrait aussi utiliser la prise prévue, enfoncer le jack à fond lorsque le poste est hors tension et fixer le tout avec un morceau de gaine thermorétractable autocollante.

Merci beaucoup pour vos propositions d'amélioration. L'indication sonore me fait penser au poste de soudage WTCP de Weller dont on entendait le claquement. La régulation de la température fonctionnait selon le principe du magnastat : une petite plaque ferromagnétique à l'extrémité de la pointe de chauffe est démagnétisée à la température nominale et libère un aimant dans la pointe de chauffe. Les plus fines produisaient des parasites.

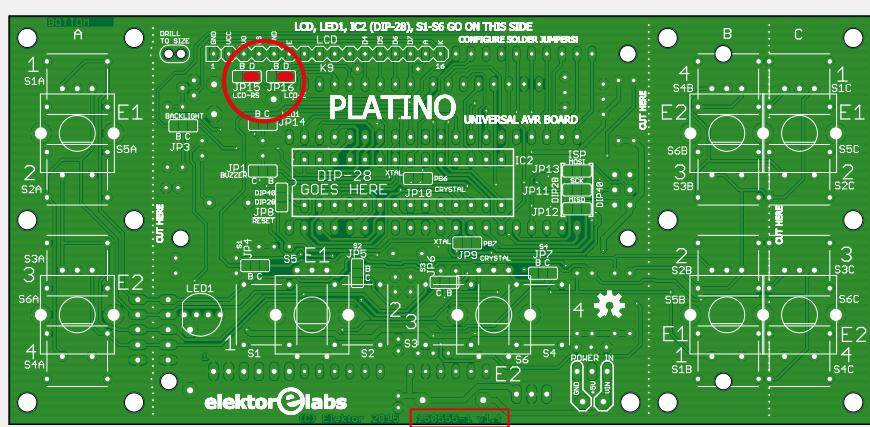
Ralf Schmiedel, Elektor

Platino, le retour

Elektor 03/2016, p. 54 (150555)

Les cartes Platino avec un numéro de version supérieur ou égal à 1.4 possèdent deux cavaliers supplémentaires (à souder) qui ne sont pas décrits dans les articles des projets conçus avec les anciennes versions de la carte Platino (version 1.3 ou inférieure). Pour garantir la compatibilité entre les nouvelles et anciennes versions de Platino, il faut placer les cavaliers JP15 et JP16 en position « D ». En outre Platino version 1.4 possède une diode supplémentaire D1 (1N5817) qu'il faut souder lorsque la carte est alimentée via un câble

FTDI. La référence 150555 est imprimée sur le circuit de la nouvelle Platino ; l'ancienne carte a pour référence 100892.



ainsi soient les LED !

Elektor 01/2016, p. 10 (150577)

Dans l'article sur l'éclairage à LED, l'auteur mentionne R_a comme indice de rendu des couleurs. Pour moi, R_a est une « mauvaise plaisanterie » parce que cet indice est déterminé avec les échantillons de couleur 1 à 8 du tableau défini dans la norme DIN 6169. Or ce tableau comporte 14 échantillons. Il en manque presque la moitié. Deux suggestions :

1. Lorsque l'impression est possible techniquement, imprimez le tableau cité (plastifiez-le et emportez-le avec vous lorsque vous allez acheter des lampes, vous pourrez tester et comparer le rendu des couleurs).
2. Mon bricolage préféré sur ce sujet : construire un « spectroscope de fortune » avec une boîte à œufs vide et un vieux CD-ROM. Ce n'est pas un instrument de précision, mais il donne une bonne première impression et permet par ex. de distinguer à distance les lampes à vapeur de mercure et les LED (on peut également l'emmener dans les grandes surfaces de bricolage). Jusqu'à présent je conseille d'éviter les sources lumineuses pour lesquelles seul l'indice R_a est indiqué.

Jürgen Friker



(150773)

compilées par Robert van der Zwan

Nouveau record

Elektor était bien sûr présent à l'*Embedded World 2016* de Nuremberg, un salon dont le succès ne se dément pas. La présence de 939 exposants (4 % de plus qu'en 2015) a bien sûr rendu difficile l'exploration de tous les stands, mais nous avons tout de même pu nous entretenir avec plus de cent personnes de différentes entreprises, grandes et petites. Nous avons récolté un tas de nouvelles intéressantes, de quoi vous réserver d'agréables surprises pour les mois à venir !



Linux pour l'embarqué revient



Certains lecteurs rencontrés au salon Embedded World 2016 nous ont dit qu'ils aimeraient bien voir un peu plus de projets consacrés à l'embarqué sous Linux. Le hasard faisant bien les choses, Benedikt Sauter, l'auteur de la série *Embarquez Linux !*, était justement présent sur le salon, où il nous a présenté la nouvelle version de sa carte Linux. Il nous a également dit souhaiter partager ses connaissances avec vous. Affaire à suivre, donc...

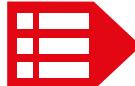
READ ONLY MEMORY

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

L'horloge de la Tour du Rhin de Düsseldorf est réputée être la plus haute horloge numérique du monde. En effet la « Rheinturm » affiche l'heure au moyen de 39 ampoules disposées verticalement le long d'un mât de 170 m de haut. Toutes les lampes sont allumées à 23:59:59 et éteintes à 00:00:00. En janvier 2000, deux ans après la publication d'une première reproduction de cette horloge, Elektor redessinait la platine et lui donnait une forme très proche de l'esthétique du monument allemand.



INDISCRÉTIONS • René Bohne, de l'université technique de Rhénanie-Westphalie, conseillera Elektor sur étudiants en électronique • Gazi Akdag s'efforcera d'élargir le lectorat turc depuis Istanbul • Yoshihiro notoriété de Red Pitaya en utilisant la nouvelle édition japonaise d'Elektor • Julia Grotenrath a reçu l'excellence du gâteau qu'elle avait apporté au salon Embedded World 2016.



Fairphone : le téléphone

elektorethics par Tessel Renzenbrink

Le Fairphone 2 est le premier téléphone modulaire au monde. Sa facilité de réparation (le site iFixit lui a attribué une note de 10/10) et son port d'extension USB sont deux conséquences du but premier du projet Fairphone : faire prendre conscience du rôle de l'éthique en électronique en fabriquant un téléphone plus équitable.

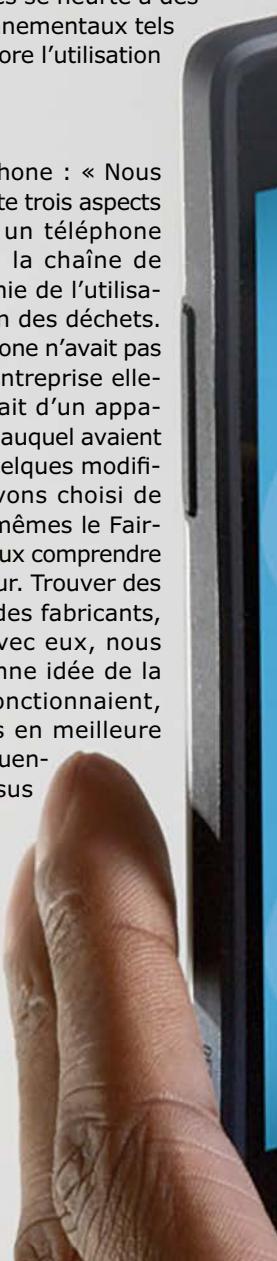
L'entreprise sociale néerlandaise Fairphone entend en effet rendre transparente la chaîne de fabrication des produits électroniques, une chaîne qui à différents stades se heurte à des problèmes sociaux, économiques et environnementaux tels que des violations du droit du travail ou encore l'utilisation de minéraux à l'origine de conflits.

Trois aspects

Selon Douwe Schmidt, de la société Fairphone : « Nous



... prenons en compte trois aspects pour construire un téléphone plus équitable : la chaîne de valeur, l'autonomie de l'utilisateur, et la gestion des déchets. Le premier Fairphone n'avait pas été conçu par l'entreprise elle-même, il s'agissait d'un appareil déjà fabriqué auquel avaient été apportées quelques modifications. Nous avons choisi de concevoir nous-mêmes le Fairphone 2 pour mieux comprendre la chaîne de valeur. Trouver des distributeurs et des fabricants, puis travailler avec eux, nous a donné une bonne idée de la façon dont ils fonctionnaient, et nous a placés en meilleure position pour influencer leurs processus de travail.



Concevoir nos produits nous a aussi permis de proposer un téléphone modulaire. Une architecture modulaire permet à l'utilisateur de réparer lui-même son appareil, ce qui lui donne une impression d'autonomie vis-à-vis du fabricant. Enfin, elle contribue aussi à diminuer la quantité de déchets électroniques. Nous pouvons définir une stratégie de fin de vie du produit dès le début de son cycle de vie, et pour cela nous le construisons de façon à ce que ses éléments puissent être facilement démontés et recyclés. »

à l'écoute de l'éthique

L'entretien complet (en anglais) avec D. Schmidt est sur www.elektormagazine.com/news/fairphone-2-fixing-your-phone-to-make-a-difference



la création de nouveaux matériels pédagogiques pour Tsuboi, en poste à Tokyo, cherche à développer la de nombreux courriels de clients la félicitant pour

PROFIL D'EXPERT

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

Nom : Oscar Mario Cipolla

Âge : 53 ans

**Formation :
ingénieur en électronique**

**Intérêts professionnels :
conception de circuits audio à
tubes et semi-conducteurs**



Qui êtes-vous, Oscar Mario Cipolla ?

J'aime le son des tubes depuis l'âge de 5 ans. J'ai découvert les amplificateurs à tubes et à semi-conducteurs dans le labo audio de mon père : les ECC83, EL84, 807... J'ai modifié mon premier ampli stéréo à 10 ans, un « Geloso » des années 50. Après plusieurs années passées à réparer et régler des amplis et haut-parleurs haut de gamme, j'ai fondé ma propre entreprise.

Selon vous, quel changement notable attendre des années à venir ?

Aujourd'hui le vent du changement semble souffler depuis ce nouveau continent qu'est l'IdO. Nous gérons tout avec un ordiphone, c'est incroyable quand on y pense. Sinon l'industrie de la musique devrait profiter du renouveau de ce bon vieux vinyle. Et c'est tant mieux, car si le numérique est parfait, l'analogique est encore mieux !

En quoi l'Italie est-elle différente des États-Unis en matière d'innovation ?

L'Italie est le pays des poètes et des inventeurs. Le monde nous doit plusieurs grandes innovations en électronique, mais nous avons du mal à soutenir notre industrie. Les cartes Arduino en sont le parfait exemple. Il aura fallu qu'elles percent aux États-Unis et au Royaume-Uni pour que les Italiens les découvrent.

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

Eh bien, disons ma fille Sofia, 26 ans aujourd'hui et une fille formidable ! Parmi mes bons projets figure ma « carte tampon à tubes pour signal transmis par ligne ». Avec elle un lecteur CD produit aussi un son chaud. Mais mon prochain projet sera probablement très bon !

Qu'espérez-vous accomplir dans les cinq prochaines années ?

Nous travaillons sur un projet à très haute valeur ajoutée appelé « L'œuf de Colomb ». Le Raspberry Pi est le genre de projet que j'aimerais créer.

Si je vous offrais un bon d'achat de 500 € pour l'e-choppe, qu'achèteriez-vous et pourquoi ?

Un Red Pitaya complet, avec les applis pros et l'analyseur d'impédance. Pour un fana de matériel audio comme moi, le Pitaya est l'instrument de mesure portable par excellence. Son interface distante en fait un outil vraiment intelligent et unique. ▶

(150778 – version française : Hervé Moreau)

hexadoku casse-tête pour elektorniciens

Respect des temps de repos et de congés

Au moment de l'écriture de ces lignes, la bataille autour de la réforme du Code du travail fait rage. Un sujet semble faire consensus : le « droit à la déconnexion » qui pourrait faire son entrée dans ce Code en 2018. Les entreprises devraient prendre des mesures pour encourager leurs salariés à déconnecter. Fermez votre ordinateur portable, éteignez votre ordiphone et attrapez un stylo ! Et usez de votre droit à la déconnexion pour remplir votre grille de sudoku !

Une grille hexadoku est composée de chiffres du système hexadécimal, de 0 à F. Remplissez le diagramme de 16 x 16 cases de telle façon que **tous** les chiffres hexadécimaux de 0 à F (0 à 9 et A à F) n'apparaissent **qu'une seule et unique fois** dans chaque rangée, colonne et carré de 4 x 4 cases (délimités par un filet gras).

Certains chiffres, déjà placés dans la grille, en définissent la situation de départ.

Pour participer, inutile de nous envoyer toute la grille, il suffit de nous donner **la série de chiffres** sur fond grisé.



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

Envoyez votre réponse (les chiffres sur fond grisé) avec vos coordonnées par courriel, avant le **27 mai 2016** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

Les gagnants

La solution de la grille du numéro de mars est **91E43**

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

Michael **Baldus** (Allemagne), Yves **Masquelier** (France), Martin **Sommer** (République Tchèque).

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

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

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

Tout recours est exclu, de même que le sont, de ce jeu, les personnels d'Elektor International Media et leur famille. Un seul gagnant par foyer.

AGENDA mai 2016

- ◊ **NAVEXPO** salon international de l'industrie maritime
10 au 12/05 – Lorient
www.navexpo.com
- ◊ **AERO'NOV CONNECTION** industries aéronautique et spatiale
18 au 19/05 – Aix-en-Provence
www.aeronov-connection.com
- ◊ **LPWAN16**
conférence sur les technologies LPWAN (LoRa, SigFox, Qowisio, etc.)
18 au 20/05 – Paris
www.uppersideconferences.com/lpwan
- ◊ **HOPITAL / HIT Paris / GERONT / HANDICAP**
salons de la santé et de l'autonomie
24 au 26/05 – Paris
www.salons-sante-autonomie.com
- ◊ **INSIDE 3D PRINTING**
salon professionnel et conférence dédiés à l'impression 3D
24 au 26/05 – Paris
inside3dprinting.com/paris/2016/
- ◊ **INNOROBO** salon et congrès international de la robotique
24 au 26/05 – Paris
innorobo.com/fr/accueil/
- ◊ **LUMIVILLE** salon de l'éclairage public et d'extérieur
24 au 26/05 – Lyon
www.lumiville2016.com

◊ **HYDROGAÏA** conférences internationales et salon de l'eau
25 au 26/05 – Montpellier
www.hydrogaia-expo.com

◊ **Smart Manufacturing Summit**
six salons : Electronic Days, Embedded Days, Mechanics Days, Materials
Day & Days Robotics
25 au 26/05 – Paris
www.smart-manufacturing-summit.com

◊ **Connected Conference** Industrie et Internet
25 au 27/05 – Paris
<http://connectedconference.co>

◊ **Semaine européenne du développement durable**
30/05 au 05/06 –
dans toute l'Europe
www.developpement-durable.gouv.fr/-La-Semaine-europeenne-du-.html

**SEMAINE
EUROPEENNE
DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE**
30 MAI – 5 JUIN

◊ **ADVANCED MANUFACTURING MEETINGS**
convention internationale des technologies et procédés innovants
31/05 au 02/06 – Clermont-Ferrand
<http://france.ammeetings.com>

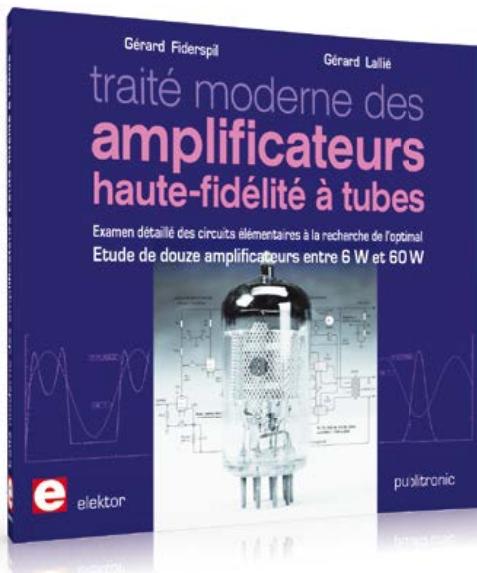
Un événement oublié ?

Vous organisez une conférence, un salon... ou bien vous participez à un séminaire ou tout autre événement qui aurait sa place ici, partagez cette information avec tous les lecteurs.

Envoyez-nous tous les détails à redaction@elektor.fr.

Traité moderne des amplificateurs haute-fidélité à tubes

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



Ce que les lecteurs en disent

« Ce livre est le résultat de plusieurs années de recherche où les auteurs ont décortiqué les montages les plus courants des différents étages composant un amplificateur à tubes. Aucun élément de la chaîne du son n'est oublié, de l'alimentation à l'amplification en passant par les inverseurs, à triode ou pentodes, des dizaines de montages ont été analysés et simulés par ce couple expert et les conclusions sont à chaque fois livrées à grand renfort de détails et explications.

Le relire, c'est encore apprendre des choses place de choix dans la bibliothèque de l'atelier. »

« Sinon un ouvrage que je ne saurais que trop recommander : *Traité moderne des amplificateurs haute-fidélité à tubes* de Gérard Fiderspil et Gérard Lallié. Une mine d'or pour concevoir un amplificateur et comprendre toute la théorie autour (schémas équivalents petits signaux, calculs rigoureux de gains, impédances de sortie, théorie de la contre-réaction...). Un magnifique livre.

Si le livre traite uniquement d'amplis Hi-Fi, les schémas sont évidemment transposables aux amplis de grange avec des contraintes plus lâches ! »

« Ce *Traité* donne le résultat de tests sur maquettes réalisées récemment, de simulations, après élaboration de modèles au plus proche de la réalité, et il n'a pas d'équivalent sur le marché. »



ISBN : 978-2-86661-160-6

www.elektor.fr/traite-moderne-des-amplificateurs-haute-fidelite-a-tubes-french

- ✓ Plus de 45 ans d'expérience
- ✓ Envoi en 24 heures
- ✓ Plus de 50 000 produits

Les langues de notre boutique:



Modes de paiement internationaux:



UNI-T

Testeur de tension AC/DC Affichage LCD, test RCD



UT 18D
33,57

- Test de tension AC/DC 0–690 V
- Vérification du champ de rotation
- Test de tension à deux pôles et à 1 pôle
- Test de passage
- Eclairage de travail LED raccordable
- Type de protection : IP65

Datenlogger USB

(collecteur de données)

pour la température, l'humidité
de l'air et la pression de l'air



- Détection des capteurs internes
- Mémoire jusqu'à 60.000 valeurs de mesure
- Intervalle de mesure 1 s à 6 h réglable
- IP67 – protection contre la poussière et l'eau
- Alarme programmable
- Logiciel avec fonctions d'analyse de données

UT 330C
58,74

S'ABONNER MAINTENANT !

Newsletter

Recevez chaque semaine les toutes dernières informations

- ✓ Nouveautés
- ✓ Les meilleures offres
- ✓ Réductions des prix



Multimètre numérique TRMS

Un multimètre au design moderne et sûr, offrant de nombreuses fonctions et très facile à utiliser !

UNI-T

- Affichage : LCD, 6000 Counts
- Précision de base : 0,1 %
- Mesure de la valeur efficace vraie (True RMS)
- Mesure de la tension et du courant AC/DC jusqu'à 10 A / 600 V
- Mesure de résistance jusqu'à 60 Mohms
- Mesure de capacité/de la température/de la fréquence
- Vérification de la tension sans contact
- Sélection automatique de la plage

UT 139C
41,98



Multimètre numérique professionnel avec bluetooth

- Affichage : EBTN, 60.000 Counts
- Précision de base : 0,01 %
- Mesure de la valeur efficace vraie (True RMS)
- Varied Frequency (VFD), Loop, LoZ (ACV)
- Test des diodes, vérification du passage
- Duty Cycle, Data-Hold, mesure MAX/MIN, mesure REL
- Mémoire pour 9999 données
- Vérification de la tension sans contact
- Alarme de connectivité



UT 171B
192,44

Oscilloscope à mémoire numérique

UNI-T

- Affichage : 7", Full-Color-LCD, 400 x 240 pixels
- 2 canaux / 25 MHz / 250 MS/s
- Temps de montée : <14 ns
- Sensibilité verticale : 1 mV/div – 20 V/div
- Base temps horizontale : 10 ns/div – 50 s/div
- Types de triggers : flanc, largeur d'impulsion, alternatif
- Interfaces : USB OTG, Pass/Fail



UTD 2025 CL
192,44

Commander maintenant! www.reichelt.fr

Assistance téléphonique en anglais: +49 (0)4422 955-360

Prix du jour ! Prix à la date du : 29. 3. 2016

Prix en € hors T.V.A., plus coûts d'expédition
reichelt elektronik, Elektronikring 1, 26452 Sande (D)