

nouvelle formule !

septembre/octobre 2017 | n° 467

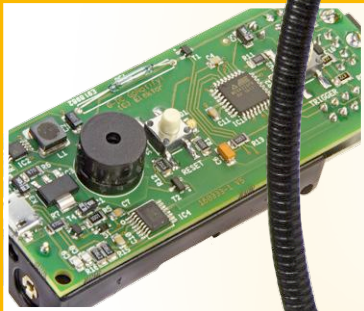
www.elektormagazine.fr

Elektor

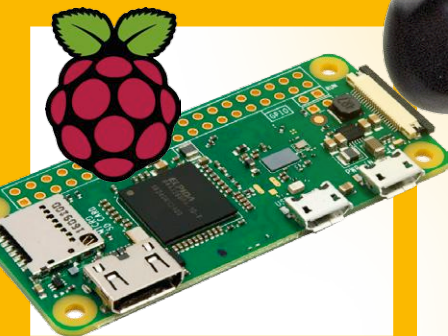
DÉCOUVRIR > CRÉER > PARTAGER

de la bougie aux LED

modules Peltier convertis en
générateur thermoélectrique



GoNotify
interface flexible
pour capteurs IdO
être sur (un) le nuage



petit mais complet :
Raspberry Pi Zero W
premiers pas
avec la mini-framboise



télécommande
Bluetooth Low Energy
vos désirs sont des ordres



Dans cette édition :
7 projets de labo
4 projets de lecteur
ATTiny45, BL620, ESP32,
LoRa, Wi-Fi, ZLED7730

commande « musclée » de servomoteurs

(Arduino) • Q & R : qualité des connecteurs audio

• **alarme antibrouillage** • mémoire à bulles • **pilote de LED**

12 V • programmation iPhone/iPad : pilotage par Wi-Fi et BLE • **carte DSP à**

FPGA pour SDR à bande étroite (2) • premiers pas avec LoRa • **analyseur**

d'impédance • les BoB d'Elektor • **simulateur pour composants inductifs** •

sculpture cinétique • **ESP32 pour utilisateur exigeant** • Internet des Objets :

tous responsables ! • **répulsé-martre** • programmeur MiniPro TL866A •

bus I²C (3) : composants et analyse des erreurs • composants parasites :

condensateur métamorphosé en inductance •

projet TABULA : détection capacitive d'objets

L 19624 - 467 - F: 15,50 € - RD



ISSN 0181-7450

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

Un microcontrôleur qui s'affranchit des limitations graphiques

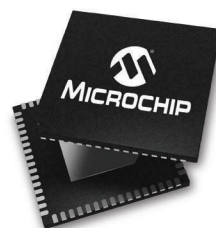
Le premier microcontrôleur combinant un processeur graphique 2D et une mémoire DDR2



Le premier microcontrôleur combinant un processeur graphique 2D (GPU) et une mémoire DDR2 offre des possibilités graphiques révolutionnaires avec une résolution des couleurs et des tailles d'écran inégalées.

Le contrôleur graphique à trois couches utilisé sur la famille PIC32MZ DA 32 bits pilote des écrans SXGA couleur (Super Extended Graphics Array) 24 bits d'une taille maximale de 12 pouces, tandis qu'une DRAM sur puce ou un DRAM externe adressable, pouvant atteindre respectivement 32 Mo et 128 Mo, fournissent un espace de stockage étendu.

Les microcontrôleurs PIC32MZ DA s'affranchissent des limitations graphiques jusque-là incontournables, en permettant de créer des graphismes complexes grâce à l'environnement de développement intuitif MPLAB® X et aux outils de développement et logiciels MPLAB Harmony de Microchip.



microchip
DIRECT
www.microchipdirect.com

MICROCHIP

www.microchip.com/PIC32MZDA

Le nom et le logo de Microchip, le logo Microchip et MPLAB sont des marques déposées de Microchip Technology Incorporated aux États-Unis et dans d'autres pays. REAL ICE est une marque commerciale de Microchip Technology Inc. aux États-Unis et dans d'autres pays. Toutes les autres marques commerciales ci-dessus mentionnées sont respectivement la propriété des sociétés concernées. © 2017 Microchip Technology Inc. Tous droits réservés. DS60001490A. MEC2158Fre07/17

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

@ : service@elektor.fr

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

Fax : (+33) 01.49.19.22.37

www.elektor.fr | www.elektormagazine.fr

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

Publicité :

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

DROITS D'AUTEUR :

© 2017 Elektor International Media B.V.

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

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

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



Sans les mains !



Pour trouver, dans une foire à l'innovation comme la dernière *Maker Faire Paris*, un projet « électronique » sans nano-ordinateur Raspberry Pi, il faut bien chercher. Du potager connecté à la mallette musicale en passant par l'ours en peluche espion, presque tous les montages sont animés par un RPi, parfois épaulé par une carte Arduino pour les entrées/sorties analogiques.

Quel débordement d'imagination ! RPi et Arduino ont investi la salle de bain, la cuisine, le salon, le jardin, la voiture, le bureau. Jusqu'où l'électronique ira-t-elle se nicher ?

Un peu soulée par tant de passion innovatrice, je me dirigeais déjà vers la sortie quand sur une affichette je remarque le slogan : « la première lunette connectée ». Tiens, une lunette ? Astronomique, peut-être. Non, la lunette des toilettes, dans laquelle Hugo van Santen a incorporé des jauges de contrainte, des accéléromètres et une petite carte électronique. Vos mouvements (gauche-droite, avant-arrière, rotation...) sont mesurés, analysés et transmis par Bluetooth à votre téléphone ou tablette. La lunette y est reconnue comme une manette de jeu ! Vous pouvez donc vous adonner à votre divertissement favori sans les mains. Quand vous serez revenu de votre surprise, vous n'aurez aucune difficulté à imaginer à votre tour d'autres applications Bluetooth à piloter avec cette manette (ou plutôt *posterette* ou *fissette* ?).

Si cela vous intéresse : www.weepoo.cool

Mariline Thiebaut-Brodier

PS : Thomas Scherer dans sa nouvelle « à jour ? » sur elektormagazine.fr écrivait « Il y aura bientôt davantage de microcontrôleurs que d'habitants sur la planète ! Nous sommes cernés. Je suis même surpris que le siège de mes toilettes continue à fonctionner parfaitement sans le moindre correctif... ». Nous n'en sommes pas loin.

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 :	Patrick Bechler, Thierry Destinobles, Pascal Duchesnes, Yves Georges, Robert Grignard, Denis Lafourcade, Guy Matt, Jean-Louis Mehren, Denis Meyer, Helmut Müller, Xavier Pfaff, Guy Raedersdorf
Service de la clientèle :	Cindy Tijssen
Graphistes :	Giel Dols, Mart Schroijsen, Patrick Wielders
Elektor en ligne :	Daniëlle Mertens

télécommande Bluetooth Low Energy

vos désirs sont des ordres

84

- 5 bientôt dans Elektor
- 13 Elektor : guide de connexion(s)
- 34 Q & R
(presque) tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur...
la qualité des connecteurs audio
- 52 Rétronique
au temps où les images voulaient parler
- 63 vol tous azimuts
piloté par Clemens Valens
- 66 participez au
concours de vidéoclips Elektor
faites votre cinéma !
- 101 agenda
septembre-octobre 2017
- 115 mémoire à bulles
drôle de composant n°32
- 126 questions d'éthique
Internet des Objets : tous responsables !
- 128 l'e-choppe d'Elektor
- 130 hexadoku
casse-tête pour elektorniciens

en coulisse

- 6 ESP32 pour utilisateur exigeant
programmation avec les outils d'origine
- 20 premiers pas avec LoRa
liaison radio à courte distance
entre deux cartes d'évaluation
- 25 petit mais complet : Raspberry Pi Zero W
premiers pas avec la mini-framboise
- 44 programmeur MiniPro TL866A
multifonctionnel et abordable
- 46 REDEXPERT : simulateur
pour composants inductifs
calcul et choix des inductances,
calcul des pertes
- 73 développer facilement
des applications pour iPhone/iPad
piloter de l'électronique externe
par Wi-Fi et BLE

petit mais complet : Raspberry Pi Zero W

premiers pas avec la mini-framboise

La version mini du nano-ordinateur Raspberry Pi avec le suffixe Zero était disponible dès fin 2015. En février est apparue une variante Zero W (« Wireless », sans fil) avec le Wi-Fi et le Bluetooth. Dans cet article, nous examinerons les procédures de démarrage de cette nouvelle carte, ses performances et les avantages que procure la technologie sans fil appliquée à ce minuscule ordinateur monocarte. À titre d'exemple pratique, nous connecterons un capteur de température dont nous enverrons les données sur le réseau sans fil avec le protocole MQTT.



25

96 le bus I²C

3^e partie : composants
et analyse des erreurs

107 bruits de labo...

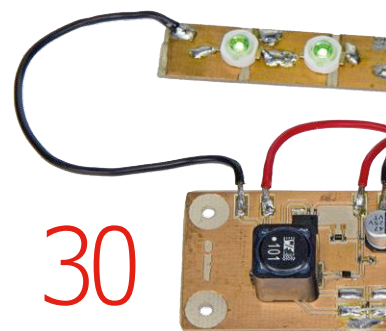
Les grands classiques d'hier, d'aujourd'hui
et de demain dans le labo d'Elektor

108 hors-circuits de R. Lacoste

composants parasites : condensateur
métamorphosé en inductance

112 plus c'est petit, plus c'est...

les BoB d'Elektor



30

pilote de LED 12 V

36 GoNotify, une interface flexible pour capteurs IdO

être sur (un) le nuage

56 de la bougie aux LED

modules Peltier convertis en générateur thermoélectrique

68 carte DSP à FPGA pour SDR à bande étroite

2^e partie : transmission et tête à radiofréquence

78 sculpture cinétique

quand l'électronique et l'art se rencontrent...

84 télécommande Bluetooth Low Energy

vos désirs sont des ordres

90 le projet TABULA

détection capacitive d'objets sur des écrans tactiles

102 répulse-martre

90 dB d'ultrasons

116 analyseur d'impédance

un instrument de mesure perdu de vue, mais ô combien utile !

 **bientôt sur ces pages**

Extrait du sommaire du prochain numéro :

- Afficheur à 7 segments pour les loisirs
- Balance de cuisine avec Arduino
- Commande de volume pour CN/A audio RPi
- Débogueur de bus CAN
- PlatformIO – EDI pour nombre de microcontrôleurs
- Station météo avec afficheur graphique
- Tapette à insectes électrique
- Test de générateurs de fonctions
- Tour d'horizon des accu et techniques de chargement
- Etc.

Sous réserve de modification.

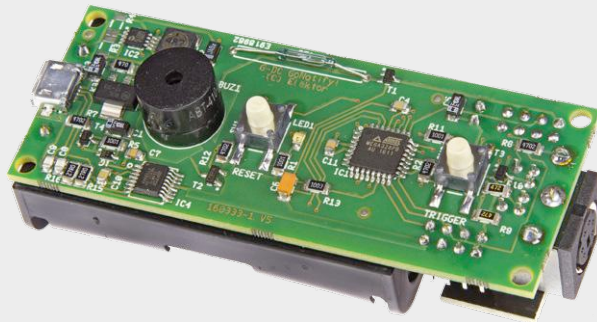
Le numéro de novembre-décembre 2017 paraîtra le 18 octobre 2017.

36

GoNotify, une interface flexible pour capteurs IdO

être sur (un) le nuage

IdO, Internet des Objets, IdOI (version industrielle), objets connectés... on n'entend plus que cela. Les observateurs de l'industrie prédisent un immense marché et des milliards d'objets connectés en quelques années, mais chez vous, pour allumer une lampe, vous continuez à vous lever pour actionner un interrupteur mural. Ces jours sombres sont désormais comptés, car avec GoNotify vous pouvez, vous aussi, connecter ce que vous voulez à l'internet.



sur la scène : les projets

14 commande « musclée » de servomoteurs

Arduino interprète les signaux EMG

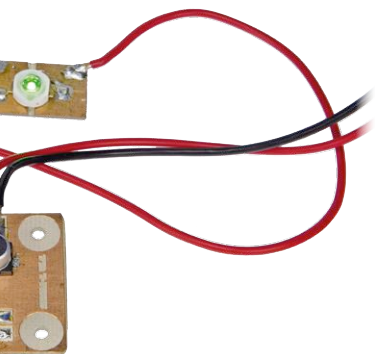
18 alarme antibrouillage

système d'alarme contre les brouilleurs

30 pilote de LED 12 V

que la lumière soit !

que la lumière soit !

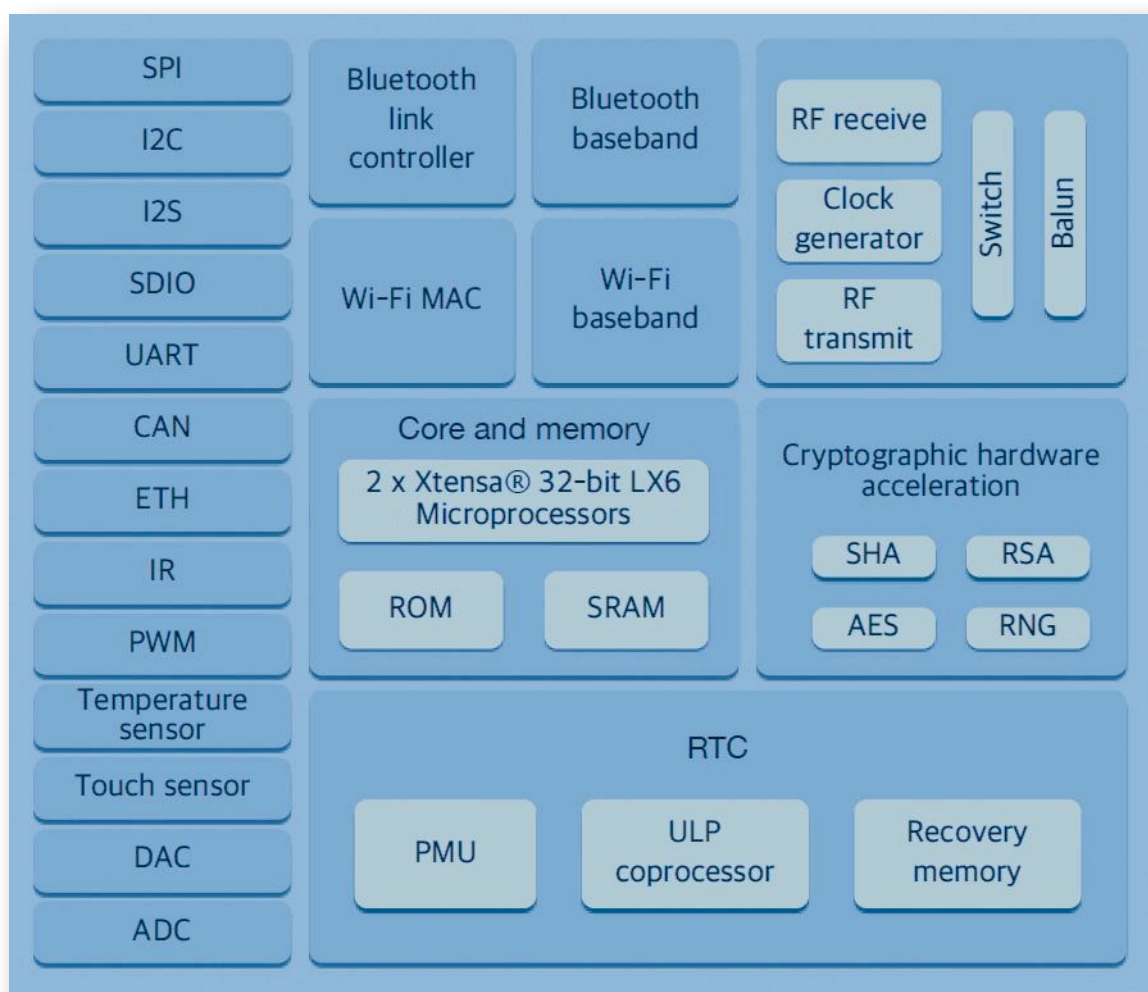


ESP32 pour utilisateur exigeant

programmation avec les outils d'origine

Tam Hanna (Slovaquie)

L'article précédent vous a montré combien il est facile de programmer le puissant ESP32 avec l'EDI d'Arduino [1]. Toutefois si vous voulez utiliser toutes les fonctions du microcontrôleur équipé du WLAN et du Bluetooth, vous devrez passer par le système de développement original ESP-IDF (**I**dO **D**evelopment **F**ramework). Si vous êtes novice dans le monde Linux ou si vous effectuez une reconversion, ne vous laissez pas intimider par le travail en ligne de commande avec les différents outils, cet article vous montre le chemin.



Chez le constructeur Espressif, on travaille d'habitude avec Ubuntu : nous effectuerons les prochaines étapes sous Ubuntu 14.04 LTS. Pour les utilisateurs de Windows, les informations sont sur [2], pour Apple, suivez [3].

Le constructeur met à disposition la panoplie d'outils (*toolchain*) sous forme de paquets binaires. Pour les utiliser, il faut certains programmes d'aide que l'on peut télécharger et installer avec la commande suivante :

```
sudo apt-get install git wget make libncurses-dev  
flex bison gperf python python-serial
```

Petite explication : `apt-get install` ne se soucie pas des outils (cf. paramètre) déjà présents sur le système cible – ils seront simplement ignorés, sans commentaire.

Si vous travaillez sous un SE à 64 bits, téléchargez le fichier en [4]. Les possesseurs d'un système à 32 bits trouveront

sous [5] un fichier qui ne dispose cependant pas d'un soutien inconditionnel.

En téléchargeant avec Firefox, les contenus vont directement dans le dossier de téléchargement. Exécutez les commandes suivantes pour les faire passer dans le dossier sous-jacent *esp* à l'extraction et les rendre prêts à être utilisés :

```
tamhan@TAMHAN14:~$ mkdir -p ~/esp
```

```
tamhan@TAMHAN14:~$ cd ~/esp
```

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp$ tar -xzf ~/Downloads/xtensa-esp32-elf-linux64-1.22.0-61-gab8375a-5.2.0.tar.gz
```

Pour les nouveaux arrivants sur Unix, quelques mots sur le rôle du tilde : il s'agit ici d'un signe unique qui décrit le chemin du dossier propre à l'utilisateur connecté et empêche les fautes de frappe.

La suite logicielle (*toolchain*) attend que la variable `PATH` contienne un répertoire bien déterminé. On s'y plie en entrant la commande `export`. Retenez que son action prend fin lorsqu'on ferme la fenêtre de console :

```
tamhan@TAMHAN14:~$ export PATH=$PATH:$HOME/esp/xtensa-esp32-elf/bin
```

Reste à télécharger de GitHub la bibliothèque d'assistance proprement dite. Assurez-vous de lancer la commande dans le répertoire propre à la suite ESP :

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp$ git clone --recursive https://github.com/espressif/esp-idf.git
```

Un premier projet

Pour créer un nouveau projet, il faut d'abord puiser dans GitHub. Le fabricant du processeur met à disposition un modèle à télécharger en suivant :

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp$ git clone https://github.com/espressif/esp-idf-template.git elektor1
```

La commande `clone` prend comme paramètre le nom du dossier où la structure du projet sera créée.

Là, nous ignorons d'abord les différents *Makefiles* pour aller vers le fichier *main.c*, qui se trouve dans le dossier inférieur du même nom. Espressif fournit un squelette relativement complexe que nous n'utiliserons pas à ce stade-ci. Nous préférons la démo de génération d'une dent de scie parue dans le précédent article et nous allons la pirater pour l'inclure dans *main.c* (codes d'exemple à télécharger sur [6]).

Comme d'habitude, on commence par la liste des divers fichiers d'en-tête à inclure pour former l'API. À ce stade, notre attention est attirée par l'un d'eux qui renvoie à FreeRTOS – Espressif a besoin d'un système en temps réel à plusieurs endroits :

```
#include "freertos/FreeRTOS.h"
#include "esp_system.h"
#include "esp_event.h"
```

Que fait *Make* ?

Dans le monde d'Unix, l'outil en ligne de commande *Make* établit quasiment un standard d'automatisation des processus de création informatique (compilation, édition de liens, etc).

Les *Makefiles* sont des fichiers d'instructions qui servent au programme *make* à exécuter des traitements tels que la compilation.

```
#include "esp_event_loop.h"
#include "nvs_flash.h"
#include "driver/gpio.h"
#include <driver/dac.h>
```

Pour la boucle d'événements d'un système en temps réel, il est indispensable d'avoir un gestionnaire des événements qui nous renvoie toujours un OK et n'influence pas davantage l'exécution :

```
esp_err_t event_handler(void *ctx, system_event_t *event) {
    return ESP_OK;
}
```

Suit déjà la fonction *app_main*, qui est appelée au démarrage du programme du contrôleur. Elle commence par l'initialisation de la mémoire flash externe et l'enregistrement du gestionnaire d'événements :

```
void app_main(void) {
    nvs_flash_init();
    ESP_ERROR_CHECK( esp_event_loop_init(event_handler, NULL) );
}
```

L'étape suivante sera de porter le code utilisé dans le précédent article. La documentation accessible par [7] montre qu'une seule méthode est indispensable :

```
while (true) {
    for(int i=0; i<255; i++){
        dac_out_voltage(DAC_CHANNEL_1, i);
    }
}
```

Trouver la carte

Dans l'EDI d'Arduino, nous y serions déjà : un clic sur *Run* et l'oscilloscope numérique à mémoire est au travail. Mais quand on se sert d'outils en ligne de commande, il faut du travail manuel.

La première tâche qui se présente est la localisation de la carte ESP32 : le port sériel du module ESP32 Thing (cf. [1]) que nous utilisons, Unix le rattache quelque part sous un */dev*. Pour simplifier la recherche de l'appareil cible, on recommande d'analyser dès la mise en marche le contenu du journal du noyau. Il s'agit d'une sorte de mémoire en anneau que le noyau (*kernel*) de Linux alimente en informations pendant que le système travaille.

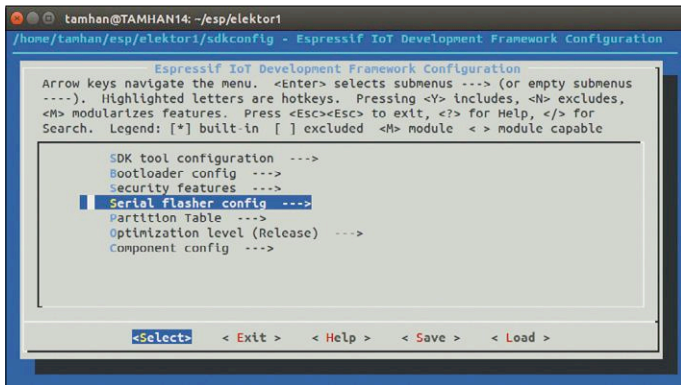


Figure 1. La page d'accueil de *make menuconfig* attend vos entrées.

La commande indiquée détourne la sortie de *dmesg* vers l'outil *grep* qui recherche la chaîne de caractères contenue dans la sortie du pilote FTDI et ne fournit en sortie que les lignes intéressantes :

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp$ dmesg | grep 'FTDI USB Serial
Device converter now attached'
```

```
[ 4.817153] usb 1-1.6: FTDI USB Serial Device
converter now attached to ttyUSB0
```

Ce qui compte ici, c'est la valeur qui indique l'endroit où le nouvel appareil doit être implanté dans l'arborescence. Dans notre cas, il s'agit de *ttyUSB0*, le chemin sera donc */dev/ttyUSB0*. Comme l'accès à l'appareil sériel est réservé normalement au super utilisateur, nous voulons permettre à notre compte utilisateur d'accéder au port. Il faut pour cela d'abord déterminer à quel groupe d'utilisateurs l'appareil appartient. On l'obtient avec une variante spéciale de l'instruction *ls* qui donne des informations supplémentaires sur un répertoire ou un élément interrogé :

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp/nmgsample1$ ls -l /dev/ttyUSB0
```

```
crw-rw---- 1 root dialout 188, 0 feb 26 22:58 /dev/
ttyUSB0
```

Sous Unix, c'est normalement *dialout*. Il faut ensuite introduire son compte utilisateur dans ce groupe pour obtenir le droit d'accès :

```
root@TAMHAN14:~/esp/nmgsample1# sudo adduser tamhan
dialout
```

Adding user 'tamhan' to group 'dialout' ...

Adding user tamhan to group dialout

Done.

```
root@TAMHAN14:~/esp/nmgsample1# sudo reboot
```

Unix actualisera les droits d'accès lors du prochain démarrage. On s'épargnera ainsi les sempiternels recours à *sudo*.

Menuconfig

Nous pouvons à présent nous offrir la configuration de l'environnement d'exécution. Pour cela, comme souvent, l'outil *make* nous vient en aide pour le traitement des instructions de compilation.

Comme l'édition manuelle de Makefiles est un travail ingrat, on a recours à *menuconfig* qui constitue un outil de traitement standardisé plus ou moins puissant. Il n'y a pas que l'ESP-IDF qui se sert de *menuconfig*, on y fait appel aussi lors de compilation du noyau et des images du système d'exploitation, par exemple OpenWRT.

La variante de *menuconfig* de l'ESP-IDF attend une variable nommée *IDF_PATH*, qui pointe vers le répertoire dans lequel se trouve la partie principale du code de la bibliothèque. Voici comment l'appeler :

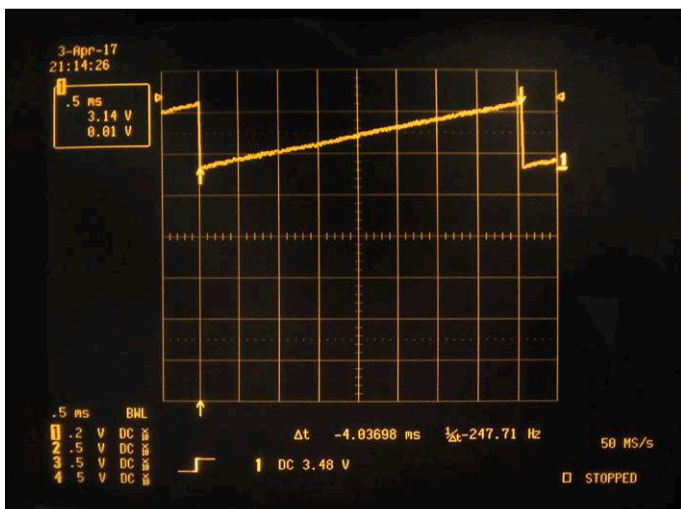


Figure 2. L'ESP-IDF est ici plus lent que l'EDI d'Arduino.

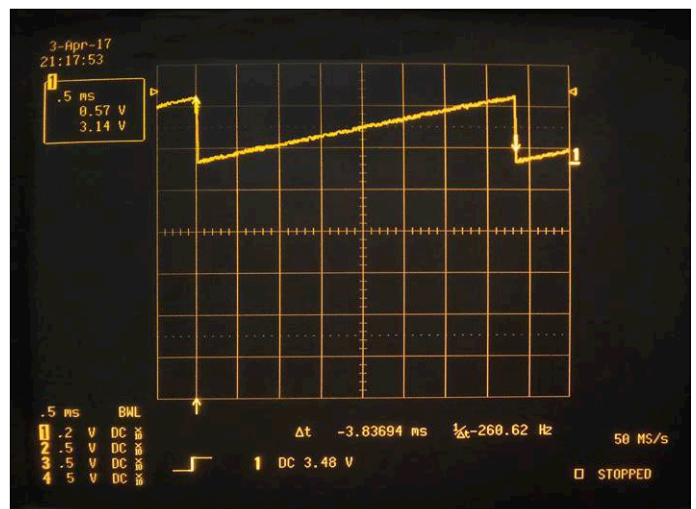


Figure 3. Le réglage du mode *Release* n'apporte pas grand-chose.


```
tamhan@TAMHAN14:~/esp/elektor1$ export IDF_PATH=~/esp/esp-idf
```

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp/elektor1$ make menuconfig
```

Comme on l'a vu précédemment pour la variable `PATH`, la commande `export` n'est active que tant que reste ouverte la fenêtre de terminal à laquelle elle s'applique.

Ne vous étonnez pas que, durant le traitement de `make menuconfig`, apparaissent à l'écran des messages d'un compilateur, certaines parties de l'outil sont directement compilées avant l'emploi. Le maniement se fait avec les boutons du curseur et la touche Entrée, qui sert à confirmer le choix des options (**figure 1**).

Le premier choix important se trouve dans *Serial flasher config* → *Default serial port*. Indiquez-y le port déterminé ci-dessus pour relier la suite d'outils à l'ESP32 branché sur le PC. Et n'oubliez pas d'enregistrer la configuration par *Save*.

Le travail terminé, il faut charger le micrologiciel dans le contrôleur. Et `make` est encore à la manœuvre, la commande est :

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp/elektor1$ make flash
```

```
GENCONFIG
```

```
CC src/bootloader_flash.o
```

```
...
```

```
Wrote 16384 bytes at 0x00008000 in 1.4 seconds (91.0 kbit/s)...
```

```
Hash of data verified.
```

```
Leaving...
```

```
Hard resetting...
```

Remarquez que l'édition de la commande diffère selon l'état de service : alors qu'un traitement complet de l'ensemble de

la bibliothèque est nécessaire après la première compilation, les compilations suivantes vont plus vite.

Et ça tourne...

Si vous branchez un oscilloscope à mémoire à la broche 25 de l'ESP32, vous verrez le résultat peu satisfaisant de la **figure 2**. Il est évident que la version originale du code est nettement plus lente qu'avec la version Arduino présentée dans le précédent article.

Retournons alors dans `menuconfig` pour ajuster les différents réglages. Mettons d'abord la valeur *Optimization Level* sur *Release* et déployons le programme après avoir enregistré les modifications. La récompense de l'effort est d'environ 10 % de vitesse en plus (**figure 3**). Une API d'origine n'est pas toujours plus efficace que celle d'Arduino.

Nous allons ensuite désactiver la boucle d'événements qui tourne en arrière-plan. Ajoutons-y un commentaire sur une ligne dans `app_main` :

```
void app_main(void) {  
    nvs_flash_init();  
  
    //ESP_ERROR_CHECK( esp_event_loop_init(event_  
    handler, NULL) );  
}
```

À ce stade, on constate une fois encore une augmentation, relativement faible, de la vitesse (cf. **figure 4**). Ce n'est pourtant pas comparable à la vitesse atteinte avec le croquis Arduino. La cause en est le travail en temps réel qui exige pour chaque écriture dans les registres de sortie des opérations de synchronisation pénalisantes.

La dent bleue

Notre prochaine tâche consiste à établir une liaison radio avec un ordiphone : la nouvelle fonction importante de l'ESP32 vient du transceiver Bluetooth que nous allons mettre à l'œuvre. Il faut d'abord activer le module Bluetooth du contrôleur : ouvrons pour cela le `menuconfig` de `make` et changeons-le dans la rubrique *Component Config*. Activons le Bluetooth en appuyant sur Y – une option est activée quand un * apparaît entre crochets. Enregistrons la configuration et lors de la prochaine compilation plusieurs dizaines de fichiers supplémentaires seront compilés.

Espressif mise sur la pile Bluedroid : si vous avez beaucoup d'expérience avec Android, vous en connaissez sûrement l'une ou l'autre méthode. Sinon, en voici une courte introduction. Mais avant d'aller plus loin, une remarque générale s'impose. Pour développer des systèmes logiciels complexes – c'est le cas de tout système en temps réel comme FreeRTOS – mieux vaut s'abstenir de partir d'une page blanche. Trouvez plutôt un exemple de code qui réalise une fonction similaire, analysez sa structure et adaptez-le à votre travail ou prenez-en des fragments un à un.

Le point d'entrée de notre programme – sans le code des erreurs de *login* – ressemble à ceci :

```
void app_main() {
```

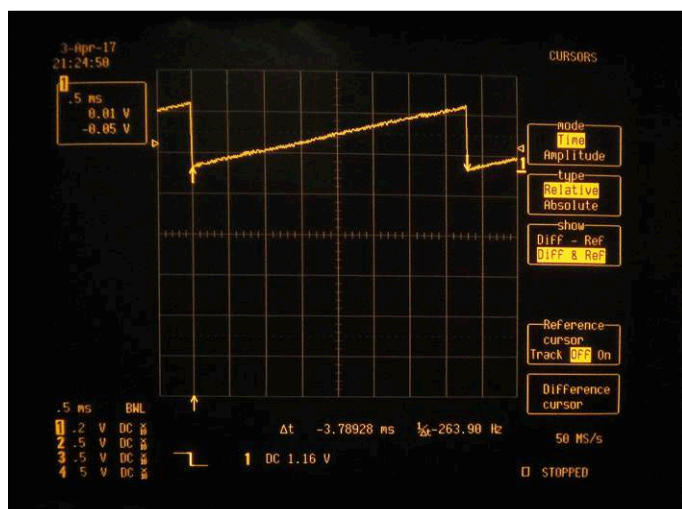


Figure 4. Même sans la boucle d'événements de FreeRTOS, le code ne s'exécute guère plus vite.


```

esp_err_t ret;
esp_bt_controller_config_t bt_cfg =
BT_CONTROLLER_INIT_CONFIG_DEFAULT();
ret = esp_bt_controller_init(&bt_cfg);

. . .

```

D'abord, appeler la fonction `esp_bt_controller_init` qui s'occupe de l'initialisation du module Bluetooth dans son ensemble. L'objet de configuration est transféré à une macro qui répond par une implémentation standard de la structure Bluetooth.

Suit alors la définition du mode de fonctionnement du contrôleur Bluetooth. Ici nous utilisons BTDM pour activer le Bluetooth LE et le Bluetooth classique. On appelle encore deux fonctions pour faire le ménage dans la pile de mémoire de Bluetooth et attribuer le temps de calcul :

```

ret = esp_bt_controller_enable(ESP_BT_MODE_BTDM);

. . .

ret = esp_bluedroid_init();

. . .

ret = esp_bluedroid_enable();

. . .

```

L'implémentation Bluetooth LE de l'ESP32 fonctionne surtout en asynchrone. C'est pourquoi on a besoin de rédiger deux gestionnaires d'événements pour les événements GATT et GAP [8]. Enfin, une application pour le protocole GATT est encore annoncée, dans laquelle on pourra inscrire ultérieurement des attributs :

```

esp_ble_gatts_register_callback(gatts_event_handler);
esp_ble_gap_register_callback(gap_event_handler);

esp_ble_gatts_app_register(0); //App-ID 0
return;
}

```

Pour utiliser les API de Bluetooth, il faut inclure un groupe d'entêtes. J'ignore pourquoi Espressif ne propose pas de « Catch-All-File » qui mettrait à disposition également tous les en-têtes :

```

#include "esp_system.h"
#include "esp_log.h"
#include "nvs_flash.h"
#include "bt.h"
#include "bta_api.h"
#include "esp_gap_ble_api.h"
#include "esp_gatts_api.h"
#include "esp_bt_defs.h"
#include "esp_bt_main.h"

```

```

#include "esp_bt_main.h"
#include "sdkconfig.h"

```

Encore un gestionnaire

Au départ, on a développé le Bluetooth LE (**Low Energy**) pour en faire un système de communication à basse consommation, mais l'utilisation de méthodes synchrones et d'interrogations successives annule ces avantages en surchargeant le processeur maître. Pas étonnant, dès lors, que la pile Bluetooth LE soit utilisée purement en asynchrone et exige l'introduction de gestionnaires d'événements.

`gap_event_handler` est en charge des événements du protocole GAP. Sa tâche principale est l'émission de paquets d'annonces (*advertisement*) pour informer l'autre matériel de la présence de l'appareil. L'appel de `esp_ble_gap_start_advertising` notifie à la pile de commencer un nouveau cycle d'annonces :

```

static void gap_event_handler(esp_gap_ble_cb_event_t
event, esp_ble_gap_cb_param_t *param)
{

    switch (event) {

        case ESP_GAP_BLE_ADV_DATA_SET_COMPLETE_EVT:
            esp_ble_gap_start_advertising(&test_adv_
params);
            break;

        case ESP_GAP_BLE_ADV_DATA_RAW_SET_COMPLETE_EVT:
            esp_ble_gap_start_advertising(&test_adv_
params);
            break;

```

Les différents paramètres de la commande d'annonce sont délivrés sous forme de structure `esp_ble_adv_params_t` dont les réglages peuvent être repris à l'identique de l'original :

```

static esp_ble_adv_params_t test_adv_params = {
    .adv_int_min      = 0x20,
    .adv_int_max      = 0x40,
    .adv_type         = ADV_TYPE_IND,
    .own_addr_type     = BLE_ADDR_TYPE_PUBLIC,
    .channel_map       = ADV_CHNL_ALL,
    .adv_filter_policy =
ADV_FILTER_ALLOW_SCAN_ANY_CON_ANY,
};

```

Fait intéressant, l'usage de la pile suppose l'inclusion du fichier *string.h* de la manière suivante :

```

#include <string.h>

```

Il est ensuite nécessaire de déclarer les domaines de mémoire dans lesquels la pile Bluetooth peut déposer des informations temporaires. On crée en plus une structure du type `esp_attr_value_t` qui décrit l'attribut à créer :

```

#define GATTS_DEMO_CHAR_VAL_LEN_MAX 0x40

```



```
uint8_t char1_str[] = {0x11,0x22,0x33};
```

```
esp_attr_value_t gatts_demo_char1_val =
{
    .attr_max_len = GATTS_DEMO_CHAR_VAL_LEN_MAX,
    .attr_len      = sizeof(char1_str),
    .attr_value    = char1_str,
};
```

Bluetooth LE identifie les appareils et les sites distants en utilisant les identités numériques appelées UUID dont l'immense longueur les rend – généralement – uniques au monde. L'API Bluetooth facilite les manipulations des développeurs avec le type `esp_bt_uuid_t` :

```
esp_gatt_srv_id_t service_id;
uint16_t service_handle;
esp_bt_uuid_t descr_uuid;
esp_bt_uuid_t char_uuid;
```

Le lecteur attentif se demande maintenant pourquoi deux caractéristiques sont nécessaires à la réalisation de notre petit service. Nous ajoutons ici à la caractéristique propre un descripteur qui donne des informations sur les données contenues dans la caractéristique.

Le gestionnaire d'événements proprement dit est responsable des différents événements survenus dans le Bluetooth LE. Par manque de place, on se limitera ici à la réalisation d'une caractéristique en lecture seule, ce qui mène au code suivant :

```
static void gatts_event_handler(esp_gatts_cb_event_t
event, esp_gatt_if_t gatts_if, esp_ble_gatts_cb_
param_t *param)
{
    switch (event) {

        case ESP_GATTS_REG_EVT:
            ESP_LOGI(GATTS_TAG, "REGISTER_APP_EVT, status
%d, app_id %d\n", param->reg.status, param->reg.
app_id);
            service_id.is_primary = true;
            service_id.id.inst_id = 0x00;
            service_id.id.uuid.len = ESP_UUID_LEN_16;
            service_id.id.uuid.uuid16 =
GATTS_SERVICE_UUID_TEST_A;
            esp_ble_gap_set_device_name("ElektorTest");
```

`ESP_GATTS_REG_EVT` sert à enregistrer une nouvelle caractéristique avec la pile : le paramètre `ServiceID` est « rempli » dans le cadre de l'exécution. On appelle alors `CREATE_EVT` quand le corpus a été exécuté et est prêt pour le paramétrage :

```
        case ESP_GATTS_CREATE_EVT:
            service_handle = param->create.
service_handle;
            char_uuid.len = ESP_UUID_LEN_16;
            char_uuid.uuid.uuid16 = 0xFF01;
```

Mise à jour indispensable de la bibliothèque Bluetooth !

Espressif a profondément révisé plusieurs fois l'API Bluetooth ces derniers mois. Si l'exemple donné ici ne fonctionne pas chez vous, mettez à jour l'installation IDF. Le plus simple est de supprimer la bibliothèque et d'en installer une version toute récente. Et n'oubliez pas ensuite de rappeler `make menuconfig` pour actualiser et enregistrer le nouveau fichier.

D'autres exemples Bluetooth

Espressif propose une multitude d'exemples sur les divers modes de fonctionnement du Bluetooth. Les informations sont sur [10].

```
        esp_ble_gatts_start_service(service_
handle);
        esp_ble_gatts_add_char(service_handle,
&char_uuid,
                                ESP_GATT_PERM_READ |
ESP_GATT_PERM_WRITE,
                                ESP_GATT_CHAR_PROP_BIT_
READ |
                                ESP_GATT_CHAR_PROP_BIT_
WRITE |
                                ESP_GATT_CHAR_PROP_BIT_
NOTIFY,
                                &gatts_demo_char1_val,
                                NULL);
        break;
```

C'est la fonction `esp_ble_gatts_send_response` qui est utilisée pour répondre à la demande de lecture comprise dans la caractéristique. La fonction met dans un champ de bits la réponse avec les informations demandées :

```
        case ESP_GATTS_READ_EVT: {
            esp_gatt_rsp_t rsp;
            memset(&rsp, 0, sizeof(esp_gatt_rsp_t));
            rsp.attr_value.handle = param->read.
handle;
            rsp.attr_value.len = 4;
            rsp.attr_value.value[0] = 0xde;
            rsp.attr_value.value[1] = 0xed;
            rsp.attr_value.value[2] = 0xbe;
            rsp.attr_value.value[3] = 0xef;
            esp_ble_gatts_send_response(gatts_if,
param->read.conn_id, param->read.trans_id, ESP_GATT_
OK, &rsp);
        }
        break;
```

`ESP_GATTS_ADD_CHAR_EVT` reçoit alors la mission de créer effectivement la caractéristique qui a été préalablement constituée par l'appel de la méthode `esp_ble_gatts_add_char` :

puissance maximale de l'ESP32, vous devrez vous accommoder de l'IDF. Si vous travaillez déjà avec d'autres contrôleurs à 32 bits, vous ne devriez pas rencontrer de difficultés à travailler avec l'ESP-IDF. ◀

(160457 – version française : Robert Grignard)

```
case ESP_GATTS_ADD_CHAR_EVT: {
    uint16_t length = 0;
    const uint8_t *prf_char;
    //gl_profile_tab[PROFILE_A_APP_ID].char_
    handle = param->add_char.attr_handle;
    descr_uuid.len = ESP_UUID_LEN_16;
    descr_uuid.uuid.uuid16 =
ESP_GATT_UUID_CHAR_CLIENT_CONFIG;
    esp_ble_gatts_get_attr_value(param->add_
char.attr_handle, &length, &prf_char);
    esp_ble_gatts_add_char_descr(service_
handle, &descr_uuid, ESP_GATT_PERM_READ | ESP_GATT_
PERM_WRITE, NULL, NULL);
}
break;
```

Enfin, après la rupture de la liaison entre l'appareil et la source de données, nous devons relancer le processus d'annonce pour être de nouveau visibles pour d'autres clients :

```
case ESP_GATTS_DISCONNECT_EVT:
    esp_ble_gap_start_advertising(&test_adv_
params);
    break;

default:
    break;
}
}
```

Par manque de place, nous ne pouvons pas aller plus loin à propos de l'interaction avec l'ordiphone, la **figure 5** montre comment se présente la caractéristique produite dans l'appli *Nordic BLE*. Le programme à télécharger dans le Play Store [9] travaille comme un scanner, il analyse le contenu des appareils Bluetooth LE et permet l'interaction avec eux.

Conclusion

Même si les prestations de l'API d'ESP-IDF ne sont pas à la hauteur de celle d'Arduino, si vous voulez tirer parti de la

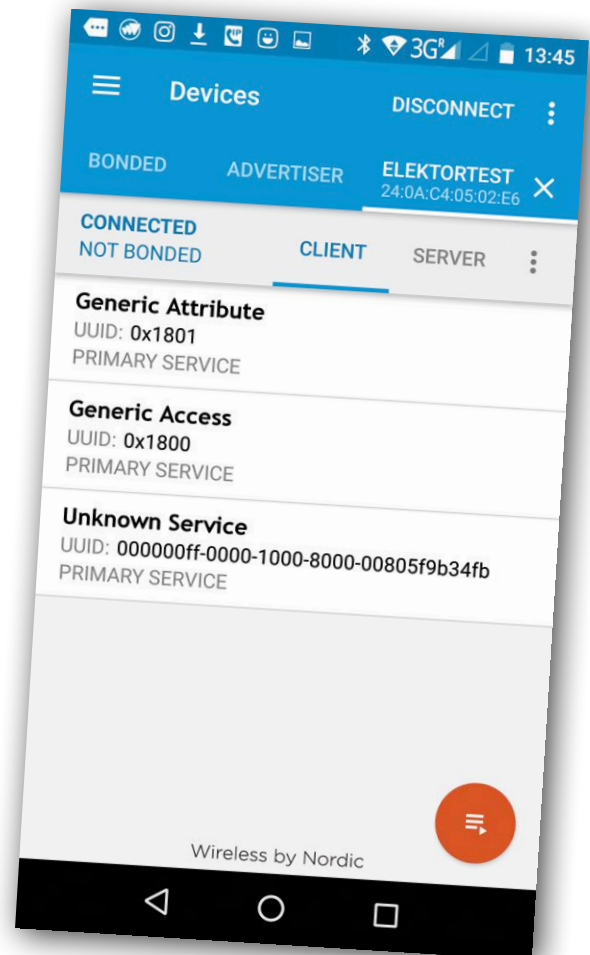


Figure 5. La caractéristique Bluetooth créée par l'ESP32 est facile d'accès.

Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/160454
- [2] <https://esp-idf.readthedocs.io/en/latest/get-started/windows-setup.html>
- [3] <https://esp-idf.readthedocs.io/en/latest/get-started/macos-setup.html>
- [4] <https://dl.espressif.com/dl/xtensa-esp32-elf-linux64-1.22.0-61-gab8375a-5.2.0.tar.gz>
- [5] <https://dl.espressif.com/dl/xtensa-esp32-elf-linux32-1.22.0-61-gab8375a-5.2.0.tar.gz>
- [6] www.elektormagazine.fr/160457
- [7] <http://esp-idf.readthedocs.io/en/latest/api-reference/peripherals/dac.html>
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Bluetooth_profiles
- [9] <https://play.google.com/store/apps/details?id=no.nordicsemi.android.mcp&hl=en>
- [10] <https://github.com/espressif/esp-idf/tree/07b61d5/examples/bluetooth>

la communauté d'Elektor

DÉCOUVRIR CRÉER PARTAGER

82

pays

248153

membres actifs

1040

experts & auteurs

489

publications

235332

visiteurs (par mois)

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



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



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



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



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



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



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



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



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

connectez-vous à notre communauté

formule

GREEN 92,50 € par an

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

connectez-vous

www.elektor.fr/formule-greencard

formule

GOLD 127,50 € par an

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

connectez-vous

www.elektor.fr/formule-goldcard

formule

GRATUITE

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

connectez-vous

www.elektor.fr/inscription



facebook.com/ElektorFR



twitter.com/Elektor

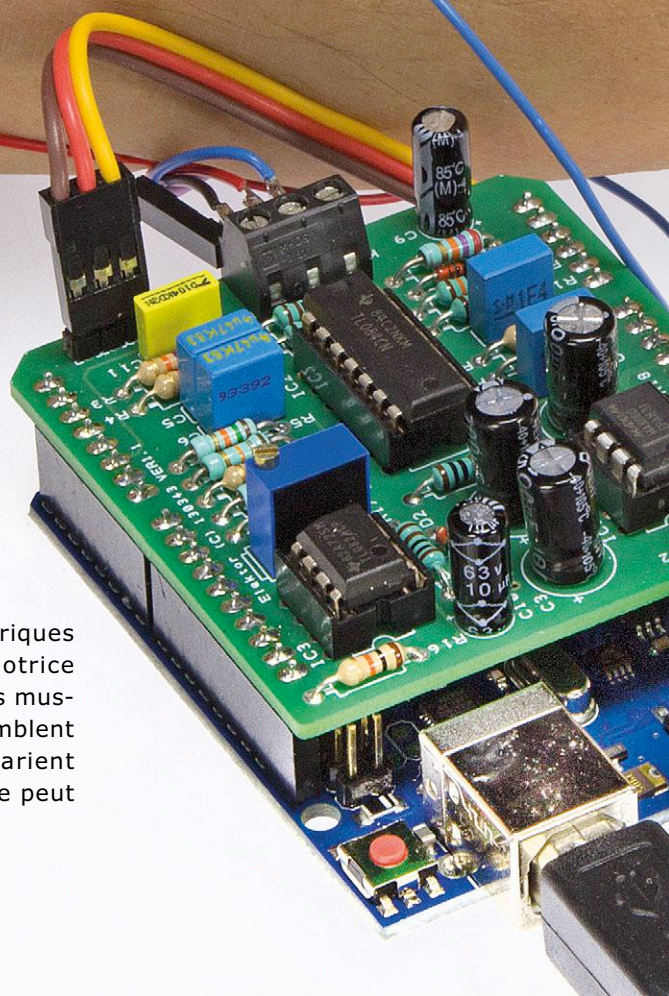
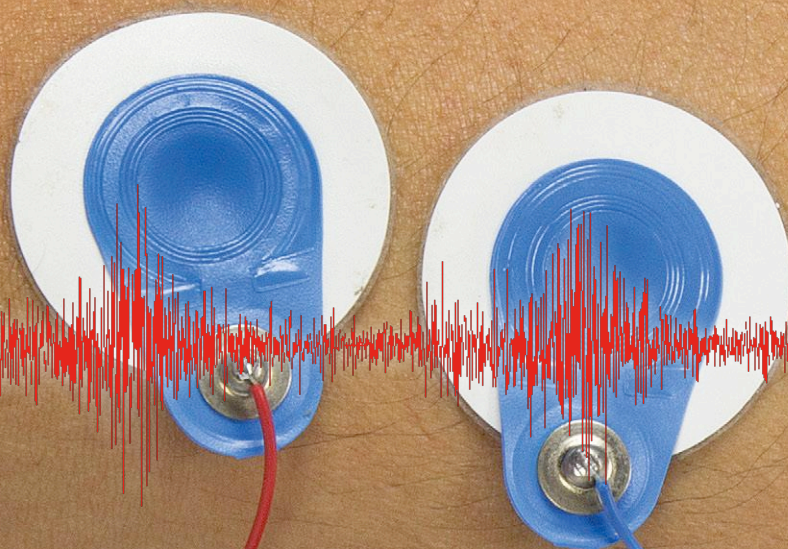
commande « musclée » de servomoteurs

Sunil Malekar (labo d'Elektor en Inde)

Bien que ce ne soit pas toujours l'interface homme-machine la plus appropriée, les boutons (virtuels) qu'on pousse ou qu'on tourne restent la méthode de choix pour utiliser les appareils électroniques. Toutefois, lorsque le but est de positionner ou faire bouger un objet, l'utilisation de votre corps (ou une partie) semble la méthode la plus facile ou la plus intuitive. Dans ce projet expérimental, nous découvrirons comment commander un servomoteur en contractant un muscle.

L'électromyographie de surface (EMG) est une méthode de diagnostic qui consiste à observer l'activité électrique de muscles en mouvement. Le cerveau envoie des signaux électriques aux muscles via le système nerveux central. Quand les muscles sont contrac-

tés, de petits potentiels électriques appelés potentiels d'unité motrice (PUM) sont créés par les fibres musculaires. Les signaux EMG semblent être de nature aléatoire et varient constamment ; leur amplitude peut dépasser 10 mV_{cc} .



Électrodes

Il est possible de capter les signaux EMG à l'aide de trois électrodes appliquées sur le corps. Deux sont posées à environ 2-3 cm d'écart dans la région où l'on veut déceler le mouvement du muscle. La troisième électrode sert de référence de potentiel, elle doit être placée de préférence

dans une zone de tissu électriquement neutre, telle qu'une partie osseuse, pas trop éloignée des deux autres électrodes. Elle ne doit pas être placée trop près non plus, pour éviter qu'elle n'affaiblisse la force du signal.

On peut trouver des électrodes appropriées sur l'internet — recherchez des « électrodes EMG-ECG avec support mousse » (ou *foam monitoring electro-*

Caractéristiques du projet

- Servomoteur commandé par un muscle
- Shield Arduino
- Composants traversants uniquement

Arduino interprète les signaux EMG

des). On les trouve habituellement en paquets de 30 ou 50, pour env. 8 €. Elles sont soit sèches, soit imprégnées de gel. Nous avons utilisé des électrodes imprégnées d'une solution électrolytique ou d'un gel sur la surface en contact avec la peau (on les trouve aussi sur l'internet) ; l'autre face de l'électrode est reliée à l'entrée de notre circuit. Les cellules de la peau présentent une certaine résistance qui peut gêner l'enregistrement de l'activité électrique des muscles. Le gel améliore la conductivité entre la peau et l'électrode. Les électrodes au chlorure d'argent (AgCl) sont meilleures, car les fluctuations d'impédance entre peau et électrode sont minimisées, d'où moins de bruit.

INFOS SUR LE PROJET



Arduino

EMG

bio-commande

servomoteur



→ débutant

connaisseur
expert



env. 2 h



Arduino,
soudage



env. 30 €

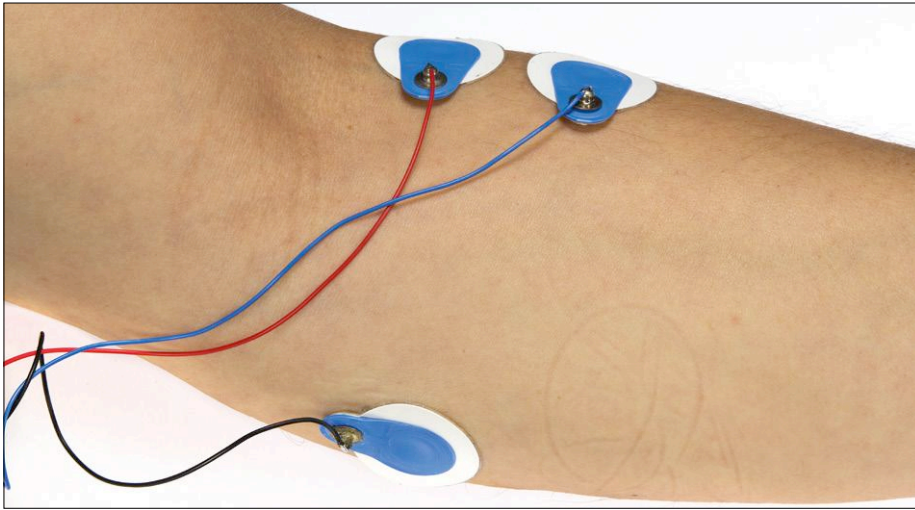


Figure 1. On trouve facilement sur l'internet des électrodes adaptées à ce projet ainsi que du gel conducteur.

Description du circuit

Le signal EMG capté par les électrodes est faible, il doit être amplifié. Habituellement, on emploie dans ce cas un amplificateur d'instrumentation à haute impédance d'entrée. L'inconvénient de cet étage d'entrée est que l'on recueille aussi du bruit (secteur, interférence RF), surtout si les cordons de raccordement aux électrodes sont longs. Un amplificateur d'instrumentation nécessite par ailleurs un certain nombre de composants. Par conséquent, nous avons fait un compromis entre simplicité et sensibilité en utilisant un amplificateur différentiel classique (IC2.A).

La sortie de l'amplificateur différentiel attaque un filtre passe-bande du second

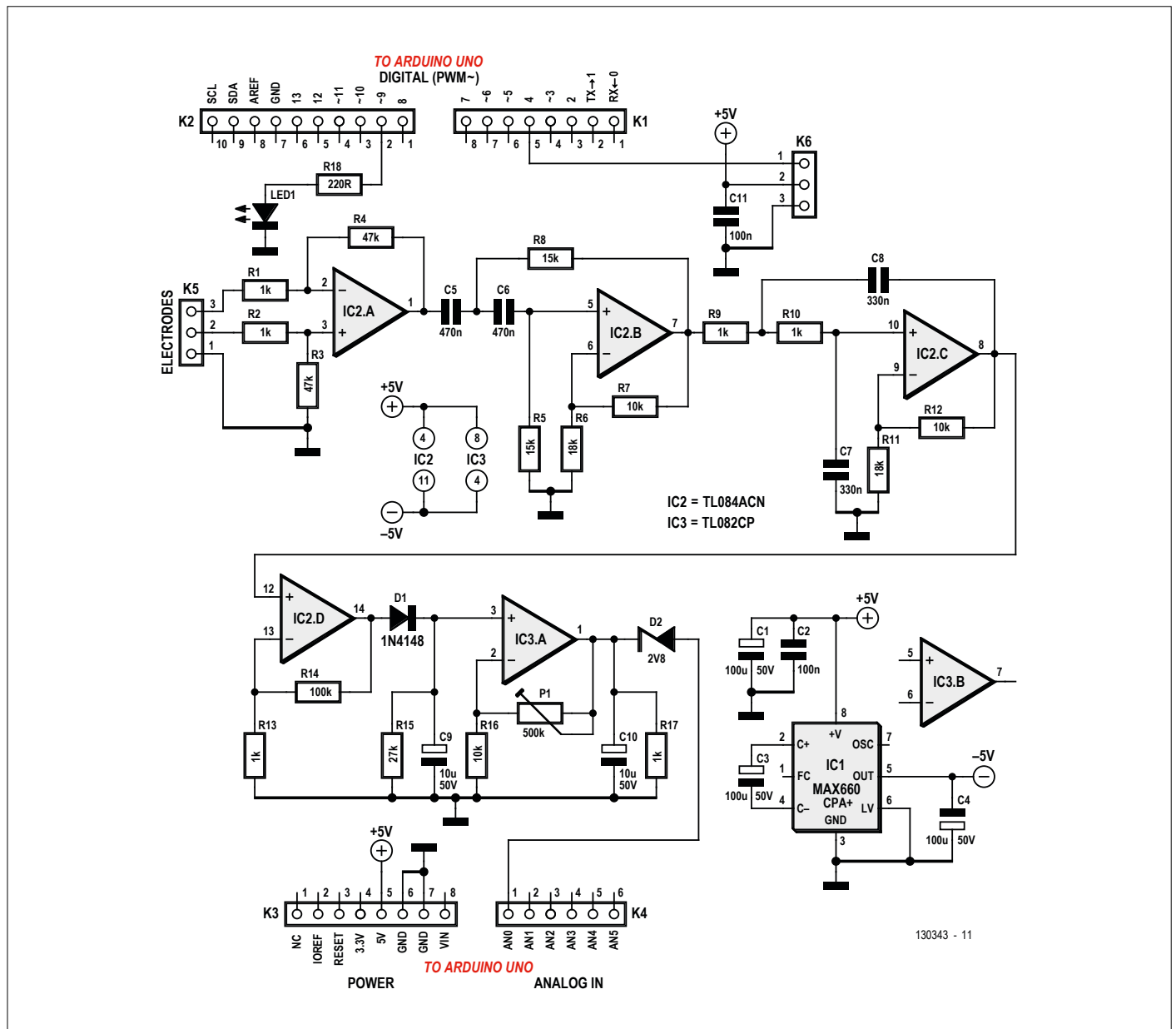


Figure 2. Un ampli différentiel, un filtre passe-bande et un détecteur d'enveloppe conditionnent le signal EMG avant numérisation.



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

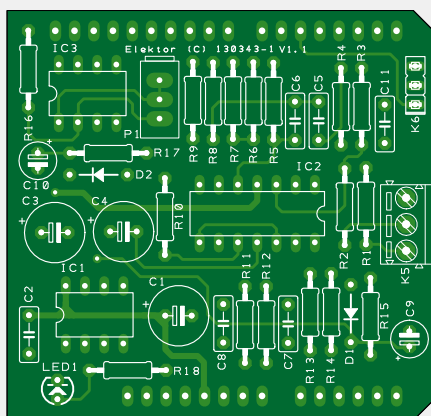
Par défaut : 250 mW 5%
 R1,R2,R9,R10,R13,R17 = 1 k Ω
 R3,R4 = 47 k Ω
 R5,R8 = 15 k Ω
 R6,R11 = 18 k Ω
 R7,R12,R16 = 10 k Ω
 R14 = 100 k Ω
 R15 = 27 k Ω
 R18 = 220 Ω
 P1 = 500 k Ω , ajustable, 24 tours

Condensateurs

C1,C3,C4 = 100 μ F, 50 V, pas de 2 mm
 C2,C11 = 100 nF, pas de 5,08 mm
 C5,C6 = 470 nF, 50 V, pas de 5,08 mm
 C7,C8 = 330 nF, 50 V, pas de 5,08 mm
 C9,C10 = 10 μ F, 50 V, pas de 2 mm

Semi-conducteurs

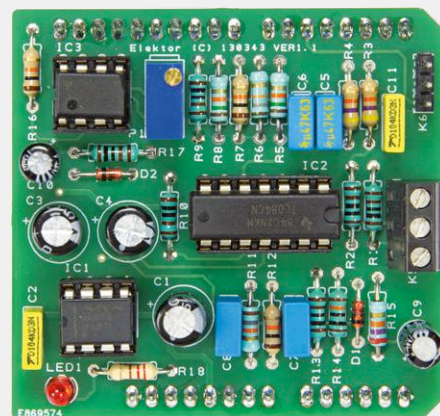
D1 = 1N4148



D2 = 1N5224B-TP
 IC1 = MAX660CPA
 IC2 = TL084ACN
 IC3 = TL082CP
 LED = rouge, 3 mm

Divers

K1,K3 = embase à 8 picots, au pas de 2,54 mm
 K2 = embase à 10 picots, au pas de 2,54 mm



K4 = embase à 6 picots, au pas de 2,54 mm
 K5 = bornier à vis à 3 contacts pour circuit imprimé, au pas de 3,5 mm
 K6 = embase à 3 picots, au pas de 2,54 mm
 Circuit imprimé réf. 130343-1

ordre (IC2.B et IC2.C) afin d'éliminer les signaux indésirables. Son gain total est de 2,4 environ, pour une bande passante de 20 Hz à 500 Hz et une atténuation de 12 dB par octave.

Le signal filtré est à nouveau amplifié par IC2.D, puis redressé par la diode D1. Le condensateur C9 permet l'extraction de l'enveloppe du signal. La résistance R15 décharge partiellement C9 pour éviter sa saturation. L'amplification de l'enveloppe est confiée à IC3.A, avant d'être légèrement lissée par C10/R17.

Le signal passe par une diode Zener de 2,8 V (D2) avant d'atteindre le convertisseur analogique-numérique de la carte Arduino. Cette diode évite les déclenchements intempestifs du logiciel dus à des variations du signal EMG.

L'ajustable P1 permet de fixer avec précision le gain d'IC3.A. La LED s'allume lorsque, le muscle étant relâché, le signal est à peu près dans la plage prévue.

Ce circuit est réalisé sous forme de carte d'interface Arduino (*shield*). Un convertisseur de tension MAX660 (IC1) inverse la tension d'alimentation afin d'obtenir une tension symétrique de ± 5 V pour le *shield*.

Micrologiciel

Il a été écrit dans l'environnement Arduino. Le signal d'entrée, appliqué au convertisseur analogique-numérique de la broche A0 est converti en une valeur

numérique, puis cette valeur est adaptée à la plage de débattement de 0 à 180° du servomoteur grâce à la fonction *map*. Les valeurs du convertisseur ainsi mises à l'échelle sont transmises au servomoteur en utilisant la bibliothèque *Servo*. Le servomoteur doit être relié à la broche 9 de l'Arduino Uno.

Les servomoteurs ont pour la plupart trois fils : Positif (+), Négatif (-) et Commande. Faites attention : habituellement, le positif est le fil du milieu, mais pas toujours.

Un mot sur la sécurité

Il est tentant de connecter l'Arduino au port USB de l'ordinateur. Avec un portable alimenté sur batterie, cela ne pose pas de problème ; mais si l'ordinateur est relié au secteur, un danger existe, car il y a — en théorie — possibilité qu'une électrode se retrouve reliée au secteur, ce qui est dangereux. Nous vous recommandons donc fortement d'**alimenter le circuit avec une pile de 9 V ou une batterie de secours USB (power bank)**. Évitez à tout prix de relier votre sujet d'expérimentation aux lignes du secteur !

Qu'on amène le cobaye !

Reliez le *shield* à l'Arduino, puis connectez-y les câbles. Fixez les électrodes sur un muscle du bras ou de la jambe du cobaye. La peau doit être propre avant de fixer les électrodes ; elles doivent bien

coller. La troisième électrode est importante aussi, et doit être reliée à la masse du *shield*. Si cette électrode n'est pas ou est mal reliée à la masse, les amplificateurs satureront et les contractions musculaires ne seront pas détectables. Demandez à votre cobaye de relâcher le muscle auquel le système est relié, et réglez P1 pour que la LED s'allume. Un allumage franc est préférable.

La contraction du muscle doit faire tourner le servomoteur tandis que la LED s'éteint. Après relâchement de l'effort, le servomoteur doit revenir et la LED s'allumer à nouveau.

Il faut veiller à porter des chaussures lors de l'utilisation de ce circuit, car le sujet doit être isolé de la terre, sinon les interférences avec le signal de référence donneront des résultats aléatoires. ❏

(130343 – version française : Guy Matt)

Lien

[1] www.elektormagazine.fr/130343



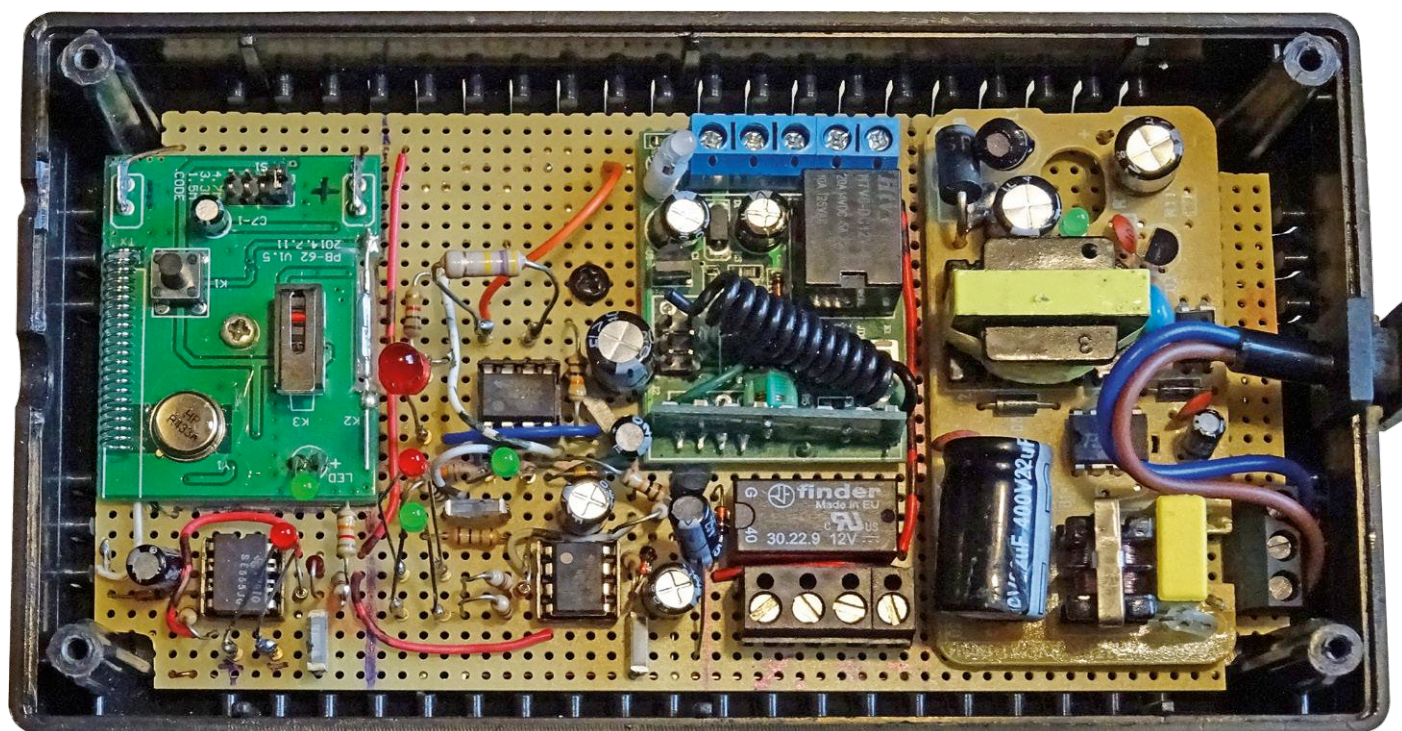
DANS L'E-CHOPPE

→ 130343-1

circuit imprimé nu de la commande musculée

alarme antibrouillage

système d'alarme contre les brouilleurs



Les systèmes d'alarme à liaison radio sont très répandus, bon marché et faciles à installer, mais ils ont un gros inconvénient : un malandrin peut les mettre en échec et mat sans problème avec un brouilleur. Le montage proposé ici est aussi un système d'alarme, mais pour vous avertir qu'un brouilleur perturbe votre système d'alarme domestique !

Walter Meyer

Après de nombreux articles sur ce sujet dans les médias, le point faible des alarmes à liaison radio devrait être bien connu. Avec un brouilleur ou un émetteur portatif dans la bande des 433 MHz, on peut détraquer de manière continue le trafic radio d'un système d'alarme. Il suffit d'émettre une onde porteuse, alors la centrale ne recevra plus aucun des signaux, par nature très faibles, des détecteurs. Quelle misère !

Dans les publicités sur internet, ces brouilleurs sont présentés comme un moyen de bloquer le trafic des téléphones portables, GPS, réseaux sans fil et autres matériels radio afin de protéger la sphère

privée. Pour dire la chose clairement : **dans l'Union européenne (de même qu'aux États-Unis et au Japon), aucune personne privée ni entreprise ne peut promouvoir, commercialiser, acheter ou, à fortiori, utiliser de tels brouilleurs [1].** Car il n'est jamais question de protection de la vie privée. En fait, ces appareils, aujourd'hui petits et abordables, servent à des entreprises criminelles comme la mise hors service du système de localisation d'un véhicule volé ou la neutralisation d'une centrale d'alarme. De plus, un brouillage peut perturber ou empêcher des actions vitales comme un appel aux pompiers ou à police-secours, ce qui paraît justifier les lourdes sanctions encourues : celui

qui se fait prendre à utiliser un brouilleur peut s'attendre à une amende en euros à cinq chiffres !

Trafic radio en boîte

Le circuit de l'alarme antibrouillage attend justement le moment où il sera brouillé pour donner l'alarme via une sirène et une liaison filaire reliée à la centrale d'alarme. Comme le montre la **figure 1**, le circuit se compose de cinq blocs fonctionnels, six si l'on compte l'alimentation. Trois d'entre eux sont intentionnellement dotés d'un fond vert, car il s'agit de modules complets récupérés sur de vieux appareils ou qu'on peut se procurer sur l'internet à un prix rendant sans intérêt une réalisation personnelle.

Mais procédons par ordre.

En haut, à gauche, nous avons un temporisateur NE555 monté en multivibrateur astable, qui envoie toutes les 13 s une courte impulsion négative à un émetteur à 433,92 MHz. Il s'agit là d'un détecteur standard d'ouverture de porte/fenêtre en version radio, représenté sur le schéma comme le premier composant prêt à l'emploi (en vert) et reconnaissable sur la photo du chapeau de l'article à la couleur verte de son circuit imprimé. Le signal du temporisateur est appliqué au contact Reed NO, pas du côté de la tension permanente. (En effet il est possible de commander un contact Reed avec la sortie d'un circuit logique TTL, à condition que le contact soit doté d'une diode de protection interne ou qu'une diode soit ajoutée en externe.) Selon le câblage du contact de porte/fenêtre, une adaptation peut être nécessaire : l'impulsion négative doit avoir le même effet qu'une ouverture de la fenêtre protégée. Deux LED signalent que l'émetteur envoie bien comme prévu des impulsions sur la porteuse à 433 MHz par l'antenne (tout à l'extérieur sur la photo du chapeau). La LED verte du contact s'allume et s'éteint brièvement pendant l'impulsion, pendant que la LED rouge clignote. L'émetteur peut comporter une petite touche de test manuel du fonctionnement.

Le signal radio est capté par un petit récepteur universel monocanal à 433 MHz à apprentissage de code. On trouve quantité de ces récepteurs sur l'internet (par ex. sur eBay) à petit prix (10 à 15 €, parfois à des prix « d'attaque » encore plus bas). Ces récepteurs sont conçus pour capter des signaux codés ASK, accepter leur code et commuter un relais. Avec le modèle OC-433L1 que j'utilise, on peut choisir le mode de fonctionnement du relais (touche, commutateur, contacteur, temporisation de durée ajustable). Comme le module doit se contenter de reproduire en sortie l'impulsion reçue (que l'OC-433L1 affiche au moyen d'une LED blanche), la fonction « touche » suffit. Le relais sur le circuit imprimé n'a aucune utilité et devrait être démonté ou désactivé pour réduire le bruit.

Formation de l'impulsion

Retour à la réalisation personnelle ! Un autre composant NE555 est configuré en multivibrateur réamorçable. Sa sortie est normalement au niveau haut (la LED verte en sortie est allumée) et passe au niveau bas au bout de 25 s environ (la LED rouge s'allume). Mais en temps

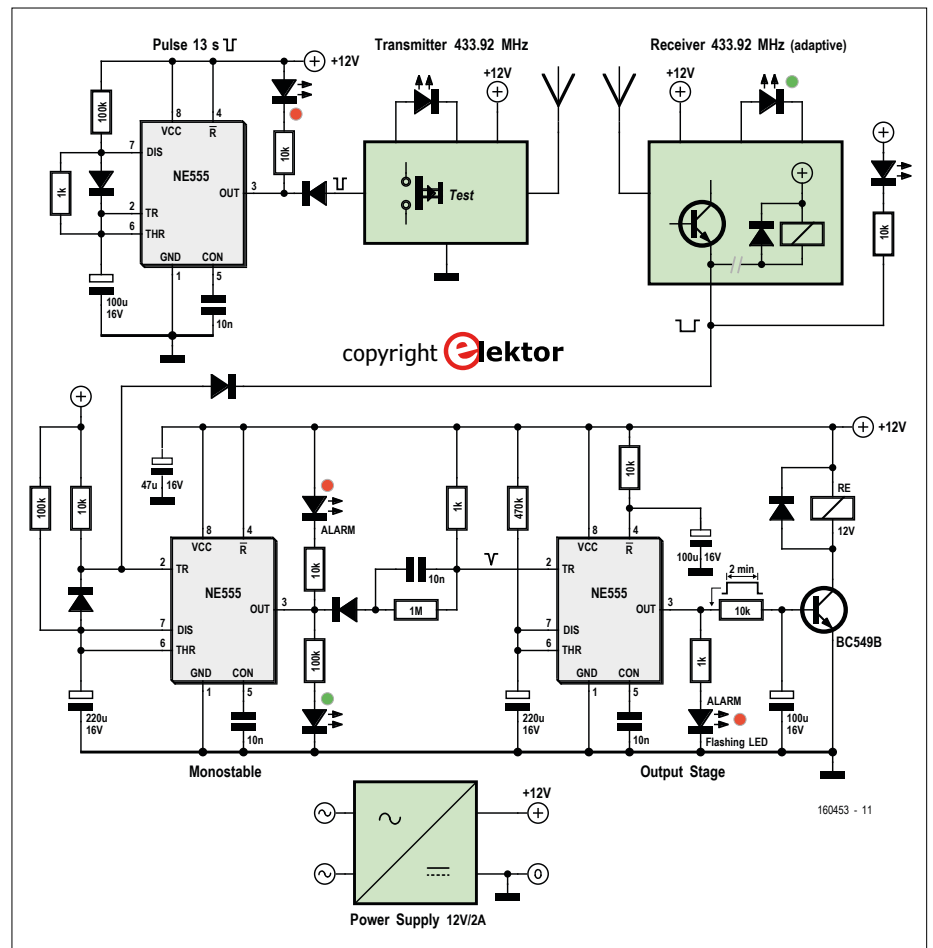


Fig 1. Les blocs fonctionnels de l'alarme antibrouillage.

normal, quand le trafic radio n'est pas perturbé, ce changement est inhibé par les impulsions négatives qui apparaissent toutes les 13 s. C'est seulement en cas de perturbation du trafic et de disparition de ces impulsions que le multivibrateur peut basculer au niveau bas.

Le dernier bloc fonctionnel est l'étage de sortie ; il est également réalisé autour d'un NE555 configuré en multivibrateur monostable. Quand il est déclenché, sa sortie bascule au niveau haut pendant deux minutes environ. Le relais permet d'actionner une sirène et/ou de transmettre un signal à la centrale d'alarme. Pour l'affichage, j'ai utilisé une LED clignotante dont la spécification indique une tension directe de 3,5 à 5 V pour un courant de 8 à 20 mA. La résistance série devrait donc être de l'ordre de 1 kΩ. Cette valeur peut différer pour d'autres types de LED. Consultez la feuille de caractéristiques de votre LED clignotante !

Une dernière remarque intéressante à propos du condensateur de 10 nF entre les deux temporisateurs : il s'agit d'un élément différenciateur. En cas d'alarme,

si le premier multivibrateur astable passe au niveau bas, seul le front descendant est transmis à l'étage de sortie sous la forme d'une courte impulsion négative, ce qui évite que l'étage de sortie déclenche une alarme permanente (non limitée à 2 min).

Le dernier bloc fonctionnel « tout fait » n'appelle pas beaucoup de commentaires. Il s'agit de l'intérieur d'un module d'alimentation enfichable standard qui peut débiter 2 A sous 12 V.

En test

J'ai abondamment testé l'appareil chez un radioamateur avec deux émetteurs à 433 MHz portatifs et différentes puissances d'émission. L'alarme antibrouillage se comporte exactement comme je l'avais prévu (et espéré). En cas de brouillage et disparition du signal radio, l'appareil déclenche l'alarme de manière fiable. ◀

(160453 – version française : Helmut Müller)

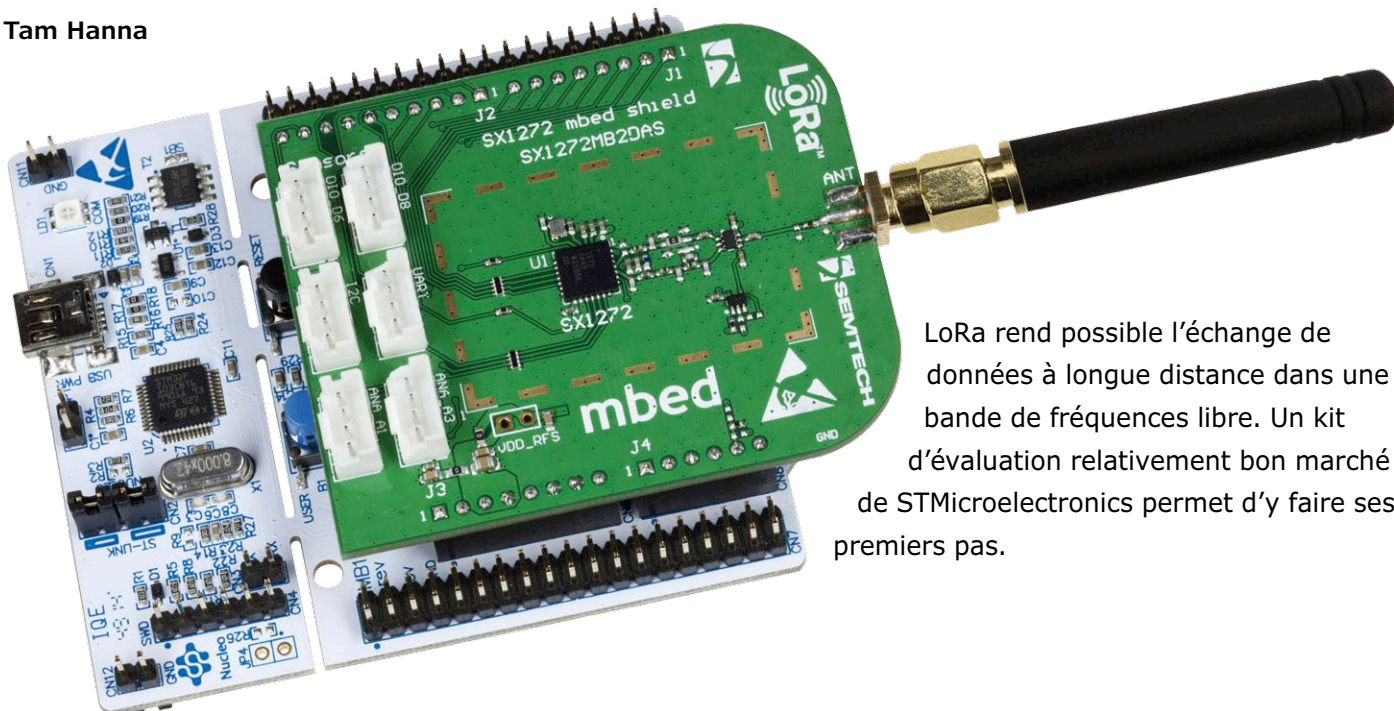
Lien

[1] www.arcep.fr/index.php?id=11946#c46566

premiers pas avec LoRa

liaison radio à courte distance entre deux cartes d'évaluation

Tam Hanna



LoRa rend possible l'échange de données à longue distance dans une bande de fréquences libre. Un kit d'évaluation relativement bon marché de STMicroelectronics permet d'y faire ses premiers pas.

Le travail avec LoRa est rendu difficile parce qu'il faut normalement une passerelle, parfois coûteuse. Mais les premiers pas sont possibles sans connexion à l'internet. Le bouclier SX1272 proposé par STM est compatible avec diverses cartes Nucleo et les dote d'une pile LoRa de qualité. De plus, l'offre comprend également un kit composé d'un bouclier, d'une antenne et d'une carte avec un contrôleur (voir l'encadré « De quoi avez-vous besoin ? »). Cet article montre comment on peut utiliser deux de ces cartes pour réaliser un échange de données.

L'offre de STM est particulièrement intéressante parce qu'elle ne se limite pas à la fourniture du matériel : l'acquisition des cartes ouvre le droit d'accès à une collection d'applications de référence. Nous en utiliserons une comme base d'un petit projet qui permet d'évaluer le temps de parcours du signal par la commutation des broches d'un port GPIO.

Premiers pas

Une fois en possession du kit, il suffit de raccorder au module l'antenne fournie et d'avoir à disposition un câble mini-USB pour réaliser une connexion avec un PC. Pour les pas suivants, nous utiliserons l'environnement de développement gratuit OpenSTM32 (*System Workbench*) et les bibliothèques CUBE pour l'abstraction du matériel. Les habitués de Keil peuvent bien entendu s'appuyer sur leur EDI favori.

Le site web de STM n'a pas la réputation d'être particulièrement clair et lisible. Le premier pas est le téléchargement de la pile LoRa, disponible sous [1] (fig. 1).

Il faut ensuite extraire cette archive d'environ 100 Mo dans le répertoire `C:\Users\TAMHAN\STM32Cube\` - remplacez TAMHAN par votre nom d'utilisateur. STM fournit dans le cadre du kit de

développement MDK trois exemples d'applications. À côté de ClassA, qui sert à réaliser un client (lié à une passerelle), on trouve aussi AT_Slave, pour concevoir un modem.

Ici, seule l'application Ping-Pong nous intéresse : elle établit une liaison entre deux modules LoRa de même type et se passe d'une (coûteuse) passerelle.

Comme la pile LoRa, propriété de STM, supporte un grand nombre de cartes à contrôleur différentes et divers modules ainsi que trois EDI différents, son arborescence de répertoires est relativement compliquée. Le projet qui nous intéresse réside dans le répertoire `Projects\Multi\Applications\LoRa\PingPong\SW4STM32\STM32L073RZ-Nucleo\sx1272mb2das`. Pour commencer, importez-le comme d'habitude dans l'espace de travail, vous aurez ainsi le loisir d'en admirer la structure (fig. 2). Avec la commande `Run → Ac6 STM32 Debugging`, envoyez ensuite le programme à la première des deux cartes contrôleur. L'EDI délivrera et exécutera le code avec succès. Au débogage dans OpenSTM32, on n'arrive normalement que jusqu'au point d'arrêt situé au point d'entrée de `main()`. Ensuite, à cause d'une erreur documentée sous [2], se produisent des réinitialisations à répétition avec affichage sur la console de messages du genre :

```
Polling target stm32l0.cpu failed, trying to  
reexamine
```

```
Examination failed, GDB will be halted. Polling again  
in 6300ms
```

Pour le débogage, il est recommandé d'utiliser Keil ou IAR, mais comme, pour le moment, nous n'avons pas besoin du

débogueur, nous allons nous consacrer à l'établissement de la communication. Pour cela, nous débranchons la première carte contrôleur pour transférer au moyen de *Run* l'application Ping-Pong vers la seconde carte.

Récolter les données

Une carte Nucleo connectée au PC est accessible sous Windows par une liaison série. Pour récupérer les données reçues, nous utilisons – comme recommandé par STM – le logiciel *TeraTerm* développé au Japon et disponible au téléchargement sous [3]. Installez le programme comme d'habitude sur le PC et démarrez-le à partir du menu de démarrage. Branchez la première carte contrôleur sur une source de tension : un chargeur de téléphone portable avec un câble détachable fait parfaitement l'affaire. Si vous voulez enlever ce fil à la patte, optez pour une batterie externe (*power bank*) ; si celle-ci se coupe parce que la consommation du STM32 est trop faible, vous pouvez ajouter une résistance en parallèle.

Connectez maintenant la carte numéro 2 au PC. Démarrez *TeraTerm* et cliquez sur *File > New connection*. Activez le bouton radio *Serial* et choisissez le port connecté à la carte STM. *TeraTerm* se connecte, mais ne délivre au début que des données inintelligibles. Pour résoudre ce problème, cliquez sur *Setup > Serial port* et saisissez les paramètres listés sur la **figure 3**.

Notez que STM a prévu différentes vitesses (*baudrates*) pour diverses applications : celles qui travaillent avec une passerelle sont notablement plus rapides. Quand la vitesse est correctement paramétrée, les données prennent un sens – l'affichage varie un peu en fonction du PC, mais s'ordonne selon le schéma suivant :

OnRxDone

RssiValue=-11 dBm, SnrValue=29

rxDone

...PONG

OnTxDone

txDone

Que se passe-t-il ici ?

Une fois assurés du bon fonctionnement du programme, nous pouvons nous intéresser au code. La méthode *main()* commence par initialiser différents composants matériels, pour se tourner ensuite vers la partie radio :

```
int main( void )
{
    . . .

    RadioEvents.TxDone = OnTxDone;
    RadioEvents.RxDone = OnRxDone;
    RadioEvents.TxTimeout = OnTxTimeout;
    RadioEvents.RxTimeout = OnRxTimeout;
    RadioEvents.RxError = OnRxError;
    Radio.Init( &RadioEvents );
    Radio.SetChannel( RF_FREQUENCY );
```

L'API radio de STM fonctionne de manière totalement asynchrone. La structure *RadioEvents* fournit un groupe de fonctions qui sont appelées par la pile lorsqu'il se produit un événement particulier.

De quoi avez-vous besoin ?

Le kit d'évaluation de STMicroelectronics référencé P-NUCLEO-LRWAN1 se compose d'une antenne, d'un module LoRa et d'une carte à microcontrôleur STM32 [6]. Pour la réalisation des opérations décrites dans cet article, il en faut deux exemplaires. Au moment de la mise sous presse, Mouser proposait le kit à 65 € environ.

Avant de nous intéresser à la boucle sans fin de la logique du programme proprement dite, jetons un rapide coup d'œil sur l'une de ces fonctions. *OnRxDone* est appelée à chaque fois que des données ont été reçues avec succès par le module radio.

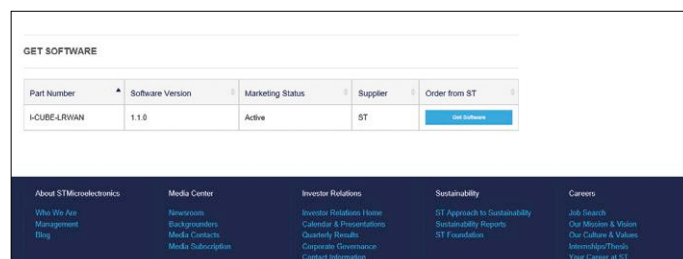


Figure 1. Le lien pour le téléchargement se trouve en bas de la page web.

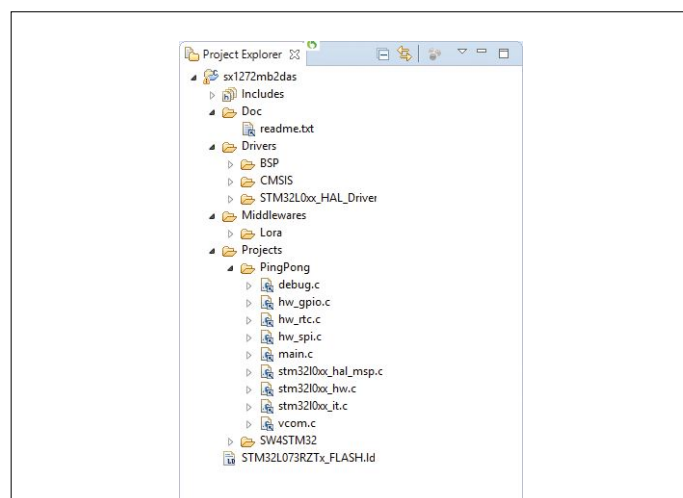


Figure 2. La pile LoRa est prête à l'emploi.

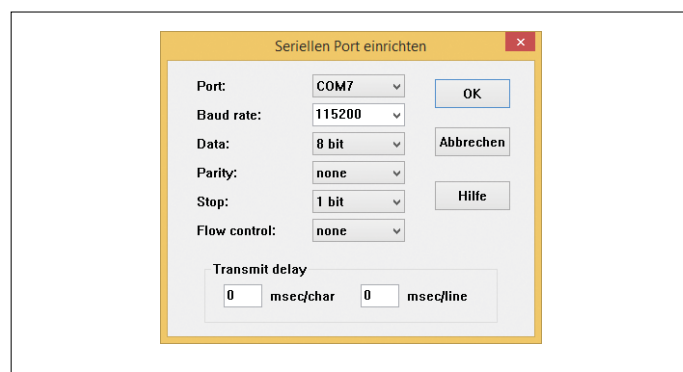


Figure 3. La vitesse de 115200 b/s est relativement modeste.


```

void OnRxDone( uint8_t *payload, uint16_t size,
               int16_t rssi, int8_t snr )
{
    Radio.Sleep( );
    BufferSize = size;

    memcpy( Buffer, payload, BufferSize );
    RssiValue = rssi;
    SnrValue = snr;
    State = RX;

    . . .

    PRINTF(„OnRxDone\n“);
    PRINTF(„RssiValue=%d dBm, SnrValue=%d\n“, rssi,
           snr);
}

```

Les autres méthodes se comportent grosso modo de la même manière. La seule différence est qu’elles n’acceptent pas de charge utile et s’en retrouvent plus compactes.

Il est temps de retourner au programme principal. La boucle sans fin est conçue comme un automate à nombre fini d’états. Pour les profanes : il s’agit d’un programme qui passe continuellement d’un état à un autre. La réalisation de telles structures – très utilisées dans le domaine de l’embarqué – passe généralement par un `enum` qui liste les états possibles. Dans le cas de notre programme, cela prend la forme suivante :

```

typedef enum
{
    LOWPOWER,
    RX,
    RX_TIMEOUT,
    RX_ERROR,
    TX,
    TX_TIMEOUT,
}States_t;

```

Commençons avec l’état `timeout` après l’envoi d’informations : dans ce cas le module radio a pour instruction d’accepter des données. Une valeur est passée à la méthode `Rx`, elle indique le délai après lequel un autre `timeout` doit être déclenché :

```

case TX_TIMEOUT:

    Radio.Rx( RX_TIMEOUT_VALUE );
    State = LOWPOWER;
    break;

```

Le programme Ping-Pong travaille avec une combinaison auto-configurée de maîtres et d’esclaves. En cas de problème de réception de données, le maître ordonne au module radio d’envoyer un autre paquet PING. Un esclave retourne tout simplement à l’état `RX` (réception) :

```

case RX_ERROR:

    if( isMaster == true ) {

```

```

        Buffer[0] = ,P‘;
        Buffer[1] = ,I‘;
        Buffer[2] = ,N‘;
        Buffer[3] = ,G‘;

        for( i = 4; i < BufferSize; i++ ) {
            Buffer[i] = i - 4;
        }

        Radio.Send( Buffer, BufferSize );
    }

    else {
        Radio.Rx( RX_TIMEOUT_VALUE );
    }

    State = LOWPOWER;
    break;

```

Nous pouvons maintenant nous occuper du problème le plus important : l’état `RX`. Commençons par considérer cet état en tant que maître – pour des raisons de place, le code ci-dessous a été fortement abrégé :

```

case RX:
    if( isMaster == true ){
        if( BufferSize > 0 ){
            if( strncmp( ( const char* )Buffer,
                         ( const char* )PongMsg, 4 ) == 0 )
            {

                . . .

                Buffer[0] = ,P‘;
                Buffer[1] = ,I‘;
                Buffer[2] = ,N‘;
                Buffer[3] = ,G‘;

                for( i = 4; i < BufferSize; i++ ){
                    Buffer[i] = i - 4;
                }

                PRINTF(„...PING\n“);
                DelayMs( 1 );
                Radio.Send( Buffer, BufferSize );
            }

```

Le premier cas concerne un maître qui reçoit un message PONG d’un esclave. Sa réaction est d’envoyer un autre message PING pour maintenir la communication ouverte.

Le cas de la réception d’un paquet PING est plus délicat : cette situation indique qu’il existe déjà un autre maître. Dans le cas de notre réalisation expérimentale, la réaction se limite à passer immédiatement à l’état d’esclave :

```

    else if( strncmp( ( const char* )Buffer,
                     ( const char* )PingMsg, 4 ) == 0 ){
        isMaster = false;
        Radio.Rx( RX_TIMEOUT_VALUE );
    }

```



```

}

else {
    isMaster = true;
    Radio.Rx( RX_TIMEOUT_VALUE );
}
}
}

```

Cela nous permet de nous occuper du rôle de l'esclave. La réception d'un message PING entraîne logiquement l'émission d'un PONG :

```

else{
    if( BufferSize > 0 ){
        if( strncmp( ( const char* )Buffer,
            ( const char* )PingMsg, 4 ) == 0 ){

            Buffer[0] = ,P';
            Buffer[1] = ,O';
            Buffer[2] = ,N';
            Buffer[3] = ,G';
            for( i = 4; i < BufferSize; i++ ){
                Buffer[i] = i - 4;
            }

            DelayMs( 1 );
            Radio.Send( Buffer, BufferSize );
            PRINTF(„...PONG\n“);

        }
    }
}

```

La question intéressante est de savoir ce qui se passe à la réception d'un autre type de message. Comme la réalisation est limitée à un maître et un esclave, STM interprète cela comme l'ordre de passer en mode maître :

```

else {
    isMaster = true;
    Radio.Rx( RX_TIMEOUT_VALUE );
}
}
}

State = LOWPOWER;
break;

```

Allons un peu plus loin

Intéressons-nous à la question de la durée d'un échange de paquets de données à travers une liaison optimale. Pour cela, un oscilloscope à mémoire numérique est l'outil idéal. Pour la mesure, nous modifions le programme pour qu'il change l'état de l'une des sorties de la carte contrôleur au moment de l'émission par le maître. Lorsque l'esclave reçoit un paquet de données, c'est une autre sortie qui change d'état.

La carte contrôleur incluse dans le kit porte la désignation NUCLEO-L073RZ, pour laquelle le document UM1724 [4] du constructeur fournit l'identification des broches du port GPIO. La **figure 4** en reproduit une partie. Nous utilisons à nouveau le même programme sur les deux

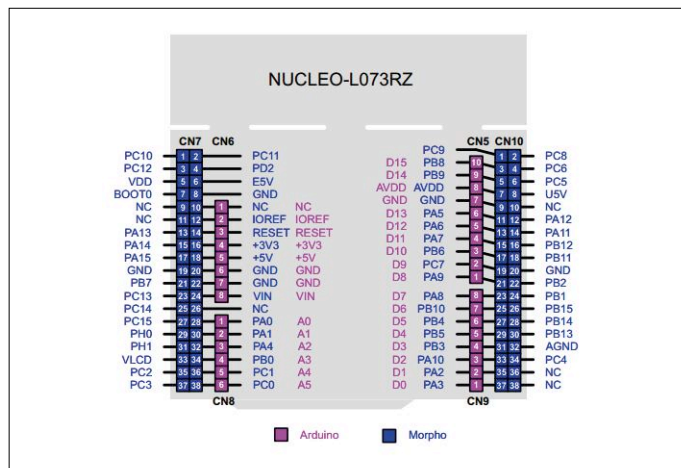


Figure 4. Quelques-unes des broches sont partagées entre les connecteurs Morpho et Arduino (dessin : STMicroelectronics).

cartes. Au démarrage, nous initialisons les deux broches :

```

GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;

int main( void ) {

    . . .

    HAL_Init( );

    __GPIOC_CLK_ENABLE();
    GPIO_InitStructure.Pin    = GPIO_PIN_5 | GPIO_PIN_8;
    GPIO_InitStructure.Mode   = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStructure.Pull   = GPIO_NOPULL ;
    GPIO_InitStructure.Speed   = GPIO_SPEED_HIGH;

    HAL_GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);
}

```

Il n'y a guère d'intéressant ici que la petite astuce suivante : dans les versions récentes de CUBE, les instances de [GPIO_InitStructure](#) peuvent gérer l'initialisation simultanée de plusieurs broches.

L'action suivante est la commutation des sorties (voir l'**encadré** « Pourquoi commuter les sorties ? »). Pour commencer, nous commutons la broche 5 du maître à chaque envoi de données :

case RX:

```

if( isMaster == true ){
    if( BufferSize > 0 ) {
        if( strncmp( ( const char* )Buffer,
            ( const char* )PongMsg, 4 ) == 0 ) {

            . . .

            HAL_GPIO_TogglePin(GPIOC, GPIO_PIN_5);
            Radio.Send( Buffer, BufferSize );
        }
    }
}

```

L'étape suivante est la commutation de la broche 8 quand l'esclave reçoit des données :

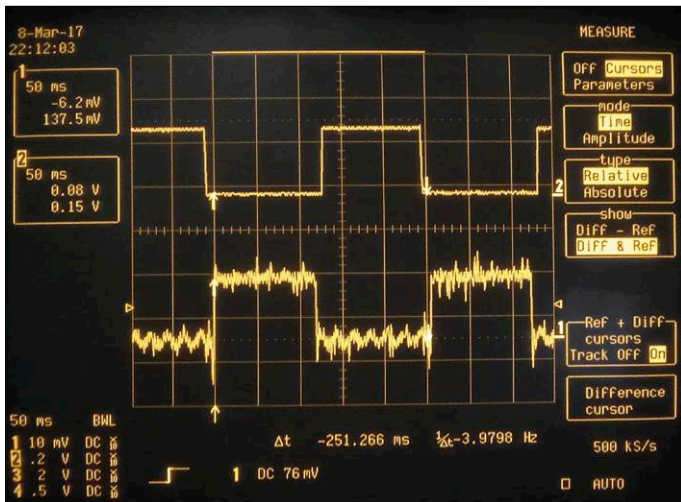


Figure 5. Dans des conditions optimales, un cycle d'émission-réception dure 250 ms environ.

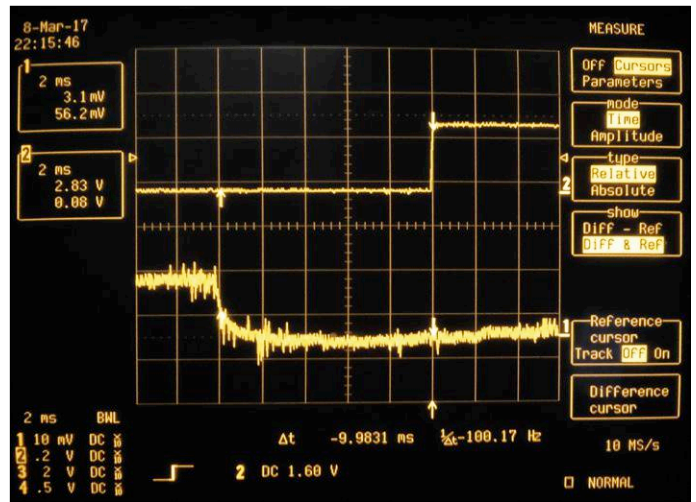


Figure 6. Entre les deux commutations – dans des conditions optimales – il s'écoule 10 ms environ.

```
else if( strcmp( ( const char* )Buffer,
( const char* )PingMsg, 4 ) == 0 ) {

    isMaster = false;
    Radio.Rx( RX_TIMEOUT_VALUE );
    HAL_GPIO_TogglePin(GPIOC, GPIO_PIN_8);
}
```

Après avoir démarré le programme modifié (téléchargeable sous [5]) sur les deux cartes, nous sommes prêts pour la moisson de données. La broche 8 de la carte qui joue le rôle d'esclave est connectée au canal 1 de l'oscilloscope, tandis que la broche 5 de l'autre carte est raccordée au canal 2. Attention ! Sur pratiquement tous les oscilloscopes, tous les canaux utilisent la même masse et, par conséquent, les alimentations des deux cartes doivent être au même potentiel. Les **figures 5** et **6** montrent les résultats de mesure de durée obtenus.

La question de la portée

Même si c'est tentant, nous nous abstenons de nous occuper de la portée des transmissions. Les transmetteurs mis à disposition par STM ne permettent pas de tirer des conclusions valides sur le comportement d'ensemble de LoRa – les chiffres records publiés dans la presse ne sont valables que dans le cas d'utilisation d'antennes nettement plus onéreuses. Ce qu'on peut dire, c'est que LoRa, même avec les antennes peu puissantes fournies par STM, se montre très largement supérieur au routeur Wi-Fi (déjà très efficace) de l'auteur. Dans sa maison construite en béton généreusement ferrailée, il n'y a pas d'endroit où la réception soit perturbée.

Conclusion

Le matériel de STM, au prix d'environ 130 € pour deux cartes, reste encore accessible. Si vous voulez faire vos premiers pas dans le monde de LoRa, vous ne regretterez certainement pas l'achat de ces cartes de développement. Du fait de ce prix modeste, vous n'aurez pas trop de mal à ignorer les faiblesses de l'environnement de développement gratuit.

Pourquoi commuter les sorties ?

Pour mesurer un temps de fonctionnement, un électronicien penserait tout d'abord à l'émission d'impulsions. Cela n'est pas approprié ici dans la mesure où la reconnaissance d'impulsions courtes pour des temps de fonctionnement longs exige l'emploi d'une fonction de détection de pic. L'auteur propose sous [7] une vidéo en anglais qui traite le sujet plus en détail.

De plus, le programme de démonstration présenté ici, ainsi que les cartes STM32, offrent diverses possibilités d'extension. Bien évidemment, on pourrait par ex. lire des capteurs et transmettre les valeurs de mesure – l'auteur attend avec plaisir les courriels de lecteurs (tamhan@tamoggemon.com) pleins d'idées. ◀

(160271 – version française : Helmut Müller)

Liens

- [1] www.st.com/content/st_com/en/products/embedded-software/mcus-embedded-software/stm32-embedded-software/stm32cube-expansion-software/i-cube-lrwan.html
- [2] <http://nuttx.org/doku.php?id=wiki:howtos:jtag-debugging>
- [3] <https://tssh2.osdn.jp/index.html.en>
- [4] www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/98/2e/fa/4b/e0/82/43/b7/DM00105823.pdf/files/DM00105823.pdf/jcr:content/translations/en.DM00105823.pdf
- [5] www.elektormagazine.fr/160271
- [6] www.st.com/en/evaluation-tools/p-nucleo-lrwan1.html
- [7] www.youtube.com/watch?v=EirGe5LzSkc

petit mais complet : Raspberry Pi Zero W

premiers pas avec la mini-framboise

La version mini du nano-ordinateur Raspberry Pi avec le suffixe Zero était disponible dès fin 2015. En février est apparue une variante Zero W (« Wireless », sans fil) avec le Wi-Fi et le Bluetooth. Dans cet article, nous examinerons les procédures de démarrage de cette nouvelle carte, ses performances et les avantages que procure la technologie sans fil appliquée à ce minuscule ordinateur monocarte. À titre d'exemple pratique, nous connecterons un capteur de température dont nous enverrons les données sur le réseau sans fil avec le protocole MQTT.

Markus Ulsass (Allemagne)

Au prix de dix dollars hors taxes, le nouveau Raspberry Pi Zero W s'avère près de deux fois plus cher que son prédécesseur, mais il est maintenant doté de fonctions radio Wi-Fi et Bluetooth, indispensables pour beaucoup de projets. Cela permet de réaliser à peu de frais des projets de robots, de domotique intelligente et d'Internet des Objets qui tirent profit de la petite taille et de la consommation électrique réduite du Zero W. La puce monocœur SoC BCM2835 de Broadcom est cadencée à 1 GHz (512 Mo de RAM). Le Zero W n'est donc pas aussi rapide que son grand frère, le Raspberry Pi 3, mais cela reste bien suffisant pour la plupart des projets.

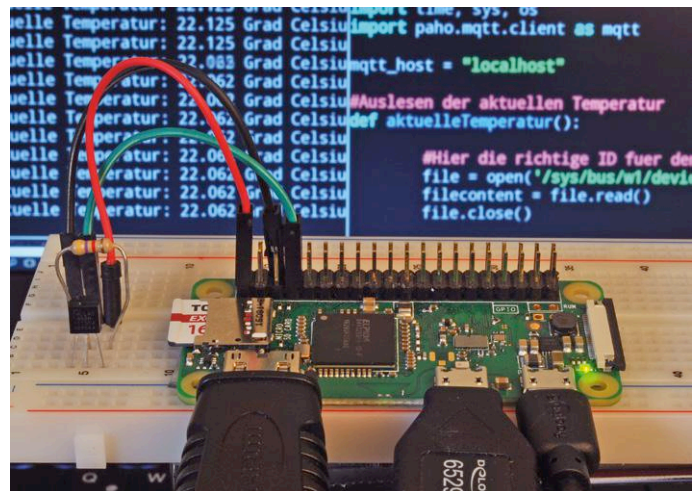
En France, kubii [1] est le distributeur officiel du Zero W. Malgré les frais de port, la boutique britannique Piromoni [2] offre une alternative guère plus chère et des livraisons raisonnablement rapides.

Le Zero W est équipé de ports mini-HDMI et micro-USB-On-The-Go. La carte est livrée dépourvue de connecteur à 40 broches, il faut donc l'ajouter au besoin à la commande ou choisir l'un des kits proposés par les boutiques.

Installation du système d'exploitation et premiers pas

En possession d'un Zero W et de tous les ingrédients nécessaires, y compris une alimentation (voir l'encadré « Liste du matériel »), on doit commencer par installer le système d'exploitation sur une carte micro-SD d'une taille d'au moins 8 Go.

Pour cela, on télécharge depuis [3] l'image courante du système « Raspbian Jessie with Pixel ». Pour copier cette image sur une carte SD, on se sert d'un utilitaire comme Etcher, qu'on peut télécharger depuis [4] (**fig. 1**). L'intérêt de ce programme



est qu'il est disponible pour tous les environnements PC et qu'il ne nécessite pas une décompression préalable de l'image téléchargée : une fois qu'on l'a installé et démarré, on lui indique l'image appropriée qui est copiée sur la carte SD choisie.

Ensuite on enfiche la carte SD sur le Zero W, on connecte un écran sur la sortie HDMI (au besoin à travers un adaptateur), un clavier et une souris (par l'USB) et, en dernier, l'alimentation. Attention : des deux prises micro-USB, il faut utiliser pour l'alimentation celle de droite, l'ordinateur posé à plat devant soi, la carte SD se trouvant à gauche (**fig. 2**).

Le Raspberry Pi Zero W doit alors démarrer dans l'interface graphique Pixel du système d'exploitation. On en a alors terminé avec l'installation d'un système Linux opérationnel sur le micro-ordinateur.

Réglage fin

NdT : les procédures qui suivent s'appliquent à la distribution de Raspbian du 21/06/2017. Elles peuvent changer dans les



Figure 1. Etcher est un utilitaire de copie d'une image Raspbian sur une carte SD.

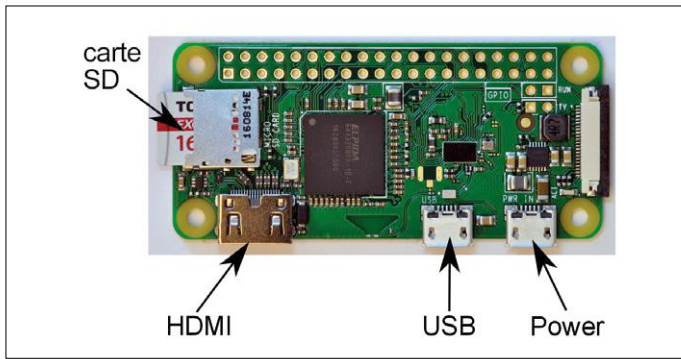


Figure 2. Connexions au Zero W.

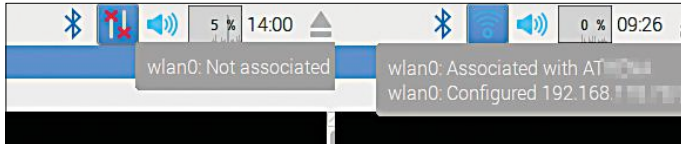


Figure 3. Avant (à gauche) / après (à droite). Après la configuration, le Zero W devrait établir une connexion Wi-Fi au réseau local. On obtient fréquemment des informations complémentaires en survolant les icônes avec la souris.

détails d'une distribution à l'autre.

Si l'on ouvre maintenant une fenêtre de terminal (touche *Window* gauche pour afficher le menu déroulant principal, puis *Accessories* > *Terminal*, ou bien par clic sur l'icône *Terminal* dans le bandeau de menu en haut de l'écran), on constate que l'environnement et le clavier initiaux sont en anglais étasunien. Pour modifier la langue, on saisit la commande `sudo raspi-config` (qu'on obtient en tapant `sudo rqspi config` sur le clavier français). Le menu principal de l'outil *Raspberry Pi Software Configuration Tool* apparaît, dans lequel on choisit l'option *4 Localisation Options*. Dans le sous-menu, on sélectionne *I1 Change Locale* ; il apparaît une liste d'options qu'on fait défiler (touche flèche vers le bas) jusqu'à afficher *fr-FR.UTF-8 UTF-8* qu'on sélectionne avec la touche espace, puis *<OK>* (atteint avec la touche de tabulation). Dans la fenêtre

suivante, on valide *FR.UTF-8* comme *Default locale for the system environment* et on confirme par *<OK>*. On redémarre par la commande `sudo reboot`.

La langue de l'environnement est maintenant le français, toutefois le clavier n'a pas changé. On retourne donc dans *raspi-config* > *4 Localisation Options* où l'on choisit *I3 Change Keyboard Layout*. Dans la fenêtre suivante, on choisit *PC générique 105 touches (intl)*, suivi de *Autre*, puis successivement de *Français*, *Français variante (sans touche morte)*, *disposition par défaut pour le clavier*, *touche Alt de droite*. On finit par retourner au menu principal qu'on quitte par *<Finish>*. On peut alors constater que la touche *A* ne produit plus un *q*, mais bien un *a*.

Comme le Zero W utilise par défaut toujours le même mot de passe *raspberrypi* pour l'utilisateur *pi*, il faut absolument changer ce mot de passe. Pour ce faire, on utilise l'option *1 Change User Password* de *raspi-config*. On entre un nouveau mot de passe que l'on prend soin de noter.

Pour que le Zero W puisse être identifié sans ambiguïté sur le réseau, il faut également changer son nom d'ordinateur (par défaut : *raspberrypi*). Pour cela, on modifie avec l'éditeur *nano* une ligne dans deux fichiers texte. Avec la commande `sudo nano /etc/hostname`, on ouvre le premier fichier dans lequel on remplace *raspberrypi* par *zerow*. On enregistre avec *ctrl-O* puis *Entrée* et on quitte avec *ctrl-X*. Avec `sudo nano /etc/hosts`, on ouvre le second fichier où l'on localise la ligne *127.0.0.1 raspberrypi* dans laquelle on effectue la même substitution. On enregistre et on quitte par les mêmes commandes *ctrl-O*, *Entrée* et *ctrl-X*.

NdT : l'option *2 Hostname* de *raspi-config* effectue ces opérations. Il faut redémarrer pour que cette modification prenne effet.

Communication avec l'extérieur

Pour que notre Zero W puisse se connecter au réseau local par Wi-Fi, il faut encore saisir les données du point d'accès (SSID, mot de passe). On clique sur le symbole des deux barres verticales et des deux croix rouges à droite dans le bandeau de menu en haut de l'écran (**fig. 3**). On choisit le

Listage 1. Le script Python pour faire clignoter une LED.

```
#!/usr/bin/python
#LED_Blink.py
import RPi.GPIO as GPIO #Inclure la bibliothèque GPIO
import time #Bibliothèque nécessaire au Sleep

LED = 14
GPIO.setmode(GPIO.BCM) #Utiliser l'identification de broche GPIO
GPIO.setwarnings(False) #Ignorer les avertissements
GPIO.setup(LED, GPIO.OUT) #Configurer en sortie la broche de la LED
PAUSEON = 1.0 #Temps d'allumage
PAUSEOFF = 1.0 #Temps d'extinction

while True:
    GPIO.output(LED, GPIO.HIGH) #Allumer la LED
    time.sleep(PAUSEON) #Temps d'allumage
    GPIO.output(LED, GPIO.LOW) #Eteindre la LED
    time.sleep(PAUSEOFF) #Temps d'extinction
```



LISTE DU MATÉRIEL

- Raspberry Pi Zero W
- Carte micro-SD (min. 8 Go)
- Adaptateur HDMI->mini-HDMI
- Adaptateur micro-USB-OTG (par ex. Delock 65296)
- Bloc d'alimentation micro-USB (min. 1 A)
- Barrette à 2×20 broches (au pas de 2,54 mm)
- Platine d'essai à trous
- Fils de connexion
- LED (rouge)
- Résistance de 470 Ω
- Résistance de 4,7 kΩ
- Capteur de température DS18B20

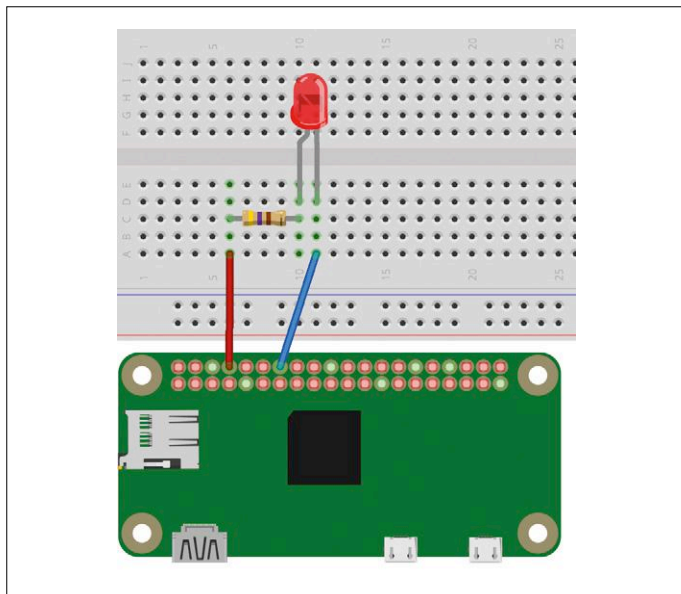


Figure 4. L'image Fritzing de la connexion de la LED au Zero W.

point d'accès désiré, on entre le mot de passe et le Zero W devrait se connecter au réseau.

Avec une nouvelle image du système, il est bon de mettre à jour la liste des paquets et le système. Dans un terminal, la commande `sudo apt update && sudo apt upgrade` effectue cette opération. On confirme par Y et on attend quelques minutes que tous les téléchargements se terminent.

« Hello world » par LED

Après en avoir terminé avec les préparatifs de base, occupons-nous de connecter un premier circuit simple. Pour cela, il faut tout d'abord souder un connecteur à 40 broches sur le Zero W pour pouvoir lui raccorder par fils une LED sur platine d'essai. Avant de connecter la résistance et la LED, on commence par arrêter le Zero W et le mettre hors tension, afin d'éviter les courts-circuits ou tout autre effet négatif lors de la connexion directe de matériel aux broches GPIO. Pour cela on saisit la commande `sudo shutdown -h now` (ou `sudo halt`) dans la fenêtre de terminal ou on clique sur *Shutdown* dans le menu déroulant, puis sur l'option *Shutdown*.

Pour notre « Hello world » par LED, nous connectons une LED rouge en série avec une résistance de 470 Ω à la broche GPIO14. Le brochage du Zero W est disponible sous [5]. On raccorde la broche GPIO14 à la résistance, celle-ci à l'anode de la LED, dont la cathode est raccordée à l'une des broches 0 V du Zero W. La **figure 4** montre une image Fritzing ; la **figure 5**, une vue réelle du circuit.

C'est un petit script Python (`LED_Blink.py`) qui va nous servir à faire clignoter la LED. Il est présenté sur le **listage 1**, mais peut aussi être téléchargé sous [6] depuis le site web d'Elektor. Nous pouvons créer le code avec l'éditeur *nano* ou bien avec *geany*, éditeur un peu plus confortable (*Menu -> Programmation -> Geany*), présent par défaut dans le système Raspbian. Remarquons qu'il faut éviter d'utiliser les lettres spéciales (avec accent, tréma, cédille...), en particulier dans les commentaires et que les indentations, éléments de

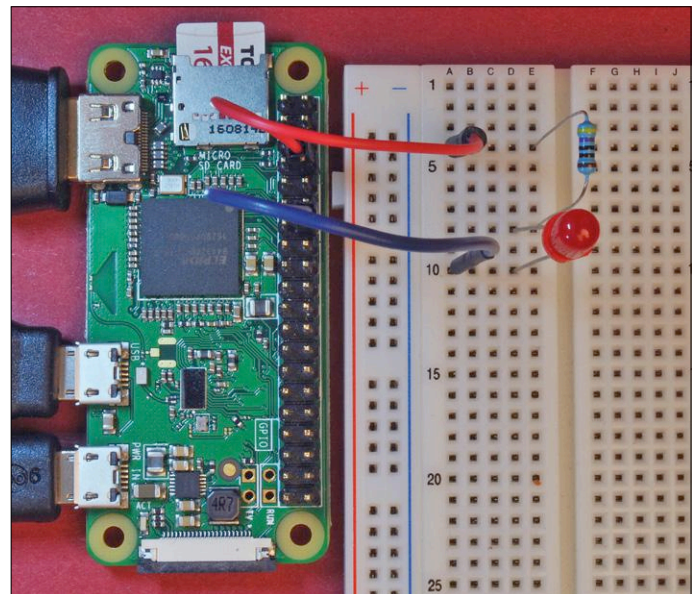


Figure 5. La connexion du Zero W avec la LED et la résistance sur la platine d'essai.

la syntaxe de Python, doivent être faites avec des espaces (et non avec des tabulations), sous peine de provoquer des erreurs (*Indentation Error*). Une fois le programme enregistré, il est démarré avec la commande `python LED_Blink.py` saisie dans la fenêtre de terminal. La LED devrait alors clignoter au rythme d'une fois par seconde.

On arrête le programme par `ctrl-C`.

Mesure de température avec le DS18B20

Le DS18B20 de Maxim Integrated est un capteur de température répandu et facile à connecter. Pour commencer, on éteint le système pour réaliser le circuit sur la platine d'essai et le connecter au Zero W en toute sécurité.

La broche de gauche du DS18B20 (vu avec son immatriculation de face) est connectée au 3,3 V du Zero W, celle de droite à une broche 0 V. Celle du milieu est connectée à la broche GPIO4. Finalement, il faut encore installer une résistance de

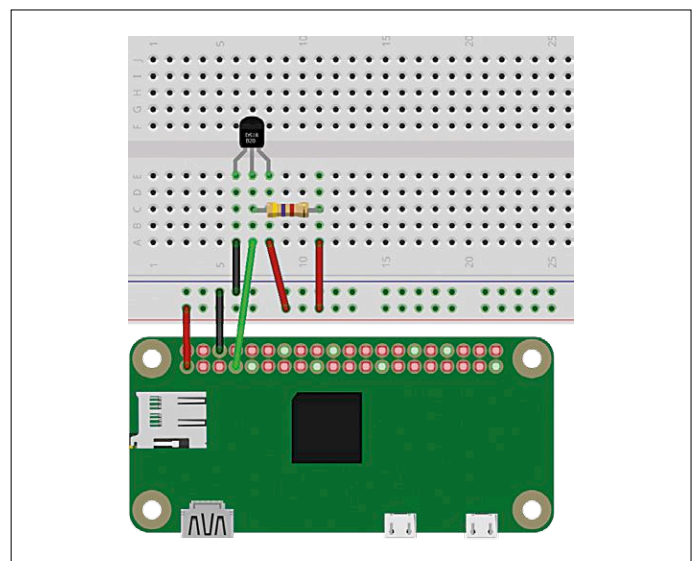


Figure 6. Le circuit avec le capteur de température DS18B20.


```
pi@zerow:~$ cd /sys/bus/w1/devices
pi@zerow:/sys/bus/w1/devices$ ls
28-00000362eca7 w1_bus_master1
pi@zerow:/sys/bus/w1/devices$ cd 28-00000362eca7
pi@zerow:/sys/bus/w1/devices/28-00000362eca7$ cat w1_slave
60 01 4b 46 7f ff 10 10 b5 : crc=b5 YES
60 01 4b 46 7f ff 10 10 b5 t=22000
pi@zerow:/sys/bus/w1/devices/28-00000362eca7$
```

Figure 7. Le test du capteur connecté.

rappel de 4,7 kΩ entre la broche de données et la tension d'alimentation (voir l'image Fritzing, **figure 6**).

Après le raccordement et un contrôle du câblage, si tout est correct, on redémarre le Zero W. Mais avant de pouvoir utiliser le capteur de température One-Wire, le système doit le reconnaître. Pour cela, à l'option *P7 1-wire* de *sudo raspi-config*,

Listage 2. Script Python pour l'envoi de la température par MQTT.

```
#!/usr/bin/python
#DS18B20_MQTT.py
#Importation des modules requis
import time, sys, os
import paho.mqtt.client as mqtt

mqtt_host = "localhost"

#Lecture de la température courante
def currentTemperature():

    #Substituer ici l'identification réelle du capteur de
    température
    file = open('/sys/bus/w1/devices/28-00000362eca7/w1_slave')
    filecontent = file.read()
    file.close()

    #Mise de la température au bon format
    temperaturestring = filecontent.split("\n")[1].split(" ")[9]
    temperaturevalue = float(temperaturestring[2:]) / 1000
    return(temperaturevalue)

def on_connect(client, userdata, flags, rc):

    print("Connected with MQTT-Broker (IP): " + mqtt_host)

    client = mqtt.Client()
    client.on_connect = on_connect

    client.connect(mqtt_host, 1883, 60)

    client.loop_start()

while True:
    time.sleep(2)

    temperature = currentTemperature()
    print("Current temperature: " + str(temperature) + " degrees
    Celsius")
    client.publish("/sensor1", temperature)
```

il faut avoir répondu *Y* à la question *Would you like the one-wire interface to be enabled?* puis avoir redémarré le système. Maintenant il faut vérifier que le capteur est correctement reconnu par le système. Pour cela, dans une fenêtre de terminal, on se positionne dans le répertoire *cd /sys/bus/w1/devices* dont on liste le contenu avec la commande *ls*. Il doit alors s'afficher une identification alphanumérique du capteur.

Avec la commande *cd <Sensor-Id>*, soit, dans notre cas, *cd 28-00000362eca7*, on se positionne dans le sous-répertoire correspondant où, avec la commande *cat w1_slave*, on liste les données courantes du capteur, qui sont affichées sur deux lignes (**fig. 7**). *t=22000* représente dans ce cas une température de 22°C.

Le capteur est alors configuré correctement et prêt à l'emploi.

Connexion du capteur de température au reste du monde par MQTT

On peut vouloir communiquer les valeurs de température

lues par notre Zero W à d'autres utilisateurs. Pour cela, nous allons utiliser MQTT, un protocole léger d'échange d'informations entre machines. MQTT utilise un mécanisme appelé *Publish-Subscribe* où des capteurs peuvent par ex. publier des données sous des sujets particuliers (*Publish*), auxquels des clients peuvent s'abonner (*Subscribe*) pour recevoir ces données. Les noms des sujets rappellent, par la présence de barres de séparation obliques, la syntaxe des arborescences de répertoires (on aurait par ex. *appartement/cuisine/température*) ; on peut même avoir des caractères génériques. Au lieu de fichiers, on identifie ainsi des capteurs, ou même des actionneurs.

Notre capteur de température pourrait publier ses valeurs de mesure sous le sujet « */maison/extérieur/température/capteur1* », auquel un client (par ex. un système domotique comme openHAB, fhem ou Node-Red) se serait abonné.

MQTT nécessite l'intervention d'un intermédiaire (appelé *broker* dans le jargon MQTT) qui gère la circulation des données entre l'émetteur et le récepteur. On choisit un courtier (*broker*) populaire dénommé Mosquitto, que l'on installe sur le Zero W avec la commande *sudo apt install mosquitto mosquitto-clients*.

Pour vérifier que tout est correctement installé, on peut tester l'envoi ainsi que la réception des données sur le même système. Pour cela, il faut commencer par démarrer le courtier avec *sudo systemctl start mosquitto*. Pour qu'il soit automatiquement réactivé à chaque redémarrage du système, on saisit aussi la commande *sudo systemctl enable mosquitto*.

On simule dans une fenêtre de terminal

avec `mosquitto_sub -h localhost -t /sensor1` un abonné qui doit ultérieurement recevoir des données – nous simplifions ici le libellé du sujet pour un gain de temps et une meilleure lisibilité. Pour l’instant, il ne se passe rien, le système est en attente de données. Ouvrons maintenant une autre fenêtre de terminal et saisissons `mosquitto_pub -h localhost -t /sensor1 -m «22»` (fig. 8). Nous simulons ainsi l’envoi (`mosquitto_pub`) d’une donnée de température, ou (pour rester dans le langage de MQTT) sa publication (`publish`). On devrait donc voir s’afficher 22 dans la première fenêtre.

Notre système de publication des valeurs de température fournies par le capteur est maintenant complet. Nous allons l’automatiser dans une dernière phase.

Envoi de la température par MQTT

Pour l’envoi automatique de données par MQTT, nous utilisons un script Python. Pour cela, il nous faut une bibliothèque installée avec la commande `sudo pip install paho-mqtt`.

Notre script (listage 2) commence par importer les modules nécessaires et définit l’adresse IP de l’ordinateur utilisée par Mosquitto (« localhost » pour le courtier local, l’adresse IP pour un courtier distant).

Ensuite, la température courante est lue par l’appel de la fonction `currentTemperature()` à laquelle on doit bien entendu passer, au lieu de celle du code exemple, l’identité réelle du capteur utilisé. Les données lues sont converties dans un format approprié et retournées par la fonction.

Une connexion avec le courtier MQTT local ou distant (`mqtt_host`) est alors créée et, dans une boucle while, la valeur de la température est lue toutes les deux secondes, affichée sur la ligne de commande et envoyée au courtier MQTT sous le sujet « /sensor1 ».

Après avoir saisi le programme dans un éditeur ou l’avoir téléchargé, on ouvre une fenêtre de terminal dans laquelle on le démarre avec `python DS18B20_MQTT.py`. Sur la ligne de

commande devrait apparaître la notification de la connexion au courtier MQTT local du Zero W, suivie des valeurs de température courantes (fig. 9).

Maintenant, nous ouvrons une autre fenêtre de terminal et nous nous abonnons en tant que client MQTT au sujet « /sensor1 » sur l’ordinateur local avec la commande `mosquitto_sub -h localhost -t /sensor1`.

Tout cela et bien plus encore

Avec le Zero W, la fondation Raspberry Pi a réussi, juste à temps pour le cinquième anniversaire du premier Raspberry Pi, à produire une carte fantastique. Qui aurait pu imaginer, il y a cinq ans, qu’un micro-ordinateur Linux d’une taille aussi minuscule puisse voir le jour ?

Le port USB qui, chez le prédécesseur, était encore occupé par un clavier ou un module Wi-Fi, est devenu disponible pour d’autres fonctions. Même la consommation électrique est devenue très faible, presque du niveau des objets connectés autoalimentés. On trouvera une comparaison des consommations des différents modèles de RPi sous [7].

Avec toutes ces caractéristiques exceptionnelles, il n’est pas étonnant que cette carte ne soit disponible qu’en petites quantités. C’était déjà le cas du premier RPi, et on ne peut qu’espérer que la disponibilité du Zero W s’améliore rapidement. ◀

(160451 – version française : Helmut Müller)

Liens

- [1] www.kubii.fr/
- [2] <https://shop.pimoroni.com/>
- [3] www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/
- [4] <https://etcher.io/>
- [5] <https://pinout.xyz/>
- [6] www.elektormagazine.fr/160451
- [7] https://blog.adafruit.com/2017/03/03/how-much-power-does-pi-zero-w-use-piday-raspberrypi-raspberry_pi/

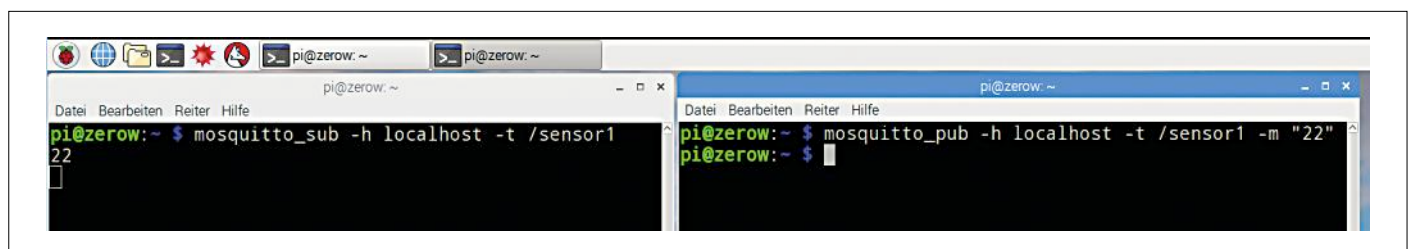


Figure 8. Le test de la fonction MQTT.

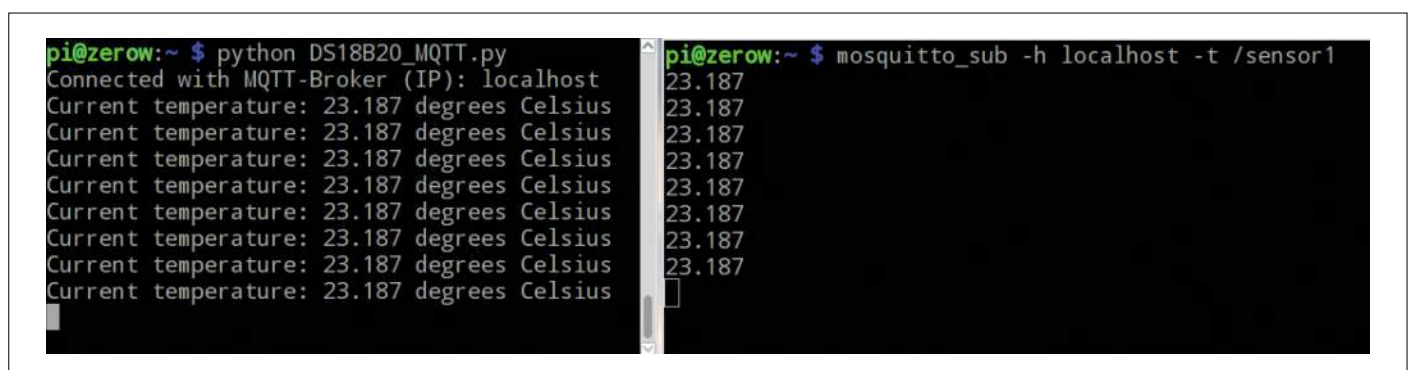
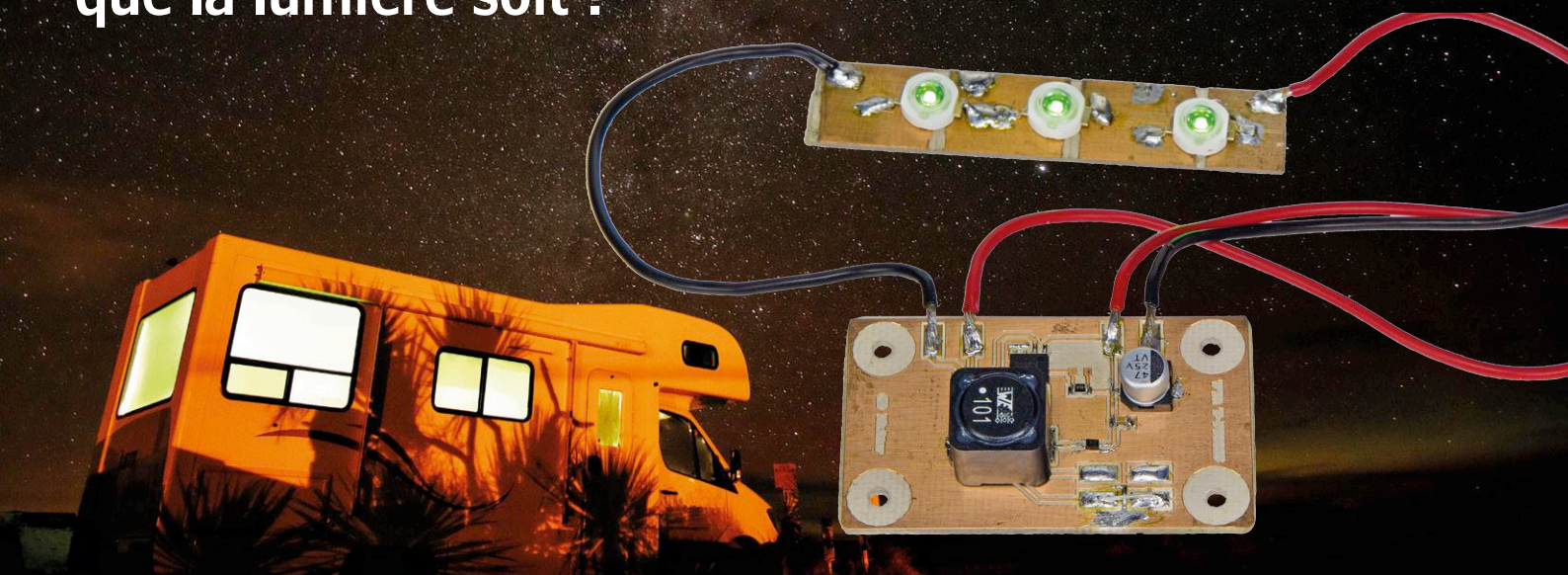


Figure 9. Test de l’envoi des données du capteur de température : à gauche l’affichage local, à droite la réception des données transmises par MQTT.

pilote de LED 12 V

que la lumière soit !



Pour s'éclairer la nuit, sur un bateau ou dans un camping-car, on peut utiliser des lampes à incandescence de 12 V alimentées par la batterie de bord. L'inconvénient est que cette batterie risque de se décharger assez vite, car ce type de lampe présente un faible rendement. On peut se tourner vers des lampes à LED, mais les armatures spéciales pour 12 V sont chères. Nous avons donc préféré concevoir un pilote compact, mais polyvalent, pour commander des lampes à LED ordinaires prévues pour le 230 V.

Louter van der Kolk (Pays-Bas)

Chez Ikea, le fabricant suédois de meubles bien connu, on trouve pour quelque 10 € une lampe de bureau à LED (type Jansjö), qui ne demande qu'à être

utilisée dans une caravane, un camping-car ou un bateau. Cette lampe est hélas prévue pour le réseau 230 V, via un adaptateur spécial, et pas pour du 12 V. Une interface est donc nécessaire.

Mauvaise idée

Il n'y a pas si longtemps, on avait recours à un onduleur qui transformait les 12 V continus en 230 V alternatifs, ce qui permettait le raccordement direct de lampes à incandescence et de tubes fluorescents « ordinaires ». Dans notre cas, la tension alternative de 230 V serait ensuite convertie en tension continue par l'adaptateur de lampe à LED. Un onduleur pour augmenter la tension, puis un adaptateur pour la diminuer... C'est digne du manuel *L'électronique pour les nuls*, pas d'un magazine de qualité comme Elektor.

Bonne solution

La seule approche digne d'intérêt est de concevoir un pilote de LED, alimenté à partir des 12 V de la batterie, pour commander directement les LED de la lampe. Le modèle de chez Ikea se prête bien à cet exercice puisque les LED sont directement accessibles en aval de l'adaptateur ; il n'y a donc rien à casser ou à pirater.

Il faut connaître la consommation des LED de la lampe, pour cela un ampèremètre suffit. Nous avons mesuré une consommation d'environ 165 mA.

Il faut donc un pilote de LED – une source de courant – qui convertisse les 12 V continus de la batterie en un courant de 165 mA.

Caractéristiques

- Alimentation par la batterie de bord de 12 V
- Adapté aux lampes à LED économes
- Courant de sortie réglable jusqu'à 350 mA
- Fonction gradateur commandée par l'interrupteur marche/arrêt

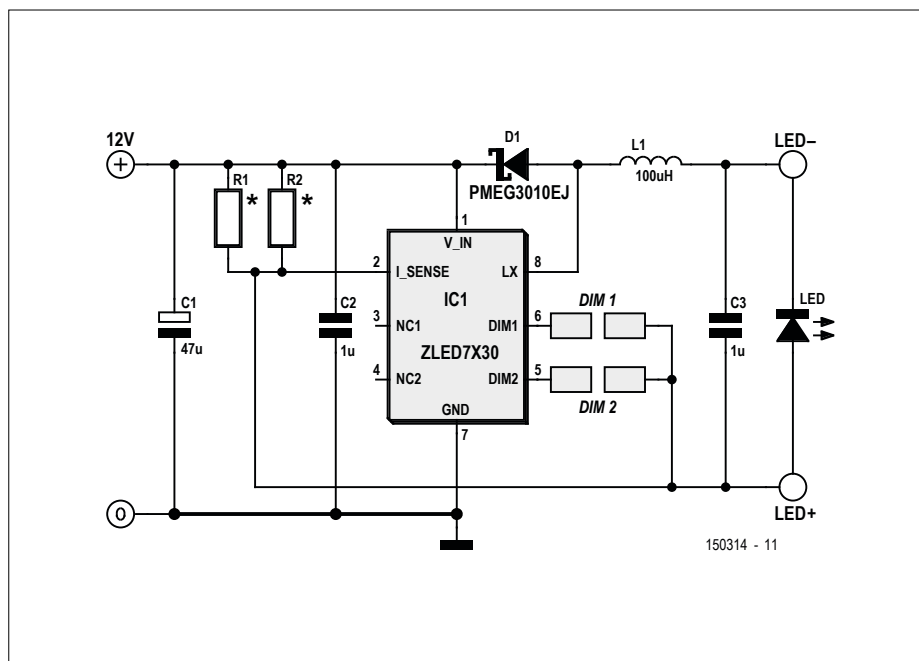


Figure 1. Un seul circuit intégré suffit, et une poignée de composants « insignifiants ».

Schéma du pilote

Il est possible de réaliser un pilote de LED avec des composants discrets (transistors, diodes et composants passifs) ; c'est très instructif et amusant, et on peut trouver de nombreuses idées à ce sujet sur l'internet. Cependant ce n'est pas une approche très « moderne », surtout si on veut un montage compact. C'est pourquoi nous avons choisi un circuit intégré spécialisé d'*Integrated Device Technology (IDT)*, un ZLED7x30. Ce petit circuit n'a besoin que de quelques composants externes, et il offre quelques fonctions intéressantes : gradation commandée avec l'interrupteur marche/arrêt de la charge reliée, et réglage précis du courant de sortie par une seule résistance. Un petit inconvénient : le circuit n'existe qu'en boîtier CMS, mais on peut encore facilement le souder à la main.

Plusieurs versions du circuit sont disponibles, elles ne diffèrent que par le courant de sortie maximal (voir **tableau 1**). Nous avons besoin de 165 mA pour notre lampe Ikea, nous avons donc sélectionné le ZLED7730. Si un de vos projets exige un courant de plus forte intensité, choisissez une autre version du circuit, sur la base des données du tableau.

Le schéma est repris en **figure 1**. Il s'agit d'un convertisseur-abaisseur de type Buck classique qui fonctionne en mode de conduction continue (*continuous-mode inductive step-down converter*) ; il est bâti autour d'IC1, D1, L1 et C3. La ten-

sion de sortie est toujours inférieure à la valeur absolue de la tension d'entrée ; L1 et C3 constituent un réservoir d'énergie, et veillent à ce que la charge – dans le cas présent des LED – soit alimentée par un courant continu constant.

Le rôle de C1 est essentiellement de lisser la tension d'entrée, si elle provient par ex. d'un redresseur ; comme nous alimentons notre circuit avec une batterie, sa valeur n'est pas critique. La fiche de caractéristiques du circuit intégré [1] vous explique en détail comment dimensionner ce composant.

Le condensateur C2 réduit l'effet de rebond de masse (*ground bounce* [2]), qui peut se produire lors de la commutation des MOSFET de sortie du circuit intégré (le potentiel de grille des transistors peut devenir inférieur à celui de la masse locale et causer une instabilité). La valeur de L1 doit se situer entre 30 et 220 µH. Pour notre courant de sortie, une valeur de 100 µH a été choisie ; elle devra sans doute être modifiée pour un fonctionnement stable avec d'autres courants de sortie. Il est alors possible que le boîtier de la nouvelle bobine ne soit pas adapté au circuit imprimé.

Réglage du courant de sortie

Une des caractéristiques intéressantes du ZLED7x30 est le réglage du courant de sortie par une seule résistance, R_{sense} . Pour permettre un réglage précis dans notre circuit, R_s est constituée des deux

INFOS SUR LE PROJET

Pilote de LED

alimentation sur batterie

variateur de lumière

débutant

connaisseur expert

Environ 1 h

Outillage pour souder des CMS

Env. 25 €

Tableau 1 : versions du ZLED7x30	
Type	Courant de sortie maximal
ZLED7030	1,2 A
ZLED7330	1,0 A
ZLED7530	750 mA
ZLED7730	350 mA

résistances R1 et R2 en parallèle. La formule qui donne l'intensité du courant de sortie est la suivante :

$$I_{sortie} = \frac{0,1V}{R_s}$$

Si nous prenons une valeur de 1,2 Ω pour R1 et R2, la valeur de R_s est de 0,6 Ω, et l'intensité du courant de sortie de 166 mA. Exactement ce qu'il nous faut.

Attention : si vous régler le courant de sortie à une valeur plus élevée que celle correspondant à la version du circuit intégré utilisé (tableau 1), la sécurité thermique interne du circuit s'activera.

Réglage du gradateur

Une autre caractéristique intéressante d'IC1 est la fonction gradateur, dont le comportement est réglé par la présence ou l'absence de deux ponts de soudure (ou de résistances de 0 Ω si vous préférez), représentés par DIM1 et DIM2 sur notre schéma. Cela nous donne un



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

R1, R2 = 1,2 Ω *, ¼ W, 1%, CMS 0805

Condensateurs

C1 = 47 µF / 25 V, CMS 0805 (Panasonic EEE-FT1E470AR)

C2, C3 = 1 µF / 50 V, X7R, CMS 0805

Inductance

L1 = 100 µH, 3,1 A / 0,11 Ω, CMS (Würth Elektronik 7447709101)

Semi-conducteurs

D1 = diode Schottky 30 V / 1 A, CMS SOD-323F (NXP PMEG3010EJ)

IC1 = ZLED7730, pilote de LED, CMS SOP-8 (IDT, ZMDI)*

Divers

Circuit imprimé, réf. 150314-1

* voir texte

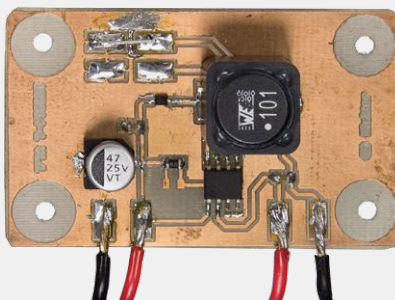
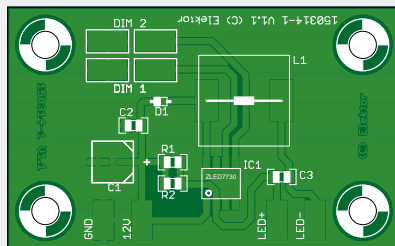
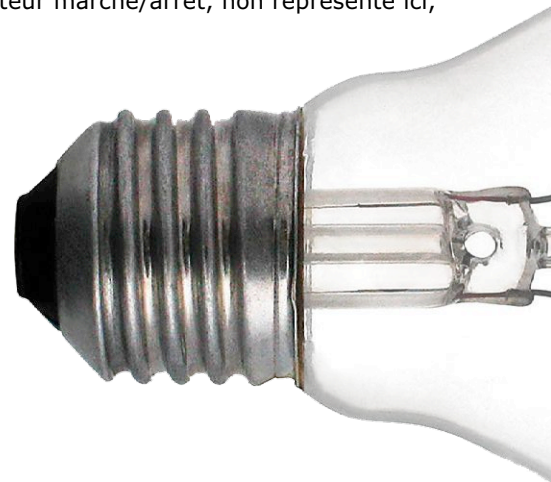


Figure 2. Le petit circuit imprimé du pilote de LED, avec uniquement des CMS.

total de quatre comportements possibles, décrits dans le **tableau 2**.

Le passage d'une position à l'autre du gradateur se fait à l'aide de l'interrupteur marche/arrêt, non représenté ici,



connecté entre la batterie de 12 V et le circuit : on ouvre brièvement l'interrupteur et on le referme.

Montage

Nous avons dessiné un petit circuit imprimé (**fig. 2**) ; vous remarquerez que le circuit du prototype n'a pas été gravé, mais bien fraisé (méthode dite « à l'anglaise »). Tous les composants sont des CMS, on soude d'abord les composants passifs, puis la diode Schottky, et enfin le circuit intégré.

Si vous n'avez pas encore d'expérience avec les CMS, ne vous arrachez pas les cheveux pour autant ! En tant qu'amateur d'électronique et bricoleur, il faudra bien y passer un jour ou l'autre, et ce circuit est parfait pour se faire la main. Les boîtiers ne sont pas si petits, et ne nécessitent donc pas un appareillage spécial, comme un four à refusion ; un fer à souder avec une panne fine, de la soudure de petit diamètre, de la tresse et une pompe à dessouder sont tout ce dont vous avez besoin. N'oubliez pas un support articulé pour circuit imprimé, ainsi qu'une loupe et un bon éclairage, non seulement pour souder, mais aussi pour contrôler qu'il n'y a pas de pont de soudure indésirable. Le résultat final devrait ressembler à la carte de la **figure 3**.

Pour habiller le circuit, nous avons choisi un petit boîtier Hammond (type 1551MBK) ; il pourra être fixé avec du Velcro (à fixation adhésive) sur la pince de la lampe (**fig. 4**). Le circuit imprimé disponible dans l'e-choppe d'Elektor est un peu différent du proto-

Tableau 2 : réglage du gradateur

DIM1	DIM2	Gradation
ouvert	ouvert	aucune : éclairage maximal, ou extinction
ouvert	pont de soudure	3 positions : 100% → 50% → 20% → 100% → ...
pont de soudure	ouvert	3 positions : 100% → 60% → 30% → 100% → ...
pont de soudure	pont de soudure	2 positions : 100% → 30% → 100% → ...

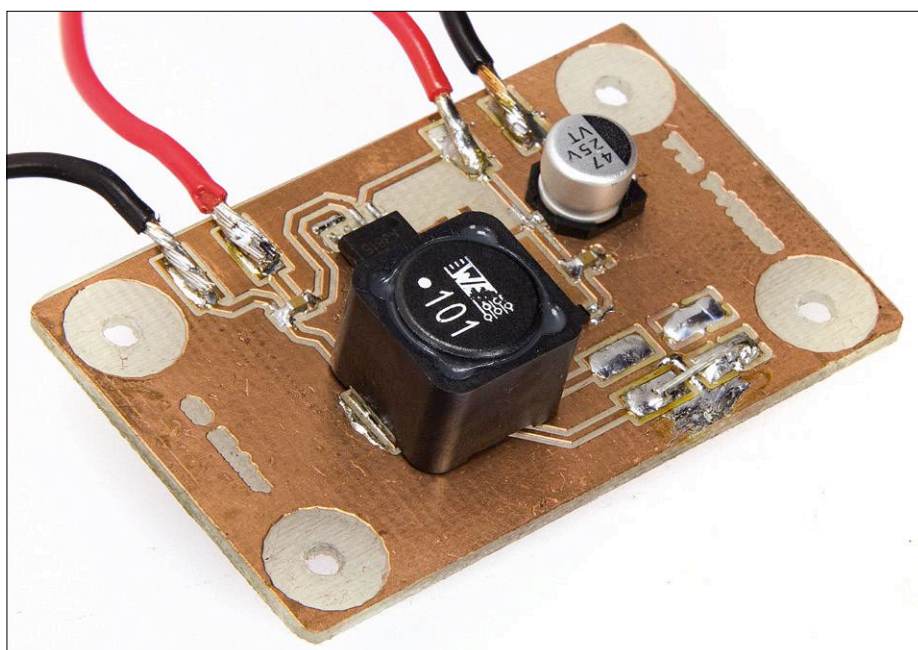
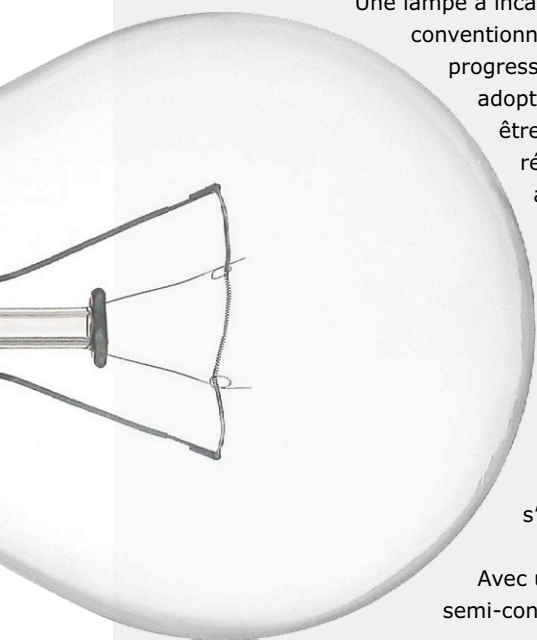


Figure 3. Des CMS oui, mais pas trop petits pour être montés à la main ; c'est bien visible ici.

À propos des lampes à incandescence et des LED



Une lampe à incandescence conventionnelle – dont l'interdiction progressive dans l'UE a été adoptée en 2009 – peut être branchée sur le réseau 230 V sans autre forme de procès. La résistance du filament limite le courant, résistance qui croît en outre avec la température (coefficient de température positif), et peu après l'allumage un équilibre s'établit.

Avec une LED, qui est un semi-conducteur, c'est l'inverse

qui se produit. En fonctionnement, on retrouve une tension de déchet à ses bornes, mais rien ne limite a priori le courant ; c'est pourquoi on utilise dans le cas le plus simple une résistance série. La valeur de cette résistance doit être calculée en fonction de la tension d'alimentation et du courant requis par la LED pour une illumination optimale. Si nous branchions directement notre lampe Ikea sur la batterie de 12 V, nous aurions un éclairage éblouissant durant un court laps de temps, puis l'obscurité, à tout jamais...

Une partie de l'énergie absorbée par la résistance est transformée inutilement en chaleur, ce qui n'est pas très efficace. Un pilote de LED spécifique qui fonctionne en source de courant – de la bonne intensité – est la solution adéquate ; la tension aux bornes de la LED est ajustée automatiquement.

► Une LED a besoin d'une source de courant, pas d'une source de tension

type, mais cela n'a guère d'importance. Nous avons utilisé l'interrupteur marche/arrêt d'origine, mais avec un peu d'ingéniosité on devrait pouvoir installer un petit interrupteur à glissière dans le boîtier. ◀

(150314 – version française : Jean-Louis Mehren)

Liens

- [1] www.idt.com/document/dst/zled7x30-datasheet
- [2] en.wikipedia.org/wiki/Ground_bounce



Figure 4. Le circuit peut prendre place dans un petit boîtier Hammond, qui sera fixé sur la pince de la lampe.

**DANS L'E-CHOPPE**

 **150314-1**
circuit imprimé



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

la qualité des connecteurs audio

Réponses de **Rémy Mallard** (Bois d'Arcy)

De la vieille prise DIN rouillée, mais originale, à la rutilante XLR dorée... contrefaite : les connecteurs audio se déclinent sous différentes formes et qualités. Nous avons demandé à Rémy Mallard de nous en dire plus.



photo : Shutterstock

Q Pourquoi autant de formats de connecteurs ?

R Les besoins en connectique professionnelle et grand public ne cessent d'évoluer. Les industriels développent des produits « plus performants et tournés vers l'avenir » qui prennent en charge de nouvelles fonctions et tiennent compte de nouvelles contraintes électriques, de CEM (liées à la nature et à la vitesse des signaux) et mécaniques (nombre de broches accru, différentes tailles pour usages fixe et mobile). Après les prises DIN à 3 broches et les RCA/Cinch à 1 broche, voici venu le temps du connecteur HDMI à 29 broches qui supporte **aussi** la vidéo et l'Ethernet.

Q Analogique et numérique : même combat ?

R Que ce soit en analogique ou numérique, la qualité des connecteurs et des câbles est primordiale. En analogique, on peut sentir venir un défaut (baisse de qualité, petits crachouillis). En numérique, c'est plus sournois, car on passe très vite du « tout fonctionne bien » au « rien ne va plus ». Avec les débits (et fréquences d'horloge associées) qui s'emballent se posent les problèmes d'impédances, longueurs et capacités parasites des câbles et connecteurs. On ne peut plus se contenter d'un câble ordinaire et de connecteurs quelconques,

il faut impérativement utiliser un câble dont l'impédance est maîtrisée (50, 75 ou 110 Ω par ex.) et des connecteurs adaptés. Une liaison numérique AES symétrique [1] requiert un câble d'impédance 110 Ω avec des connecteurs XLR, et une liaison numérique asymétrique S/PDIF requiert un câble 75 Ω avec connecteurs BNC 75 Ω (mais souvent RCA/Cinch dans le grand public, car moins cher). Avec le HDMI, les flux TMDS [2] transitent sur des paires torsadées dont l'impédance différentielle est de 100 Ω . Avec le débit théorique de 48 Gbit/s du HDMI 2.1, la qualité de la connectique (et bien sûr du câble) devient encore plus critique !

Q Quelles sont les différences entre connecteurs pro et connecteurs grand public ?

R Un connecteur grand public doit être bon marché, un connecteur professionnel doit être fiable. En audio pro fixe (studio d'enregistrement, site de diffusion), la durée de vie des liaisons doit être longue, et le vieillissement des câbles et connecteurs ne doit pas s'entendre. Des câbles ou connecteurs de mauvaise qualité se dégradent plus vite dans le temps (oxydation des connecteurs et/ou dégradation des diélectriques des câbles). En audio pro mobile (événementiel, concerts), il faut surtout que les connecteurs ne s'écrasent pas quand on marche dessus, qu'ils restent verrouillés aux appareils, et que les fils restent accrochés à leurs broches quand un pied se prend dans le câble. En résumé, les connecteurs doivent être robustes, c'est pourquoi on choisit un corps en métal plutôt qu'en plastique. Parenthèse : même pour un usage amateur, préférez toujours des connecteurs en métal (y compris DIN ou RCA/Cinch), car un corps conducteur relié à la masse protège mieux contre les parasites. Pour la résistance à l'arrachement, plusieurs techniques existent : languettes qu'on replie sur le câble, coquilles serrées par vis, ou encore mâchoires avec dents. Mais attention avec ces deux dernières solutions, le blocage n'est réellement efficace que pour certains diamètres de câble !

Q Les contrefaçons existent-elles vraiment ?

R Quelle marque réputée n'est pas victime de contrefaçon ? Cela fait toujours plaisir de trouver un connecteur XLR de marque Neutrik 2 à 5 fois moins cher que chez le revendeur local. Même si notre esprit émet quelques doutes (cette différence de prix doit bien cacher quelque chose), curieusement



Photo 1. Le connecteur mâle Neutrik contrefait rentre bien dans le connecteur femelle Neutrik original, mais le verrouillage (une des caractéristiques principales de ce type de connecteur) est impossible !

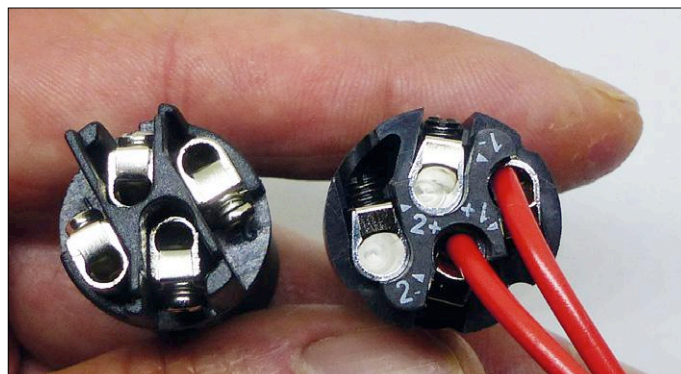


Photo 2. À gauche un connecteur Neutrik contrefait, à droite un connecteur Amphenol original ; sur la copie, la languette qui permet de presser le câble dénudé a plus tendance à le faire ressortir qu'à le maintenir en place !

nous sommes « rassurés » parce que le produit est « certifié original » et porte l'étiquette d'une marque connue. Et puis comme c'est moins cher, on peut bien prendre le risque. Mais si l'amateur peut se permettre cet écart plus ou moins réfléchi, le professionnel devrait tourner sept fois sa langue dans son oreille avant de penser « économie à tout prix ». Au fil du temps, les connecteurs originaux ont profité de nombreuses améliorations mécaniques et électriques dont ne bénéficient pas forcément les copies sauvages. Au premier abord, un connecteur contrefait paraît toujours correct. C'est à l'usage (quand par ex. on veut le démonter pour le réutiliser ailleurs) qu'on se rend compte que oui, finalement, la qualité se paie. Les connecteurs contrefaits ont beau être aussi sexy que les originaux, ils sont moins fidèles !

Q Les connecteurs contrefaits présentent-ils un danger ?

R Tant qu'on s'en tient au transport de signaux de faible énergie (niveaux microphone ou ligne), le risque se limite à des grésillements intermittents, baisses de niveau ou coupures franches du son – un peu gênant toutefois quand ces signaux perturbés alimentent des amplis de plusieurs kW. Si les connecteurs sont traversés par des courants de forte intensité (connecteurs de type Speakon pour HP de sonorisation par ex.), le risque est plus élevé (échauffement excessif). Les véritables connecteurs de puissance de marque sont étudiés pour garantir non seulement la plus faible résistance de contact possible, mais aussi une répartition équilibrée des surfaces de contact, afin d'éviter des points chauds qui finissent par charbonner. Et cette garantie doit s'appliquer même après de nombreuses déconnexions/reconnexions, qui en situation *live* sont souvent effectuées dans un contexte de stress intense et donc pas toujours « en douceur ».

Q Est-il encore intéressant de faire soi-même ses câbles audio ?

R Entre les câbles ultra-économiques à moins de 1 € qu'on jette rapidement et ceux haut de gamme à plus de 1000 € qu'on ne peut pas revendre, mon cœur balance. L'amateur qui ignore ce qui se cache derrière les termes techniques peut avoir quelques réticences à faire lui-même ses câbles. Pourtant, il peut. En tout cas pour des liaisons « faciles » telles que cordons XLR, jack ou RCA/Cinch. Mais il faut reconnaître que cela

devient très compliqué avec un connecteur HDMI (démontez-en un et vous comprendrez). L'avantage de faire ses cordons de liaison soi-même, c'est qu'on choisit le câble et les connecteurs. Et si un jour il faut le réparer, on est rassuré de savoir qu'on peut le faire. Certes, le taux de dégradation apporté par un cordon inapproprié peut dans certains cas occasionner une dégradation de la qualité sonore, modérée en analogique (baisse des aigus par ex.), voire inacceptable en numérique (clic ou coupures franches). Mais n'exagérons rien : entendre dire qu'un cordon S/PDIF fabriqué avec un mètre de câble blindé standard et des prises RCA « non 75 Ω » creuse le médium... il faut tout de même oser. Ça tombe bien, me direz-vous, on est sur terre pour rigoler. ◀

(160471)

Lien

- [1] AES3, standard de communication pour les données audio numériques : <https://en.wikipedia.org/wiki/AES3>
- [2] TMD5, norme de transmission de données vidéo : https://en.wikipedia.org/wiki/transition-minimized_differential_signaling

Qui est Rémy Mallard ?

Rémy est un passionné du son, qui a monté sa radio locale à 14 ans et construit son premier (minuscule) synthétiseur à 15 ans (à l'époque, le Formant était trop gros pour lui). Il a travaillé pendant 23 ans à TDF (TéléDiffusion de France) dans le domaine des satellites de diffusion TV, puis il est revenu sur terre pour se plonger dans les émetteurs TV et radio, et les studios radio (maintenance, expertises et formations). Aujourd'hui, il conçoit des systèmes électroniques dédiés audio et assure des formations audio pro en école cinéma/audio-visuel. Il est également comédien voix off et effectue des analyses et validations de bandes son. Il est l'auteur du site sonelec-musique.com, qui depuis sa création en 2004 propose de nombreux articles gratuitement, sans pub et avec un poil d'humour. Car Rémy sait aussi ne pas être sérieux, quand les conditions l'exigent.

GoNotify, une interface flexible pour capteurs IdO être sur (un) le nuage

Gino De Cock (Belgique)

IdO, Internet des Objets, IdOI (version industrielle), objets connectés... on n'entend plus que cela. Les observateurs de l'industrie prédisent un immense marché et des milliards d'objets connectés en quelques années, mais chez vous, pour allumer une lampe, vous continuez à vous lever pour actionner un interrupteur mural. Ces jours sombres sont désormais comptés, car avec GoNotify vous pouvez, vous aussi, connecter ce que vous voulez à l'internet.

Vous vous demandez ce qui se passe dans et autour de votre domicile quand vous n'êtes pas là ? Les enfants sont-ils dedans ou dehors ? Ont-ils mis le feu à la maison ? Le chauffage est-il allumé ? Avez-vous laissé un robinet ouvert ou y a-t-il une fuite d'eau quelque part ?

Quelqu'un sonne-t-il à la porte ? Ou vice-versa : vous êtes chez vous, mais est-ce que tout va bien à l'usine ? Peut-être qu'une machine surchauffe ? Ce refroidisseur fait-il assez de froid ? L'eau coule-t-elle où elle devrait ? Tout cela est possible simplement avec le bon capteur

au bon endroit, connecté à GoNotify et voilà. C'est aussi simple que ça.

Au commencement

Il y a quelque temps j'ai réfléchi aux exigences qu'un dispositif connecté devrait satisfaire. D'abord, il doit être sans fil, c.-à-d. solaire ou alimenté par pile. Ceci implique qu'il doit être aussi peu énergivore que possible et donc que son circuit doit être entièrement à faible consommation. De plus le système doit être simple, bon marché, et sans coûts de connexion. Enfin, le dispositif doit être flexible et sa mise au point facile.

Le Wi-Fi correspond presque parfaitement à ce que je cherche et le très répandu ESP8266 rend cette technologie accessible à moindre coût. En revanche le côté faible consommation pourrait être un défi. Je me suis mis au travail en gardant tout ceci à l'esprit.

Le matériel

Je suis parvenu à une architecture constituée de quatre blocs principaux (fig. 1) :

- Un module bon marché ESP-01S avec un microcontrôleur Wi-Fi ESP8266 pour la connectivité à l'internet
- Un ATmega328PB pour gérer les capteurs

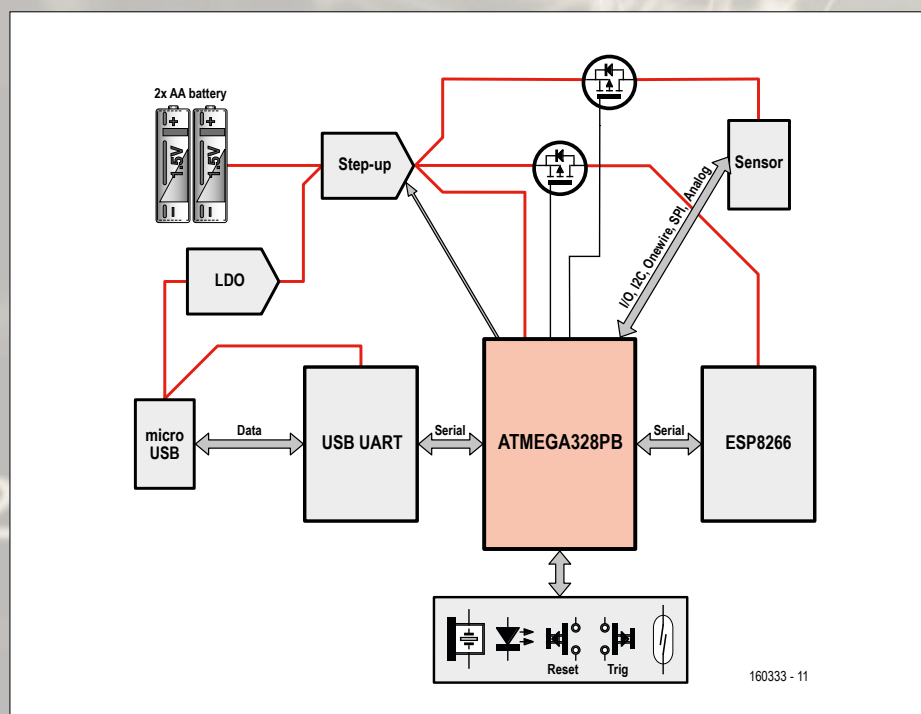
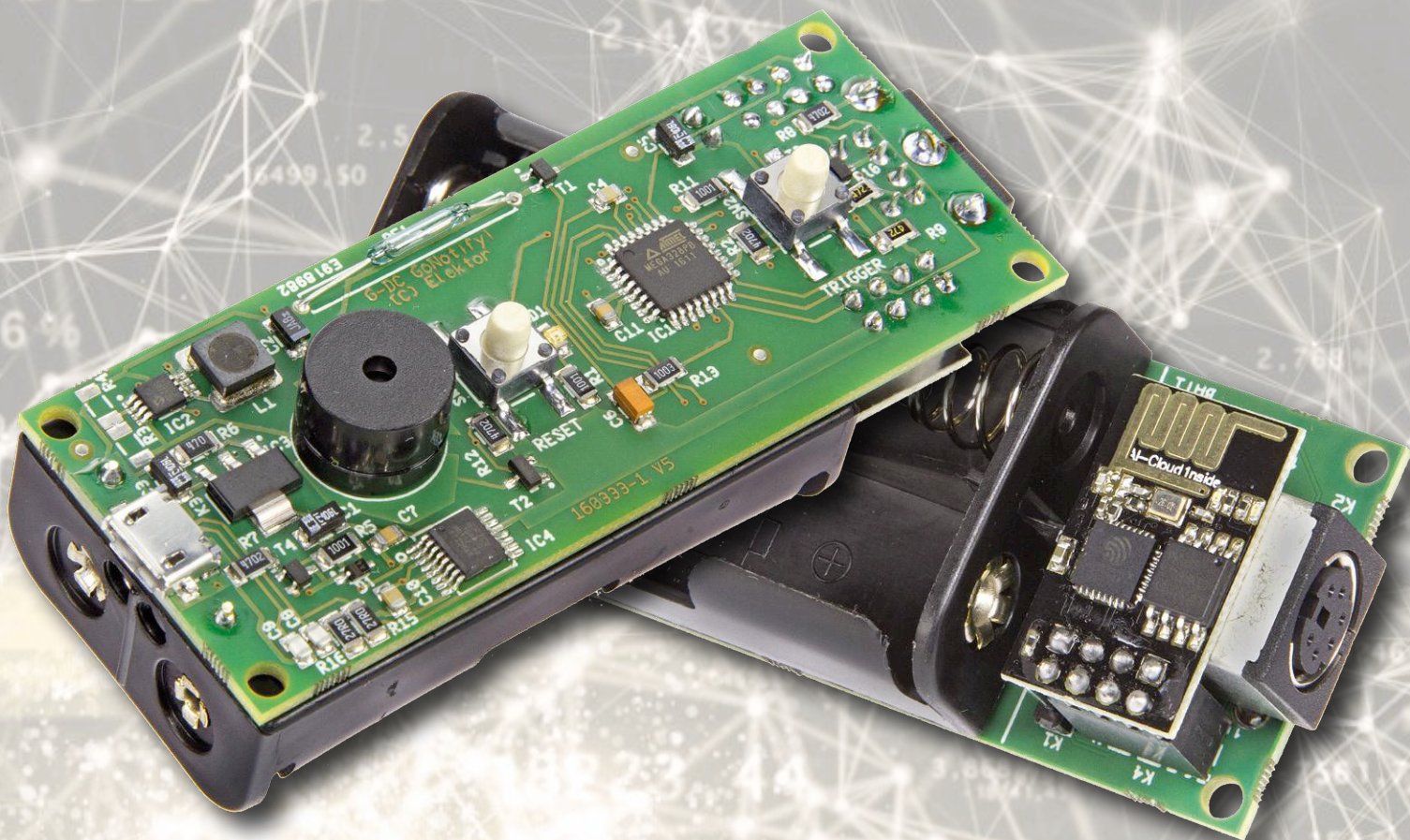


Figure 1. Vue d'ensemble des fonctions de GoNotify.



- Un port série USB pour la programmation et le débogage
- Un module de puissance composé d'un régulateur à faible chute de tension (LDO) et d'un régulateur survolteur.

La **figure 2** reproduit le schéma. Le microcontrôleur (μC) utilisé est l'ATmega328PB, une version améliorée du célèbre Atmega328P avec beaucoup de nouvelles caractéristiques. L'une d'elles est la consommation réduite, mais ce μC a aussi un oscillateur RC interne plus précis qui dispense de quartz externe, et — plus important — il a deux ports série. *Serial0* sert à télécharger le microprogramme et à déboguer. *Serial1* est réservé à la communication avec le module ESP-01S. L'activité principale de l'ATmega328PB est de surveiller le capteur tout en consommant le moins d'énergie possible.

Dans ce projet, on utilise l'ESP8266 en version module, facilement disponible sur l'internet sous la référence ESP-01S. Enfiché sur K4, il est connecté au port série 1 (*Serial1*) du μC et à deux de ses broches GPIO. Son alimentation passe par T1, lui-même commandé par le μC . Pour garantir la connexion à l'internet, il faut activer l'alimentation 3,3 V avant de commuter T1.

R13 et C6 permettent la mise à jour *Over The Air* (OTA, en clair par liaison radio) du microprogramme de l'ATmega328PB. D'abord l'ESP-01S reçoit le nouveau microprogramme et le transfère au μC , ensuite il faut effectuer une RàZ de ce dernier pour lancer le mode chargeur d'amorce. Pendant que le μC redémarre, il relâche la commande de T1, or l'ESP-01S doit rester alimenté ; c'est le cas grâce à R13 et C6.

IC4, un FT230XS, est une passerelle USB-UART qui fournit un port de programmation et de débogage sur le port 0 (*Serial0*) du μC . Le front descendant de son signal RTS, extrait par C4 et R11, est utilisé comme signal de RàZ pour le μC , ce qui lui permet de recevoir le microprogramme depuis l'EDI Arduino.

IC3 transforme les 5 V du bus USB en 3,3 V. En réalité, grâce à R6, la sortie d'IC3 est légèrement supérieure à 3,3 V pour dépasser la tension de seuil de la diode Schottky D1.

Dans tous les cas, le circuit est alimenté par IC2, quel que soit son état (c.à.d. activé ou pas), car lorsque son entrée d'activation est maintenue à l'état bas, la tension de sortie suit la tension d'entrée grâce au mode « dérivation ». IC2 est disponible en plusieurs versions, on utilise ici la version ajustable pour plus

INFOS SUR LE PROJET



ATmega328PB ESP8266

IdO AllThingsTalk

IFTTT FFA 2016



débutant

→ connaisseur

expert



env. 4 h



Soudage des CMS,
PC,
EDI Arduino



env. 30 €

Caractéristiques

- Interface universelle pour capteur sans fil
- Prise en charge du Wi-Fi et d'ESP-Now
- Ultra-basse consommation
- Compatible Arduino
- Compatible Grove

de souplesse. On peut aussi choisir un modèle MCP1642D-33I/MS à sortie fixe 3,3 V. Dans ce cas, ne montez pas R3 ni R4. N'utilisez pas un type « B » (MCP1642B-...), car il n'y a pas de mode « dérivation d'entrée ».

Les capteurs sont connectés au connecteur mini-DIN K5. Le câblage de ce connecteur permet d'utiliser soit un connecteur Grove à 4 broches SeeedStudio soit, pour une connectivité étendue, un connecteur mini-DIN ordinaire à 6 contacts.

Au moment d'effectuer un relevé, le micro déclenche l'alimentation du capteur en activant T3. Si le capteur a besoin de 3,3 V, le régulateur survolteur IC2 doit aussi être activé (cela dépend, bien sûr, du capteur et doit être fait par le programmeur de l'application, c.-à-d. vous). On peut utiliser le relais Reed RE1 et le bouton-poussoir SW2 (« Trigger ») pour tester le dispositif sans capteur externe. Ils utilisent l'interruption externe INT1 pour réveiller le µC.

K2 est utilisé pour la programmation in situ du µC avec par ex. le chargeur personnalisé. SW1 permet la RàZ du µC par simple action d'un bouton.

K1 permet d'accéder au second port série du microcontrôleur ESP8266 et de déboguer votre code Wi-Fi sans couper la communication avec le µC.

LED1 est une LED à usage général de type « Arduino broche 13 ». Elle peut servir à ce que vous voulez.

Gestion de la consommation

Avec deux piles AA, on peut absorber moins de 10 µA en mode « surveillance ». Dans ce mode à faible consommation, on coupe le plus de circuits possible sans arrêter la surveillance des capteurs. L'ESP-01S est éteint, le régulateur survolteur est en mode dérivation et le µC est en veille ; seul le chien de garde du µC fonctionne et le réveille périodiquement pour relever les capteurs. On peut aussi utiliser une interruption extérieure pour cela.

En mode surveillance, l'ESP-01S est déconnecté par T1 et le régulateur survolteur IC2 est désactivé en forçant sa broche d'activation à l'état bas. Dans cette configuration, IC2 est en réalité en mode dérivation, c.-à-d. que sa sortie est reliée à son entrée ; ses circuits internes sont éteints, pour une consommation quasi nulle. Seul l'ATmega328PB est alors alimenté, car il est relié soit aux piles (par T4), soit au régulateur à faible

chute de tension (LDO) IC3 (par D1) si la tension de 5 V est présente sur la broche 1 du connecteur micro-USB K3. Avec une puissance de transmission radio réduite et des durées de connexion à l'internet aussi courtes que possible, GoNotify consomme environ 1,5 mAh en moyenne par message, même lorsqu'on utilise un protocole REST avec une connexion sécurisée HTTPS. Pour augmenter encore la durée de vie des piles, on peut avoir recours aux modules ESP-01S avec la technologie (propriétaire) ESP-Now. Dans ce cas, un dispositif sert de maître/passarelle et l'autre de capteur distant esclave. La communication entre le maître et l'esclave a lieu sans aucune surcharge induite par la pile TCP/IP (voir plus loin). Avec deux batteries de 2500 mAh et 1,5 mAh par message, on peut envoyer 3000 à 4000 messages avec un seul jeu de batteries neuves. Ceci correspond à environ cinq mois d'utilisation au rythme d'un message par heure. Une programmation intelligente du µC permet également de réduire le nombre de connexions à l'internet. De plus, quand une condition d'alarme est détectée, GoNotify peut toujours prévenir l'utilisateur avec le buzzer BUZ1 (activé par T2) sans connexion à l'internet. Le buzzer ne devrait être utilisé qu'en dernier recours.

Si une application a besoin d'une connexion à l'internet permanente, par ex. un client MQTT, il vaut mieux alimenter le dispositif par le connecteur micro-USB (K3). Dans ce cas, les batteries constituent une alimentation de secours lorsque l'USB est débranché. Pour maximiser le nombre de messages par charge de batterie, les réglages fins suivants sont possibles (en plus de l'écriture d'un logiciel plus intelligent) :

- Réduire la puissance de transmission : par défaut l'ESP-01S fonctionne avec une portée assez longue et consomme beaucoup en émission. Selon la situation, on peut réduire la portée, ce qui économise de la puissance. On peut le faire par logiciel, mais aussi avec l'ESP8266 Download Tool (V3.4.4), dans l'onglet « RFConfig Tab » (l'outil est disponible sur le site d'Espressif).
- Fixer le canal Wi-Fi ; balayer les canaux Wi-Fi consomme de la puissance. On peut éviter le balayage en indiquant à l'ESP-01S d'utiliser le

même canal que le point d'accès.

- Éviter le DHCP : on peut éliminer les négociations DHCP au démarrage en fixant l'adresse IP du dispositif (au prix d'une souplesse moindre, bien sûr).
- Éviter les résolutions DNS : utiliser l'adresse IP de la destination (nuage ou autre) évite le temps de résolution DNS et économise de la puissance.
- Optimiser le processus d'initialisation radio de l'ESP-01S : par défaut l'ESP-01S effectue un réglage radio au démarrage, ce qui consomme beaucoup de courant. Ceci peut être fait avec la fonction API `system_phy_set_powerup_option(2)`. L'ESP8266 Download Tool peut aussi changer ce comportement, mais la meilleure option (n°2) n'est pas disponible.
- Réduire la fréquence d'horloge du µC en positionnant le fusible DIV2. Le µC fonctionne alors à 4 MHz au lieu de 8 MHz, ce qui permet un fonctionnement jusqu'à une tension de batterie de 1,8 V.

Boîtier

En plus du montage, d'un circuit imprimé et de beaucoup de logiciel, j'ai aussi créé un boîtier en impression 3D pour GoNotify (fig. 3). Vous pouvez l'imprimer chez vous ou en ligne (vous trouverez un service près de chez vous avec www.3dhubs.com) ; il vous en coûtera seulement quelques euros. Les fichiers de définition du boîtier, ainsi d'ailleurs que tous les autres fichiers de GoNotify, peuvent être téléchargés depuis [2].

Mise à jour du microprogramme

On peut utiliser l'EDI Arduino pour mettre à jour le microprogramme du µC par l'USB grâce à un chargeur d'amorce compatible. De plus, K2

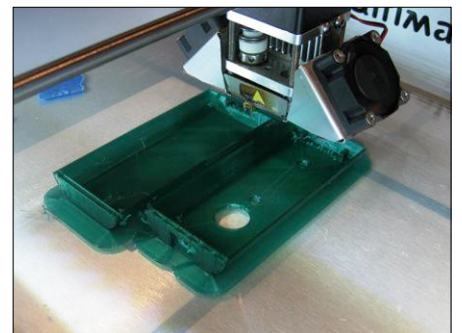
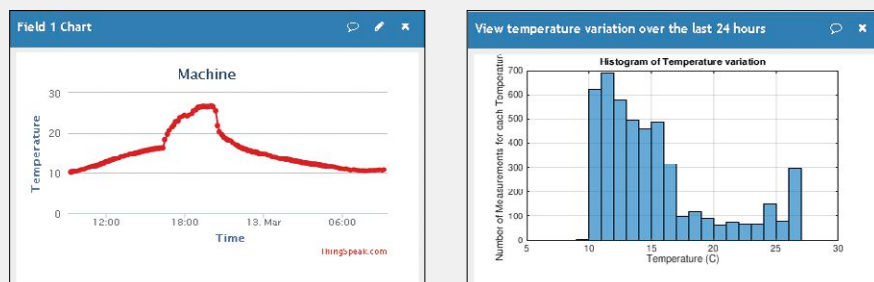


Figure 3. Les plans d'un boîtier en impression 3D sont aussi disponibles.

Analyse statistique en ligne avec ThingSpeak

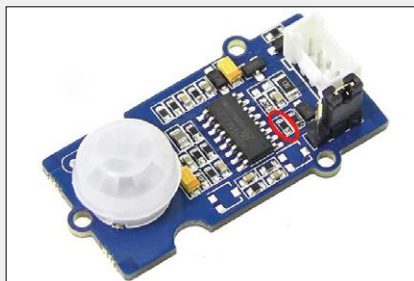


Surveillez la température d'une machine avec un capteur adapté (par ex. un thermocouple). Connectez GoNotify au service en ligne ThingSpeak et analysez les données prélevées avec Matlab.

Source : <https://goo.gl/tthgeJ>

ThingSpeak : <https://thingspeak.com>

Détection de mouvement avec IFTTT



Court-circuitez la résistance entourée.

Surveillez les mouvements et soyez alerté via le célèbre service en ligne « If This Then That » (IFTTT). On peut connecter un détecteur de mouvement PIR Grove de SEESstudio à GoNotify. Pour que cela fonctionne, il faut court-circuiter la résistance de 10 kΩ du capteur (voir photo) dans le signal de sortie parce qu'elle interfère avec les résistances de *pull-up* de l'I2C de GoNotify. Connectez votre applet IFTTT à une feuille de calcul Google et commencez à comptabiliser les mouvements.

Source : <https://goo.gl/shSWe6>

IFTTT : <https://maker.ifttt.com>

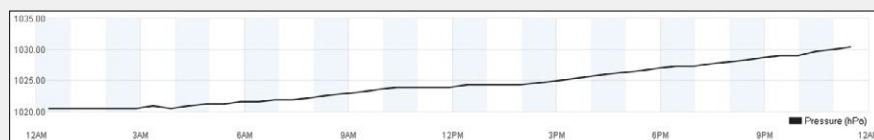
Rejoignez le réseau Weather Underground



Utilisez GoNotify pour connecter un capteur BMP180 au réseau Weather Underground et mettre à disposition de toute la planète des données météo de qualité.

Source : <https://goo.gl/A3QByX>

Weather Underground : www.wunderground.com



permet la programmation in situ avec un programmeur AVR. Toutefois, pour programmer le module ESP-01S par la connexion USB, il faut un mécanisme plus élaboré. Pour cela, le μC doit d'abord mettre l'ESP-01S en mode chargeur d'amorce puis créer une passerelle entre ses deux ports série et envoyer le nouveau microprogramme à l'ESP-01S. Il a fallu pour cela modifier le chargeur d'amorce du μC .

La vitesse de programmation de l'ESP-01S est limitée pour l'instant à 57600 bits/s en attendant qu'un meilleur algorithme de liaison avec le μC soit trouvé. Une programmation plus rapide est possible en intégrant le code Over the Air (OTA) dans l'application de votre capteur. Le module ESP-01S dispose de 8 Mbits de mémoire Flash, minimum nécessaire pour les mises à jour par OTA.

Le réseau R13-C6 est destiné aux mises à jour par OTA du microprogramme de l'ATmega328PB. Après que l'ESP-01S a reçu le nouveau microprogramme et l'a transféré à l'ATmega328PB, une RàZ de ce dernier est nécessaire pour passer en mode chargeur d'amorce. Pendant ce temps l'ESP-01S doit être maintenu en fonctionnement, ce qu'assurent C6 et R13.

Développement de l'application

Pour les applications pratiques, il vaut mieux répartir les tâches entre les deux microcontrôleurs. L'ATmega328PB surveille le capteur et, si nécessaire, déclenche une alarme et active le module ESP-01S. Ce dernier se charge alors de la connexion sécurisée à l'internet et gère la communication en utilisant le protocole de votre choix (par ex. HTML, REST, MQTT). L'ESP-01S peut aussi se charger de l'interface utilisateur (UI) pour la configuration ou la surveillance via un navigateur internet standard sur votre ordinateur ou ordiphone.

Pour le confort de développement des applications, la programmation du dispositif doit être aussi facile que possible. De plus, il faut aussi pouvoir déboguer l'application du capteur. Pour GoNotify c'est l'EDI Arduino qui a été choisi pour tout cela.

Pour configurer votre EDI Arduino, les URL de deux fichiers de définitions de cartes doivent être ajoutées au champ « URL de gestionnaire de cartes supplémentaires » du sous-menu « Préférences » du menu « Fichier ». Vous pouvez ajouter plusieurs URL en

À propos de l'auteur

Gino De Cock (1977) est fasciné par l'électronique depuis son adolescence. Il a étudié l'électronique à Gand (Belgique) où il a été diplômé en 1999. Tourmenté par la question existentielle « Y a-t-il un meilleur moyen ? », Gino transforme ses idées en projets comme GoNotify.

Fast Forward Award 2016

GoNotify était l'un des candidats du concours *Fast Forward Award* organisé par Elektor en collaboration avec les organisateurs du salon Electronica 2016 à Munich. Les amateurs et les professionnels ont pu y échanger et y présenter leurs projets, produits et jeunes pousses.

les séparant par des virgules (il n'y a pas d'espaces dans les URL qui suivent) :

- Pour l'ATmega328PB : https://raw.githubusercontent.com/ginodecock/V3GoNotify/master/ArduinoBoard/package_gonotify_v3_index.json
- Pour l'ESP-01S : http://arduino.esp8266.com/versions/2.3.0/package_esp8266com_index.json

La programmation est très simple avec l'EDI Arduino :

- Connectez GoNotify à votre PC. La première fois un port COM virtuel sera installé.
- Installez les progiciels des cartes ATmega328PB et ESP-01S dans l'EDI Arduino :
 - Ouvrez le Gestionnaire de cartes (menu « Outils » → « Type de carte »), choisissez « Contribué » et installez « GoNotify-V3 ATMEGA ».
 - Faites de même pour l'ESP-01S en installant « esp8266 by ESP8266 Community ».
- Depuis le menu « Outils → Port », sélectionnez le port COM virtuel associé à votre dispositif.
- Pour programmer :
 - ATmega328PB : sélectionnez la carte « GoNotify @ 4 MHz (RC interne) ». Il suffit de cliquer sur le bouton « Téléverser » pour démarrer la programmation.
 - ESP-01S : sélectionnez la carte « Generic ESP8266 Module ». Pressez et maintenez enfoncé le bouton-poussoir de déclenchement SW2 avant de cliquer sur le bouton « Téléverser » de l'EDI. Le bouton-poussoir peut être relâché lorsque la programmation a démarré.
- Ouvrez le « Moniteur série » pour déboguer.

Une fois que le nouveau microprogramme est chargé dans le dispositif, et que toute la mémoire a été effacée, il doit être (re) configuré avant d'être utilisé (les données de configuration sont stockées dans l'EEPROM du µC, la configuration Wi-Fi dans le module ESP-01S). Démarrez en pressant le bouton de RàZ SW1. GoNotify va alors se comporter en point d'accès (AP) par défaut à l'adresse 192.168.4.1 — l'utilisateur peut le changer dans le logiciel — (fig. 4). Après la configuration, GoNotify attend un événement comme la pression de SW2, la fermeture de RE1 ou le dépassement d'un certain seuil par le capteur (à définir au préalable dans le logiciel). Le buzzer émet un bip de notification et envoie un message de test ; contenu et destination dépendent de la configuration de votre dispositif. L'exemple de la figure 4 envoie un message à un service *PushBullet* (www.pushbullet.com). À partir de là GoNotify passe en fonctionnement normal, à savoir le mode surveillance à basse consommation.

Machine virtuelle

Maintenant que vous savez comment marche GoNotify, comment en construire un et le programmer, il est temps de voir quelques applications pratiques. Notez que les raccourcis URL pointent tous sur mon répertoire GitHub en [2]. Sachez aussi que j'ai préparé une machine virtuelle (VM) avec tous les

outils préinstallés pour que vous puissiez démarrer rapidement. Elle est disponible dans le dossier « GoNotify-Development-Env » de [2].

Compteur d'eau californien avec alarme dans le nuage

Dans cet exemple, GoNotify surveille un compteur d'eau équipé d'un relais *reed*, qui délivre une impulsion à chaque consommation de 500 ml. Quand une fuite est détectée ou qu'un robinet coule trop longtemps, GoNotify envoie une notification. Il transmet aussi la consommation d'eau toutes les heures pour déterminer à quel moment et pourquoi on utilise le plus d'eau. Pour économiser l'énergie, l'ESP-01S n'est alimenté qu'en cas de problème pour envoyer un message d'alerte. Ici une alerte est envoyée quand, sur une période de 24 h, il n'y a pas de période de 2 h pendant laquelle la consommation d'eau est inférieure à 0,5 l. En d'autres termes, quand la consommation d'eau est continue, GoNotify considère qu'il y a une fuite. De même, lorsque la consommation d'eau reste haute pendant 30 min ou plus, GoNotify suppose qu'un robinet a été laissé ouvert et il enverra aussi une alerte.

En cas de problème avec la connexion à l'internet, GoNotify alerte l'utilisateur en actionnant son buzzer.

Pour cette application, il faut calibrer le capteur de température intégré au µC.

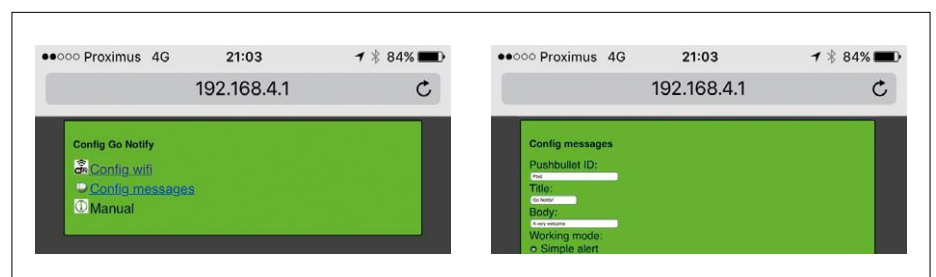


Figure 4. Connectez-vous au point d'accès GoNotify afin de configurer le dispositif pour votre réseau Wi-Fi.

Maintenez le bouton SW2 appuyé pour la RàZ du dispositif. Tout en maintenant SW2 enfoncé, refroidissez le processeur jusqu'à 0 °C. GoNotify bipera lorsque la température change, et s'arrêtera lorsqu'il aura atteint la température de référence. Vous pouvez alors relâcher SW2.

- URL : <https://wma-gonotify.rhcloud.com>
- User : demo
- Password : demo
- Code source : <https://goo.gl/UIkaXJ>

Ici l'ATmega328PB est programmé depuis l'EDI Arduino, l'ESP-01S avec le SDK2.0 IdO natif (disponible sur le site web d'Espressif). La solution en nuage est créée avec OpenShift de

Redhat (<https://www.openshift.com/>) et programmée avec Nodejs et MongoDB. Il y a plusieurs avantages à utiliser une approche « nuage privé » :

- Vous possédez les données : les données ont de la valeur et sont privées.
- Notifications : GoNotify a l'intelligence pour détecter qu'un problème est survenu et déclencher une alerte. Ces alertes sont transmises au nuage où elles sont relayées vers un système de notification. De même, lorsqu'un relevé n'arrive pas (à temps), le nuage signale l'absence du capteur.
- Relevés synchronisés : le nuage peut agir comme une horloge pour

le capteur. À chaque relevé reçu, le nuage indique dans l'entête REST de sa réponse quand est attendu le prochain relevé.

Client MQTT avec AllThingsTalk

Être compatible avec Arduino et utiliser des microcontrôleurs répandus comme l'ATmega328PB et l'ESP8266 présentent un avantage : beaucoup de plateformes IdO du nuage disposent d'une API également compatible. Cette application montre comment interfacier GoNotify avec le constructeur d'API AllThingsTalk (<https://www.openshift.com/>) comme client MQTT. Quelques lignes de code suffisent. L'exemple montre une communication bidirectionnelle entre le serveur AllThingsTalk et un client



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

Par défaut : 1206

R1, R5, R11 = 1 kΩ

R2, R7, R8, R12 = 47 kΩ

R3 = 976 kΩ*

R4 = 562 kΩ*

R6 = 56 Ω

R9, R10 = 4,7 kΩ

R13 = 100 kΩ

R15, R16 = 27 Ω

Condensateurs

C1, C3, C5 = 10 µF 16 V, tantale, 1206

C2 = 100 µF 6,3 V, tantale, 1206

C4, C7, C10, C11 = 100 nF, 0805

C6 = 1 µF, 16 V, tantale, 1206

C8, C9 = 47 pF, 0805

Inductance

L1 = 4,7 µH, Ieff=1,72 A, 0,082 Ω

Semi-conducteurs

D1 = BAT760

LED1 = verte, 2012

T1, T3, T4 = NTS2101PT1G

T2 = 2N7002

IC1 = ATmega328PB-AU

IC2 = MCP1642D-ADJ*

IC3 = NCP1117ST33T3G

IC4 = FT230XS

Divers

BUZ1 = buzzer, diamètre 12 mm, au pas de 6,5 mm

K1 = barrette mâle à 2 broches, au pas de 2,54 mm

K2 = barrette mâle à 2×4 broches, au pas de 2,54 mm

K3 = connecteur micro-USB, type AB

K4 = barrette mâle à 2×4 broches, au pas de 2,54 mm

K5 = socle DIN miniature à 6 contacts ou connecteur* Grove à 4 contacts

RE1 = relais reed, longueur de l'ampoule = 15 mm max.

SW1, SW2 = bouton-poussoir, CMS, 6,2×6,2 mm

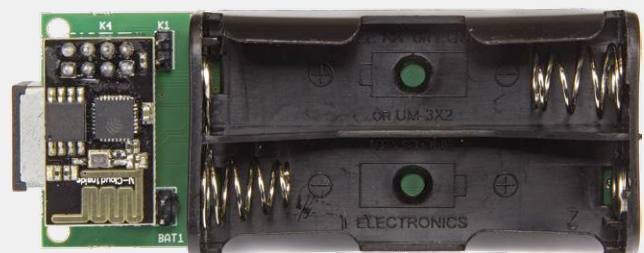
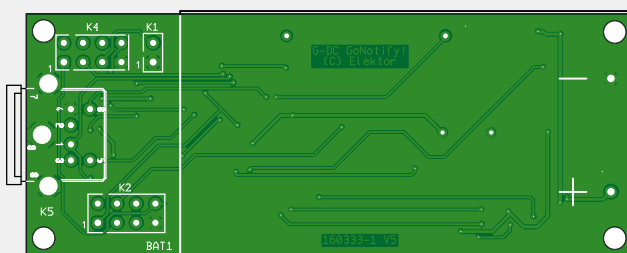
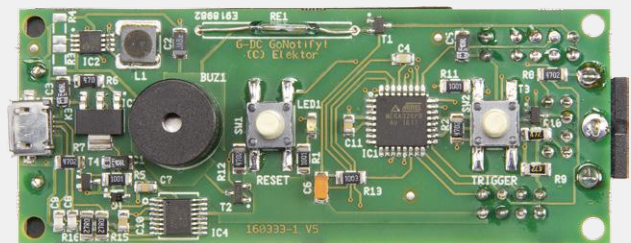
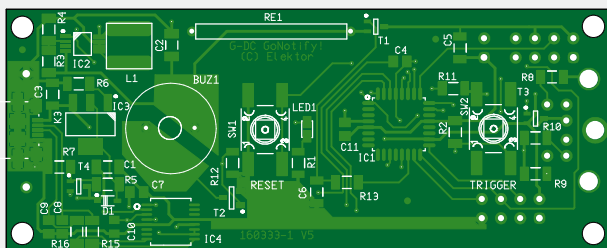
Autres

Support de piles, 2× AA (Keystone 2462)

ESP-01S (module Wi-Fi avec ESP8366)

Circuit imprimé réf. 160333-1

* voir texte



GoNotify. Il vous permet de commander GoNotify à distance et de recevoir des informations d'état en retour.

Dans cette configuration, GoNotify est actif en permanence et doit donc être alimenté par USB. Les batteries ou piles alcalines sont un secours en cas de perte de l'USB.

Ici l'ATmega328PB est programmé depuis l'EDI Arduino, l'ESP-01S avec le SDK2.0 IDO natif.

- URL : <https://maker.allthingstalk.com/device/Kx7vo0kSYI5P6e9Pr-JIOKWS7>. Pour voir cette page, vous devez d'abord créer votre propre compte AllThingsTalk et vous y connecter.
- Code source : <https://goo.gl/OIF6Rw>

Surveillance d'une serre avec ESP-Now

ESP-Now est un protocole de communication propriétaire développé par Espressif, qui permet à des dispositifs de communiquer entre eux, en *peer-to-peer* (P2P), sans utiliser ni Wi-Fi ni échange préalable. Il est prévu pour des capteurs distants connectés à une passerelle (un autre ESP8266/ESP-01S) qui fournit une connexion à l'internet (**fig. 5**).

Dans cette application, un dispositif GoNotify sert de passerelle vers l'internet et de client MQTT sécurisé du serveur AllThingsTalk, l'autre lit le capteur. Le dispositif passerelle est un esclave ESP-Now toujours actif. Pour s'assurer que le client MQTT demeure actif (persistant), des paquets *ping* sont envoyés périodiquement au serveur AllThingsTalk pour vérifier la connexion.

Le capteur GoNotify joue le rôle de contrôleur ESP-Now. Quand il veut transmettre quelque chose, un événement par ex. ou une alerte, il se réveille et se connecte à l'adresse MAC de la passerelle pour envoyer et vérifier quelques octets.

Ici ESP-Now est utilisé pour surveiller

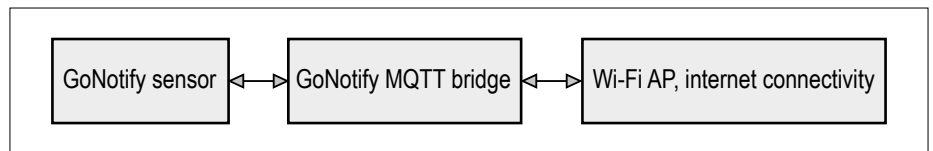


Figure 5. Le protocole ESP-Now permet les connexions *peer-to-peer* entre des dispositifs ESP8266.

une serre. Le capteur distant GoNotify est équipé avec un capteur DHT12 pour mesurer l'humidité relative de l'air et la température. Un autre capteur vérifie l'humidité du sol pour déterminer si les plantes ont besoin d'eau (**fig. 6**). Alimentée par des batteries au lithium, cette configuration peut envoyer 400 000 relevés de capteurs, environ 200 000 avec des piles alcalines ordinaires.

La passerelle et le capteur distant ont tous deux été programmés avec un croquis Arduino.

- Code source code pour le capteur d'humidité : <https://goo.gl/9mqLos>
- Code source pour ESP-Now : <https://goo.gl/18Qhd5>

De l'idée à l'IdO

Le dispositif GoNotify présenté ici peut être utilisé comme objet connecté pour récupérer les données d'un capteur et le surveiller en ligne, ou bien comme un simple système commandé à distance. C'est votre application qui le transformera en dispositif intelligent, capable de produire des alertes et d'accomplir des actions.

J'espère vraiment que GoNotify deviendra un véritable objet de l'internet



Figure 6. GoNotify occupé à surveiller l'humidité de l'air, la température et l'humidité du sol dans une serre.

et qu'il fera partie d'un écosystème où les données enregistrées apporteront des informations utiles. C'est là que réside la valeur ajoutée de toute idée d'IdO. Enfin, un mot de remerciement à vous tous, passionnés du code source ouvert. Beaucoup de projets à code source ouvert sont disponibles pour les microcontrôleurs ESP8266 et ATmega328PB ; sans eux, réaliser ce projet aurait été beaucoup plus difficile. N'hésitez pas à recycler mes projets pour accélérer la conception de vos propres applications. Alors chapeau bas à la communauté des *makers* ! ◀

(160333 – version française : Denis Lafourcade)

Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/160333
- [2] <https://github.com/ginodecock/V3GoNotify/>
- [3] www.elektormagazine.fr/labs/flexible-iot-sensor-interface-gonotify-1

**DANS L'E-CHOPPE**

→ 160333-1
circuit imprimé nu de GoNotify

→ 160333-41
microcontrôleur ATmega328PB avec
chargeur d'amorce



programmeur MiniPro TL866A

multifonctionnel et abordable



Aujourd'hui la plupart des microcontrôleurs équipés de mémoire flash prennent en charge eux-mêmes leur programmation in situ. Mais il n'est pas si loin le temps où tout amateur d'électronique rêvait d'un appareil universel capable de programmer les (E)PROM, GAL et microcontrôleurs, quel que soit leur modèle... Maintenant, avec le MiniPro TL866A, vous avez la panacée à la maison pour un prix très raisonnable !

Luc Lemmens (labo d'Elektor)

De nos jours, une interface bon marché branchée sur le port USB du PC permet de programmer de nombreux composants. La première question à se poser : un tel programmeur universel est-il toujours nécessaire ?

Sur beaucoup de cartes, le connecteur de programmation série *in situ* ICSP (*In Circuit Serial Programming*) pose plus de pro-

blèmes qu'il n'en résout. Il n'est pas rare non plus qu'il soit omis délibérément ou purement et simplement oublié. D'autant qu'il ne permet pas certains réglages (dont les fusibles) des microcontrôleurs. Le programmeur MiniPro TL866A de la société chinoise XG Autoelectric [1], outre le support DIL à force d'insertion nulle (ZIF) standard à 2×20 contacts, dispose aussi d'un connecteur ICSP et peut remplacer le PICKit de Microchip et l'AVRISP d'Atmel. Il est largement capable de programmer 14 000 circuits différents, depuis les microcontrôleurs les plus

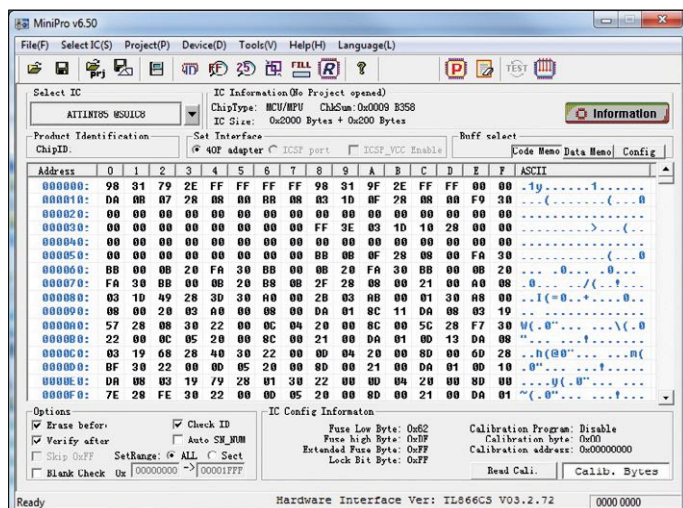


Figure 1. Le logiciel Windows du programmeur MiniPro TL866A.

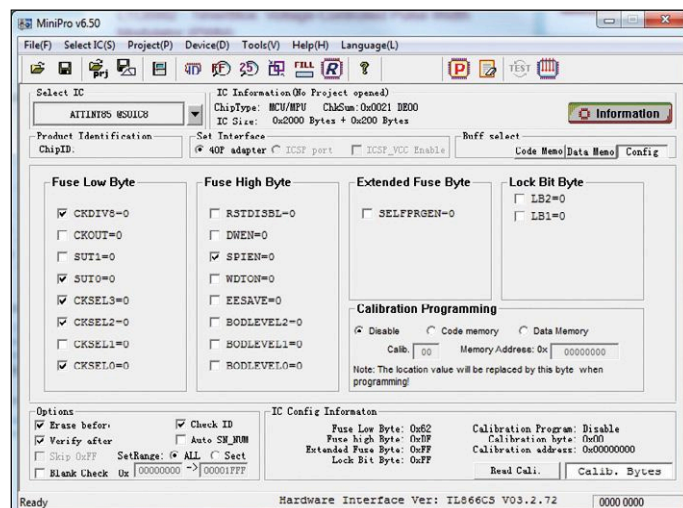


Figure 2. Le réglage des bits des fusibles.

récents jusqu'aux archaïques (E)PROM. Il permet en outre de tester le fonctionnement des circuits intégrés logiques CMOS et TTL ainsi que des mémoires DRAM et SRAM.

Logiciel

Le logiciel Windows qui l'accompagne a un peu l'air désuet, il faut parfois chercher où se trouvent certaines fonctions, mais il remplit correctement son office. Une fonction intéressante est la prise en charge, en plus du code du programme, des fichiers de bits de configuration du microcontrôleur.

Lors de mes débuts en programmation avec le TL866A, j'achoppais sur le réglage des fusibles (les bits de configuration) de l'ATtiny85. Manifestement, il y a de quoi s'interroger sur la signification des coches à marquer. Quand indiquent-elles si cette option est validée ou non ? Le bit se mettra-t-il à 1 ou à 0 ? Sur l'un des bits, c'était exactement le contraire de ce que nous connaissions au laboratoire avec le programmeur Elneec. Heureusement, dans le logiciel du MiniPro, on peut voir finalement les mots de configuration au format hexadécimal et ils correspondaient *stricto sensu* à la fiche technique d'Atmel. En cas de doute, voilà le moyen de savoir.

Dans la communauté Wiki du MiniPro TL866 [2], on trouve aussi un logiciel Linux pour ce programmeur, ainsi que d'autres informations sur son emploi.

Tout est fourni

Les microcontrôleurs d'Atmel et de Microchip peuvent donc aussi être programmés via le connecteur ICSP du TL866A. Pour Microchip, il y a un petit câble compatible broche à broche avec le connecteur PICKIT standard. Pour les connecteurs AVR ISP à 6 ou 10 contacts d'Atmel, il faut se fabriquer un câble adaptateur.

Le programmeur est alimenté à l'aide du câble USB fourni. L'ensemble actuellement disponible dans l'e-choppe contient six adaptateurs pour les puces en boîtiers PLCC et SO, un extracteur de composants PLCC, des brucelles antistatiques et un câble ICSP.

Restez prudent : ce programmeur convient parfaitement

au développement de prototypes à l'usage des amateurs. En revanche, comme aucun des algorithmes de programmation n'est certifié, pour la production commerciale, il faut chercher un modèle professionnel certifié.

En conclusion, le programmeur MiniPro TL866A est chaleureusement recommandé, déjà à cause de son prix, mais aussi pour ses possibilités et les accessoires fournis !

(160355 – version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] www.autoelectric.cn/en/TL866_main.html
- [2] <http://minipro.txt.si>

le TL866A prend en charge plus de 14 000 circuits différents

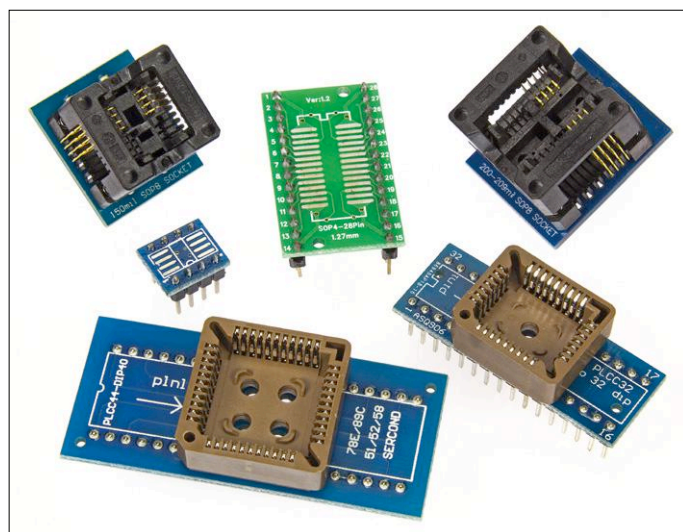


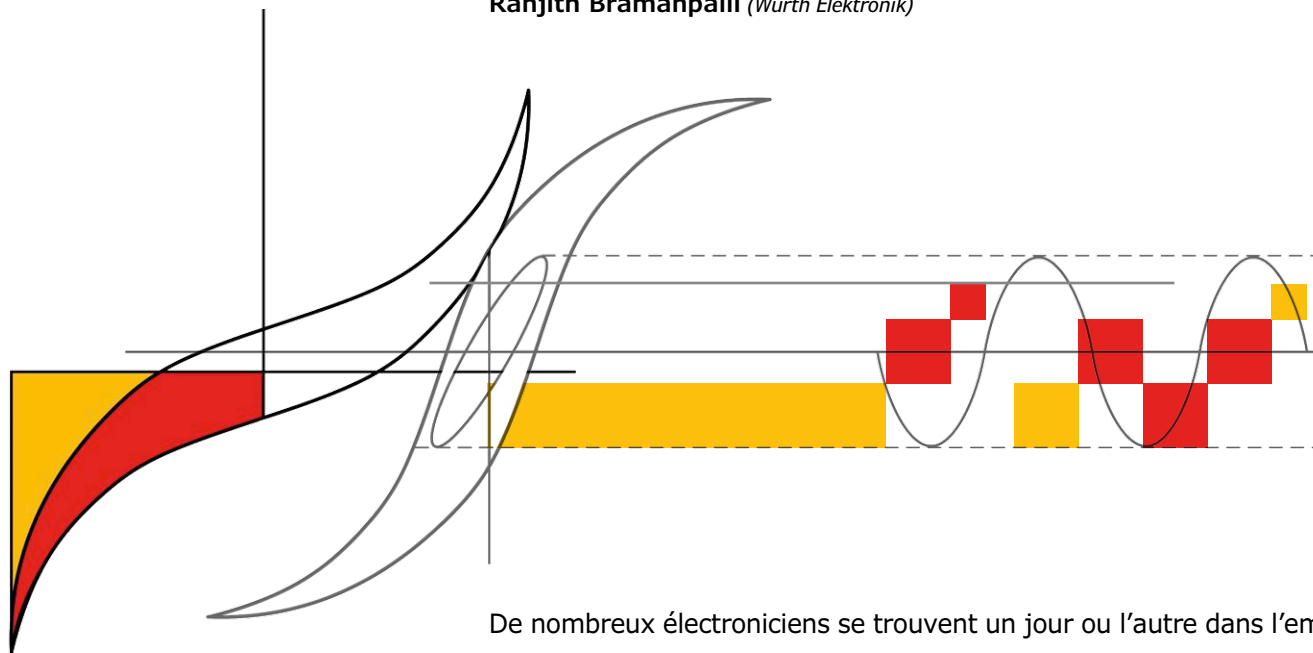
Figure 3. Le programmeur est livré avec six adaptateurs pour les puces en boîtiers PLCC et SO.

REDEXPERT :

simulateur pour composants inductifs

calcul et choix des inductances, calcul des pertes

Ranjith Bramanpalli (Würth Elektronik)



De nombreux électroniciens se trouvent un jour ou l'autre dans l'embarras pour réaliser une alimentation à découpage. Aujourd'hui, ce n'est plus un problème, car dans presque tous les cas, il existe un circuit intégré adéquat et son constructeur fournit une aide à la conception et une simulation en ligne. Mais pour les inductances que l'on considère toujours avec respect eu égard à leur complexité, c'est plus difficile... Mais plus maintenant, car nous disposons désormais de *REDEXPERT*, l'outil en ligne de Würth Elektronik eiSos, le spécialiste des composants inductifs.

Dans les circuits à découpage, la plupart des pertes interviennent dans les semi-conducteurs de puissance et les inductances. Les pertes des inductances se produisent dans le noyau et dans les enroulements. La détermination exacte de ces pertes est plus cruciale que jamais pour la fiabilité des systèmes à rendement élevé. Pour estimer les pertes du noyau dans les alimentations à découpage, les mesures peuvent être complexes sans toutefois garantir que les estimations seront pertinentes pour une application spécifique. Au début, les pertes du noyau étaient calculées à l'aide de l'équation de Steinmetz [1] ou d'équations dérivées. Ces équations ne sont cependant fiables que dans des

conditions données et pour certains matériaux. C'est pourquoi Würth Elektronik eiSos a développé un nouveau modèle qui reflète mieux l'état actuel de la technique et permet de déterminer avec précision et efficacité les pertes des noyaux. Le nouvel outil *REDEXPERT* [2] exploite ce modèle.

Accumulation d'énergie dans les inductances

Dans les alimentations à découpage, la bobine de stockage emmagasine l'énergie sous forme de champ magnétique pendant la phase de conduction du régulateur et la restitue pendant la phase de coupure. La bobine de stockage est constituée d'un fil de cuivre bobiné sur un noyau

avec des caractéristiques magnétiques déterminées. Si l'on soumet la bobine à une force magnétomotrice, cela induit un flux magnétique $\Phi(t)$ qui varie avec le temps. En tout point, la densité de flux magnétique B est proportionnelle au champ magnétique H .

$$B(t) = \mu_r \mu_o H(t)$$

Avec : B = densité de flux magnétique (Φ/A), μ_r = perméabilité magnétique du matériau, μ_o = perméabilité magnétique de l'air et H = champ magnétique.

La bobine est enroulée sur le noyau ou bien disposée à l'intérieur. Le noyau comprend un entrefer, pour pouvoir utiliser efficacement le champ

magnétique. En général, le noyau est constitué d'une ferrite ferromagnétique qui présente une perméabilité considérablement plus élevée que celle de l'air. En raison de la disposition en série de la forte résistance de l'entrefer avec la faible résistance de la ferrite, la plus grande partie de l'énergie est concentrée dans l'entrefer.

Les bobines fonctionnent selon les lois d'Ampère et de Faraday. La loi d'Ampère stipule que le courant de la bobine induit un champ magnétique dans le noyau. En première approximation, on admet que le champ magnétique du noyau est réparti

$$B_{pk} = \frac{L}{N \times A_c} \times \frac{di}{dt}$$

Les bobines couplées (comme dans les convertisseurs à oscillateur bloqué) sont assimilables à une bobine à plusieurs enroulements. Ces enroulements sont plus complexes, mais cela ne change rien aux propriétés du noyau.

Pertes d'énergie

Les pertes se produisent dans les enroulements et dans le noyau.

Pertes des enroulements

Les pertes des enroulements sont la

aimants élémentaires produisent des pertes, car dans la phase de coupure ils ne retournent pas tous d'eux-mêmes au repos, mais ont besoin d'une certaine énergie pour le faire.

En utilisant les lois d'Ampère et de Faraday, on peut exprimer l'énergie E du noyau comme suit :

$$E = \int H dB$$

La perte d'énergie dans le noyau se déduit de la surface de la zone intérieure de la courbe BH, multipliée par le volume du noyau. La perte de puissance correspond au produit de E par la fréquence de découpage.

Cette expression est valable à condition que le noyau ne soit pas saturé par le cycle et que la fréquence de découpage reste dans un domaine approprié (linéaire) de fonctionnement. La zone rouge de la figure 1 représente la perte d'énergie. Plus la courbe d'hystérésis est parcourue souvent, plus les pertes sont élevées. À cet égard, les pertes par hystérésis dépendent directement de la fréquence.

La seconde forme de pertes imputables au noyau provient des courants de Foucault induits par la variation temporelle du flux dans le noyau.

$$\frac{d\Phi}{dt}$$

La variation d'un flux magnétique induit un courant qui à son tour produit un flux magnétique qui s'oppose à la variation du flux magnétique inducteur initial. Ces courants de Foucault circulent dans le matériau conducteur du noyau et causent une perte énergétique égale à $I^2 \times R$.

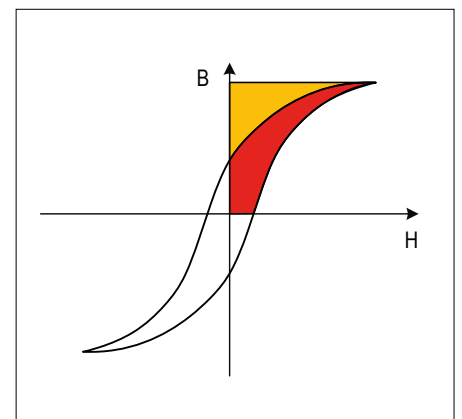


Figure 1. Courbe BH type.

► Simulation d'inductances

uniformément sur toute sa longueur (l_e). Cela permet de reformuler la loi d'Ampère comme suit :

$$H \times l_e = N \times I$$

Avec : N = nombre de spires de la bobine autour du noyau et I = courant à travers la bobine.

D'après la loi de Faraday, la tension aux bornes de la bobine est la suivante :

$$U(t) = N \times \frac{d\Phi}{dt} \text{ (soit) } U = L \times \frac{di}{dt}$$

Ces équations permettent de calculer l'inductance comme suit :

$$L = \mu \frac{A_c n^2}{l_e}$$

Avec : A_c = section du noyau.

Comme les ferrites ont une perméabilité élevée, et par conséquent une faible résistance magnétique, elles constituent le chemin préférentiel du flux magnétique. Cela maintient le flux dans le noyau de la bobine et permet de fabriquer des bobines d'inductance élevée dans un faible volume. Cet avantage se déduit également de l'équation de l'inductance ci-dessus : le matériau du noyau à haute perméabilité permet d'adopter une faible section.

Dans les alimentations à découpage, la densité maximale de flux magnétique se calcule comme suit :

conséquence de leur résistance en courant continu R_{DC} , ainsi que de l'effet de peau et de l'effet de proximité. Les pertes dues à R_{DC} se calculent approximativement comme suit :

$$P = I^2 \times R_{DC}$$

Les pertes dues aux effets de peau et de proximité sont interprétées comme une résistance en courant alternatif R_{AC} de l'enroulement, laquelle dépend en premier lieu de la fréquence. Il existe quelques méthodes de détermination de ces effets dans les composants magnétiques. Cependant la détermination approchée s'avère complexe, il y a par ex. la méthode Dowell.

Pertes du noyau

Pour les déterminer, il faut mesurer la densité de flux magnétique B pendant que l'on augmente le champ magnétique H . Le rapport entre B et H n'est pas linéaire et montre une hystérésis. Elle représente l'une des caractéristiques du matériau du noyau qui induisent les pertes dans ce dernier. La **figure 1** montre une courbe BH type pour une excitation sinusoïdale du noyau.

La perte d'énergie d'un cycle de découpage dans le noyau correspond à la différence entre l'énergie apportée à ce dernier pendant la phase de conduction et l'énergie restituée par le noyau pendant la phase de coupure. Les

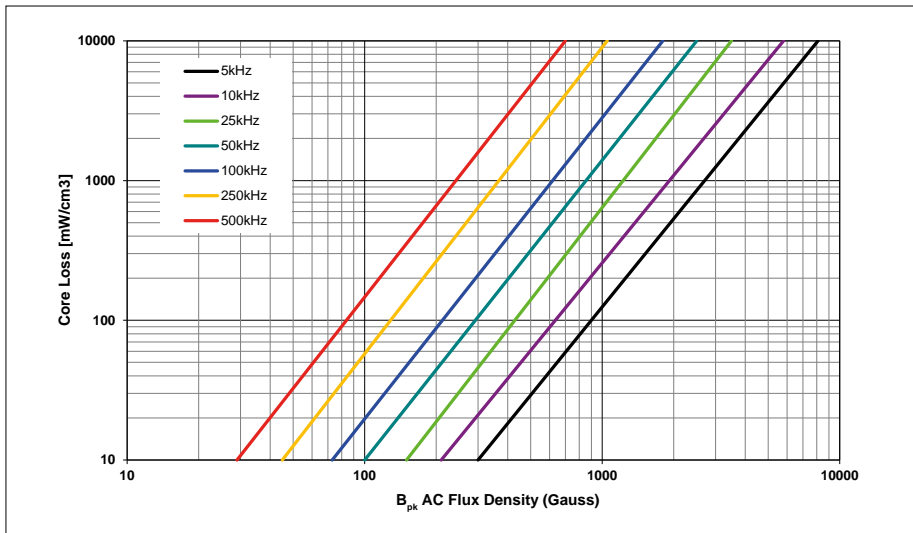


Figure 2. Diagramme de pertes du noyau suivant la densité maximale de flux magnétique à différentes fréquences.

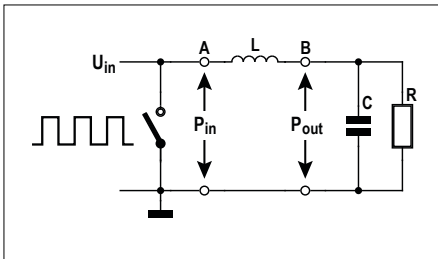


Figure 3. Schéma de principe du convertisseur CC-CC pour la détermination des pertes.

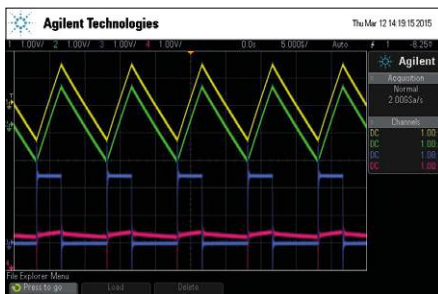


Figure 4. Cliché de l'oscillogramme du schéma de la figure 3.

Détermination des pertes

Au départ, les pertes du noyau étaient calculées au moyen de l'équation connue sous le nom d'équation de *Steinmetz* :

$$P_v = K \times f^\alpha \times B_{pk}^\beta$$

Avec : P_v = pertes du noyau (hystérésis et courants de Foucault) par unité de volume, f = fréquence, B_{pk} = densité max. de flux pour une excitation

sinusoïdale ainsi que K , α et β = des constantes déduites de la **figure 2**.

Les courbes de la figure 2 montrent les pertes combinées par hystérésis et courants de Foucault. La mesure des pertes du noyau est difficile, car elle exige un dispositif de mesure complexe pour les densités de flux et en outre, une estimation de la surface de la courbe d'hystérésis. Pour relever ces courbes, on produit une excitation sinusoïdale sur le noyau fermé avec un ou deux enroulements comportant chacun une spire. Ensuite un nombre considérable de données sont produites pour construire le diagramme de pertes. Les constantes sont déduites de la figure 2.

L'inconvénient principal de l'équation de *Steinmetz* est qu'elle ne s'applique qu'à une excitation sinusoïdale. Dans les applications de l'électronique de puissance, les flux magnétiques sont généralement tout sauf sinusoïdaux. Il existe en effet des modèles qui tentent de contourner ce problème en séparant les pertes par hystérésis et par courants de Foucault, mais la relation empirique de *Steinmetz* reste une variante utile. Pour une excitation magnétique sinusoïdale, elle offre une grande précision et reste simple d'emploi. C'est pourquoi elle a autrefois été étendue pour pouvoir l'utiliser même lorsque le flux magnétique ne suit pas une loi sinusoïdale.

Depuis un certain temps, l'extension dite MSE (*Modified Steinmetz Equation* [3]) est utilisée :

$$P_v = \left(K \times f_{eq}^{\alpha-1} \times B_{pk}^\beta \right) \times f$$

$$\text{Avec : } f_{eq} = \frac{f}{2\pi \times (DC - DC^2)}$$

f_{eq} = fréquence équivalente relative à la modification du rapport cyclique pour les courbes non sinusoïdales.

En raison des inconvénients inhérents à la version MSE, une généralisation dénommée GSE (*Generalized Steinmetz Equation*) a été développée. Elle se présente ainsi :

$$P_v = \left(K \times f_{eq}^\alpha \times B_{eq}^\beta \right)$$

$$\text{Avec : } B_{eq} = \frac{1}{4} \int_0^T \left| \frac{dB}{dt} \right| dt$$

Les diagrammes de pertes du noyau des versions GSE comme MSE sont basés sur une excitation sinusoïdale. Cela implique des limitations traitées plus loin ci-dessous. Il existe également toute une série de modèles alternatifs, optimisés par les fabricants sur leurs propres noyaux. Les **inconvénients des modèles Steinmetz** sont listés dans un encadré particulier.

Le modèle de pertes en alternatif de Würth Elektronik

Würth Elektronik eiSos a développé un modèle très moderne qui permet de choisir les inductances avec une grande précision et d'optimiser le découpage. Ce modèle est basé sur des données empiriques provenant de mesures effectuées sur des dispositifs réels.

Ce modèle calcule les pertes totales de l'inductance décomposées en courant alternatif (contrôle magnétique de la bobine et du noyau) et en courant continu (courant continu dans l'enroulement).

Les données sont acquises sur un convertisseur CC-CC comme celui de la **figure 3**. L'inductance est pilotée par une tension impulsionnelle ; la puissance d'entrée P_{in} ainsi que celle de sortie P_{out} sont mesurées. Cela permet d'estimer la puissance perdue $P_{Loss} = P_{in} - P_{out}$. Les pertes en alternatif P_{AC} de la bobine sont ensuite séparées. Cette procédure est répétée pour différents jeux de paramètres en faisant varier la modulation magnétique, la fréquence, le niveau de l'ondulation résiduelle, etc. Le modèle de calcul des pertes en courant alternatif est élaboré à l'aide des données mesurées :

$$P_{AC} = f(\Delta I, freq, DC, k1, k2)$$

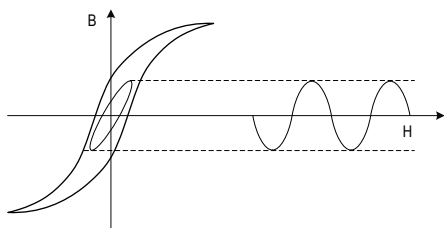


Figure 5. Modélisation complète du signal pour l'équation de *Steinmetz* et ses extensions.

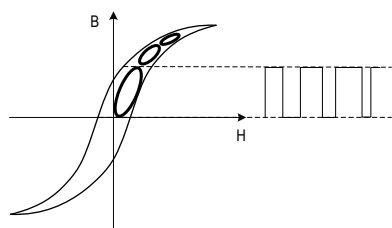


Figure 6. Modélisation du signal avec la méthode des boucles auxiliaires de *Würth*.

Les courbes d'hystérésis que l'on trouve dans les fiches techniques des matériaux types de noyaux représentent la modulation magnétique du noyau au moyen d'un signal sinusoïdal du + vers le -. La courbe d'hystérésis matérialise la perte d'énergie représentée sur la **figure 5**. Cette approche est la même que celle utilisée pour élaborer les données empiriques afin de construire le diagramme de pertes du noyau de la figure 2.

Cependant, dans une application avec une alimentation à découpage, le noyau est piloté par un signal rectangulaire nettement plus petit avec une densité de flux maximale qui se restreint à une courbe d'hystérésis (représentant les pertes du noyau) plus petite (**figure 6**). Les pertes dépendent de la fréquence à laquelle la boucle d'hystérésis est parcourue. À cet égard, les pertes par hystérésis sont en effet directement proportionnelles à la fréquence. La courbe d'hystérésis change de forme en fonction de la forme d'onde, du courant/de la tension appliqués et de la température. Ces variations rendent une prédiction exacte des pertes du noyau particulièrement difficile. La courbe d'hystérésis plus petite dépend de la tension aux bornes de la bobine.

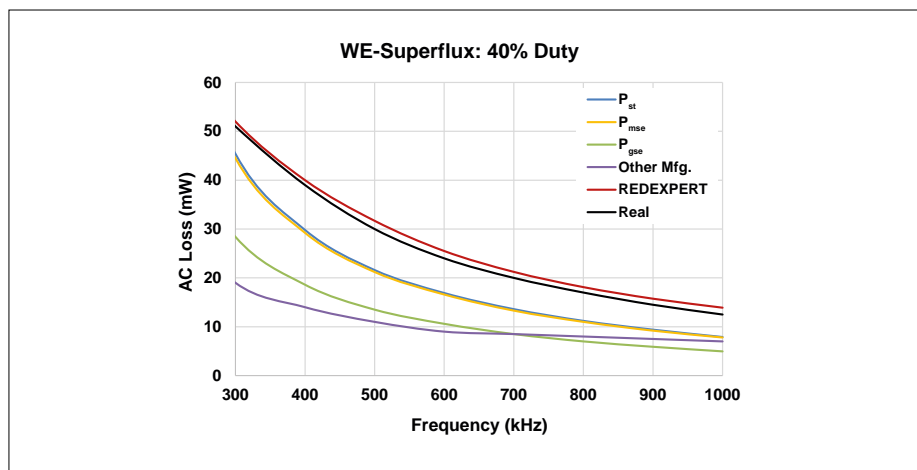


Figure 7. Noyau en *WE-Superflux* avec un rapport cyclique de 40 %.

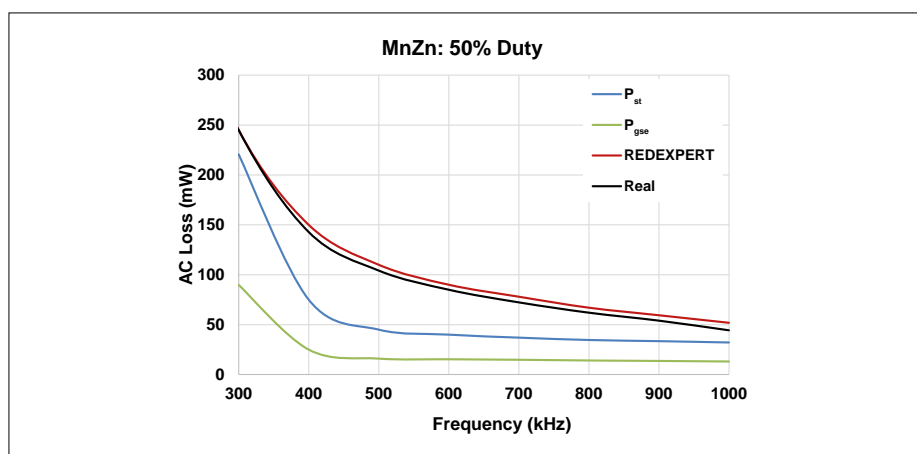


Figure 8. Noyau en *MnZn* avec un rapport cyclique de 50 %.

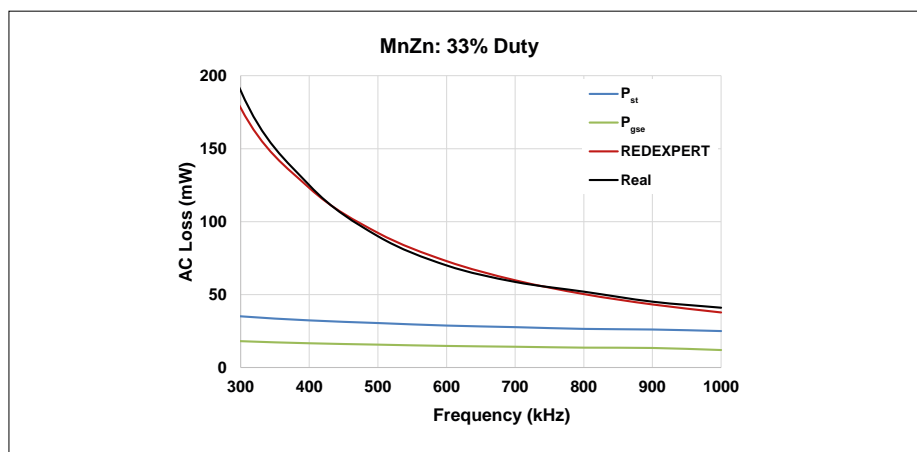


Figure 9. Noyau en *MnZn* avec un rapport cyclique de 33 %.

Cette courbe d'hystérésis plus petite est utilisée précisément au point de fonctionnement pour élaborer les données empiriques du modèle de pertes en alternatif de *Würth*. Cette approche s'est révélée robuste et précise pour de

vastes gammes de paramètres tels que la fréquence, le niveau de l'ondulation résiduelle et le rapport cyclique. Les **avantages du modèle de pertes de Würth Elektronik** sont décrits dans un encadré séparé.

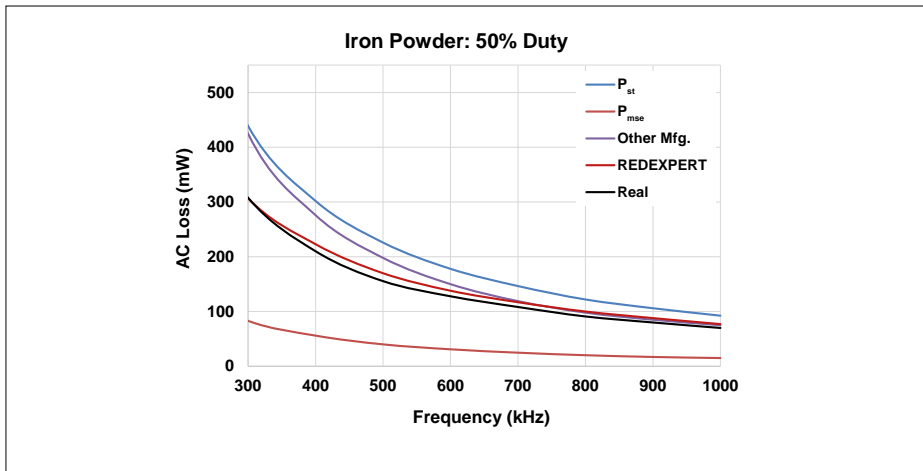


Figure 10. Noyau en poudre de fer avec un rapport cyclique de 50 %.

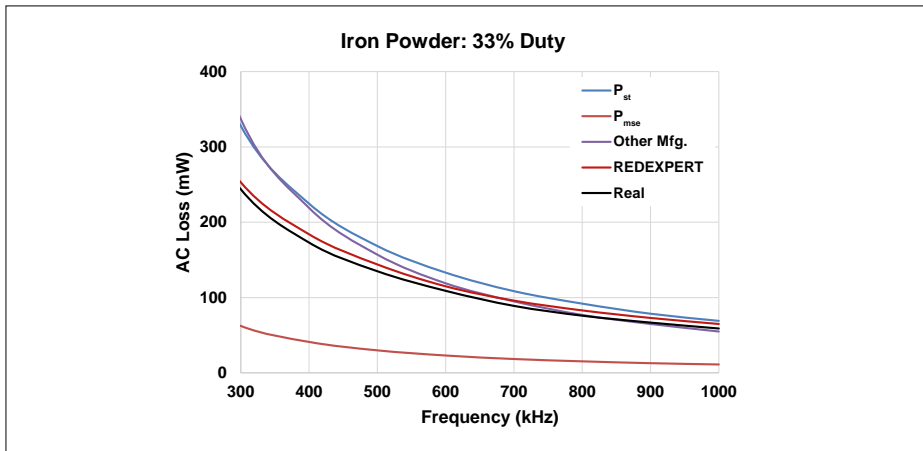


Figure 11. Noyau en poudre de fer avec un rapport cyclique de 33 %.



Figure 12. Copie d'écran de l'outil en ligne REDEXPERT.

Le modèle de Würth Elektronik a été abondamment validé empiriquement et confronté aux données des modèles existants et des mesures réalisées. Nous avons mesuré les pertes en alternatif pour différents matériaux comme le

WE-Superflux, la poudre de fer, NiZn, MnZn etc. dans de vastes gammes de rapports cycliques et de fréquence et nous les avons comparées aux modèles théoriques (figures 7 à 11). Sur ces graphiques, les courbes P_{st} , P_{mse} et

P_{gse} correspondent respectivement aux modèles des équations Steinmetz, Steinmetz modifiée et Steinmetz généralisée. REDEXPERT représente la perte en alternatif d'après le modèle de pertes en CA de Würth et Real la perte en CA mesurée.

Estimation des pertes avec REDEXPERT

REDEXPERT est le nouvel outil en ligne de Würth Elektronik pour choisir et simuler les inductances. Il permet de sélectionner une inductance de stockage appropriée très simplement. Il s'agit d'un outil simple à utiliser et efficace (fig. 12) qui permet de comparer et sélectionner très rapidement les inductances. Pour commencer, il faut saisir les paramètres d'entrée et de sortie de la topologie souhaitée. Ensuite REDEXPERT calcule la valeur de l'inductance et sélectionne plusieurs composants adaptés.

Comme Würth Elektronik propose une gamme étendue d'inductances pour toutes les applications possibles, chacun trouvera en pratique la self adaptée après avoir indiqué les paramètres d'utilisation. Les calculs habituellement complexes, mais cruciaux des pertes en CA d'une inductance sont considérablement simplifiés par REDEXPERT grâce au modèle précis de pertes en CA intégré. En raison du calcul exact de la totalité des pertes en CA, cet outil convient également pour estimer la température.

La figure 13 montre par exemple un convertisseur abaisseur. La tension d'entrée s'étend de 8 à 12 V et la tension de sortie est de 5 V. Les autres paramètres sont la fréquence de découpage, 800 kHz ; le niveau de l'ondulation résiduelle, 40 % et le courant de sortie, 1 A. Pour ces valeurs, REDEXPERT calcule l'inductance optimale L_{opt} de 9,6 μ H, une durée de conduction de 550 ns et un rapport cyclique de 0,44. À ce stade, pour cet exemple, le choix porte sur plus de 200 produits. Si on souhaite une bobine de stockage de très petite taille et à faibles pertes, il convient de choisir un modèle de la série WE-MAPI.

Actuellement, REDEXPERT prend trois topologies en charge : convertisseur élévateur, abaisseur et SEPIC. En outre, il y a un calculateur de pertes qui calcule les pertes dans les bobines de stockage indépendamment de la topologie. Comme REDEXPERT est un outil en ligne, il n'y a rien à télécharger

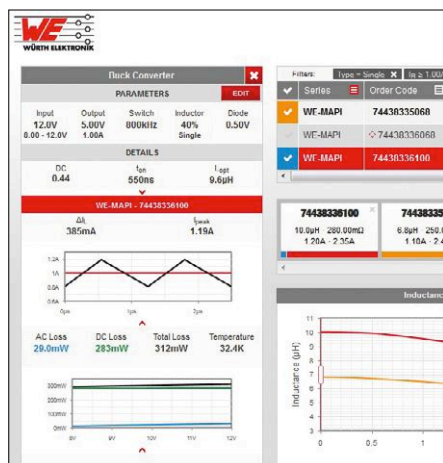


Figure 13. Exemple avec convertisseur abaisseur.

ni à installer, et la version la plus récente est toujours utilisée.

Résumé

Le modèle de pertes en courant alternatif de Würth Elektronik est un modèle exact et professionnel de détermination des pertes en courant alternatif. Il a été validé empiriquement sur de vastes gammes de paramètres tels que la fréquence, le niveau de l'ondulation résiduelle et le rapport cyclique et a démontré sa robustesse. Comme ce modèle de pertes en CA est exploité par REDEXPERT, il n'est pas nécessaire d'en passer par les diagrammes de pertes des noyaux. REDEXPERT est un outil en ligne de calcul des composants inductifs pour les régulateurs à découpage et de ce fait un complément idéal des outils similaires des fabricants de circuits intégrés de régulation à découpage. ◀

(160340 – version française : Yves Georges)

Inconvénients du modèle de Steinmetz

- Dépendance vis-à-vis des données empiriques du fabricant du noyau : pour les diagrammes de pertes des noyaux, il faut travailler avec les données du fabricant du noyau. Les fabricants de composants passifs n'ont aucune influence sur le dispositif d'essai.
- Précision médiocre avec des formes d'onde rectangulaires ou triangulaires, car les diagrammes de pertes des noyaux sont basés sur des données recueillies avec une excitation sinusoïdale.
- En raison d'erreurs de conversion des paramètres, le modèle de Steinmetz étendu ne fonctionne correctement qu'avec un rapport cyclique de 50 % et sur une plage de fréquence limitée.
- Il existe des limitations sur les composants fabriqués à partir de certains matériaux ou provenant de certains fabricants.
- En raison de la grande complexité de l'estimation de la longueur d'un circuit magnétique, l'estimation des pertes du noyau au moyen des modèles existants pour la poudre de fer et les alliages métalliques est non seulement très difficile, mais aussi très aléatoire.
- La variation de la densité de flux magnétique engendre aussi des pertes dans les enroulements par effets de peau et de proximité. Les approches décrites ci-dessus ne tiennent pas compte des pertes dans les enroulements.
- Il n'est pas possible d'estimer les pertes pour les composants constitués de différents matériaux.
- Grande complexité des dispositifs nécessaires pour relever des données empiriques d'une précision suffisante.

Avantages du modèle de pertes de Würth Elektronik

- Comme les données empiriques sont acquises en temps réel en faisant varier les paramètres, la détermination exacte des pertes est obtenue pour tous les rapports cycliques voulus.
- Le modèle fonctionne avec exactitude sur une vaste gamme de fréquences (10 kHz à 10 MHz), car les constantes de l'équation énergétique ont été aussi établies pour une très vaste plage d'excitation magnétique.
- Les petites variations du matériau du noyau et de la structure des enroulements sont aussi prises en compte.
- Le modèle est aussi valable pour les noyaux intégrant plus d'un matériau.
- Permet la détermination exacte des pertes pour la poudre de fer et les nouveaux alliages métalliques.
- Valable pour des formes de noyau et des dispositions d'enroulement quelconques.
- Les pertes dans les enroulements sont calculées.

Liens & Bibliographie

- [1] Équation de Steinmetz :
<http://de.wikipedia.org/wiki/Steinmetzformel>
 « On the law of hysteresis » par Steinmetz, C.P.
 « Improved calculation of core loss with nonsinusoidal waveforms » par Jieli Li ; Abdallah, T. ; Sullivan, C.R.
- [2] REDEXPERT :
www.we-online.com/redexpert
- [3] Équation de Steinmetz étendue
 « Calculation of losses in ferro- and ferrimagnetic materials based on the modified Steinmetz equation »
 par Reinert, J. ; Brockmeyer, A. ; De Doncker, R.W.

au temps où les images voulaient parler

les films n'étaient pas vraiment muets

Peter Beil

Alors que de nos jours les effets acoustiques dans les salles de cinéma nous arracheraient presque du siège et que, grâce aux techniques sonores modernes, le plus discret chuchotement est encore parfaitement audible au dernier rang, il est intéressant de jeter un coup d'œil dans le rétroviseur pour voir comment tout cela a commencé.

Tout au début du cinéma, l'accompagnement sonore était l'œuvre d'un artiste au clavier d'un orgue (**figure 1**) ou même de tout un orchestre. Encore fallait-il que l'interprétation des musiciens corresponde de près ou de loin à l'image.

C'est en 1993 que l'ingénieur breton William Dickson, employé de Thomas Edison, a développé une combinaison du phonographe et du kinétographe pour créer le kinétoscope, présenté à l'exposition universelle de Chicago (**figure 2**). Mais l'ensemble ne fonc-

tionnait qu'avec de courtes bandes ou boucles de film.

Grinçant, mais relativement synchrone, le son sur disque

Quelle pourrait être la suite, si ce n'est l'amélioration de la technique du projecteur de film couplé à un phonographe ? Dès 1901, la société française Gaumont a fait breveter ce procédé. La première manifestation connue de liaison du son à l'image date de 1908, avec un passage de la composition de Camille Saint-Saëns joué sur disque en concordance avec le film *L'Assassinat*

du duc de Guise.

Mais le véritable avènement public du système s'est produit en 1924 avec le Vitaphone (**figure 3**) produit par la Warner Bros. Entertainment. Le disque d'alors avait un diamètre de 43 cm et 33 tours 1/3 concordaient avec la durée de projection d'une bobine de film habituelle de 300 m. Le projectionniste synchronisait le départ des deux mécanismes au moyen de repères sur le film et le disque. Tout comme sur les CD actuels, la lecture démarrait du centre. Le film le plus célèbre selon ce procédé est sorti en 1927, *Le chanteur*



Figure 1. L'orgue de cinéma Wurlitzer.

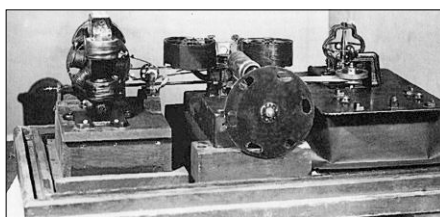


Figure 2. Le kinétoscope de Dickson.



Figure 3a. Le projecteur Vitaphone.

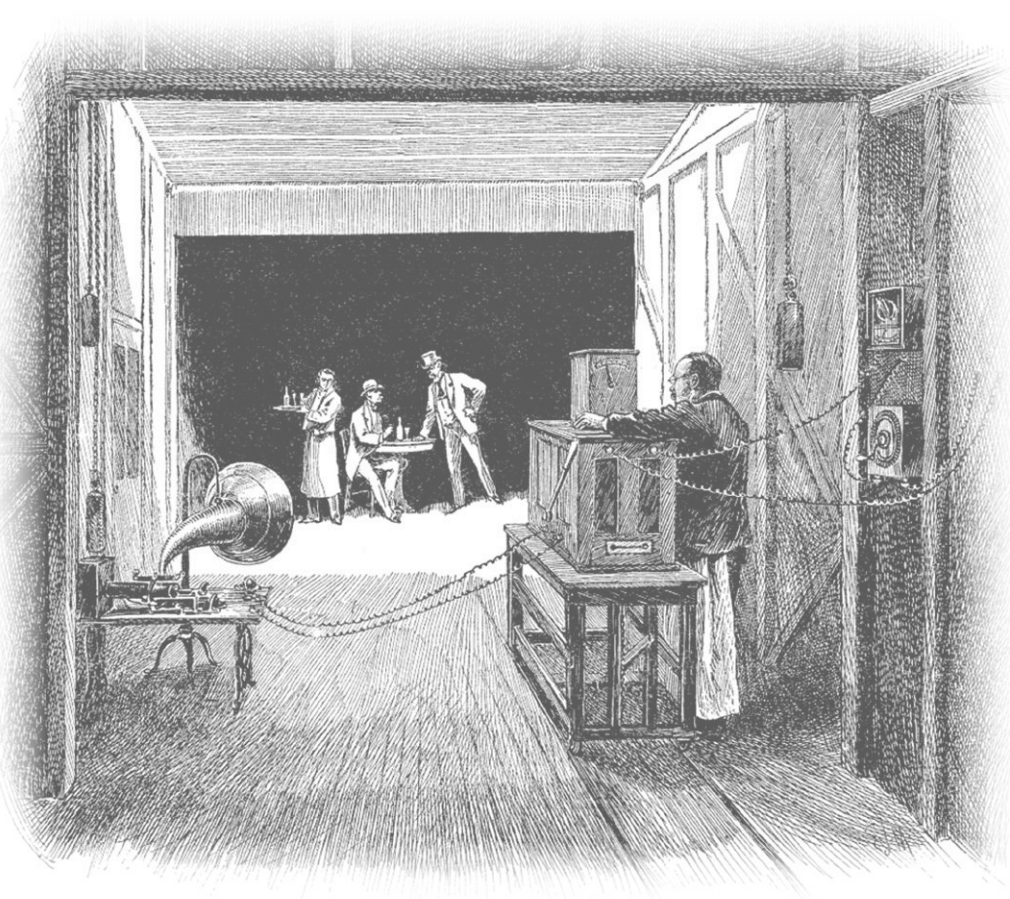


Figure 4. La première du film parlant *Le chanteur de jazz*.



Figure 5. À gauche, le film muet ; à droite, le film parlant.

de jazz (**figure 4**) qui a fait connaître Al Jolson dans le monde entier.

Faire du son avec de la lumière

Depuis des décennies, le procédé répandu dans le monde entier est le son optique. Il a inauguré la synchronisation en mariant sur le même support l'image et le son. Dans les années 1920, de nombreux inventeurs ont revendiqué sa paternité. Outre l'ingénieur polonais Józef Tykocinski-Tykociner, les ingénieurs allemands Hans Vogt, Joseph Massolle et Benedikt Engl, on compte aussi le Suédois Sven Berglund parmi les pionniers du cinéma sonore. Quand l'Américain Lee de Forest a lui aussi déposé un brevet, la guerre des brevets a débuté et a duré un an pour arriver seulement en 1930 à une « Paix des films parlants ». Le cinéma sonore était ainsi devenu un système mondialement uniformisé.

Synchronisation entre mouvement des lèvres et bande-son

La piste optique a une largeur de 2,19 mm, obtenue en réduisant la surface d'image du film le long des perforations (**figure 5**). Il y a deux

standards de base pour cela : transcrire la modulation à densité variable et largeur constante comme à la **figure 6b**, ou à largeur variable, mais densité constante (**figure 6a et c**). Une autre version répandue est celle de la **figure 6e** à multiples pointes. Comme la qualité de reproduction de la densité variable dépend des conditions du développement des négatifs et que la copie en est tributaire, on utilise principalement la double dentelure qui simplifie aussi la technique de copie. Hélas, il est apparu que souvent les fines pointes de la dentelure s'empâtaient lors d'un développement trop long, ce qui occasionnait la perte des aigus. Pour réduire le bruit produit par les surfaces blanches, avec l'Eurocord, on a ultérieurement couvert les zones blanches au moyen d'un écran noir dynamique (**figure 6d**). Il fallait procéder en courbe uniformément lisse pour éviter l'interprétation comme un son à la reproduction.

Lecteur de lumière

La piste optique est normalisée universellement à des traits de 0,018 mm d'épaisseur. Normalement, une piste étroite correspond à un son faible

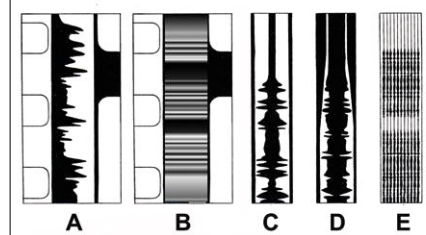


Figure 6. Les six systèmes de son optiques : A dentelé simple ; B densité variable ; C dentelé double ; D procédé Eurocord ; E dentelé multiple.

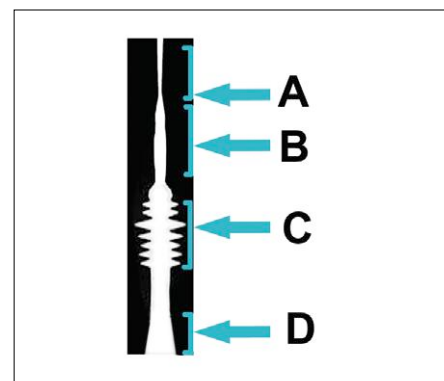


Figure 7. Définition de la largeur de piste : A faible amplitude ; D grande amplitude ; B son grave ; C son aigu.

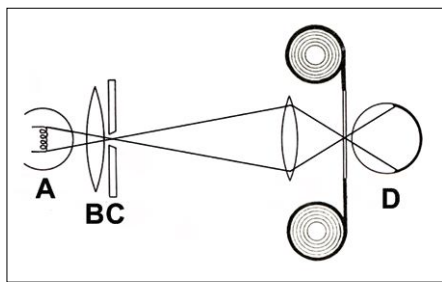


Figure 8. Composition du lecteur de son optique : A ampoule ; B collimateur à fente C et l'autre lentille ; D photocellule.



Figure 9. Lampe à incandescence.



Figure 10. Cellule photoélectrique.

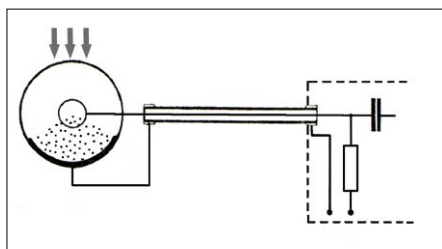


Figure 11. Schéma d'utilisation de la photocellule.

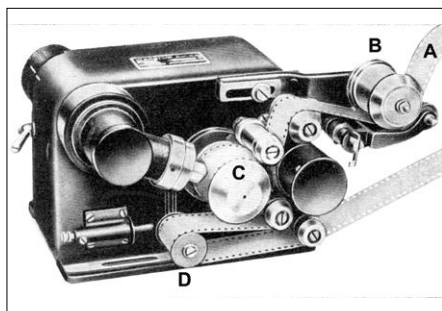


Figure 12. Lecteur de son optique Europa. A boucle du film ; B tambour de frein ; C masse d'inertie ; D rouleau de tension.

En pleine fiction

La reproduction cinématographique repose sur la persistance rétinienne de l'œil humain. Une suite rapide d'images fixes donne l'illusion du mouvement. Dans le projecteur ciné, l'entraînement saccadé de la pellicule se fait au moyen d'une croix de Malte (**figure 15**). Le disque A tourne en continu et met en mouvement la croix de Malte B par le cône D vers la phase suivante. À l'arrêt, la came C bloque le mouvement. L'image reste ainsi fixe pendant un 24^e de seconde, puis un diaphragme occulte l'image pendant que le film avance à l'image suivante. Pour dissiper l'effet de papillotement, on a choisi de projeter 24 images par seconde.

(**figure 7a**), une large piste à un haut volume (**figure 7d**). De lents changements de largeur de piste caractérisent des sons graves (**figure 7b**) ; s'ils sont rapides (**figure 7c**), c'est qu'on est dans l'aigu. Par seconde, à la cadence de 24 images, le film parcourt 456 mm. Avec la largeur de fente de 0,018 mm, on calcule un taux d'échantillonnage de :

$456 / 0,018 = 25\,361$ alternances par seconde, soit environ 12 500 Hz.

Dans des conditions optimales, on atteint une marge au bruit de 40 dB. Apparemment assez minable aujourd'hui, mais il faut se rappeler des haut-parleurs de l'époque dans d'énormes enceintes en bois, ceux à chambre de compression et la distorsion des amplificateurs à tubes pour une sonorisation acceptable.

La technique

La reproduction est basée sur un astucieux système appelé son optique qui se sert d'électronique et de mécanique (**figure 8**). La lumière de la lampe « du son » (A) est focalisée par une lentille (B) vers un diaphragme à fente (C) qui doit être parfaitement parallèle à la piste pour éviter la distorsion non linéaire. La raie lumineuse ainsi produite est alors projetée par une autre lentille précisément sur la piste son. De l'autre côté du film, la lumière frappe une photocellule (D) qui convertit l'impulsion d'intensité lumineuse en signal électrique à envoyer à un amplificateur pour rendre le son audible.

L'ampoule du son est d'un type spécial (**figure 9**) qui doit avoir un filament particulièrement stable puisqu'un gros projecteur de cinéma vibre toujours et si le filament se mettait à trembler, l'effet se superposerait au son original.

Il faut forcément alimenter la lampe en courant continu pour les mêmes raisons. Le culot comporte une encoche qui permet un échange immédiat en cas d'extinction.

La photocellule fonctionne selon le principe du tube électronique, elle est enduite de laque brun rougeâtre (**figure 10**) pour masquer la lumière environnante. L'anode se caractérise par sa forme annulaire, elle est reliée à la tension positive. Le pôle négatif est à la couche photosensible de la cathode, située en arrière. Lors de l'illumination, les électrons libérés migrent de la cathode à l'anode : il circule alors un courant électrique qui forme le signal alternatif appliqué à l'entrée de l'amplificateur (**figure 11**). La liaison s'effectue par un câble à faible capacité pour éviter de perdre des fréquences élevées. Les photocellules ont bien sûr évolué au fil du temps avant d'être supplantées par les photodiodes.

Faire de la lumière avec du son

La fabrication de la piste optique suit la même recette. Avec la densité variable, la luminosité de la source est commandée par la modulation. Pour le procédé Photophone à densité fixe, placé devant la piste, un obturateur à une ou deux lamelles suit le niveau du son, ce qui modifie la largeur d'exposition. Avec les films à contraste très élevé utilisés, autant dire qu'il n'y avait aucun gris.

Sur un film sonore, la bande-son est en avance de 20 images. Si l'on voulait analyser le son dans la fenêtre d'image, on aurait un fort crépitemment. L'entraînement du film se fait par à-coups avec phase d'arrêt sur image (cf. encadré). Pour lire le son convenablement, il faut rétablir la constance du défilement. Cela se fait dans un appareil annexe comme à la

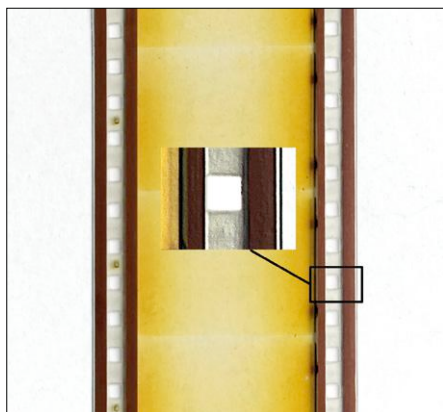


Figure 13. Film à quatre bandes magnétiques.

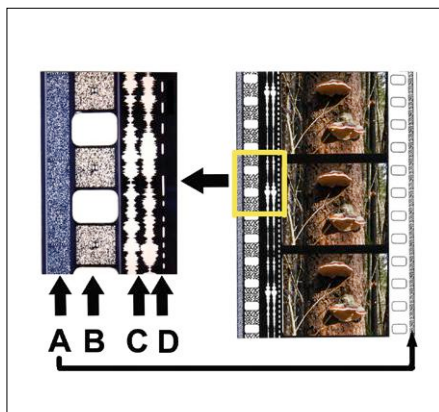


Figure 14. Arrangement des bandes-son optiques modernes. A Sony SDDS ; B Dolby SR ; C Dolby stéréo ; D code temporel (*Timecode*) pour DTS.

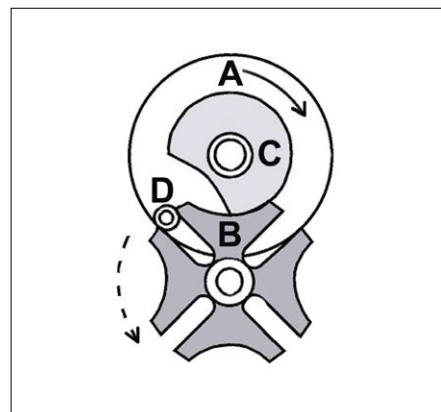


Figure 15. Entraînement par croix de Malte. A cylindre menant ; B croix de Malte sur l'axe d'entraînement ; C came de blocage ; D cône de progression.

figure 12, en formant d'abord une boucle (de Latham) de film (A) et un tambour de frein à friction (B). Ensuite une masse d'inertie (C) et un rouleau de tension élastique compensent les irrégularités restantes.

Le son en voit de toutes les couleurs

L'arrivée du film en couleur s'accompagne de soucis pour le son. Jusque-là, on n'avait pas à se préoccuper de sensibilité chromatique de la cellule. Pour arriver à un bon contraste en noir et blanc de la bande-son sur le matériau en couleur, il fallait alors user de coûteux procédés de copie. Une simplification est intervenue avec une piste son de couleur cyan, quand on a pu la lire avec un laser rouge. Comme la transformation des salles prenait trop de temps, il y a eu une période de transition avec la piste son en magenta qui fonctionne aussi bien en lumière blanche que rouge.

L'intermède du son magnétique

Le début des années 1950 a vu l'arrivée de la piste magnétique. On appliquait sur le film de 35 mm quatre pistes magnétiques pour les canaux gauche, central, droit et celui réservé aux effets (**figure 13**). Le son de ce dernier était coupé tant qu'il n'y avait pas d'événement pour réduire le bruit. Comme le film de 35 mm ne laissait pas de place pour d'autres pistes son, on a réduit la dimension des perforations pour utiliser aussi les bords du film.

Faute d'espace, le système de reproduction magnétique du son a été ins-

tallé par-dessus la fenêtre d'image, ce qui renvoie le son à une distance de 28 vues.

L'opérateur devait chaque fois refaire une démagnétisation du projecteur, les roues dentées ont dû être changées en fonction des perforations réduites et les bobines de film sont passées au plastique. À cause de tout cela, la tête magnétique s'usait beaucoup plus vite. En raison des manipulations complexes et du coût élevé de la modernisation des salles de cinéma, le son magnétique à quatre canaux est tombé dans l'oubli.

Et le son optique se rallume

Après avoir stagné une cinquantaine d'années au même niveau technique, le son optique a évolué grâce au système Dolby. À partir de 1976, la qualité du son s'est considérablement améliorée avec le standard Dolby A, qui permet avec deux pistes son de contenir les deux canaux stéréo, mais aussi un canal central et un d'effets par procédé différentiel (**figure 14c**).

Avec les avancées de la numérisation, dans les années 1990, le Dolby stéréo SR (*Spectral Recording*) est apparu sur le marché et permet actuellement la sonorisation surround avec caisson d'ultra grave comme 5.1 ou 7.1. Ces

informations de son ne peuvent trouver place qu'entre les perforations (**figure 14b**). Comme la technique numérique est aussi sensible à l'empâtement et réagit à la saleté sur les pistes, Sony a sorti en 1994 son propre système SDDS (*Sony Dynamic Digital Sound*) à huit canaux et des pistes en redondance sur les deux bords extérieurs (**figure 14a**).

Mentionnons aussi le système DTS (*Digital Theater Sound*) où le son est réparti sur jusqu'à trois CD-ROM différents, couplés au film par un code temporel, des pointillés sur le bord droit (**figure 14d**). Cela fonctionne encore malgré les accrocs ou les images manquantes. Le DTS est aussi un système multicanal avec surround.

Depuis, la technique numérique a supplanté la projection mécanique, les films optiques ne passent plus que dans des salles spécialisées. La dernière innovation au cinéma est le Dolby Almos où des haut-parleurs de plafond créent un nouveau sens de l'audition multidirectionnelle. Reste à voir ce qui va encore nous arriver... ◀

(160480 -

version française : Robert Grignard)

EST[®] 2004

www.elektor.tv

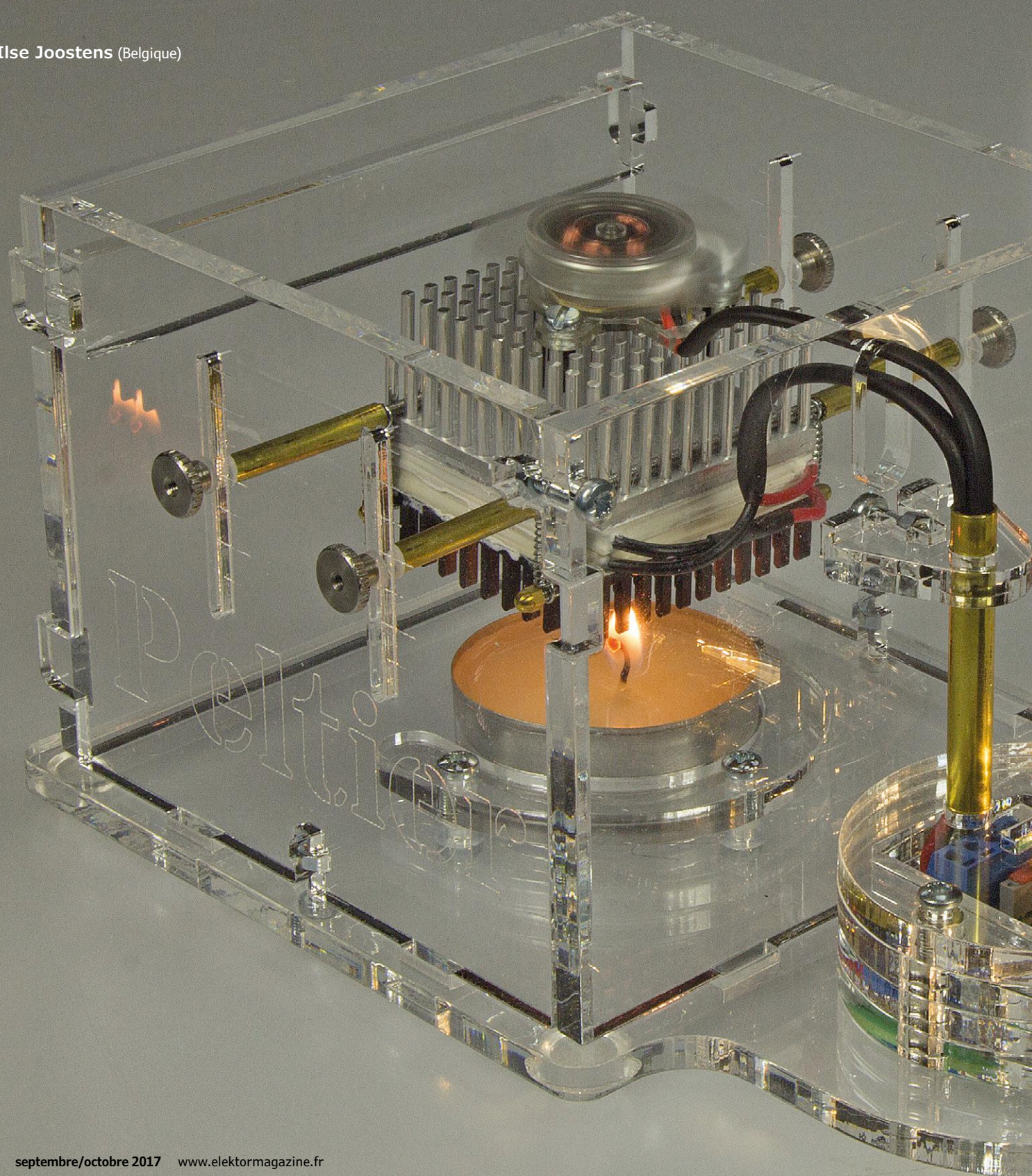


Rétronique est une rubrique mensuelle sur les pages glorieuses et jaunies de l'électronique, avec occasionnellement des montages de légende décrits dans Elektor. Si vous avez des suggestions de sujets à traiter, merci de les télégraphier à redaction@elektor.fr

Sources des images : site Edison Historical, Wikipédia (auteur inconnu), Google pictures (auteur inconnu) et photos/graphes de l'auteur. Dans la photo 3, une personne est représentée sans obtention de son consentement. L'image date des années 1920.

de la bougie

Ilse Joostens (Belgique)





aux LED

modules Peltier convertis en générateur thermoélectrique

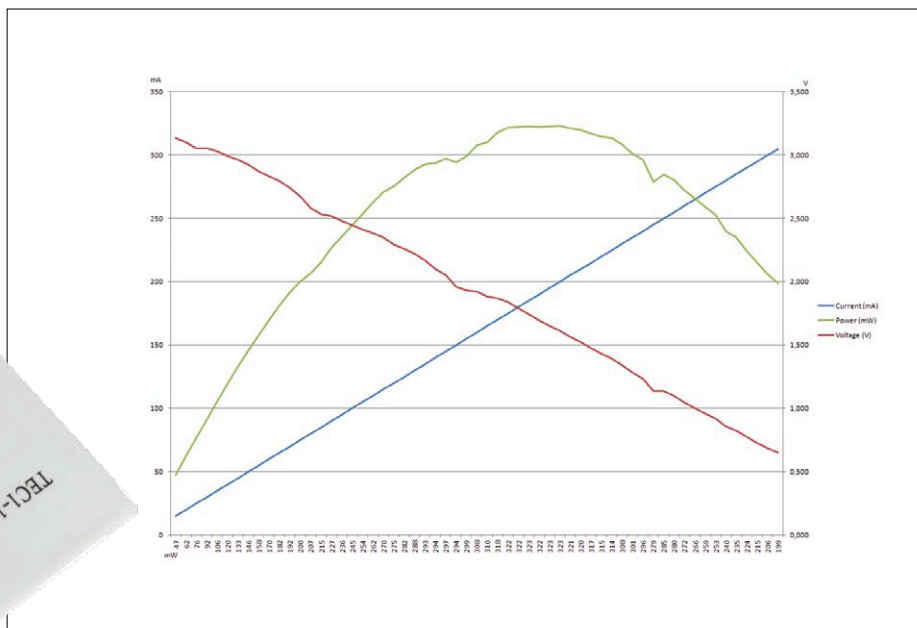
Il n'y a pas que l'Internet des Objets qui connaisse un essor fulgurant ; la recherche de sources d'énergie alternatives également, entre autres l'utilisation de divers phénomènes physiques pour produire de l'électricité. Dans ce projet, la chaleur de la flamme d'une bougie est transformée en électricité ; vous pourrez ainsi lire votre magazine préféré à la lumière non pas d'une chandelle, mais de LED alimentées par une bougie !

INFOS SUR LE PROJET

	Module Peltier source d'énergie alternative convertisseur-élevateur
	débutant → connaisseur expert
	env. 2 h
	kit, fer à souder, pince à long bec
	env. 100 €

La flamme d'une bougie moderne fournit environ 80 W, mais le flux lumineux n'est que de 0,16 lm/W. C'est dérisoire, on produit essentiellement de la chaleur, et le rendement est même cent fois inférieur à celui d'une ampoule à incandes-

Nous utilisons deux modules Peltier en série, des TEC1-12706 de $40 \times 40 \text{ mm}^2$ (**fig. 1**), pour le générateur thermoélectrique ; ceux-ci sont maintenus entre deux radiateurs par des ressorts. Le tout est placé au-dessus de la bougie de chauffe-plat, à une hauteur réglable. Le radiateur du bas, de 4 cm de côté et 1 cm de haut, a pour fonction de répartir uniformément la chaleur de la bougie sur la surface des modules Peltier. Celui du dessus, deux fois plus haut et de résistance thermique nettement inférieure, veille – avec le ventilateur – au bon refroidissement de la partie « froide » des modules.

58 septembre/octobre 2017 www.elektormagazine.fr

avec un alliage de bismuth, qui fond à 138 °C ; il est donc important de rester bien en deçà de cette température. Pour la mise au point du circuit, nous avons chargé les modules Peltier avec un potentiomètre bobiné, et nous avons mesuré la tension en fonction de la charge (graphique en **fig. 2**). Le ventilateur était alimenté par une source externe de 3,3 V, pour ne pas influencer les mesures. La flamme – la plus grande possible – était à une distance de 5 à 10 mm du radiateur du bas, ce qui a permis d'atteindre un équilibre thermique.

À vide, la tension de sortie est d'environ 3,2 V ; les modules Peltier se comportent comme une source dont la résistance interne est assez élevée – tout comme d'autres sources d'énergie alternatives, donc la tension baisse lors d'une augmentation de la charge. La puissance fournie (produit de la tension et du courant) figure également sur le graphique ; le maximum est ici d'environ 320 mW, pour une tension de sortie de 1,6 à 1,7 V. Un suivi du point maximal de puissance (SPMP – *Maximum Power Point Tracking*, *MPPT*) montre que c'est dans ces conditions que la puissance est maximale. Avec une plus petite flamme, la tension de sortie à vide est plus proche de 2,2 V, et la puissance maximale de 180 mW ; sans ventilateur, on n'obtient que 80 à 100 mW.

Le rendement théorique d'un générateur thermoélectrique est de 5 à 8% ; avec une bougie de chauffe-plat de 32 W, on devrait pouvoir obtenir 1,6 à 2,56 W. Notre circuit est moins efficace, du fait que nous ne captons pas toute la chaleur de la bougie et que les modules Peltier utilisés sont optimisés pour le refroidissement, pas pour la production d'électricité. Il existe des modules spécifiques pour être utilisés comme générateur thermoélectrique, les TEG1-... ; ils acceptent des températures plus élevées, mais ils sont beaucoup plus chers.

Le circuit

Nous avons pensé réaliser le circuit (**fig. 3**) avec des composants traversants, pour faciliter le montage. La plupart des circuits intégrés actuels ne sont cependant disponibles qu'en boîtier CMS. De plus, si nous avons opté pour des condensateurs électrolytiques plutôt que pour des condensateurs céramiques multicouches (*Multi-Layer Ceramic Capacitors*), le circuit imprimé aurait été beau-

L'effet Seebeck

Les électroniciens sont sans nul doute familiers du principe de fonctionnement d'un thermocouple. Ce qui est en revanche moins connu, c'est la thermopile, composée de thermocouples connectés en général en série ; elle est utilisée pour la mesure précise d'une différence ou d'un gradient de température. L'application la plus connue est le thermomètre sans contact (médical ou infrarouge). Les caméras thermiques n'utilisent pas de thermopile, mais bien des microbolomètres, dont le principe est complètement différent.

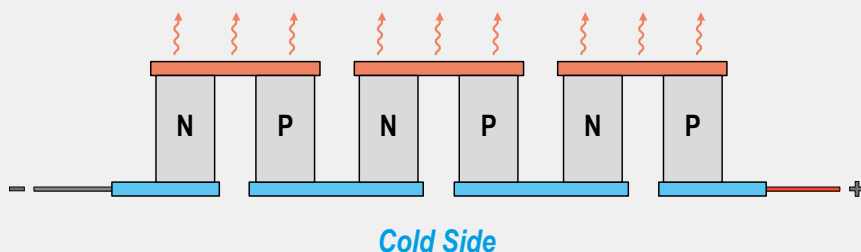
En 1821, le physicien Thomas Johann Seebeck remarqua que l'aiguille d'une boussole est déviée lorsqu'elle est placée entre deux conducteurs métalliques de natures différentes dont les jonctions ne sont pas à la même température. Il n'avait pas réalisé qu'un courant électrique circulait dans les conducteurs, et il appela sa découverte l'effet thermomagnétique. C'est le physicien Hans Christian Ørsted qui comprit le phénomène et introduisit le concept de thermoélectricité.

En 1834, le physicien Jean-Charles Peltier, qui avait été horloger jusqu'en 1815, s'aperçut que l'effet Seebeck pouvait être inversé : lorsque des métaux de natures différentes, reliés par des jonctions, sont parcourus par un courant électrique, une des jonctions devient chaude tandis que l'autre refroidit. Il a fallu attendre la moitié du 20^e siècle, et le développement des semi-conducteurs, pour que des applications pratiques de l'effet Peltier voient le jour. L'effet ne se produit pas seulement avec des métaux, mais aussi avec d'autres matériaux conducteurs comme les semi-conducteurs ; Peltier ne pouvait évidemment pas le deviner.

Un module Peltier est une pompe à chaleur constituée d'un matériau semi-conducteur, qui transmet l'énergie sous forme de chaleur d'un côté du module à l'autre, où elle est évacuée.

Le module est constitué de deux plaques d'un matériau thermoconducteur, mais isolant électrique, par exemple de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3). Entre les plaques sont placés des couples d'un matériau semi-conducteur (par ex. du tellure de bismuth) : jonctions P-N et N-P reliées entre elles par des pistes de cuivre sur les plaques en céramique. Du côté froid, le courant circule (sens conventionnel) du matériau P vers le N, et du N vers le P du côté chaud.

Le rendement des modules Peltier est très mauvais, ils sont donc essentiellement utilisés dans des applications qui ne nécessitent pas une forte capacité de refroidissement, et où l'espace disponible est limité. C'est par exemple le cas du refroidissement du capteur de certaines caméras, et bien sûr des glacières électriques.



Représentation schématique d'un module Peltier.

L'effet est réversible, et lorsque nous chauffons une face et refroidissons l'autre, de l'énergie électrique est produite. Nous obtenons un générateur thermoélectrique (*Thermoelectric Generator*, *TEG*).

Les TEG sont souvent employés comme source d'énergie des satellites ; ils ont aussi été utilisés – surtout en Russie – pour la production d'électricité dans des installations isolées sans présence permanente de personnel. La source de chaleur de ces générateurs est un isotope radioactif (plutonium-238, curium-244, ou strontium-90). Des recherches sont actuellement effectuées pour utiliser des générateurs thermoélectriques dans les véhicules (*Automotive Thermoelectric Generator*, *ATEG*) : une partie de la chaleur dégagée par le moteur est transformée en électricité pour alimenter les systèmes électriques du véhicule.

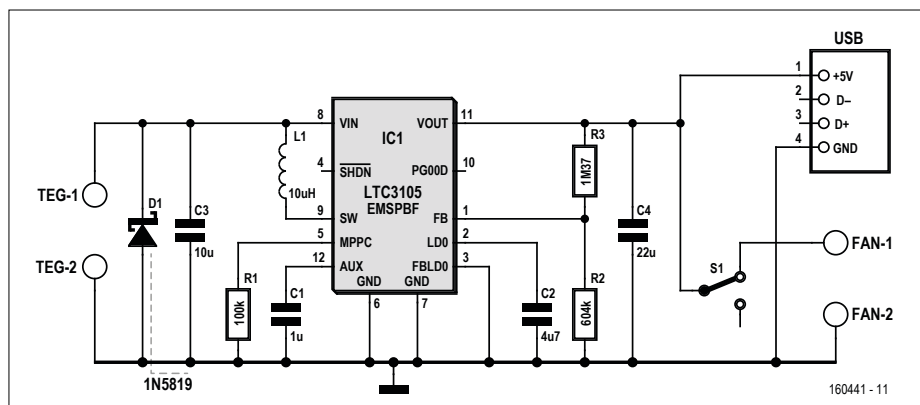


Figure 3. Un circuit imprimé minuscule suffit pour l'électronique du convertisseur.



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances (1%, 0,125 W, SMD0805)

R1 = 100 kΩ
R2 = 604 kΩ
R3 = 1,37 MΩ

Condensateurs (10 V, X7R MLCC)

C1 = 1 µF, 10 V, 0805
C2 = 4,7 µF, 10 V, 0805
C3 = 10 µF, 10 V, 0805
C4 = 22 µF, 10 V, 1206

Semi-conducteurs

D1 = 1N5819HW-7-F, SOD-123
IC1 = LTC3105EMS#PBF
TEC1, TEC2 = TEC1-12706, 40 × 40 mm²

Divers

L1 = 10 µH 850 mA, blindée, WE-MAPI (Würth 74438335100)
K1, K2 = bornier à vis à 2 pôles pour circuit imprimé, au pas de 3,5 mm
K3 = connecteur USB vertical, type A (Würth 614004185023)
S1 = interrupteur à glissière, SPDT, on-on (Würth 450301014042)
Lampe de lecture USB (par ex. Jansjö, IKEA 702.912.32)

Composants mécaniques

1× radiateur en aluminium 40 × 40 × 20 mm³, Fischer Elektronik ICK S series (Farnell 1850058)
1× radiateur en aluminium anodisé noir 40 × 40 × 10 mm³, Fischer ICK BGA series (Farnell 1850047)
2× tiges filetées M2 de 118 mm
2× tiges filetées M2 de 51 mm
4× écrous borgnes M2
4× écrous moletés M2 RVS (Fabory 51830020001)
4× ressorts d'extension Ø 0,5 mm, longueur 3,5 à 12 mm (Fabory 17902053012)
4× tubes en laiton, Ø 4 mm, épaisseur 0,5 mm, longueur 26 mm
8× rondelles M2 en nylon

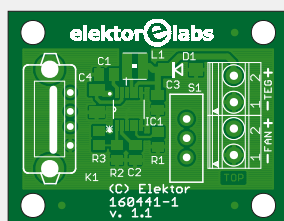


Figure 4. Le circuit imprimé à double face du convertisseur.



Figure 5. Le convertisseur monté sur son circuit imprimé.

1× ventilateur en plastique transparent, ouvert, Ø 35 mm pour carte VGA (4894462470268)
3× vis M3x6 à tête fendue ou cylindrique (M36 CSSTMCZ100)
Gaine thermorétractable, Ø 3 mm, rapport 1:2
Gaine thermorétractable, Ø 1,6 mm, rapport 1:2
1× tube de pâte thermoconductrice à base de silicone
5× pieds autocollants (TME RI-RBS-12)
14× vis M3x12 Pozidriv (DIN 7985A) en acier galvanisé
3× vis M3x16 Pozidriv (DIN 7985A) en acier galvanisé
13× écrous hexagonaux M3 en acier (DIN 934)
7× entretoises de 3 mm en polyamide
4× rondelles M3 en plastique (DIN 125A)
3× rondelles ondulées M3
1× tube en laiton, Ø 6 mm, épaisseur 0,5 mm, longueur 45 mm
2× entretoises de 15 mm, M3 F/F
Boîtier transparent en acrylate transparent extrudé de 5 mm d'épaisseur, découpé au laser

coup plus grand. Nous nous sommes donc résolus à utiliser des CMS.

Le cœur du circuit est un LTC3105, un convertisseur continu-continu élévateur synchrone qui peut délivrer 400 mA. Sa plage de tension d'entrée commence à 250 mV et il intègre un contrôle du point maximal de puissance, ce qui le rend idéal pour des sources d'énergie alternatives de forte impédance.

Nous utilisons en gros l'exemple donné dans la fiche de caractéristiques du LTC3105. Avec une valeur de 100 kΩ pour R1, le point maximal de puissance est atteint pour une tension d'environ 1 V. C'est inférieur au maximum théorique avec une grande flamme : nous perdons quelque 50 mW (270 mW au lieu de 320), mais le convertisseur démarre plus facilement à froid, lorsque nous venons d'allumer la bougie et que peu d'énergie est disponible.

Il serait possible d'ajouter un suivi du point maximal de puissance, en mesurant la température des radiateurs et en établissant une boucle de contrôle du LTC3105. Le gain serait plafonné à 20%, mais le circuit serait beaucoup plus complexe ; nous avons abandonné l'idée. Après tout, durant les 4 à 5 h que brûle une bougie de chauffe-plat ordinaire, l'intensité maximale n'est atteinte que pendant une période limitée.

Les condensateurs céramiques multicouches utilisés sont très compacts, du moins en comparaison avec des électrolytiques, avec 10 µF dans un boîtier 0805. L'inconvénient du diélectrique X7R de ces condensateurs est que leur capacité chute lors d'une augmentation de la tension à leurs bornes. On pourrait comparer cela à un vase au col effilé : plus le niveau d'eau augmente, plus la pression sur le fond du vase croît, mais on rajoute de moins en moins d'eau. L'effet n'est pas marginal : avec 3,3 V on perd déjà 20% de la capacité. Nous avons donc augmenté la valeur du condensateur de sortie C4 : 22 µF au lieu de 10. Cette valeur n'est disponible qu'en boîtier 1206.

La lampe USB choisie consomme 275 mW pour une tension de 5 V (courant de 55 mA). C'est plus que les 150 mW annoncés par la fiche de caractéristiques, et en tous cas trop pour notre générateur. Pour 3,3 V, la puissance consommée est réduite à 130 mW (courant de 39 mA) ; la luminosité chute de 30%, mais cela reste suffisant pour lire un livre. Nous avons donc réglé le convertisseur pour une tension de sortie

limitée à 3,3 V. La puissance consommée par le ventilateur alimenté sous 3 à 3,3 V est de 95 à 120 mW ; si on y ajoute la puissance nécessaire à la lampe, c'est tout juste pour le générateur. Il est à noter que la tension de sortie du convertisseur ne dépassera pas 3 V avec une petite flamme.

Un interrupteur à glissière permet de mettre le ventilateur hors circuit, c'est pratique pour disposer d'un peu plus de lumière pendant un court laps de temps lorsque la flamme de la bougie faiblit. Il y a plus d'énergie disponible pour la lampe lorsque le ventilateur ne fonctionne pas, mais ce n'est que temporaire : la différence de température entre les deux faces des modules Peltier va diminuer, et l'énergie produite aussi. Si on veut se passer du ventilateur pendant plus longtemps, il faut veiller à éviter une surchauffe des modules Peltier, et augmenter la distance entre la bougie et le radiateur du bas.

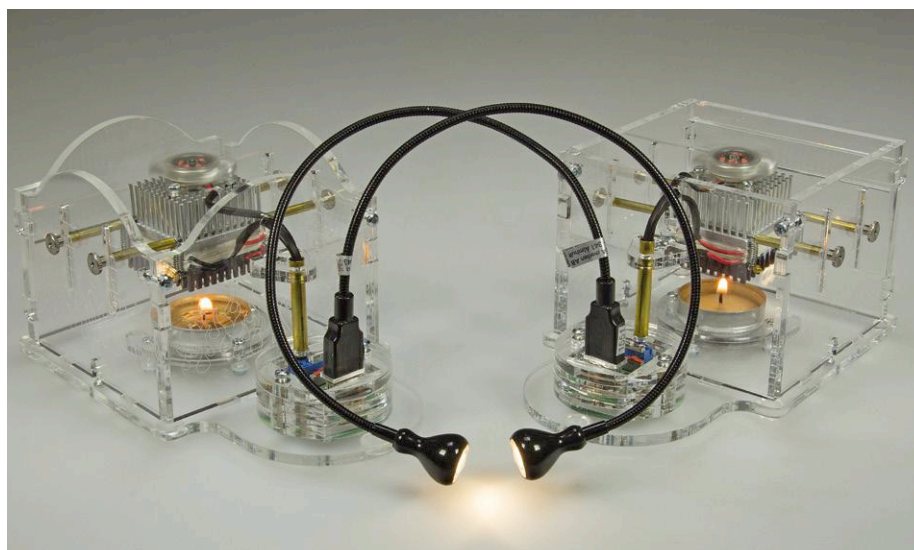
Rappelons enfin que ce générateur – même modifié pour délivrer une tension de 5 V – n'est pas apte à recharger un téléphone portable, il ne produit pas assez d'énergie. Il faudrait des jours pour recharger le téléphone, s'il est éteint ; sinon il consommerait plus que l'énergie produite par le générateur... Dans certaines vidéos de YouTube, on voit que l'indicateur de charge fonctionne, mais ça ne veut pas dire que la charge est effective !

Montage et mise en œuvre

On commence par souder le connecteur USB, l'interrupteur à glissière et les borniers à vis sur le circuit imprimé, fourni avec les CMS déjà montés (**fig. 4** et **5**). On peut tester le fonctionnement en reliant TEG+ et TEG- à une alimentation de 2 V (à la rigueur à une pile AA de 1,5 V) via une résistance de 10 Ω ; on mesurera alors aux bornes de connexion du ventilateur une tension de 3,3 V (si l'interrupteur est dans la position correcte). Entre TEG+ et TEG-, la tension sera d'au moins 1 V, cela dépend de la charge en sortie du convertisseur ; on voit que le contrôle du maximum de puissance par le LTC3105 fonctionne.

On passera alors au montage du générateur thermoélectrique. Les longues tiges filetées sont introduites avec un mouvement rotatif entre les « dents » du radiateur du dessus (**fig. 6**) ; il faut de la délicatesse, et ne pas forcer ! On place ensuite les modules Peltier sur le radia-

► La lueur romantique d'une bougie et la clarté d'une LED – une combinaison parfaite



teur, en veillant à leur orientation correcte, et en n'exagérant pas avec la pâte thermoconductrice. On poursuit avec le radiateur du bas, et on fixe temporairement le tout avec deux morceaux de bande adhésive (**fig. 7**). On termine en plaçant les deux tiges filetées courtes, les quatre ressorts à l'aide d'une pince à long bec, et les écrous borgnes (**fig. 8**). Il ne reste qu'à ôter la bande adhésive

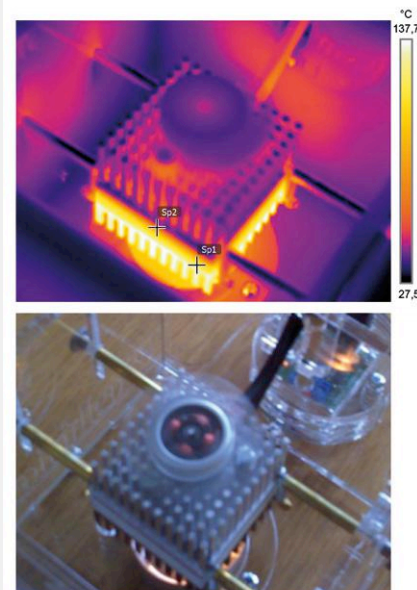
et à fixer le ventilateur.

Le boîtier en acrylate extrudé transparent est disponible en deux versions (**fig. 9**) ; il sert aussi à protéger la flamme de la bougie des courants d'air. On y fixe le générateur thermoélectrique, puis le circuit imprimé du convertisseur, et enfin la lampe. Voilà, c'est prêt !

On règle la hauteur du générateur de telle manière que le radiateur du bas soit

Comportement thermique

Nous avons étudié le comportement thermique du dispositif en fonctionnement à l'aide d'une caméra thermique FLIR E40. Le résultat est visible sur les photos : infrarouge en haut, éclairage normal en bas. La photo IR montre bien la différence de température entre les deux radiateurs (entre lesquels les modules Peltier sont fixés) ; le ventilateur joue bien entendu un rôle important dans ce comportement. Ce qui est moins visible, c'est que le boîtier chauffe aussi ; vous pouvez le constater – prudemment ! – avec un doigt.



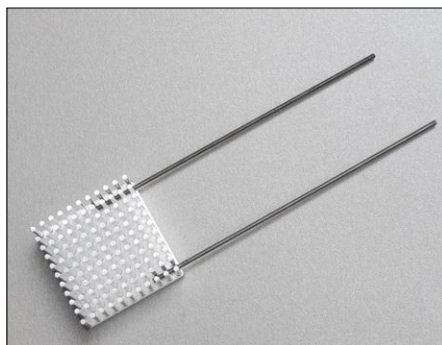


Figure 6. Les longues tiges filetées sont introduites délicatement entre les « dents » du radiateur.

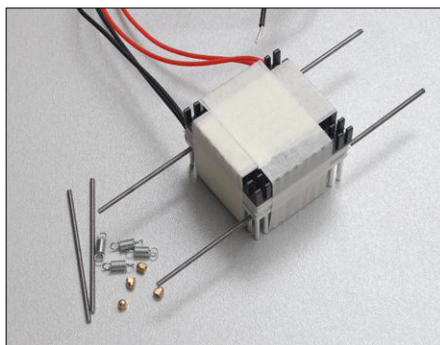


Figure 7. Les radiateurs et les modules Peltier sont temporairement solidarisés par de la bande adhésive.

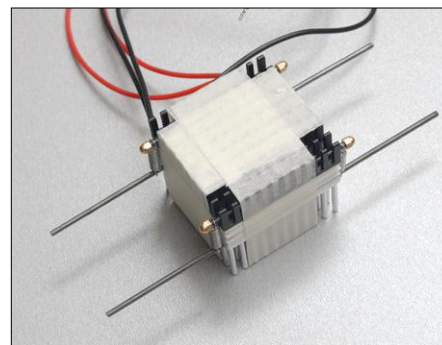
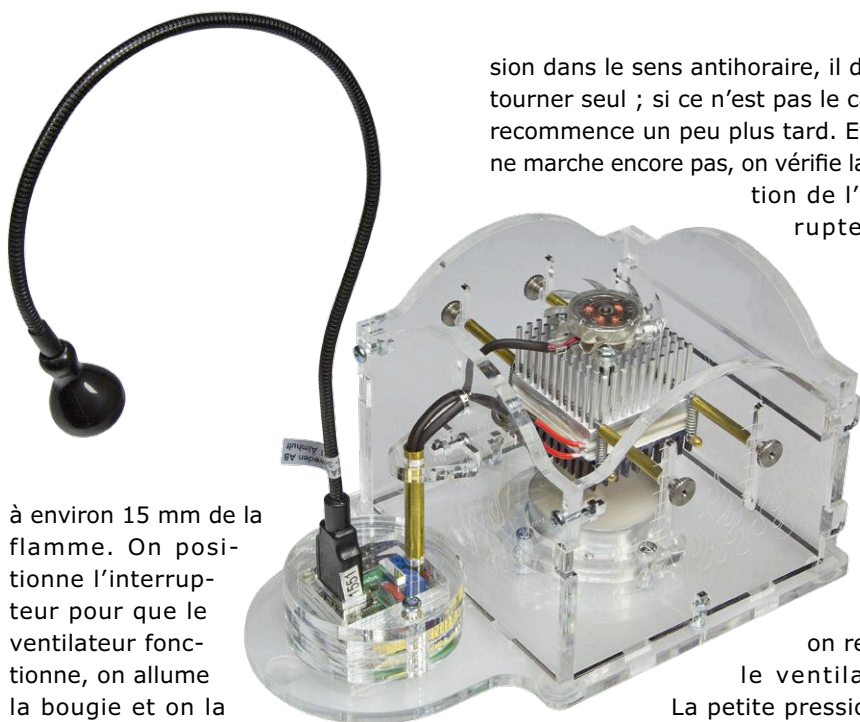


Figure 8. Les radiateurs sont maintenus fermement contre les modules Peltier à l'aide de ressorts.



à environ 15 mm de la flamme. On positionne l'interrupteur pour que le ventilateur fonctionne, on allume la bougie et on la place à l'emplacement prévu dans le boîtier.

Après quelques minutes, la lampe devrait commencer à s'allumer faiblement ; une à deux minutes plus tard, la lumière devient plus forte. On peut alors lancer le ventilateur avec une petite pres-

sion dans le sens antihoraire, il devrait tourner seul ; si ce n'est pas le cas, on recommence un peu plus tard. Et si ça ne marche encore pas, on vérifie la position de l'interrupteur et

on relance le ventilateur.

La petite pression est nécessaire, le ventilateur étant prévu pour fonctionner sous 12 V (une vitesse élevée impliquerait cependant une consommation trop élevée, et un courant d'air qui perturberait la flamme ; sans parler du bruit...).

Dès que le ventilateur tourne, la lumière

va vaciller, car le générateur ne fournit pas encore assez d'énergie et le moteur du ventilateur cause quelques perturbations. Après quelques minutes, suivant la flamme, le fonctionnement se stabilisera. Au début, la flamme est généralement plus faible, la paraffine en surface n'étant pas complètement fondue.

On peut encore régler la hauteur du générateur par rapport à la flamme. Ce n'est pas critique, une distance entre 10 et 20 mm est en principe bonne. Qui dit feu dit danger : ne laissez jamais le générateur en fonctionnement sans surveillance !

(160441 - version française : Jean-Louis Mehren)

DANS L'E-CHOPPE

→ 160144-71/72

kit complet



Figure 9. Deux versions différentes du boîtier sont disponibles.



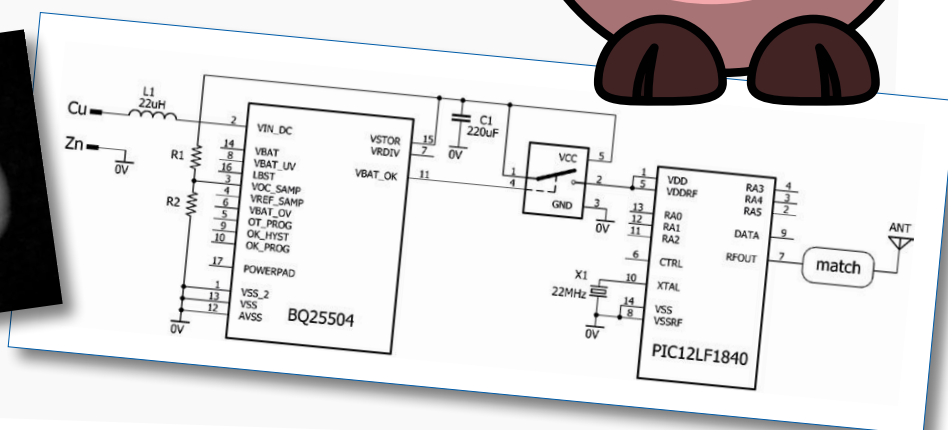
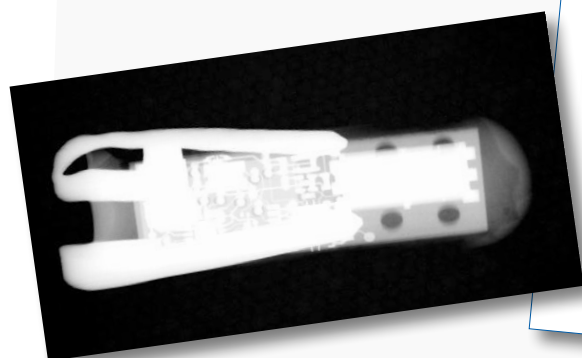
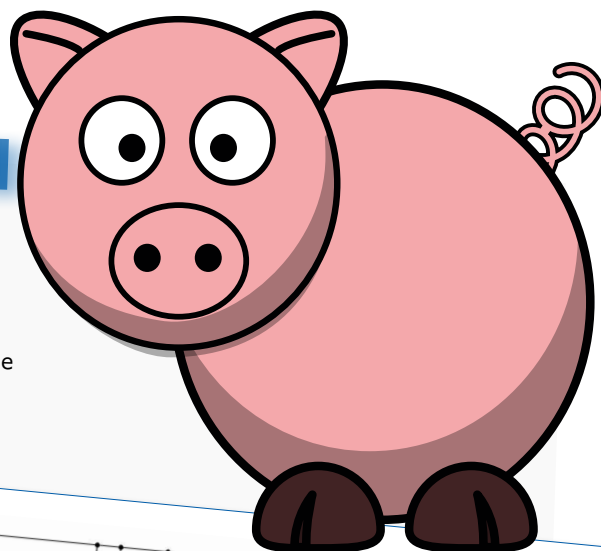
vol tous azimuts

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

Électronique à ingérer

Cette pilule de 40 × 10 mm mesure la température à l'intérieur du corps d'un cochon. Elle transmet sans fil, à un récepteur, les données capturées et quelques indicateurs de performance, au rythme de cinq fois par minute pendant six jours. Elle tire l'énergie nécessaire des fluides de l'estomac au moyen d'électrodes de cuivre (Cu) et zinc (Zn). (Radiographie par Jenny Haupt, Cody Cleveland et Phillip Nadeau.)

<http://www.nature.com/articles/s41551-016-0022>



MediaMarkt ouvre un magasin drive-in de matériel électronique à Tilburg, Pays-Bas

outil de labo indispensable

Virile et virale, cette montre masculine se double d'un briquet.

Entièrement électrique, sans gaz donc insensible au vent et sûr.

Parfaite pour allumer votre chalumeau au butane, mais attention à ne pas brûler votre poignet velu (ou la montre). Chargée par USB et surmontée de trois cadrans secondaires décoratifs qui ne fonctionnent pas (!), c'est le genre de chose que vous achetez pour offrir un cadeau sympa à un pote, mais que vous finissez par garder pour vous.

Disponible partout sur l'internet — cherchez *montre briquet USB*.



Pour son prochain téléphone Pixel 2, Google a commandé des écrans OLED souples de LG pour un montant de 1 000 000 000 000 wons sud-coréens (soit 790 000 000 €).

Arduino portable

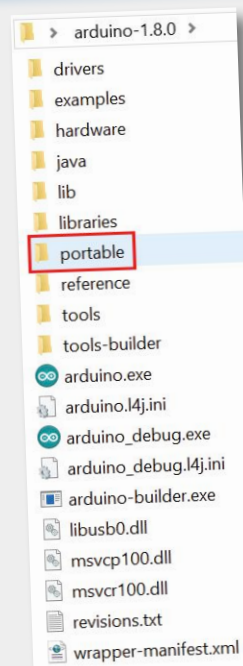
Comme presque toutes les applications (Windows), l'EDI Arduino place ses fichiers temporaires et dossiers de travail dans des emplacements fixes du disque dur de l'ordinateur. Ce n'est pas vraiment un problème pour la plupart de ceux qui travaillent avec leur propre matériel, mais cela le devient lorsque vous devez utiliser un ordinateur public ou de l'université où vous n'êtes autorisé à installer ni progiciels de cartes ni bibliothèques. La solution est de rendre l'EDI Arduino portable. Une installation portable conserve tout dans le dossier d'installation.

Rendre l'EDI portable est étonnamment simple, car il suffit d'ajouter un dossier nommé « portable » au dossier d'installation de l'EDI contenant l'exécutable Arduino. Au prochain lancement de l'EDI, il le détectera automatiquement et l'utilisera comme emplacement pour ses croquis ; il y mettra les progiciels de cartes et les bibliothèques que vous installez, ainsi que ses fichiers temporaires. Tout sera soigneusement classé dans un seul dossier que vous pourrez copier sur une clé et utiliser quand et où vous pourriez en avoir besoin.

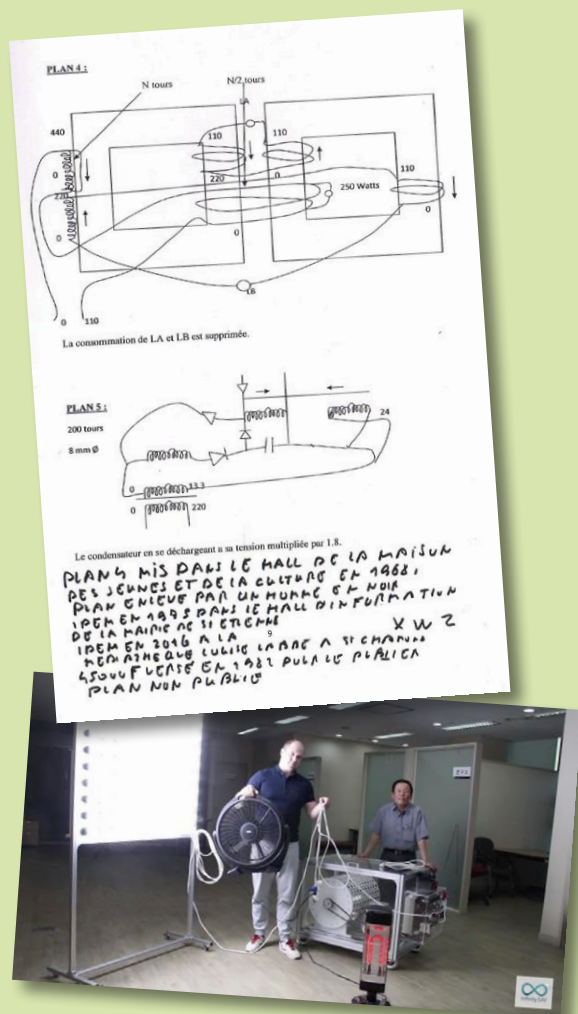
L'EDI portable est aussi un bon moyen pour maintenir sur une machine plusieurs installations d'Arduino distinctes. Comme les progiciels de cartes et les bibliothèques sont mis à jour sans arrêt, on peut involontairement détruire de vieux projets. En installant un nouvel EDI portable à chaque nouveau projet qui le justifie (peut-être pas pour tous vos gadgets clignotants), on le sécurise facilement pour l'avenir. C'est aussi une bonne solution d'archivage de projets.

Le dossier portable est lui-même portable et peut être copié dans d'autres installations d'EDI. Ceci permet de déployer des environnements identiques sur plusieurs ordinateurs, une fonction que les enseignants et administrateurs apprécieront sûrement.

<https://www.arduino.cc/en/Guide/PortableIDE>



La libre énergie



Nous avons reçu au courrier une intéressante proposition d'une série de 15 projets sur l'énergie libre, que nous avons examinés. Pour ceux qui découvrent le sujet, l'énergie libre comprend les machines à mouvement perpétuel, les générateurs à fusion froide, les générateurs toriques, la rétro-ingénierie de technologie extraterrestre et autres sources d'énergie à bas coût généralement non démontrées (merci Wikipedia). Le prix annoncé de 200 € (incluant une souscription obligatoire de 65 € à la *Fondation Pour La Libre Énergie*) n'est vraiment pas excessif pour une belle collection de dessins révolutionnaires incompréhensibles et de mauvaise qualité, et un texte manuscrit illisible tout en majuscules, mais qui ne voudrait pas construire un alternateur unipolaire qui ne souffre pas de la loi de Lenz ? Il vous suffit d'inverser la charge magnétique d'une grappe d'électrons et c'est parti. (Charge magnétique ?). Il y a sur YouTube nombre de vidéos sur de passionnants projets aptes à convaincre les sceptiques. Voici deux liens pour commencer.

<https://youtu.be/Qrw6Xj5a0nM>

<https://youtu.be/wnJpMX-GXcg>

**Ô grand astre !
Quel serait ton bonheur,
si tu n'avais pas ceux que tu éclaires !**

Il y a quelques années presque tous les sites web comportaient un compteur de visites. Aujourd'hui ils ont presque disparu, mais cela ne signifie pas que les visiteurs ne sont plus comptés. Ils le sont, mais le compte est conservé en privé dans les coulisses du site. Un compteur de visites indique la popularité du site, et participe ainsi à la stimulation de l'égo du propriétaire du site (surtout si le compte grimpe vite). Cependant, relégué en arrière-plan dans le module « statistiques » du site, le compteur de visite (unique) a perdu beaucoup de ses vertus amplificatrices d'égo. Il y a quelques années déjà, Bogdan Raducanu, autrement connu comme Electro Bob, présenta un gadget parfait pour y remédier : l'Ego Box. Ce petit gadget récupère lui-même le compteur de visite et le présente sur son afficheur à huit digits de sept segments. Placez-le en évidence et stimulez votre égo à volonté sans vous connecter à votre site.

Il n'est probablement pas trop compliqué de modifier le logiciel pour afficher les suiveurs de votre réseau social ou toute autre statistique intéressante. Si, comme moi, vous n'avez ni suiveurs ni visiteurs, l'Ego Box a assez de digits pour afficher l'heure à la place.

Ceux qui ne seraient pas intéressés par l'Ego Box peuvent néanmoins visiter le site d'Electro Bob qui regorge de matière à explorer.

<http://www.electroboob.com/ego-box/>



L'Ego Box affiche le nombre de visiteurs de votre site web.
(Source : Bogdan Raducanu, <http://www.electroboob.com>)

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

participez au concours de vidéoclips Elektor

Vous avez réalisé un projet ou lu un article d'Elektor ? Vous avez aimé ? Détesté ? Fignolé, modifié ou détruit quelque chose ? Faites-le-nous savoir et vous serez (peut-être) récompensé. Tournez un vidéoclip de votre expérience elektorienne et participez à notre concours pour tenter de remporter le gros lot !

Soyez vous-même !

N'essayez pas d'imiter un vlogueur connu. Votre vidéoclip devra être simple, divertissant et accrocheur. Il devra avoir trait au « monde d'Elektor » et donc regorger de technique et d'électronique. Il pourra être humoristique à condition de ne pas exagérer. L'objectif est que votre vidéoclip obtienne le plus de « J'aime » possible. Choisissez une résolution élevée (de préférence HD 1920 × 1080 pixels). N'utilisez pas de musique protégée par des droits d'auteur. Parlez distinctement et de manière compréhensible.



Guide de démarrage rapide

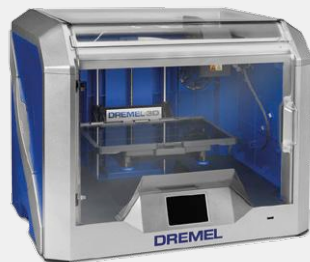
Tournez puis montez votre vidéoclip pour pouvoir participer au concours. Envoyez votre vidéoclip à tv@elektor.com avant le 15 novembre 2017, 18h00 (HEC) en vous servant uniquement de la plateforme WeTransfer. **N'envoyez pas** votre vidéoclip par courrier électronique. Si votre vidéoclip remplit les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

Créez, partagez et gagnez !

Qu'est-ce que vous y gagnez ?

Grand prix

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



1^{er} prix

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

2^e prix

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



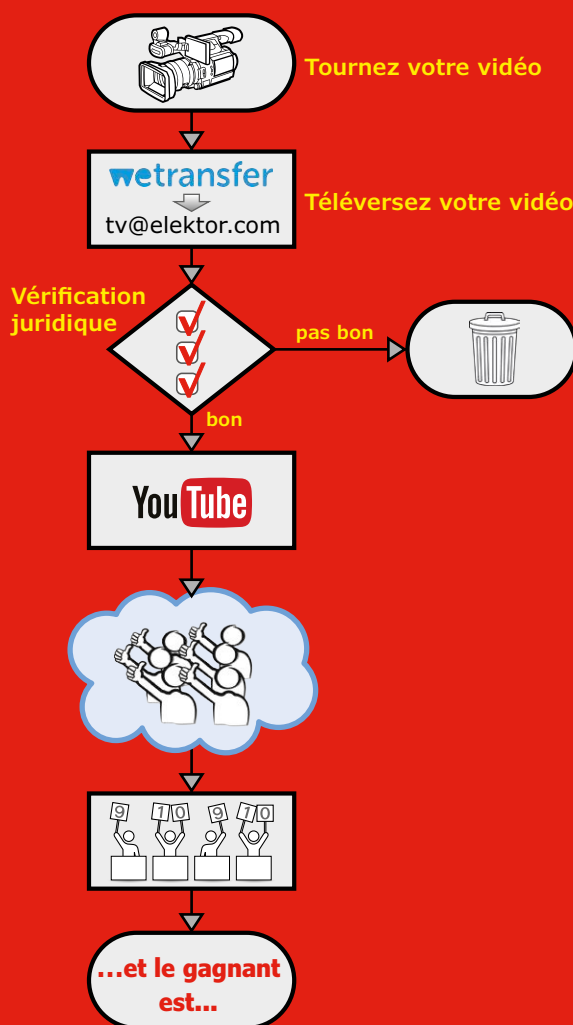
faites votre cinéma !

Respectez les règles

1. Tout le monde peut participer au concours (sauf les employés d'Elektor International Media).
2. Pour cela, vous devez saisir vos coordonnées complètes dans la page www.elektor.fr/video-contest
3. Le vidéoclip devra porter sur un projet ou un article du magazine Elektor.
4. Le vidéoclip devra être en anglais, français, allemand ou néerlandais.
5. Le vidéoclip devra être téléversé au travers de WeTransfer (<https://wetransfer.com>).
6. La date limite de réception est fixée au 15 novembre 2017, 18h00 (HEC), la notification de bonne réception envoyée par courriel par WeTransfer faisant foi.
7. La liste des gagnants sera publiée le 22 décembre 2017.
8. La durée du vidéoclip est limitée à 5 mn.
9. Il devra être lisible avec VLC Media Player, version 2.2.6 ou sup. (www.videolan.org).
10. Les injures sont interdites.
11. Le vidéoclip devra être libre de tout droit d'auteur.
12. Amusez-vous bien !

Pour obtenir les termes exacts du règlement, rendez-vous ici :

www.elektormagazine.fr/concours-video



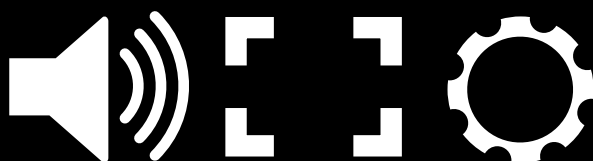
3^e prix

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

Autres prix

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

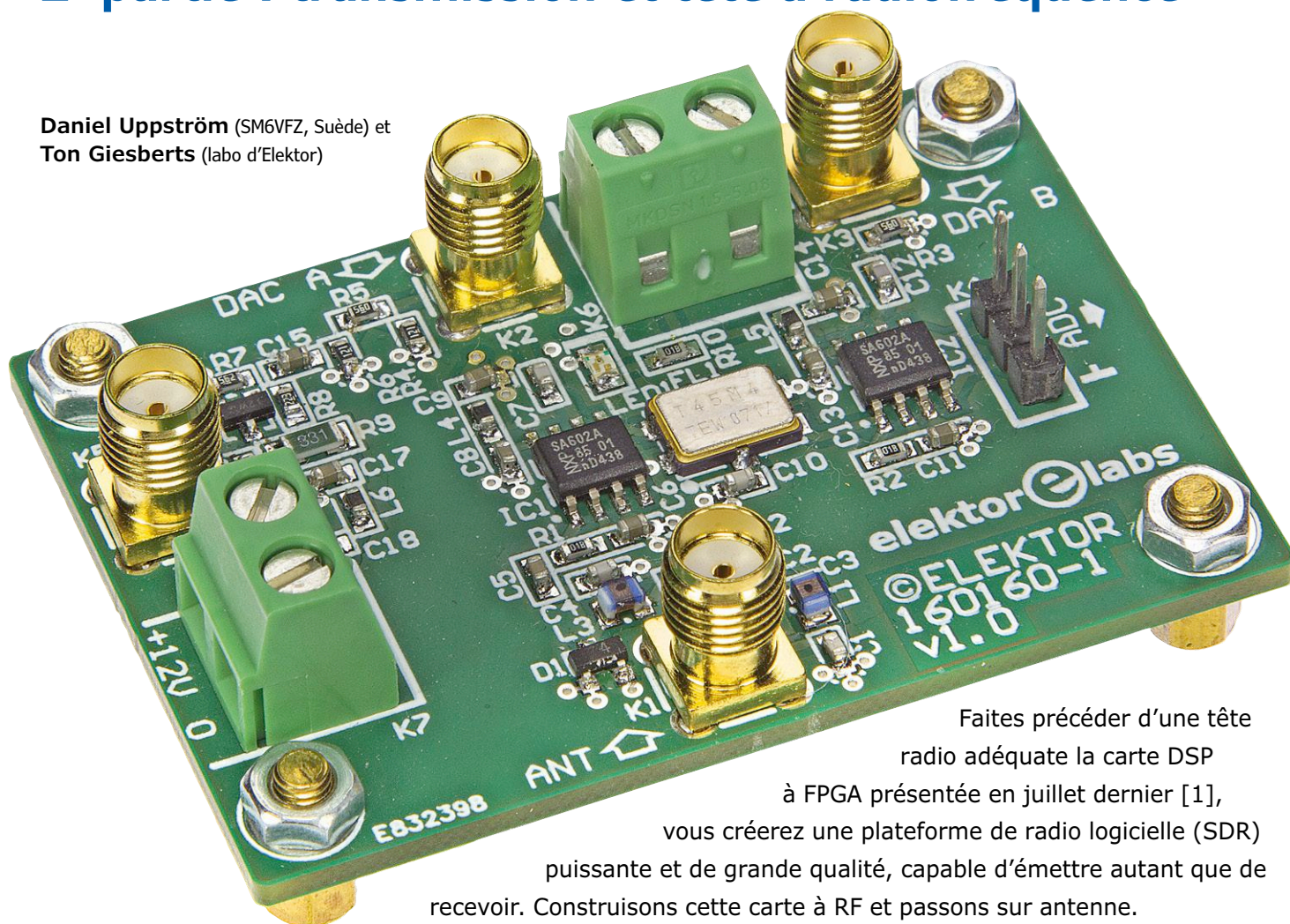
02:05 / 04:30



carte DSP à FPGA pour SDR à bande étroite

2^e partie : transmission et tête à radiofréquence

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



Faites précéder d'une tête radio adéquate la carte DSP à FPGA présentée en juillet dernier [1], vous créerez une plateforme de radio logicielle (SDR) puissante et de grande qualité, capable d'émettre autant que de recevoir. Construisons cette carte à RF et passons sur antenne.

Caractéristiques techniques

- FPGA + DSP + CODEC audio
- Plateforme de radio logicielle (SDR) à bande étroite
- Opère à toute fréquence radio entre 0 et plusieurs GHz
- Architecture superhétérodyne
- Seconde FI non nulle
- Alternativement récepteur (RX) et émetteur (TX)
- Modulateur/démodulateur SSB Weaver

Mais avant de faire chauffer le fer à souder, terminons la description de la carte DSP à FPGA de la précédente édition [1]. Si la réception et le décodage des signaux radio ont été assez bien épluchés, l'utilisation du système en mode transmission n'a été qu'effleurée. Or, c'est un sujet enthousiasmant et nous voulons partager avec vous un maximum d'informations. Voyons comment passer en émission avec la carte DSP à FPGA. Vous trouverez sans doute utile de vous rafraîchir les idées avec le 1^{er} article et de revoir les illustrations parues.

Traitement numérique du signal - transmission

Quand le poussoir du microphone met au niveau bas le signal PTT sur le connecteur K7 (cf. 1^{re} partie, fig. 2), le FPGA passe

en mode émission. Le bloc DDS du FPGA peut alors produire une porteuse à travers le CA/N.

Mieux encore, les blocs Weaver sont utilisables en sens inverse pour former le modulateur SSB (bande latérale unique). Avec PTT bas et le mode supérieur (USB) ou inférieur (LSB) sélectionné, le signal audio de l'entrée du microphone est échantillonné, comprimé et filtré par un passe-bas, avant d'être envoyé au modulateur. Rien à redire, mais il faut prévoir un filtrage externe à cause de la difficulté de suréchantillonner vers les 120 Méc./s du CN/A, depuis le faible débit en kéch./s dans l'audio et le modulateur.

Les deux spectres de la **figure 1** montrent les signaux de l'émetteur produits dans la bande amateurs de 20 m (14 MHz). Le graphe de gauche est un signal de radiotélégraphie (CW) issu directement du DDS (*Direct Digital Synthesiser*). Les composantes discrètes de bruit parasite (*spurs*) autour de la porteuse, dues aux signaux d'horloge dans le FPGA, pointent à -70 dBc (c.-à-d. inférieures de 70 dB par rapport à l'amplitude de la porteuse). On peut amplifier ce signal jusqu'à une dizaine de watts et le transmettre sans grand risque d'interférence.

Le spectre de droite de la figure 1 montre ce qui sort du modulateur Weaver SSB quand on lui applique un signal audio. Les résidus de l'horloge interne sont ici beaucoup plus forts et l'on y voit aussi de puissants produits de repliement dus à la modulation. Avec ces composantes indésirables aussi grandes que -30 dBc, plus question d'amplifier pour émettre, le filtrage est nécessaire.

On doit aussi se rendre compte qu'en plus des produits parasites et de repliement du modulateur, il y a encore d'autres limitations. Elles proviennent principalement de ce que les signaux non modulés produits dans le FPGA en passant par le CA/N ne sont pas aussi propres qu'espéré. Il y a deux raisons à cela :

- On crée, avec le circuit à boucle de phase asservie (PLL) interne du FPGA, l'horloge pour le CA/N à 240 MHz que l'on divise par deux. Ce signal d'horloge maître n'est pas idéal, la phase souffre de gigue et ce n'est pas une onde bien carrée, fréquence et phase ne sont pas précises.
- La sortie contient aussi des composantes parasites discrètes. Elles ont

différentes origines : couplage entre horloges, effets de quantification dans les blocs DDS et limitations du nombre de pas de calcul et de taille des tables à consulter, résolution de mémoire et du CA/N. Certains de ces signaux parasites sont visibles dans le spectre non modulé, celui de gauche à la figure 1.

Tous ces effets combinés limitent la puissance maximale que l'on peut transmettre tout en respectant les règlements de radiophonie et en évitant les nuisances aux autres usagers et aux services de radiodiffusion. Ils peuvent aussi influencer le récepteur s'ils ont un impact sur la sélectivité et la plage dynamique. Il est possible de les limiter, nous en reparlerons.

Une carte radio toute simple

Voici à la **figure 2** le diagramme synoptique d'une carte radio simple pour recevoir les ondes courtes (SW), donc < 30 MHz.

On filtre d'abord le signal d'antenne avant de l'amplifier. Il est alors mélangé avec

INFOS SUR LE PROJET

FPGA
TX RX
radio amateurs

débutant
connaisseur
→ expert

env. 2 h

Soudage de CMS

env. 50 €

celui d'un oscillateur local (LO) issu du CN/A A, la fréquence voulue est alors convertie vers 45 MHz avant de passer par un filtre à quartz. On amplifie ce signal

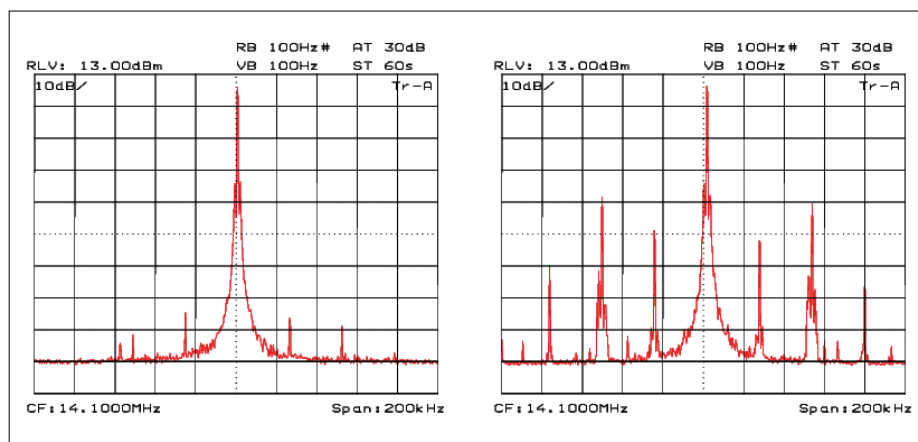


Figure 1. Deux spectres d'un signal CW produit par la carte DSP à FPGA en mode émission. À gauche, sans modulation ; à droite, avec modulation. La fréquence centrale est de 14,1 MHz, largeur 200 kHz, axe vertical à 10 dB/div.

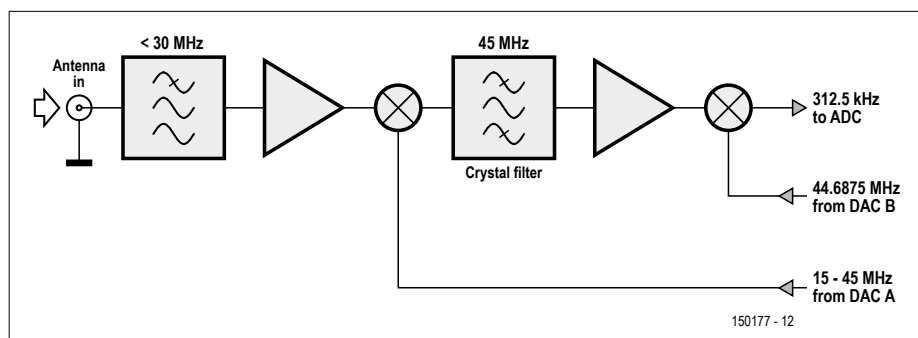


Figure 2. Synoptique de la carte radio ajoutée.

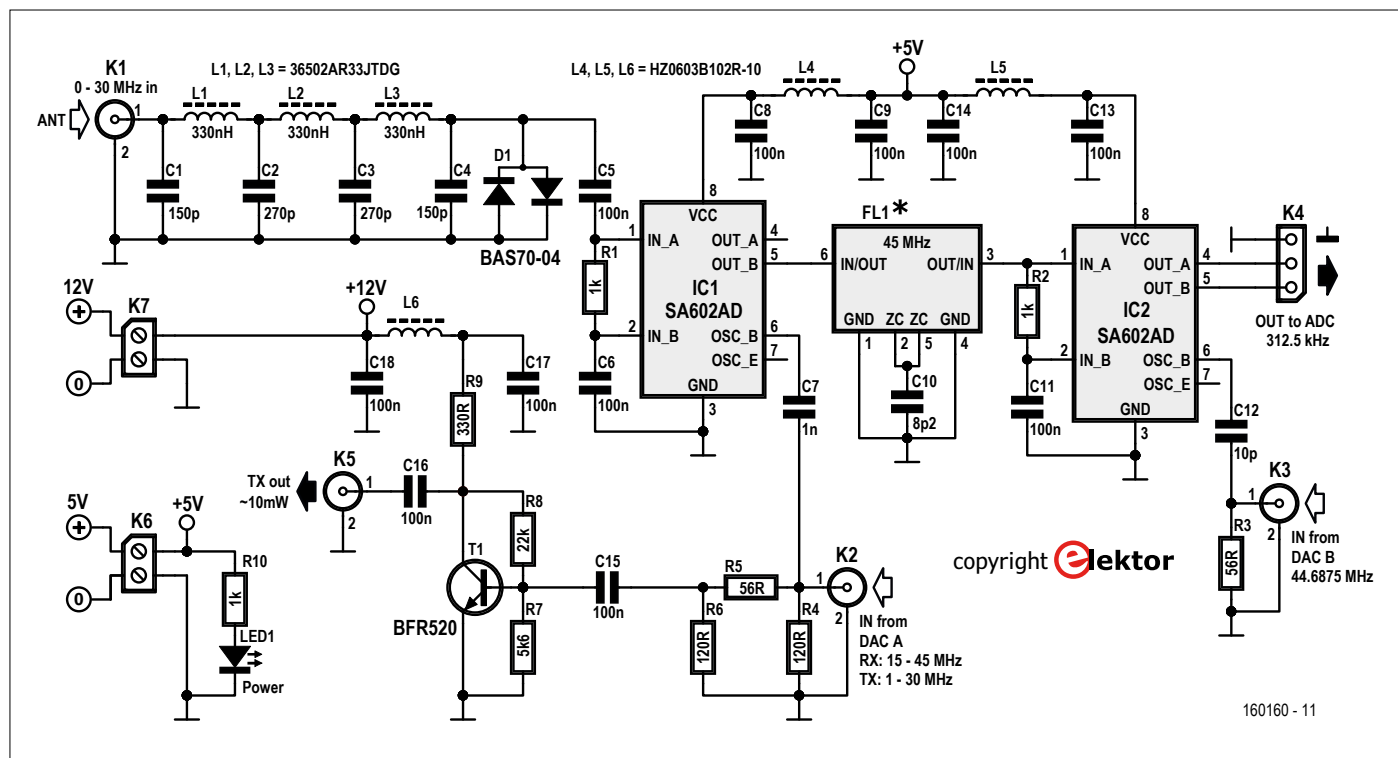


Figure 3. Le circuit d'une carte radio capable de recevoir et d'émettre à des fréquences jusqu'à 30 MHz.

à fréquence intermédiaire (IF) pour l'envoyer à un second mélangeur où intervient le second changement de fréquence vers 312,5 kHz (cf. 1^{re} partie) à l'aide d'un second signal LO produit par le CN/A B. On numérise ce second signal dans le CA/N du FPGA où se traitent le signal numérique et la démodulation du message audio.

Pareille carte radio, de concert avec la carte DSP à FPGA, fonctionne très bien en réception de signaux entre 0 et plus de 30 MHz. Avec une longue antenne qui capte les signaux forts comme les faibles, le récepteur n'entre que rarement en saturation et ne donne pas de distorsion audio. On peut donc l'utiliser pour des opérations sérieuses de réception de signaux sporadiques et faibles. La **figure 3** montre le schéma de la carte radio.

On branche l'antenne sur K1, le signal entre alors dans un filtre passe-bas qui élimine les signaux de radiodiffusion en FM et les autres interférences potentielles en VHF et UHF. La paire de diodes D1 en tête-bêche limite les signaux trop forts tout en offrant un chemin de retour pour les charges statiques qui pourraient s'accumuler sur le long fil d'antenne isolé. Un bon vieux SA602 (IC1) amplifie le signal et le mélange avec celui qui vient du CN/A A connecté à K2. Le filtre à quartz FL1 produit un filtrage étroit à la

première fréquence intermédiaire. FL1, centré sur 45 MHz, est un composant difficile à trouver. Idéalement, il devrait avoir une bande passante de 15 kHz, mais 30 kHz peuvent encore faire l'affaire. En revanche, 7,5 kHz, c'est trop peu pour une bonne qualité en AM. Les impédances du SA602 et du filtre s'accordent assez bien pour se passer de composant d'adaptation, sinon, il faudrait en prévoir. Un deuxième SA602 (IC2) mélange la sortie de FL1 avec le signal produit par le CN/A B pour former la seconde FI, un signal différentiel disponible sur K4 et envoyé au CA/N de la carte FPGA.

Émission

Un radioamateur habilité n'aura aucune peine à ajouter quelques composants à cette carte radio simple pour rendre le système capable de transmettre. En mode émission, le CN/A canal A délivre directement dans la gamme de 0 à 30 MHz une porteuse CW que T1 amplifie à 10 mW à peu près. Il ne reste plus qu'à soumettre ce signal à un ampli de puissance (PA) externe, sur lequel on branche une antenne accordée pour communiquer avec d'autres stations à des milliers de kilomètres.

La puissance maximale possible en mode CW ou porteuse est discutable, mais je recommande de ne pas dépasser de 5

à 10 W en ondes courtes, me fondant sur les remarques à propos de la pureté du spectre. Ce niveau de puissance est loin des 100 W standardisés sur les transceivers du commerce, mais permet de communiquer autour du monde quand les conditions sont favorables et entre continents en opération diurne dans la bande amateurs de 40 m (7 MHz) par exemple.

Moins de bruit, plus de watts, VHF et au-delà

La carte radio présentée ici convient pour la réception et pour l'émission en CW à basse puissance, elle constitue surtout un bon point de départ. Mais un radioamateur sérieux a des aspirations plus élevées, il veut construire un transceiver (émetteur et récepteur combinés) très performant, comparable, voire supérieur à ceux du commerce, avec un spectre d'émission très pur, surtout pour la transmission en SSB. Aussi doit-il choisir une structure radio plus évoluée.

On serait tenté d'ajouter une banque de filtres pour éliminer tout l'extérieur de la gamme sélectionnée, se débarrasser des parasites (*spurs*) et des harmoniques. Mais filtrer le bruit de phase et la gigue autour de la porteuse n'est pas une mince affaire, ce n'est pas gagné d'avance. Il est d'ailleurs peu probable que le filtrage des produits de repliement



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances :

sans autre indication : 1 %, 100 mW, 0603

R1, R2, R10 = 1 k Ω

R3, R5 = 56 Ω

R4, R6 = 120 Ω

R7 = 5,6 k Ω

R8 = 22 k Ω

R9 = 330 Ω , 1 %, 250 mW, 1206

Condensateurs :

sans autre indication : 0603

C1, C4 = 150 pF

C2, C3 = 270 pF

C5, C6, C8, C9, C11, C13-C18 = 100 nF

C7 = 1 nF

C10 = 8,2 pF, ± 0.25 pF

C12 = 10 pF

Inductances :

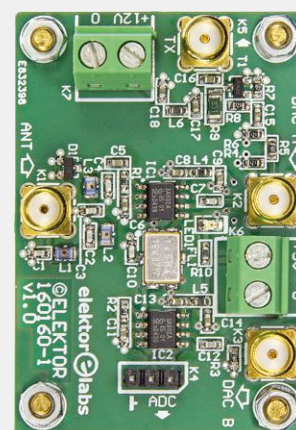
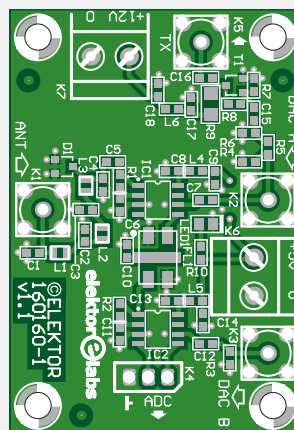
L1, L2, L3 = 330 nH, 5 %, 310 mA, f_{res} 60 MHz (36502AR33JTDG, TE Connectivity)

L4, L5, L6 = 1 000 Ω @ 100 MHz, 200 mA (HZ0603B102R-10, Laird Technologies)

Semi-conducteurs :

D1 = BAS70-04

LED1 = verte, 0805



T1 = BFR520

IC1, IC2 = SA602AD, SO-8

Divers :

K1, K2, K3, K5 = connecteur SMA jack droit, 50 Ω

K4 = embase à 3 picots verticaux, au pas de 2,54 mm

K6, K7 = bornier à 2 vis, encartable, au pas de 5,08 mm

FL1 = filtre à quartz 45 MHz, 1 k Ω , b. p. \approx 15 kHz (cf. texte), p.ex.

Golledge crystal filter GSF-75 45R15B1 45.0MHz

circuit imprimé, réf. 160160-1

Publicité

FORUMLED EUROPE

13 & 14 DECEMBER 2017 | 9^{ème}
Cité Centre des Congrès - Lyon - France | édition

L'événement majeur en Europe dédié à la technologie LED

**N'IMAGINEZ PAS LE FUTUR
VIVEZ LE !**

Contact / Informations

Lionel LEONE

Tel : +33 (0)4 37 40 31 64

Email : info@forumled.com

www.forumled.com

Organisé par



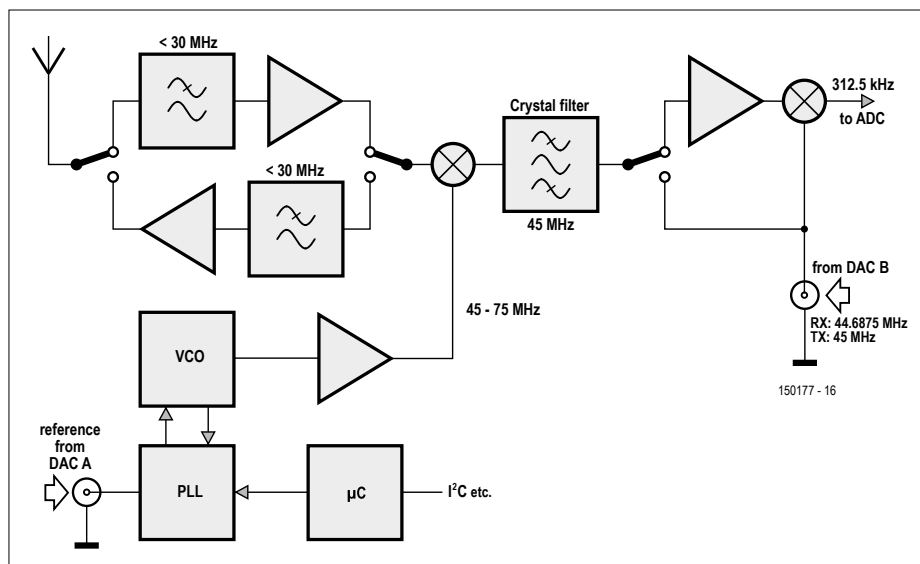


Figure 4. Synoptique d'un transcepteur adapté à la transmission vocale en SSB.

du modulateur aiderait beaucoup si le filtre n'est pas particulièrement raide, donc il faudrait chaque fois le syntoniser exactement sur la fréquence de travail. Il est bien plus pratique de produire la fréquence porteuse à celle du quartz (45 MHz), filtrer les composantes de repliement et les parasites, puis la mélanger vers le bas sur la fréquence du canal (entre 0 et 30 MHz) au moyen

d'un oscillateur local à accorder dans la gamme de 45 à 75 MHz. On peut commander en tension (VCO) ce LO et l'asservir en phase sur un signal de référence provenant de l'un des canaux du CN/A. Cette technique permet parfaitement la transmission vocale en SSB. **figure 4** donne le synoptique de ce genre de transcepteur.

On peut faire pareil pour des fréquences

supérieures, comme dans la bande amateur de 144 MHz, mais mieux vaut alors fixer la première FI à 21,4 MHz, où l'on trouve des quartz plus pointus, et mettre le VCO autour de 165 MHz.

Dans la bande de 2 m (144 MHz), on tombe parfois sur de puissants signaux d'amateurs locaux et des émetteurs hors bande, mais qui obligent à resserrer les exigences sur les caractéristiques des blocs de la chaîne de réception. Il faut alors utiliser un bon mélangeur et un filtre à quartz étroit. Il est aussi très important de transmettre des signaux propres. Le gain plus élevé des antennes et la plus large propagation au-delà de l'horizon des VHF par rapport aux OC peuvent entraîner d'énormes niveaux de signal chez d'autres radioamateurs à proximité. Il n'est pas rare d'écouter des signaux faibles à -140 dBm tandis qu'il y a une émission locale à -30 dBm à quelques kHz d'écart. Pensons que nous voulons une dynamique de blocage de plus de 100 dB, avec des signaux 10 000 000 000 fois plus forts que le bruit de fond, sans augmenter celui-ci aux fréquences adjacentes.

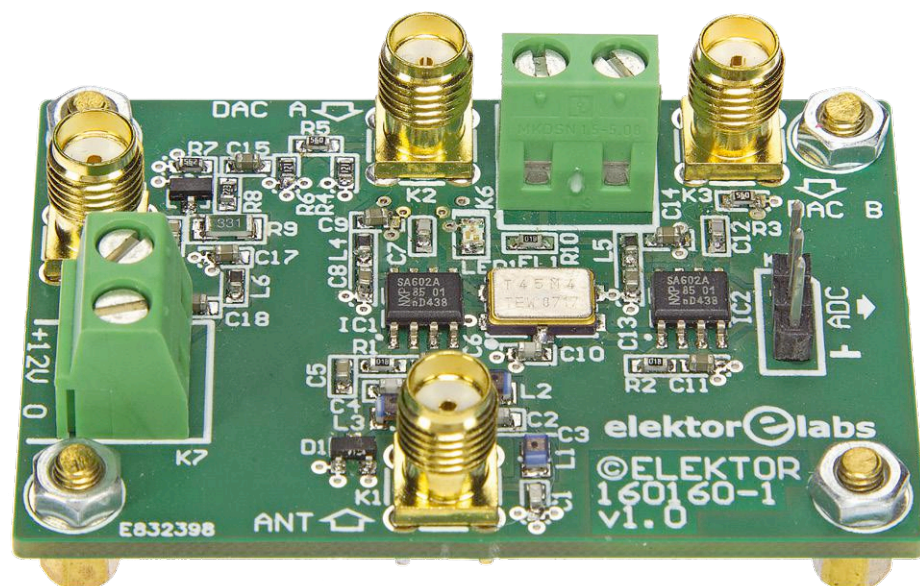
Rejoignez-nous

Le but de cet article n'est pas de présenter en détail une carte radio de grande classe. Les expériences à ce sujet progressent encore [4] et j'ai construit une radio complète pour la bande de 2 m. Selon l'intérêt suscité et les retours obtenus, nous pourrions continuer à publier plus d'informations dans le futur. Construire un transcepteur représente un gros projet et nous encourageons les radioamateurs et les expérimentateurs à venir partager leurs recherches et suggestions.

À venir...

Un prochain article présentera une carte de commande pour gérer l'interface utilisateur et la communication numérique avec le FPGA, il ne manque plus que cela pour constituer une radio de paillasse complète. ◀

(160160 - version française : Robert Grignard)



Liens

- [1] www.elektormagazine.fr/150177
- [2] www.elektormagazine.fr/160160
- [3] www.elektormagazine.fr/labs/fpga-dsp-radio-for-narrow-band-communications-150177-i
- [4] Blog de l'auteur : sm6vfz.wordpress.com

DANS L'E-CHOPPE

→ 160160-1
circuit imprimé nu
pour carte radio

développer facilement des applications pour iPhone/iPad

piloter de l'électronique externe par Wi-Fi et BLE

Hans Oppermann (Allemagne)

Il faut surmonter quelques obstacles pour développer des applications pour iPhone ou iPad. Nous recommandons aux électroniciens qui ont besoin d'une seule petite application pour piloter du matériel externe d'utiliser plutôt des solutions simples. C'est là que techBASIS entre en jeu. Cette plateforme permet de créer ses applications pour iPhone/iPad directement sur l'appareil mobile ; elle contient des bibliothèques avec de nombreuses fonctions. Nous vous présentons dans cet article une application qui communique avec le monde extérieur via le protocole Bluetooth Low Energy.



Apple met à disposition gratuitement l'environnement de développement Xcode pour créer ses propres apps. Swift est le langage de programmation utilisé en général. Il faut un ordinateur Mac doté d'un système d'exploitation à jour pour faire tourner la dernière version 8. Après avoir créé l'application, vous pouvez ensuite l'envoyer directement sur l'appareil mobile à partir de Xcode.

App techBASIC

Quand on veut simplement piloter un appareil à l'aide d'un ordiphone et créer une petite interface utilisateur (y compris une interface pour un circuit), se plonger dans Xcode demandera beaucoup d'efforts et un investissement considérable (peut-être trop). L'app « techBASIC » [1] de l'entreprise Byte Works est une alternative intéressante.

L'environnement complet de développement (IDE) se présente sous la forme d'une seule application que l'on peut télécharger en version de démonstration (tech-

Sampler) et acquérir en version normale au prix de 16,99 € dans l'App Store [2]. La version de démonstration permet uniquement d'exécuter les programmes de démonstration disponibles ; il n'est donc pas possible de créer de nouveaux programmes ou d'en modifier.

Tous les programmes disponibles (demos) sont affichés dans un dossier après le démarrage de l'application. Il est possible de lancer ou d'éditer les programmes depuis ce dossier. Ensuite vous pouvez convertir les programmes terminés en apps. Il faut pour cela télécharger sur le Mac le programme techBASIC App Builder au prix de 49 \$ pour produire l'app. Cela est probablement superflu et trop compliqué pour la plupart des électroniciens.

Il est difficile d'envisager de la programmation directement sur iPhone en raison de la taille de l'écran. Un iPad avec clavier externe est en revanche plus adapté au développement de programmes tournant

sur iPad et iPhone. Naturellement, il ne faut acheter l'app qu'une seule fois.

Que propose techBASIC ?

Le nom laisse supposer que l'app présente de nombreuses similitudes avec l'ancien langage de programmation BASIC. L'étendue des fonctions n'est toutefois pas comparable à celle du BASIC originel. Vous trouverez une description complète dans le manuel de référence de techBASIC [3]. En plus des fonctions habituelles de mathématiques et de chaînes de caractères (par ex. LEFT\$), techBASIC offre également des fonctions pour le traitement des événements. Il est ainsi possible de réagir à la pression d'un bouton sur l'écran.

D'autres fonctions se basent sur les standards Bluetooth Low Energy (BLE) et Wi-Fi. Elles permettent la communication avec le monde extérieur. BLE et Wi-Fi sont également les seuls protocoles de communication autorisés par Apple, contrairement à l'USB ou au Bluetooth 2.x. Les deux protocoles radio sont assurément les voies de communication les plus intéressantes pour interroger par exemple des capteurs externes dans le domaine de l'Internet des Objets ou de la domotique. Le support pour le Wi-Fi est assuré par la fonction/classe Comm. Il est ainsi très facile de réaliser un client HTTP sur iPhone/iPad. Par exemple, j'ai développé un code (OnOffTemp.txt) pour piloter une chaudière avec un serveur HTTP sur ESP8266. Le **listage 1** montre la partie du programme qui traite les entrées de l'interface utilisateur. Vous pouvez télécharger le code complet sur le site d'Elektor [4].

techBASIC met à disposition des fonctions pour lire les capteurs internes du dispositif (par ex. l'accélération et les coordonnées géographiques). Je mentionnerai encore rapidement les fonctions graphiques qui permettent de créer des courbes complexes et des représentations graphiques.

Il faut par contre s'arrêter, mettre les points sur les i(Phone) et parler de l'étendue des fonctions pour créer des interfaces utilisateurs graphiques (GUI). Quelques lignes suffisent à créer des widgets impressionnants utilisés dans de nombreuses apps commerciales (Buttons, DatePicker, Slider, ...). Vous trouverez sur le site internet du fournisseur de techBASIC une démonstration qui rassemble tous les widgets sur l'écran d'un iPhone/iPad.

Listage 1. Traitement des données de l'utilisateur par exemple avec un client Wi-Fi qui communique avec un module ESP8266.

```
! Handle pressed button
SUB touchUpInside (ctrl AS Button, time AS DOUBLE)
    http_string = "http://192.168.254.70/"

! Heizung EIN
    IF ctrl = Tag THEN
        http_string = http_string & "gpio/1"
        proc_http
    END IF
! Heizung AUS
    IF ctrl = Nacht THEN
        http_string = http_string & "gpio/0"
        proc_http
    END IF
! Lese Status
    IF ctrl = Status THEN
        http_string = http_string & "gpio/read"
        proc_http
    END IF
! Lese Vorlauftemperatur
    IF ctrl = VL_Temp THEN
        http_string = http_string & "temp"
        proc_http
    END IF
    IF ctrl = quit THEN
        STOP
    END IF
END SUB
```


L'exemple suivant montre la lecture avec techBASIC d'un capteur de données climatiques, soit la température, l'humidité de l'air, la pression atmosphérique et le rayonnement UV. Les valeurs mesurées sont envoyées par BLE à un iPhone/iPad sur lequel tourne le programme techBASIC. Le module BL600 est utilisé pour la transmission BLE, un dispositif bien connu de la plupart des lecteurs d'Elektor. Deux cartes de liaison (BoB) sont utilisées comme capteurs, une carte Adafruit Si1145 pour mesurer le rayonnement UV et une BME280 pour les trois autres mesures. Le dispositif est alimenté par une pile bouton CR2032 qui fonctionne chez moi sans interruption depuis déjà 10 mois.

Le circuit est représenté sur la **figure 1**. On peut en cas de besoin connecter un convertisseur « USB to UART » sur JP1 pour programmer et déboguer le module BL600. JP5 sert à paramétrer les modes du BL600 (cela a déjà été couvert à de multiples reprises dans Elektor). Dans cette application, le cavalier doit être placé en position « AUTORUN ». La touche S1 a une petite particularité. Elle permet, combinée au logiciel, une consommation énergétique faible du dispositif. Il se trouve normalement en mode « deep sleep » (ou sommeil profond), un mode très peu énergivore. Ce n'est que lorsqu'on presse la touche S1 que le dispositif est réveillé, qu'il lit cycliquement les capteurs et qu'il envoie les valeurs mesurées par Bluetooth. Après deux minutes, le module BL600 retourne au mode veille. Vous pouvez télécharger le logiciel pour le BL600 (*\$autorun\$.klima.sb*) chez Elektor [4].

Rechercher des dispositifs BLE

Tournons-nous à présent vers la réception des données des capteurs avec techBASIC sur iPhone/iPad. Il serait trop long de décrire ici le code dans son entier. Beaucoup de choses sont évidentes et compréhensibles après un examen du code. Nous nous contenterons de démontrer que grâce à quelques lignes de code, il est possible d'établir une connexion à un dispositif BLE - voir à ce propos le **listage 2**.

La fonction `scanBLE` est appelée lorsqu'on appuie sur le bouton « Scan » dans la GUI. Le lancement de la fonction `BLE-DiscoveredPeripheral` signale un scan

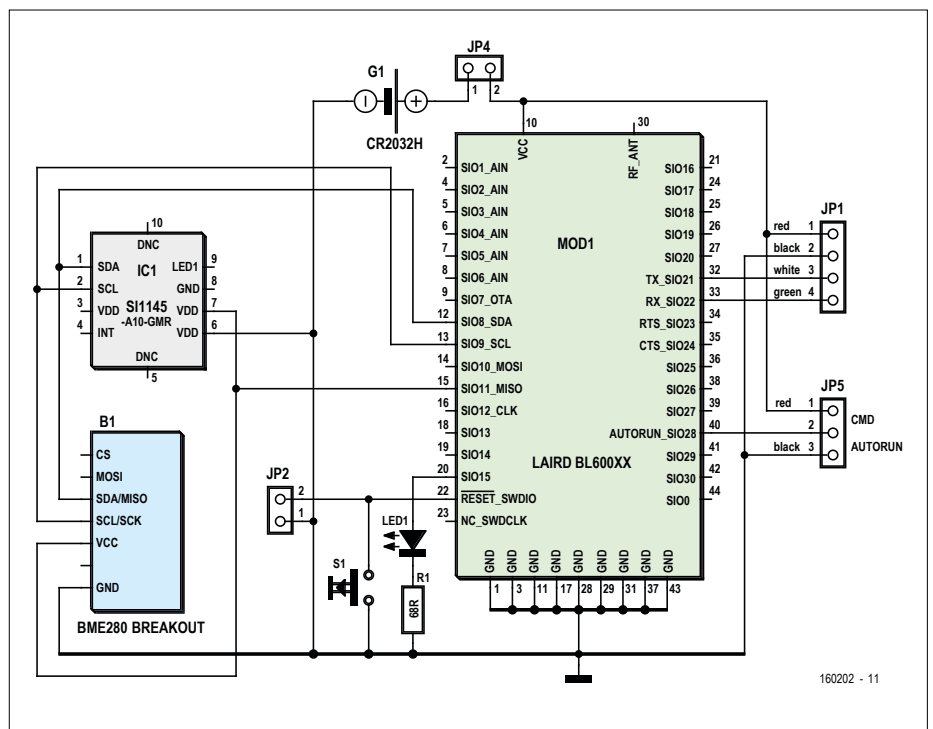


Figure 1. Le circuit de l'électronique externe avec les capteurs et le module BLE.

Listage 2. Scan de l'environnement BLE dans l'application des capteurs.

```

!----- scan for BLE Device
!-----
SUB scanBLE
! Start the BLE service and begin scanning for devices.
    BLE.startBLE
    BLE.startScan(uuid)
END SUB

! Called when a peripheral is found. If it is a LAIRD BL600, we
! initiate a connection to it and stop scanning for peripherals.
!
! Parameters:
! time - The time when the peripheral was discovered.
! peripheral - The peripheral that was discovered.
! services - List of services offered by the device.
! advertisements - Advertisements (information provided by the
! device without the need to read a service/characteristic)
! rssi - Received Signal Strength Indicator
!
SUB BLEDiscoveredPeripheral (time AS DOUBLE, peripheral AS
BLEPeripheral, services() AS STRING, advertisements(,) AS STRING, rssi)
    PRINT peripheral.bleName
    IF peripheral.bleName = "LAIRD BL600" THEN
        bl600 = peripheral
        BLE.connect(bl600)
        BLE.stopScan
    END IF
END SUB

```


réussi. Ce nom de fonction et les autres noms de fonction appelés lors de l'établissement de la connexion sont une partie intégrante de techBASIC. Il n'est pas nécessaire de définir des fonctions de *callback* (comme c'est le cas pour de nombreux langages de programmation). Ensuite, il faut utiliser la fonction `BLEPeripheralInfo`. Celle-ci récupère la liste des *services* disponibles sur l'appareil BLE (*device*). Si vous n'avez pas ces informations dans la documentation de votre dispositif BLE, vous pouvez utiliser un petit programme de techBASIC nommé « sniffer ». Il montre tous les services disponibles du dispositif BLE sous forme d'UUID.

Si le service désiré (ici *Virtual Serial Port Service*) est sélectionné dans `BLEPeripheralInfo`, les *characteristics* du service sont demandées. Ces données sont ensuite réceptionnées dans la fonction `BLEServiceInfo` et en même temps les données du dispositif BLE sont demandées grâce à une *Notify Request*. Elles sont traitées dans la fonction `BLECharacteristicInfo` et inscrites dans les variables correspondantes de la GUI.

L'interface utilisateur

La fonction `showGUI` (**listage 3**) lance les différents widgets (ici seulement *Buttons* et *Labels*) de la GUI et les affiche selon leurs coordonnées respectives sur l'écran de l'iPhone/iPad (**figure 2**). Elle est appelée une seule fois lors du démarrage du programme.

Il faut encore noter à propos du programme que je ne l'ai pas écrit seul à partir de rien. C'est simplement une adaptation et une extension des nombreux exemples fournis avec techBASIC. J'ai utilisé pour cet article le programme « KeyFob ». Le programme décrit ici tourne sur iPhone et iPad. Il faut naturellement adapter les coordonnées graphiques à chaque dispositif. On peut détecter dans le programme le type de dispositif utilisé, ainsi une seule version du programme est nécessaire pour les deux dispositifs. Le programme complet (*klima.txt*) est disponible sur le site d'Elektor [4].

L'ancienne appli sous Android

Il y a quelques années, il était encore obligatoire de s'inscrire au *Apple Developer Program* pour charger ses propres apps sur son iPhone ou iPad. L'adhésion

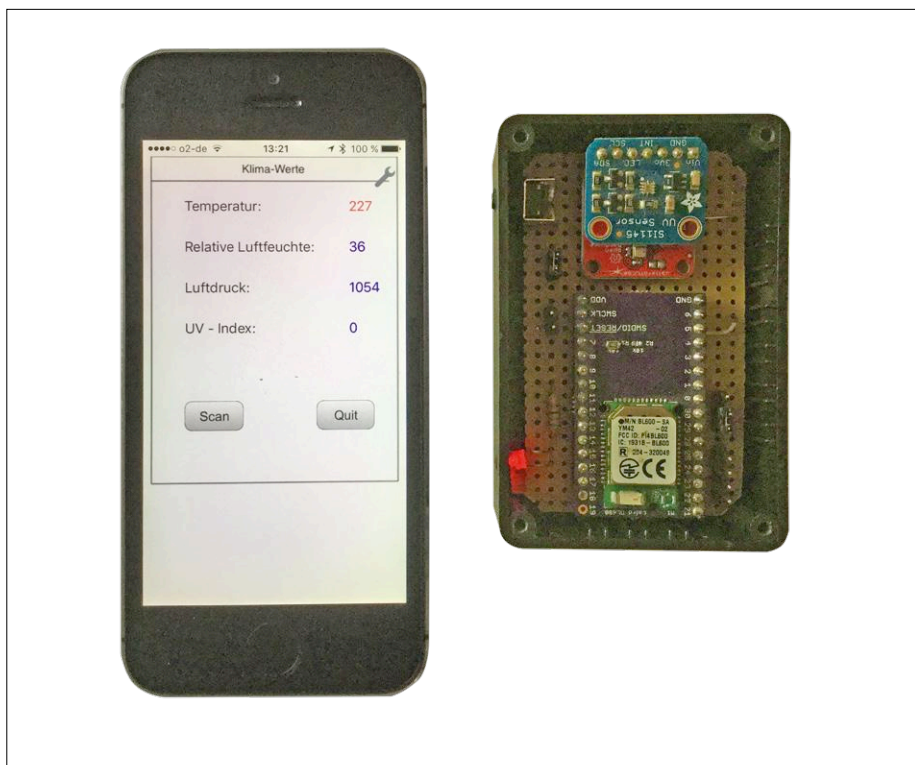


Figure 2. Les données sont transmises et affichées via BLE sur iPhone.

Listage 3. Définition de l'interface utilisateur de l'application des capteurs (extrait).

```
!----- showGUI -----

SUB showGUI
  x_lab = 50
  y_lab = 50
  y_distance = 50

  DIM tempLabel AS Label
  !tempvar = "20"
  tempLabel = Graphics.newLabel(x_lab, y_lab, 100)
  tempLabel.setText("Temperatur: ")
  tempvarLabel = Graphics.newLabel(x_lab+200, y_lab, 100)
  tempvarLabel.setText(tempvar)
  tempvarLabel.setColor(1,0,0)

  y_lab = y_lab + y_distance

  DIM humLabel AS Label
  !humvar = "30"
  humLabel = Graphics.newLabel(x_lab, y_lab, 200)
  humLabel.setText("Relative Luftfeuchte: ")
  humvarLabel = Graphics.newLabel(x_lab+200, y_lab, 100)
  humvarLabel.setColor(0,0,1)

  y_lab = y_lab + y_distance

  DIM airpLabel AS Label
```


coûte environ 100 \$ par an. C'est pourquoi j'avais décidé à l'époque de développer la même application sous Android (*KLIMA.zip*). Heureusement, c'était au moment de la série d'articles dans Elektor sur le module « e-BoB BL600 » (à partir de mars 2015), qui traitait entre autres de la mesure de température. J'ai pu, en me basant sur ce programme, créer une application qui tourne sous Android. Je le reconnais, j'ai dû aussi en apprendre sur Android et l'environnement de développement pour Android « Android Studio ». Cependant, l'effort consenti est important par rapport aux résultats (lire quelques capteurs et envoyer les données par

BLE). L'interface graphique créée est moins belle (**figure 3**) qu'avec la solution de techBASIC.

En résumé

Je regrette de ne pas avoir connu techBASIC plus tôt, car j'aurais évité une excursion compliquée dans le monde d'Android. À l'avenir, je n'aurai pas à prendre avec moi deux téléphones, car toutes mes applications Bluetooth peuvent tourner sur iPhone. Il faut toutefois remplacer les puces Bluetooth utilisées dans mes projets par des puces Bluetooth 4.0 (BLE), ce qui ne devrait pas être trop difficile.

Je recommande à ceux qui souhaitent approfondir le sujet le livre « Building iPhone and iPad Electronic Projects, Real-World Arduino, Sensor and Bluetooth-Low-Energy Apps in techBASIC » [5].



(160202 – version française : Thierry Destinobles)

Liens

- [1] www.byteworks.us/Byte_Works/techBASIC.html
- [2] <https://itunes.apple.com/de/app/techbasic/id470781862?mt=8>
- [3] www.byteworks.us/Byte_Works/Documentation_files/techBASIC%20Manual%203.3.1.pdf
- [4] www.elektormagazine.fr/160202
- [5] <http://shop.oreilly.com/product/0636920029281.do?sortby=publicationDate>

```
!airpvar = "40"
airpLabel = Graphics.newLabel(x_lab, y_lab, 200)
airpLabel.setText("Luftdruck: ")
airparLabel = Graphics.newLabel(x_lab+200, y_lab, 100)
airparLabel.setColor(0,0,1)

y_lab = y_lab + y_distance

DIM uviLabel AS Label
!uvivar = "50"
uviLabel = Graphics.newLabel(x_lab, y_lab, 200)
uviLabel.setText("UV - Index: ")
uviparLabel = Graphics.newLabel(x_lab+200, y_lab, 100)
uviparLabel.setColor(0,0,1)

!Create a scan button.
scan = Graphics.newButton(but1_pos ,300)
scan.setTitle("Scan")
scan.setBackgroundColor(1, 1, 1)
scan.setGradientColor(0.7, 0.7, 0.7)

!Create a quit button.
quit = Graphics.newButton(but2_pos ,300)
quit.setTitle("Quit")
quit.setBackgroundColor(1, 1, 1)
quit.setGradientColor(0.7, 0.7, 0.7)
```

END SUB

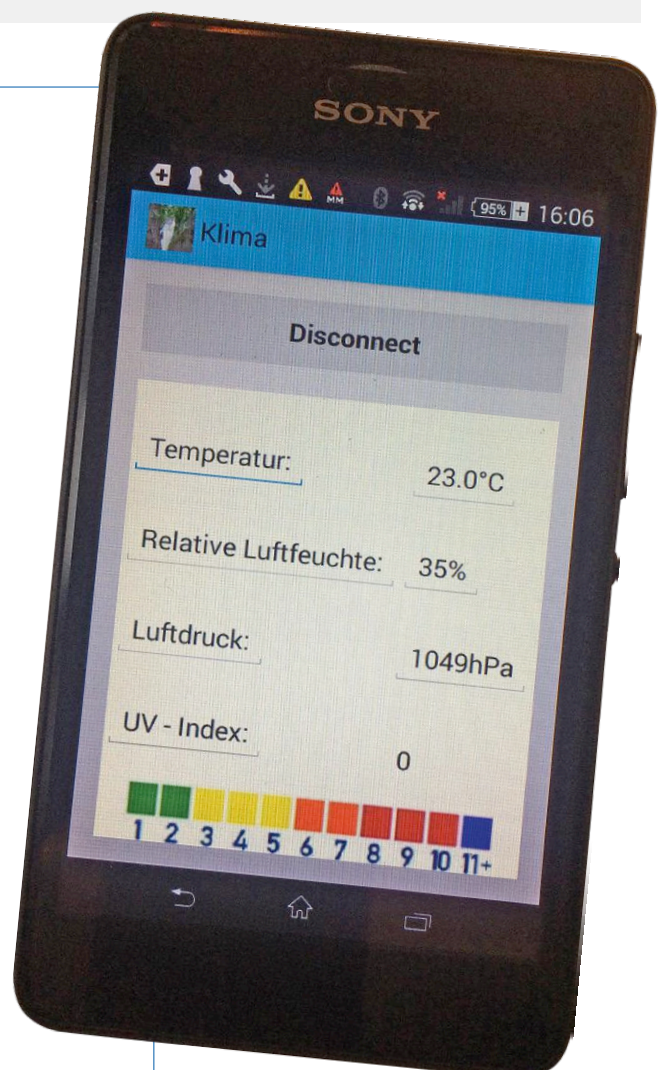
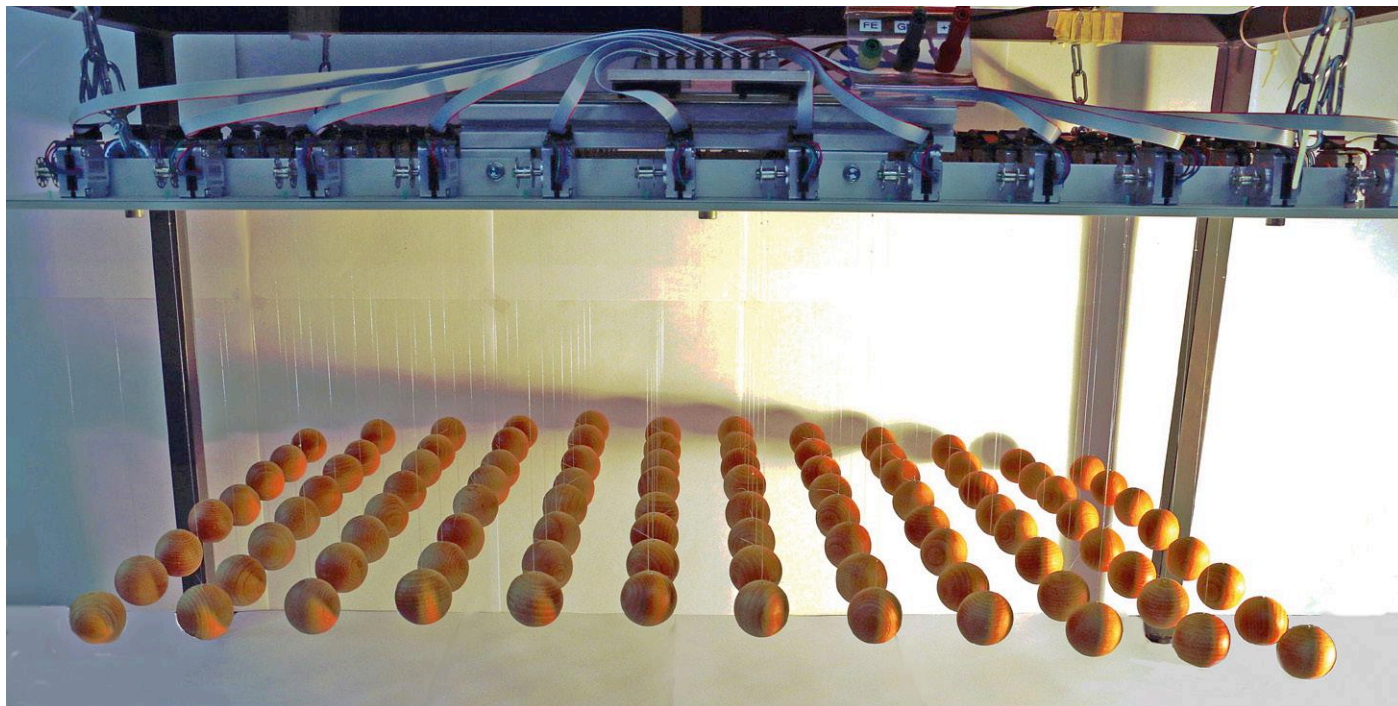


Figure 3. Pour comparaison : l'application d'exemple sous Android.

sculpture cinétique

quand l'électronique et l'art se rencontrent...



Andreas Lambers et Michael Bragard

L'association du monde des électrons domestiqués et de celui de la créativité sans limites offre un vaste potentiel ; par exemple dans les sculptures modernes qui peuvent changer de forme grâce à des moteurs. L'école technique supérieure d'Aix-la-Chapelle a concrétisé un tel projet : une matrice de boules en bois peut afficher des pictogrammes, mais aussi permettre de visualiser des fonctions mathématiques. Nous décrivons dans cet article la commande astucieuse des moteurs.

Une rencontre entre artiste et ingénieur a pris place juste derrière les caisses du musée BMW à Munich, où une « sculpture cinétique » grand format accueille le visiteur. Cette sculpture se compose de 714 boules de couleur argentée, suspendues au plafond à l'aide de câbles en acier ; des moteurs permettent de changer la hauteur de chaque boule [1]. Les mouvements des boules passent tout en douceur d'une forme à une autre, ce qui illustre le processus de recherche et de création de la carrosserie d'une automobile. Le tout constitue une accroche visuelle indéniablement réussie.

Cet article décrit comment une telle idée de visualisation trouverait sa place dans votre salon. Le projet décrit ici a été élaboré dans le cadre du mémoire de licence d'un étudiant de l'école technique supérieure d'Aix-la-Chapelle (génie électrique et technique de l'information).

Le matériel en bref

Notre sculpture cinétique se compose d'une matrice de 12×8 boules en bois. Ce n'est que la classe « bois » comparée à la sculpture BMW, néanmoins celle-ci reste une excellente occasion de création et d'extension. Chaque boule est suspendue par un fil de nylon à peine visible, enroulé sur une cannette de machine à coudre, fixée à un moteur pas à pas. Les différents modules sont fixés à écarts constants sur un châssis. Comme le montre la **figure 1**, les moteurs pas-à-pas et les circuits de commande pour une rangée de boules sont reliés en parallèle par un câble en nappe à une carte centrale, le *hub*. Comme le montre la photo du chapeau de l'article, pour notre premier essai nous avons suspendu le châssis et ses moteurs pas à pas à un bâti, de sorte que les boules semblent flotter librement dans l'espace.

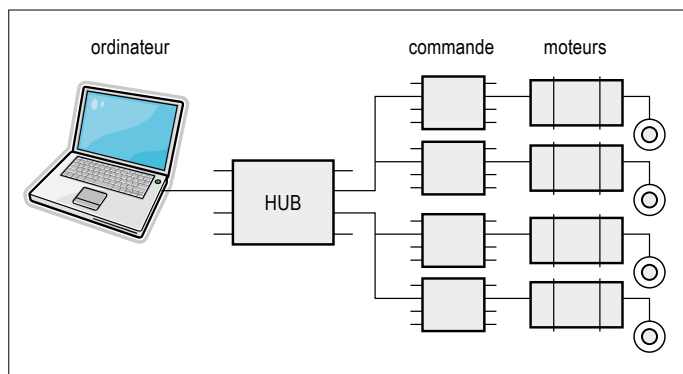


Figure 1. Une topologie de réseau au format « étoile mixte ».

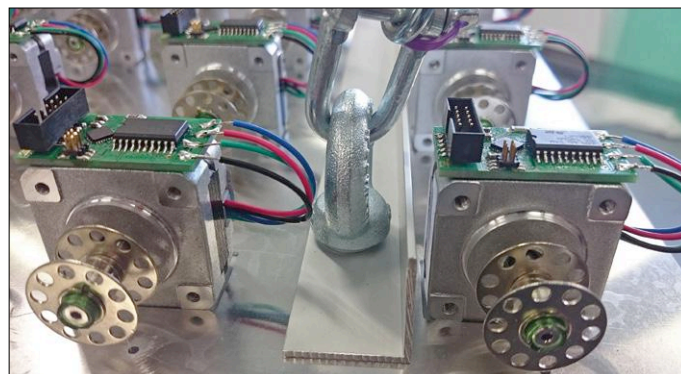


Figure 2. Moteur pas-à-pas avec carte de commande individuelle.

Le choix des moteurs pas à pas

Les moteurs pas à pas sont prédestinés pour ce projet en raison de leur commande relativement simple et leur bonne disponibilité à faible coût. Lors du choix du moteur, les critères décisifs ont été le couple disponible, la consommation électrique et la fixation du moteur. Le modèle NEMA 14 facilitait le montage. Après quelques recherches, le choix s'est porté sur le moteur pas-à-pas de type PSM35BYG104, souvent proposé lors de déstockage (**fig. 2**). Des essais ont montré que le couple de maintien disponible de 0,5 Ncm était suffisamment élevé. Ce paramètre est particulièrement important, car sinon toutes les boules tomberaient lorsque les moteurs ne sont pas alimentés. Combiné à un diamètre de cannette inférieur à un centimètre, le poids de la boule peut être alors d'environ 100 g. Le moteur choisi dispose de 200 pas physiques, c'est-à-dire qu'en mode « pas entier » il atteint une résolution de 1,8°. Avec la mécanique choisie, cela correspond à une précision de positionnement d'environ 0,1 mm !

Commande de moteur décentralisée

Comme le montre la figure 2, une petite carte de commande est fixée sur chaque moteur pas à pas, laquelle reçoit les

signaux de commande du hub central et les amplifie à l'aide d'un étage de puissance.

Le circuit de la carte de commande (**fig. 3**) se compose d'un microcontrôleur ATmega88-20MU [2], qui à l'aide des quatre connexions PC0 à PC3 (IN1 à IN4) prend en charge la communication et la commande du double pont bien connu L293DD [3]. Ce circuit intégré renferme deux paires de pilotes, dont les sorties (à savoir au milieu du pont) sont connectées aux enroulements du bobinage du moteur pas-à-pas bipolaire. Le microcontrôleur produit une séquence de commutation qui déplace le rotor par pas, en avant ou en arrière. En outre le microcontrôleur peut complètement activer ou désactiver les pilotes de ponts à l'aide des broches PD6 et PD7 (EN1, EN2). Le L293DD est alimenté ici en 5 V, mais il peut être utilisé avec une tension allant jusqu'à 12 V (une tension supérieure n'est pas possible avec le moteur choisi). L'étage des pilotes travaille avec une fréquence d'horloge jusqu'à 1 kHz pour la séquence de pas souhaitée. En 5 V, un courant maximal de 600 mA est possible, qui peut être maintenu en permanence. C'est plus que suffisant pour le moteur choisi. La résistance de shunt R2 connectée aux entrées du CA/N du contrôleur sert à la mesure du courant instantané. La comparaison des tensions d'entrées

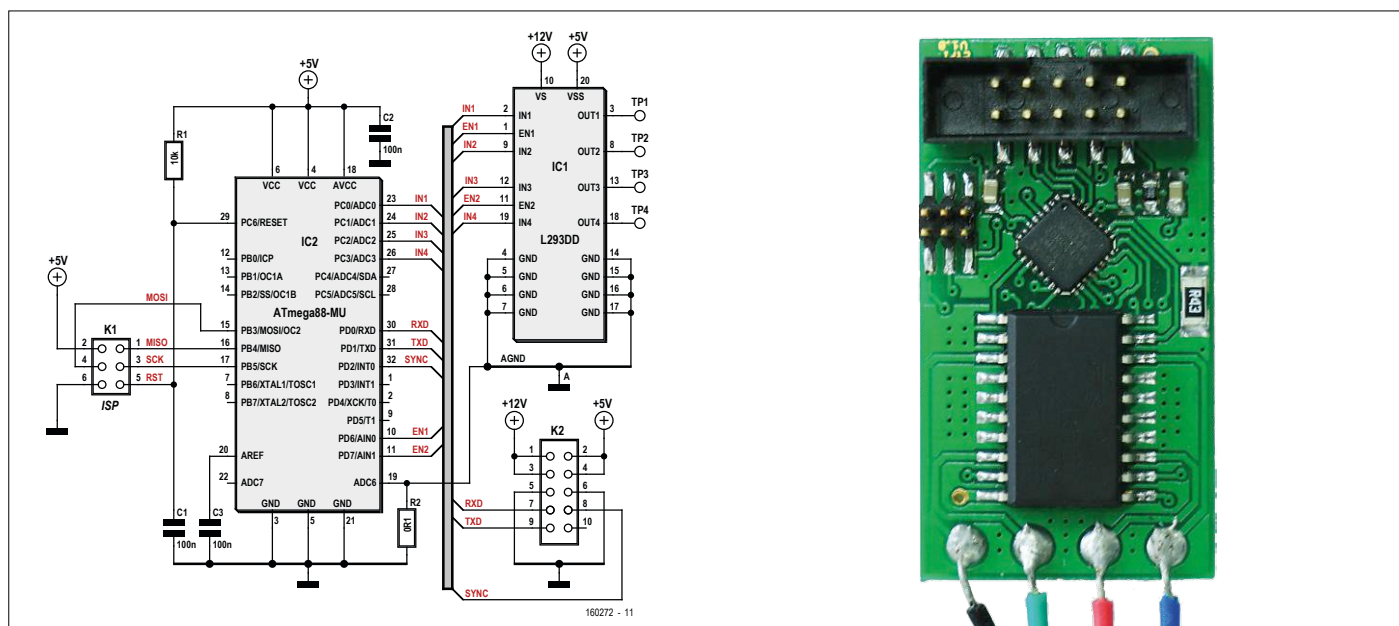


Figure 3. Circuit et implantation de la carte de commande de moteur.

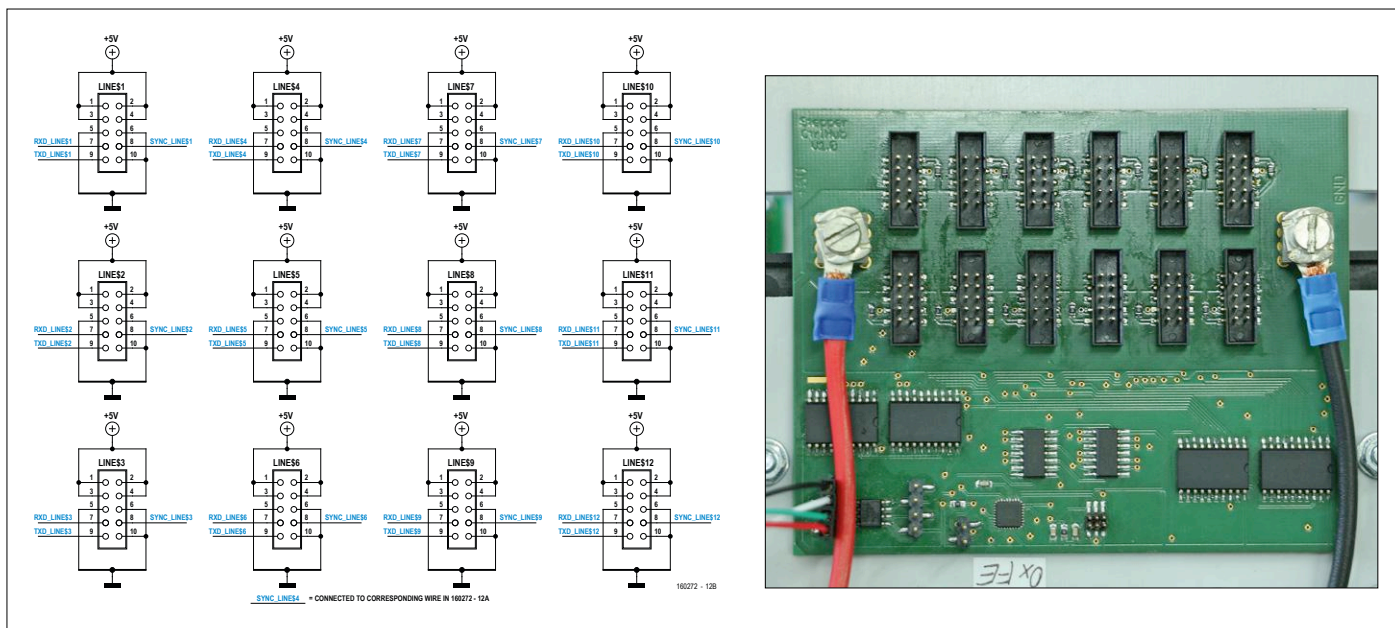


Figure 4. Les connexions aux rangées de moteurs sont situées sur le haut de la carte du hub.

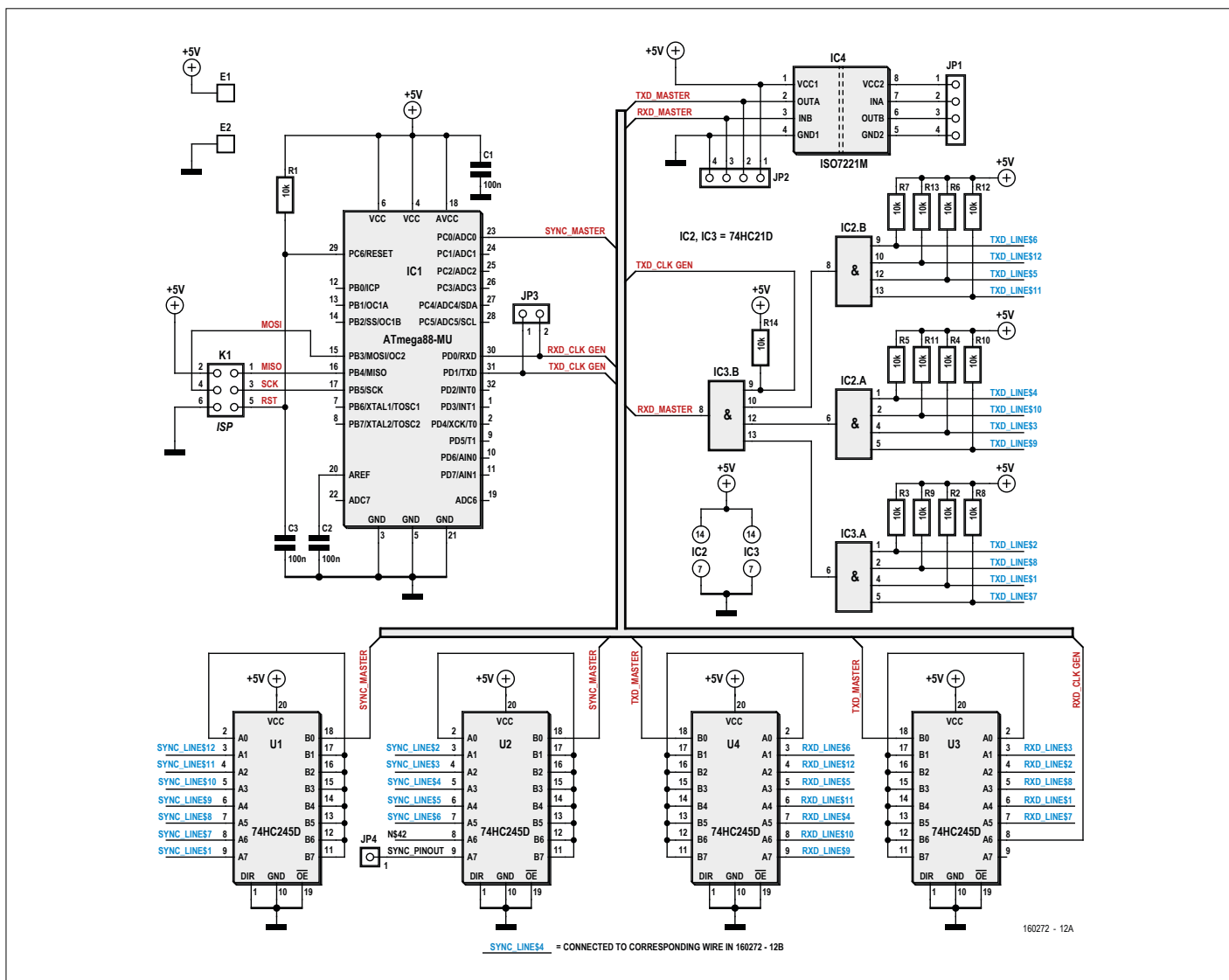


Figure 5. Le circuit de l'unité de communication du hub.

du convertisseur A/N avec la référence interne du contrôleur permet une bonne estimation du courant (et en cas de valeurs trop élevées un arrêt du système).

Trois connexions sont prévues pour la communication avec le hub. Le signal d'horloge SYNC envoyé par le hub central sur la broche 32 (PD2) assure un fonctionnement synchrone de tous les moteurs. La communication individuelle de chaque moteur (RxD et TxD) avec la carte de commande centrale est assurée par l'UART du contrôleur (broches 30 et 31).

Le reste du circuit se charge de la stabilisation de la tension d'alimentation et de la tension de référence ; un circuit de *Power-on-Reset* (PoR) est réalisé par le réseau R1/C1. Le petit connecteur à six broches est l'interface de programmation du contrôleur et correspond au brochage usuel AVR-ISP.

Le hub, unité centrale de communication

Le hub est le cœur de la communication centrale, c'est le noyau du bus qui assure la synchronicité des mouvements des moteurs individuels. Il assure aussi l'alimentation des différents moteurs ainsi que de leur circuit électronique. La topologie du réseau est une structure mixte en étoile [4], c'est pourquoi le hub constitue un goulot d'étranglement en termes de fiabilité et de stabilité opérationnelle.

On peut voir à la **figure 4** que les parties puissance et communication sont clairement scindées sur la carte. Les perturbations sont quasiment exclues en raison de la séparation spatiale. Pour ne pas étouffer sous un fouillis de câbles, les huit moteurs d'une rangée donnée sont reliés à un même câble plat. C'est pourquoi l'étage de puissance est pourvu de douze connecteurs mâles (à 2 × 5 broches), un pour chaque rangée. À droite et à gauche des connecteurs se trouvent les bornes de connexion à une alimentation externe. Le courant total de tous les moteurs se situe entre 15 et 20 A. Pour cette raison, on utilise des bornes de puissance spéciales de Würth [5] et des polygones en cuivre sur la carte, afin de maximiser la section des lignes de puissance. En outre le courant des modules à moteur est délivré sur plusieurs broches de connecteur.

Sur la partie inférieure de la carte du hub se trouve l'étage de communication dont le schéma est donné à la **figure 5**. Il est le lien avec le PC de commande connecté à JP1 ; il transmet les signaux TxD_MASTER et RxD_MASTER aux contrôleurs des différents moteurs. Ici aussi règne un ATmega88 en boîtier MLF32 avec le même schéma standard que les modules à moteur, mais le courant de chaque broche d'E/S est largement insuffisant pour fournir les signaux SYNC à tous les modules à moteur. C'est pourquoi deux circuits intégrés émetteurs/

récepteurs distincts (74HC245) partagent le signal de commande SYNC MASTER en signaux individuels identiques pour chacune des douze rangées. Contrairement au contrôleur, ces émetteurs/récepteurs fournissent le courant requis sans problème. Comme les sorties des émetteurs/récepteurs ne sont pas toutes utilisées, une des sorties est reliée à un point de test (à des fins de test bien entendu).

La situation est similaire pour le signal TxD_MASTER de JP1. Ici aussi les quelques mA que peut fournir IC4 sont insuffisants pour les 96 modules à moteur. Deux circuits intégrés émetteurs/récepteurs partagent donc le signal ici aussi sur les douze rangées de moteurs (plus une liaison vers l'ATmega du hub). Les signaux TxD envoyés au hub par les rangées de modules à moteur sont traités différemment. Les douze connexions sont maintenues à 5 V par des résistances de rappel. Lorsqu'un module de commande de moteur envoie des données au hub, il porte la ligne à un potentiel moins élevé, ce qui signale un 1 logique (nous avons donc affaire à une logique négative). Afin de n'utiliser qu'une seule entrée de l'ATmega du hub, un circuit logique filtre toujours le signal du module qui émet actuellement sur la ligne RX de l'ATmega.

Le contrôleur du hub fonctionne comme une horloge commandée. Le circuit logique canalise les messages des différents modules à moteur. De cette manière, une entrée et une sortie suffisent pour assurer la communication entre PC et hub, même s'il y a un grand nombre de modules.

Les signaux TxD_Clock_Gen et RxD_Clock_Gen (disponibles sur JP3) sont destinés à la mise en service du contrôleur, de sorte que la logique puisse être court-circuitée et les connexions pour les mesures des signaux de transmission en amont et en aval de la logique soient bien accessibles.

On n'a pas encore parlé du circuit IC4 entre la connexion au PC et l'électronique du hub. Il s'agit pour l'ISO7221 d'un isolateur de bus rapide à deux canaux qui assure une isolation électrique sûre des lignes de communication et d'alimentation. Le PC se laisse connecter à JP2 sans isolation.

Comment commander ?

PC et hub sont reliés par un câble de conversion USB-TTL [6]. La communication s'effectue alors selon le protocole UART usuel avec huit bits de données, parité paire et un bit de stop. À des fins de test, la vitesse de transmission est d'abord limitée à 600 bauds (600 8E1). Un message aux cartes de commande est construit comme suit :

Adresse Data0 Data1 Data2 Data3 Data4 Data5 ID CRC STOP

Tableau 1. Instructions pour le mouvement et la commande (exemples).						
	Data0	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5
Déplacement de x pas	0xA0	vitesse	x pas octet haut	x pas octet bas	Direction	-
Déplacement à la position x	0xA1	vitesse	position x octet haut	position x octet bas	-	-
Déplacement selon données binaires	0xA4	instruction binaire 1	2	3	4	Direction
Arrêt du déplacement	0xB0	-	-	-	-	-
Arrêt du déplacement et arrêt du moteur	0xB1	-	-	-	-	-
Reprise après un arrêt	0xB2	-	-	-	-	-

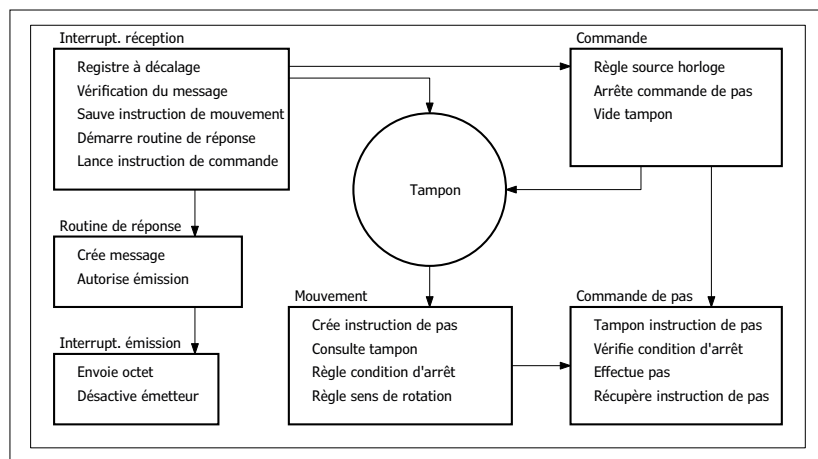


Figure 6. Les processus du micrologiciel du hub.

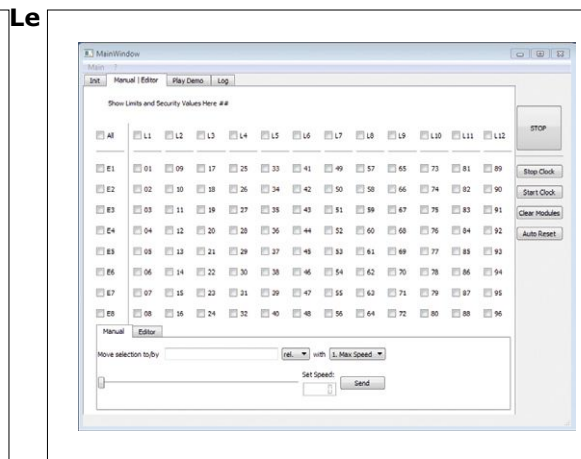


Figure 7. Interface utilisateur confortable du logiciel pour PC.

Un total de 254 adresses peut être défini par un octet, car les adresses de diffusion 0x00 mais aussi 0xFF ne peuvent être utilisées pour envoyer des commandes individuelles. Chaque message est vérifié au niveau de l'octet pour les erreurs de parité et de débordement possible. Ces fonctions sont déjà intégrées au matériel du microcontrôleur et peuvent être lues via un registre d'état pour détecter d'éventuelles erreurs. Après un contrôle réussi du message, il est décidé s'il s'agit d'une instruction de mouvement, ou d'une commande. Les instructions de commande sont directement exécutées, les instructions de mouvement sont d'abord mémorisées. Cette procédure garantit que tous les moteurs connaissent déjà la commande et peuvent alors l'exécuter simultanément dès que le logiciel en donnera l'ordre.

Lorsque le maître a envoyé un message, l'état de chaque étage de pilote de moteur est interrogé. Si un esclave ne répond pas, le message sera envoyé à nouveau. L'esclave répond avec un message d'une longueur de neuf octets :

Adresse ID reçue Mémoire Pos.H Pos.L Horloge H
Horloge L CRC STOP

Outre sa propre adresse sont transmis l'identifiant (ID) du dernier message reçu et la mémoire actuellement libre, l'horloge courante et la position comme octet haut ou bas. La détection d'erreur est effectuée en calculant un octet de somme de contrôle de tous les octets précédents selon la norme CCITT/ITU-T. L'octet de stop termine le message.

Les instructions de commande ou de mouvement mentionnés ci-dessus contiennent toutes les instructions nécessaires pour donner au spectateur l'impression de mouvements fluides de la sculpture. Certaines de ces commandes sont expliquées dans le **tableau 1**.

Le cas échéant d'autres instructions peuvent être facilement intégrées au micrologiciel. Comme simple routine de test, une table de sinus a été créée, avec des instructions précalculées et contenant toutes les valeurs calculées pour tous les modules de commande afin d'exécuter un mouvement sinusoïdal de la sculpture. Avec ce profil de mouvement, on peut par ex. sans programmation préalable vérifier le courant consommé, la synchronicité et le sens de rotation de chaque moteur.

Micrologiciel du microcontrôleur du hub

Le micrologiciel du microcontrôleur central est géré par interruptions. Une interruption due à la réception d'un message traite toutes les données reçues et les vérifie. Après une vérification réussie, le micrologiciel décide si une réponse au message est requise. Si oui, celle-ci est produite et envoyée. Puis l'émetteur se désactive.

La commande de mouvement reçoit ses ordres à partir du tampon et les convertit en instructions détaillées pour la commande par pas. En outre, elle définit les paramètres de la direction du mouvement et les conditions d'interruption.

La commande par pas est déclenchée par l'horloge et s'occupe concrètement du pas, après avoir vérifié les conditions d'interruption. Les instructions de déroulement sont consignées dans la mémoire de pas sous forme de données binaires, de sorte que la commande de mouvement soit moins sollicitée. Les processus du micrologiciel sont décrits à la **figure 6**.

Le logiciel sur le PC

Le logiciel sur le PC offre une possibilité conviviale de commande et de programmation, et représente donc un complément judicieux. Le logiciel permet d'envoyer au hub des instructions de mouvement et de commande ainsi que de configurer des profils de mouvements.

À cet effet sont rassemblés dans un message une instruction avec une adresse, un numéro d'identification du message, une somme de contrôle et un bit de stop.

Dès lors qu'un message a été envoyé, une réponse est immédiatement attendue ; elle est elle-même vérifiée à sa réception. Si dans un intervalle de temps d'attente donné, aucune réponse n'est reçue, le message sera envoyé à nouveau jusqu'à un nombre défini de tentatives, après quoi le processus sera interrompu.

Lors de l'envoi de plusieurs messages, une zone de mémoire est réservée pour chaque message afin d'y stocker les réponses individuelles pour une estimation ultérieure. Lors de l'envoi de série d'instructions, un tri des messages par adresse est prévu. L'interface du logiciel à la **figure 7**, conçue à des fins de test, est spartiate, mais elle peut facilement être personnalisée et étendue. À l'aide d'un menu à onglets sur le bord supérieur, on accède à la commande manuelle, à l'éditeur (application de démonstration), à un mode de démonstration ainsi qu'au

journal courant. Avec l'éditeur, on peut programmer dans la matrice un profil de mouvement pour l'ensemble de la sculpture. Y seront consignées la hauteur à laquelle les boules doivent se positionner et la vitesse du mouvement.

Des motifs de test préprogrammés sont disponibles dans le menu de démonstration, ce qui permet d'effectuer des tests pour contrôler le fonctionnement de la sculpture. Des erreurs peuvent être analysées directement dans le logiciel en surveillant la fenêtre du journal, sans avoir à recourir à l'oscilloscope pour la recherche de panne.

La mise en service. Enfin !

Pour commencer, un mouvement de synchronisation a lieu afin que toutes les boules pendent à une hauteur initiale déterminée. Tous les moteurs élèvent les boules jusqu'en butée. La mesure d'un courant plus intense, par la résistance de shunt, permet de détecter la butée. Ensuite chaque moteur peut être commandé avec une résolution d'un pas.

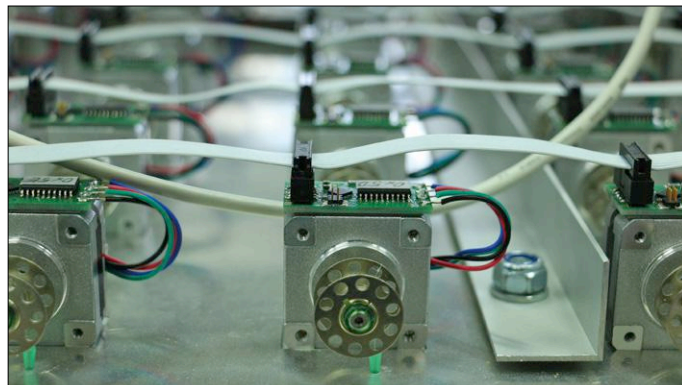
La première mise en service a fonctionné comme prévu au laboratoire de traction électrique de l'école technique supérieure d'Aix-la-Chapelle. Les différents moteurs peuvent être commandés de façon synchrone. Depuis, les premiers tests avec des motifs déterminés ont été menés à bien.

Le contrôle de l'ensemble du système avec une caméra thermique n'a pas montré de présence de point chaud inattendu. La conception électrique peut donc être qualifiée de stable. Il reste à voir dans quelle mesure les fils de nylon supporteront le long terme. La suspension libre (dans le cadre de la table) garantit un fonctionnement très silencieux.

Conclusion

La visite du musée BMW a marqué les esprits et a été la source d'inspiration de ce projet. Le laboratoire de traction électrique de l'école technique supérieure d'Aix-la-Chapelle s'est enrichi d'une œuvre d'art intéressante. C'est non seulement un sujet de discussion pour les élèves et les visiteurs, mais également un sujet d'étude à fort potentiel pour d'autres thèses.

Si vous entendez l'appel du fer à souder, vous trouverez tout ce dont vous avez besoin pour reproduire ce projet sur la page [7] : schémas, circuits imprimés au format Eagle, logiciel pour toutes les parties concernées et même les dessins techniques pour le châssis (bien entendu adaptés uniquement



aux moteurs mentionnés). Mais même si vous imaginez déjà une réplique pour votre salon, soyez prévenus ! N'hésitez pas à appeler des amis à la rescousse pour câbler à la main les cent cartes identiques requises. Ce sera moins ennuyeux et cela ne vous coûtera que quelques bières... ◀

(160272 – version française : Xavier Pfaff)

Liens

- [1] <https://artcom.de/en/project/kinetic-sculpture/>
- [2] <http://bit.ly/2jimvRu>
- [3] <http://bit.ly/2jR13nv>
- [4] https://fr.wikipedia.org/wiki/Topologie_de_r%C3%A9seau
- [5] http://katalog.we-online.de/en/em/WP-BUTR_TWO-ROWS/7460307
- [6] www.elektor.fr/usb-ttl-interface-cable-5v
- [7] www.elektormagazine.fr/160272

À propos des auteurs



Après son bac en 2000, **Michael Bragard** a étudié l'électrotechnique à l'Université technique de Rhénanie-Westphalie (RWTH) à Aix-la-Chapelle. Après son diplôme d'ingénieur en 2006, il a travaillé comme collaborateur scientifique à l'Institut pour les convertisseurs de courant et la traction électrique. À partir

de 2012, il a travaillé chez Delta Energy Systems dans le développement d'éoliennes. En janvier 2015, il a été nommé professeur à la chaire de « traction électrique » de l'école technique supérieure (FH) d'Aix-la-Chapelle.



Après son bac en 2006, **Andreas Lambers** a étudié l'électrotechnique à la RWTH d'Aix-la-Chapelle, ensuite il a terminé ses études d'électrotechnique à la FH d'Aix-la-Chapelle avec un diplôme de *Bachelor of Engineering* (B. Sc.). Le sujet de son projet de fin d'études était « développement et mise en œuvre d'une plate-

forme de visualisation évolutive de moteurs pas à pas avec commande en série ».

télécommande Bluetooth Low Energy

vos désirs sont des ordres



Jennifer Aubinais (Paris, France)

Le Bluetooth est un protocole où un maître communique avec un ou plusieurs esclaves ; les esclaves ne peuvent pas se parler entre eux. Souvent le maître est un ordiphone ou un ordinateur, mais ce n'est pas toujours souhaitable. Un module Bluetooth maître fait très bien l'affaire à leur place.

Durant l'année 2015, nous vous avons présenté plusieurs projets Bluetooth Low Energy (BLE) dans une série d'articles [1] autour du BL600, un module BLE fabriqué par Laird Technologies. Le BL600 est

un module esclave, c'est pourquoi les projets précédents avaient besoin d'un maître sous la forme d'un ordiphone ou d'un ordinateur pour fonctionner. Le BL600 a un cousin, le BL620 [2], qui,

lui, est capable d'endosser le rôle de maître et qui permet alors d'échanger avec jusqu'à quatre modules esclaves. Dans cet article, nous vous proposons de mettre en œuvre le BL620 comme télé-

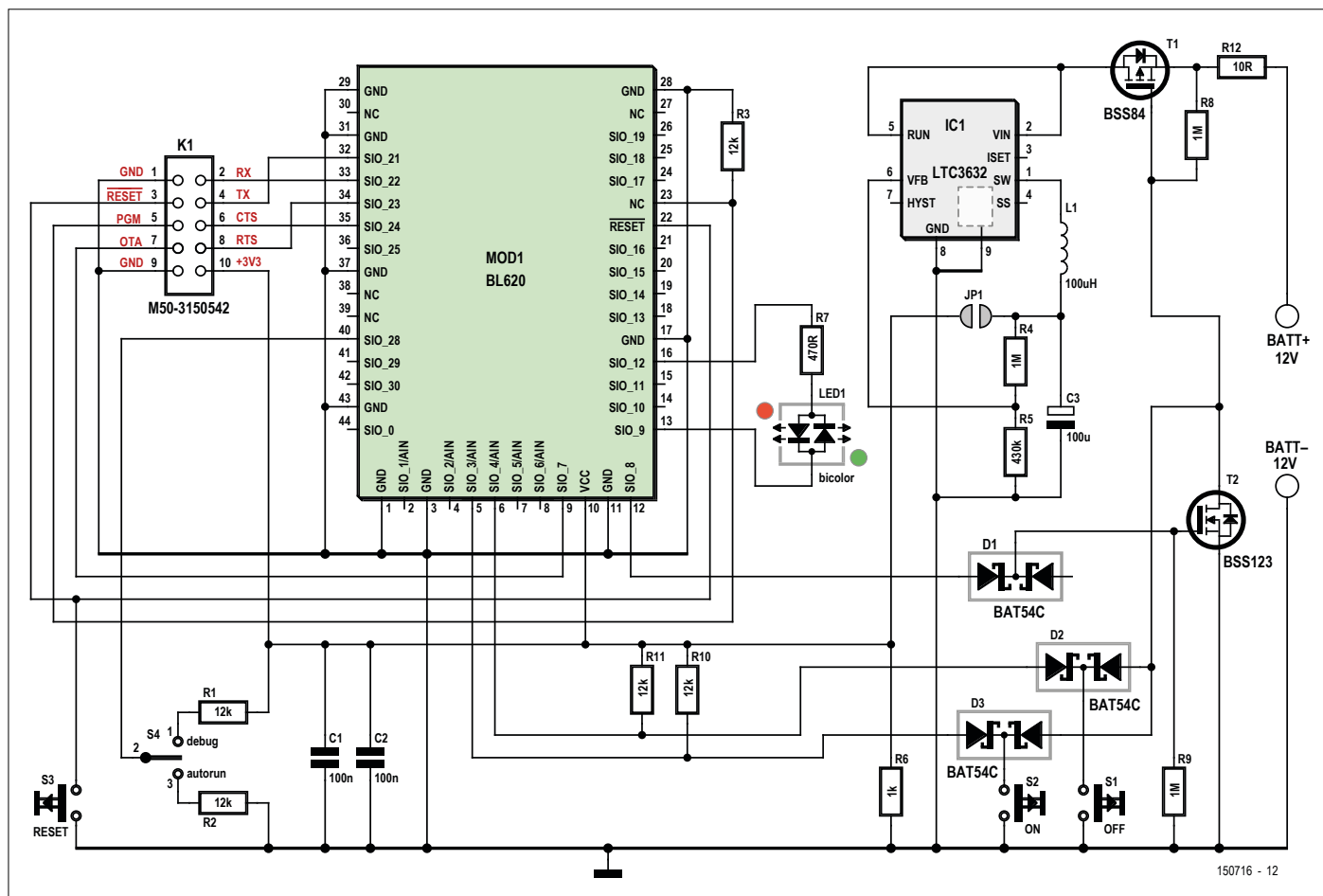


Figure 2 – Le schéma complété avec l'alimentation de 12 V.

avec un peu d'électronique, nous avons choisi pour cette tâche le sympathique LTC3632 de Linear Technology (désormais Analog Devices).

Pour que la pile dure longtemps, la consommation du montage devra rester la plus faible possible. Côté BL620 pas de soucis, il ne consomme que 0,5 µA en mode sommeil (*sleep*), mais il y a aussi le convertisseur-abaisseur à nourrir. Or, mine de rien, il est gourmand : il consomme 12 µA ! Cela peut vous sembler peu, mais en réalité c'est beaucoup trop, car les piles de 12 V (au format 23A) ont généralement une capacité de

seulement 55 mAh. Il est donc hors de question de le laisser sous tension continuellement, c'est pourquoi nous avons rajouté un interrupteur marche/arrêt électronique à l'aide de quelques transistors et des diodes. La **figure 2** montre le schéma final.

Le convertisseur-abaisseur IC1 est sous tension si le transistor T1 est passant, ce qui est le cas lorsque l'on appuie sur l'un des deux boutons-poussoirs. IC1 se met en route et le BL620 est alimenté. Le BL620 s'occupe alors d'activer le transistor T2 pour assurer le maintien au niveau bas de la grille de T1, et ce pendant le

temps qu'il lui faudra pour effectuer son travail. Du coup, quand le bouton-poussoir est relâché, le circuit reste sous tension. Les diodes doubles D2 et D3 ont deux fonctions. D'une part, elles protègent le module BLE contre la tension de la pile de 12 V (même si R8 limite le courant, mieux vaut prévenir que guérir), d'autre part elles forment une porte ET pour éviter que les deux boutons-poussoirs soient court-circuités.

La tension de sortie d'IC1 est ajustée par le pont diviseur de tension R4/R5. Le calcul n'est pas sorcier :

$$V_{out} = 0,8 \times (1 + R4/R5)$$

Avec les valeurs choisies, V_{out} devrait se situer entre 2,5 et 2,9 V (tolérance de 5% pour les valeurs de R4 et R5). La résistance R12 a été rajoutée pour pouvoir mesurer le courant du montage sans à avoir besoin de couper l'alimentation pour insérer un ampèremètre. Il suffit alors de mettre un (milli)voltmètre aux bornes de cette résistance et de diviser par 10 la valeur mesurée pour connaître la consommation de la télécommande.

Tableau 1. Signification des signaux lumineux émis par LED1. Si les couleurs sont inversées, c'est que vous avez monté la LED à l'envers.		
Couleur	Clignotement	Description
Vert	non	Envoi de la commande pour activer l'interrupteur suite à une pression sur S1.
Rouge	non	Envoi de la commande pour désactiver l'interrupteur suite à une pression sur S2.
Vert/rouge	lent	Recherche de l'interrupteur suite à une pression simultanée sur les deux boutons S1 et S2.
Vert/rouge	rapide	Erreur de connexion (interrupteur non trouvé).

LED1 est une LED bicolore. Sa fonction dépend bien sûr de l'application, ici elle donne des informations sur la commande (marche/arrêt de l'interrupteur) et l'état de la connexion Bluetooth (**tableau 1**). Le schéma est complété par quelques composants dits électromécaniques. D'abord il y a K1, un connecteur à dix contacts qui permet de programmer le BL620 à travers une interface série (3,3V !) avec le logiciel *UwTerminal*. Si besoin, ce connecteur permettra également de charger le micrologiciel sur le module BLE si on dispose d'une sonde J-Link de Segger. Ainsi il sera possible de transformer un BL600 en BL620 et vice versa. Par souci de place, K1 est au pas de 1,27 mm, c'est pourquoi nous avons complété le projet avec une petite carte adaptatrice (**fig. 3**) qui ramène le pas de 1,27 mm vers un connecteur au pas de 2,54 mm, avec le même brochage que le connecteur K1 de l'eBoB-BL600 [1].

S3 est un tout petit bouton-poussoir pour réinitialiser le module BLE, cela peut toujours servir.

Le commutateur S4 a la même fonction que JP1 de l'eBoB-BL600. En position *autorun*, le module BLE exécute au démarrage automatiquement l'application principale, c'est le mode de fonctionnement normal. En position *debug* (*cmd* sur l'eBoB-BL600), le module accepte des commandes de type « AT » sur le port série, pratique pour les expériences et la mise au point d'un programme.

Enfin JP1 permet de séparer l'alimentation du reste du circuit et de vérifier qu'IC1 fait bien son travail avant de terminer l'assemblage.

Le logiciel

Comme le BL600, le BL620 se programme en *smartBASIC*, le langage de programmation développé par le fabricant pour ses modules. Nous allons utiliser les fonctions largement développées dans les articles précédents et notamment la gestion des événements décrite dans la 6^e partie de la série [1]. Pour plus de détails, il est donc fortement conseillé de vous reporter aux différents articles [1][3][4][5].

Le programme est construit sur *smartZ*, une sorte de microsystème d'exploitation mis à disposition par le fabricant qui, une fois chargé dans le module, offre les différentes commandes nécessaires pour utiliser le protocole BLE : `hcitool lescan`, `hcitool lecc`, `gatttool --char-`

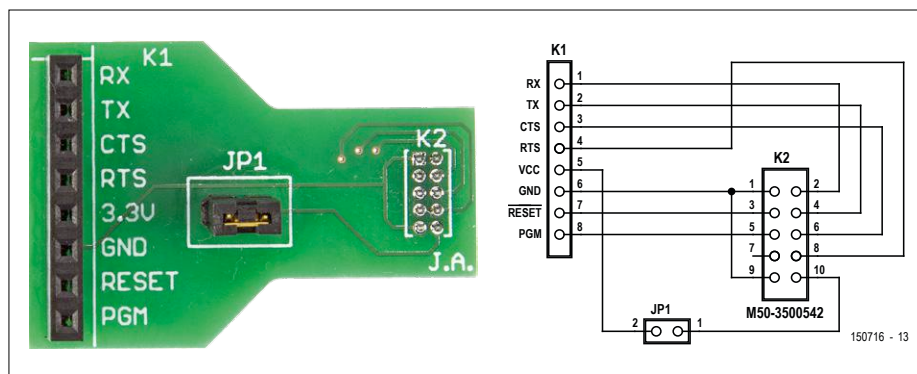


Figure 3 – Une carte adaptatrice a été prévue pour rendre le petit connecteur K1 compatible avec le connecteur de l'eBoB-BL600. Le cavalier permet de couper l'alimentation si nécessaire.

`write...` (reportez-vous à [4] pour plus de détails). Puisque le fabricant a publié le code source de *smartZ* sur GitHub [6], nous en avons profité pour l'adapter aux besoins de la télécommande. La **figure 4** montre le déroulement du programme. Dès que le module BLE est mis sous ten-

sion par une pression sur S1 ou S2 (ou sur les deux en même temps), la première chose à faire est de mettre la broche SIO_8 à l'état haut afin de maintenir l'alimentation de la télécommande quand les touches seront relâchées. Ensuite il y a deux possibilités :

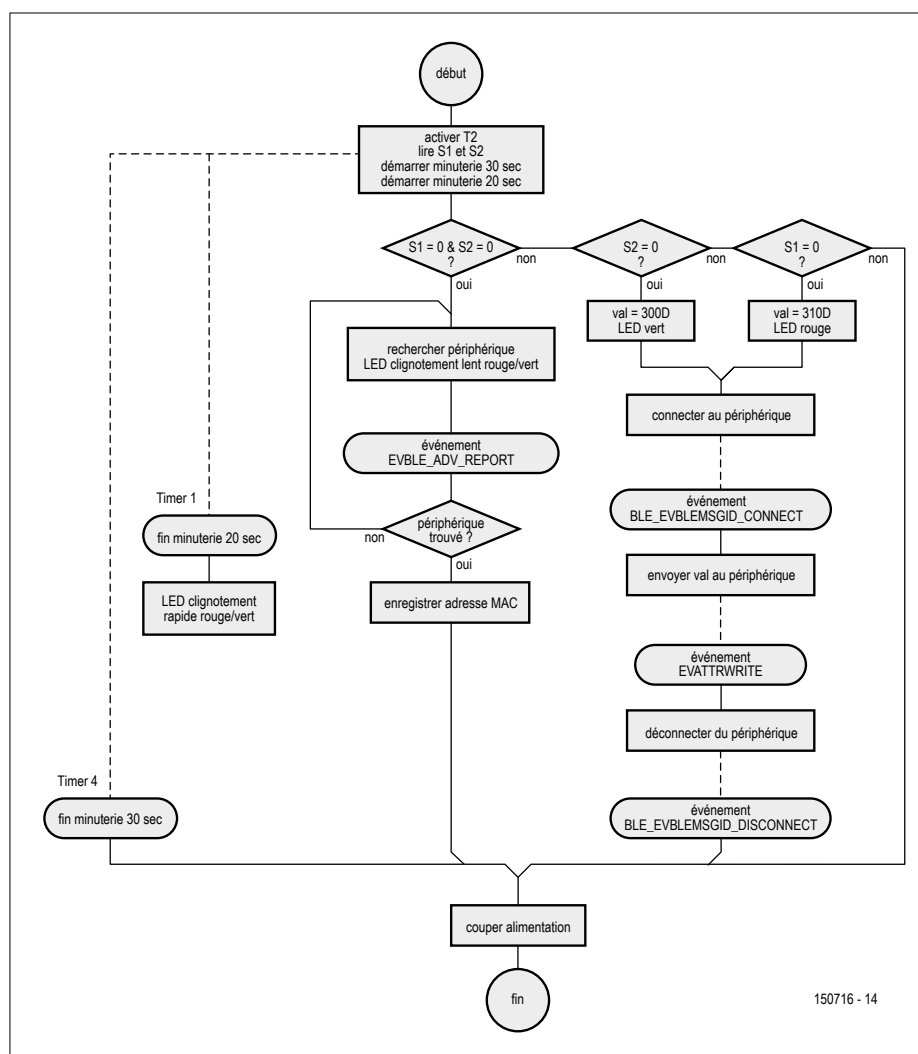


Figure 4 – L'organigramme du programme de la télécommande. Le chemin « normal » passe par la droite. Les lignes en pointillés indiquent les moments où le programme attend l'arrivée d'un événement.



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances (5%, 0805)

R1, R2, R3, R10, R11 = 12 k Ω
R4, R8, R9 = 1 M Ω
R5 = 430 k Ω
R6 = 1 k Ω
R7 = 470 Ω
R12 = 10 Ω

Condensateurs

C1, C2 = 100 nF, 0805
C3 = 100 μ F, 5650

Inductances

L1 = 100 μ H, 1210
(p.ex. Würth 744764920)

Semi-conducteurs

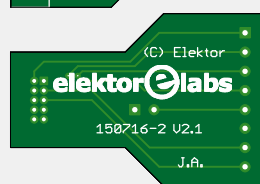
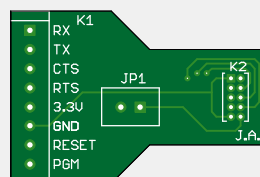
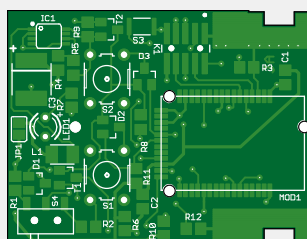
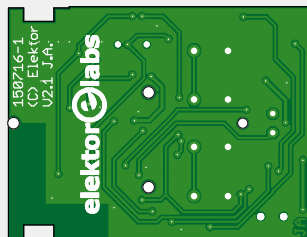
D1, D2, D3 = BAT54C
IC1 = LTC3632
LED1 = LED bicolore, 3 mm
T1 = BSS84
T2 = BSS123

Divers

K1 = embase à 2x5 contacts
au pas de 1,27 mm, Harwin M50-3150542
MOD1 = BL620
S1, S2 = interrupteur tactile 6x6 mm,
p.ex. B3F-1020
S3 = interrupteur tactile Panasonic
EVPACD2A
S4 = commutateur à glissière,
C&K Components, AY20102AGRLC
Pile de 12 V, taille 23A
Boîtier = CamdenBoss 2957-23
(contient le connecteur pour la pile)

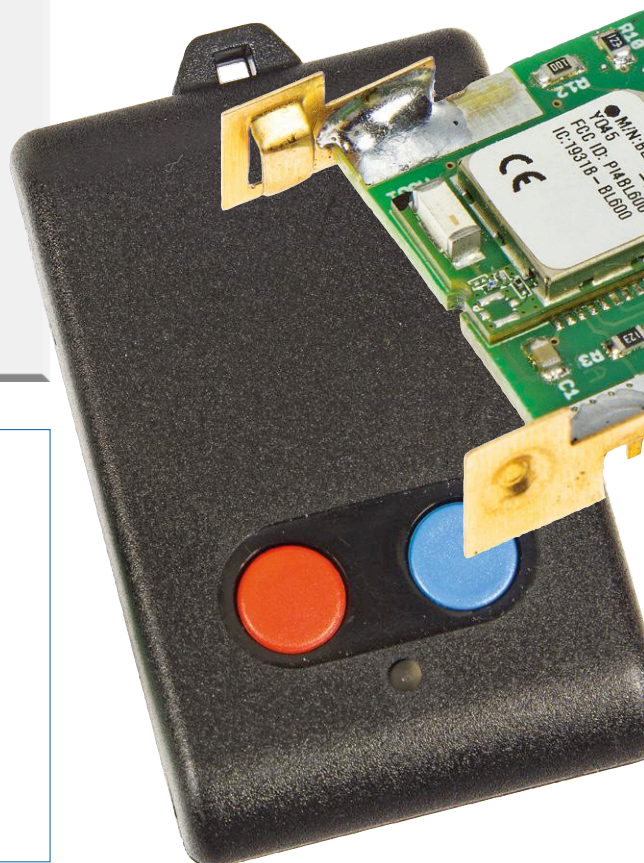
Pour la carte adaptatrice

K1 = barrette droite à 6 contacts
K2 = connecteur à 2x5 contacts
au pas de 1,27 mm, Harwin M50-3500542
JP1 = barrette droite à 2 contacts
1 cavalier



- Pression simultanément sur S1 et S2 : le module BLE part à la recherche de périphériques BLE et essaye de dénicher celui qui porte le nom de l'interrupteur secteur JA_SWITCH. S'il trouve ce périphérique, son adresse MAC est sauvegardée dans l'EEPROM du BL620. La télécommande est alors prête pour piloter l'interrupteur secteur. Cette action peut être renouvelée autant de fois que vous le voulez, si vous avez du mal à trouver l'interrupteur.
- Pression sur S1 ou S2 : le module BLE tente d'établir une connexion avec l'interrupteur secteur. Si la connexion réussit, il envoie la commande pour soit activer l'interrupteur (pression sur S1), soit le désactiver (pression sur S2), puis il interrompt la connexion avant de couper sa propre alimentation en mettant la broche SIO_8 au niveau bas. La mise en route de la télécommande dure moins d'une seconde. Cette rapidité est due à l'enregistrement de l'adresse MAC de l'interrupteur dans l'EEPROM du module, ce qui évite de devoir rechercher l'interrupteur à chaque fois.

Une minuterie de 30 s est démarrée au lancement du programme. Si tout se



Liens

- [1] Elektor n°441 à n°447 ; compilation des articles du BL600 : www.elektor.fr/elektor-select-compilation-bl600
- [2] www.lairdtech.com/products/bl620
- [3] Interrupteur 230 V commandé par Bluetooth (Low Energy) : www.elektormagazine.fr/140115
- [4] Passerelle Bluetooth 2 vers Bluetooth LE : www.elektormagazine.fr/150753
- [5] Thermomètre sans fil Bluetooth Low Energy : www.elektormagazine.fr/140190
- [6] <https://github.com/LairdCP/BL620-Applications>
- [7] www.elektormagazine.fr/150716

se désactivera bien avant la fin de ce délai. Dans le cas contraire, elle sera éteinte automatiquement après ce délai.

La réalisation

Même si cette carte de télécommande comporte beaucoup de CMS, l'assemblage est tout à fait réalisable avec un fer à souder très fin.

Pensez à monter la LED bicolore (LED1) à environ 1 cm au-dessus la carte afin qu'elle soit visible à travers un petit trou du boîtier.

Pour l'instant, laissez JP1 de la carte télécommande ouvert.

Carte adaptatrice

En ce qui concerne la carte adaptatrice, le connecteur K1 et le cavalier JP1 se montent sur la face supérieure (« composants »), le petit connecteur K2 va sur la face inférieure (« soudure »).

La programmation

Commencez par télécharger le programme (incluant l'utilitaire de programmation UwTerminal et les bibliothèques) [7]. Mettez S4 en position *debug*, soit à l'opposé du BL620 (vers

Transformer un BL600 en BL620

Si vous avez en stock un BL600 et non pas un BL620, voici comment reprogrammer un module BL600 (esclave) pour en faire un BL620 (maître). Pour y parvenir, vous aurez besoin d'une sonde J-Link de Segger, la version Edu est suffisante.

- Téléchargez « BL620 Firmware v12.4.10.0 Revision 1 » (www.lairdtech.com/products/bl620 → *software downloads*, il est nécessaire de se connecter et de créer un compte avec Elektor comme *company*).
- Téléchargez le pilote « Software for Windows » (www.segger.com/downloads/jlink) de la sonde J-Link, puis installez-le.
- Reliez le connecteur JTAG de la sonde J-Link à un BL600, comme ceci :

BL600	J-Link (Edu)	Couleur de fil
PGM	TCK	Blanc
RES	TMS	Bleu
GND	GND	Noir
VCC	VCC	Rouge (ce n'est pas une alimentation)

- Assurez-vous que le BL600 est alimenté par une source externe, la sonde J-LINK ne fournit pas d'alimentation.
- Lancez la commande « _DownloadFirmwarev12_4_14_0.bat » contenue dans le téléchargement de l'étape 1.

Félicitations, votre module BL600 est devenu un module BL620 (notez-le sur le module). L'inverse, changer un BL620 en BL600, ou mettre à jour un BL600 ou BL620 est également possible en téléchargeant le dernier micrologiciel du BL600 sur le site du fabricant.

- Choisissez le fichier « \$autorun\$. Remote.smartZ.sb », le chargement du programme commence.

Quand la programmation s'est terminée correctement, quittez le programme UwTerminal et débranchez tout.

Mettez S4 en position *auto-run*, soit vers le BL620 (vers le haut). Installez la carte dans

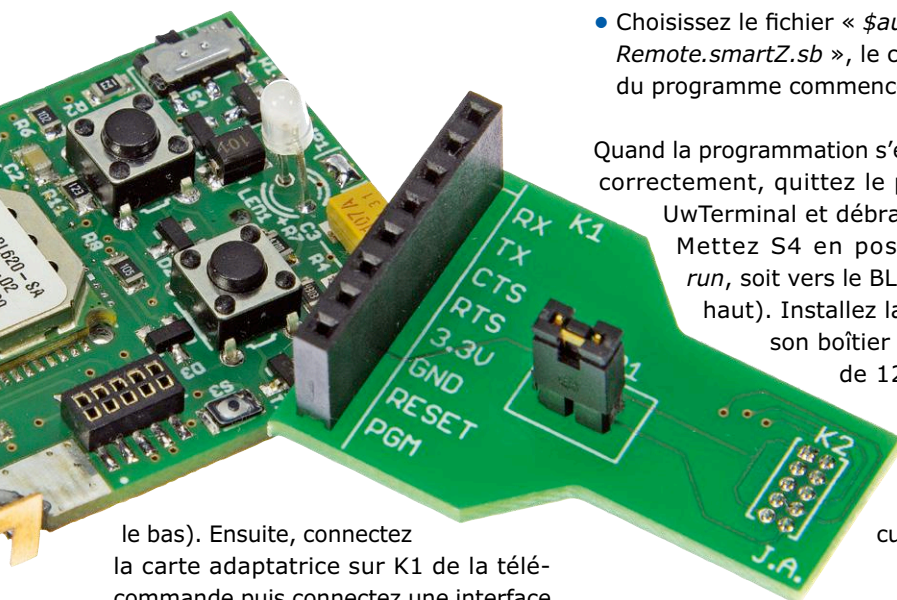
son boîtier avec sa pile de 12 V. Ensuite

vérifiez que la tension en sortie du circuit abaisseur

(JP1, broche 2, côté IC1) est bien dans la plage de fonctionnement du BL620 (1,8 V à 3,6 V). Si c'est le cas, pontez les contacts de JP1 avec une goutte de soudure afin de relier la partie alimentation au reste du circuit.

Votre télécommande est désormais prête à l'emploi. La première action sera d'appuyer sur les deux touches en même temps afin de la connecter à votre interrupteur BLE. La LED bicolore clignote lentement puis s'arrête (si celle-ci se met à clignoter rapidement, la télécommande n'a pas été trouvée). Appuyez sur la touche S2 pour activer l'interrupteur ; appuyez sur la touche S1 pour le désactiver. ◀

(150716)



le bas). Ensuite, connectez la carte adaptatrice sur K1 de la télécommande puis connectez une interface USB-série TTL (3,3V !) à la carte adaptatrice, avant de la connecter à votre ordinateur.

Identifiez le numéro de port de communication dans le gestionnaire de périphériques de Windows et lancez UwTerminal.exe en choisissant 9600 bauds et le bon port de communication.

- Clic droit puis, dans le menu, choisissez *Download -> BASIC -> Run*

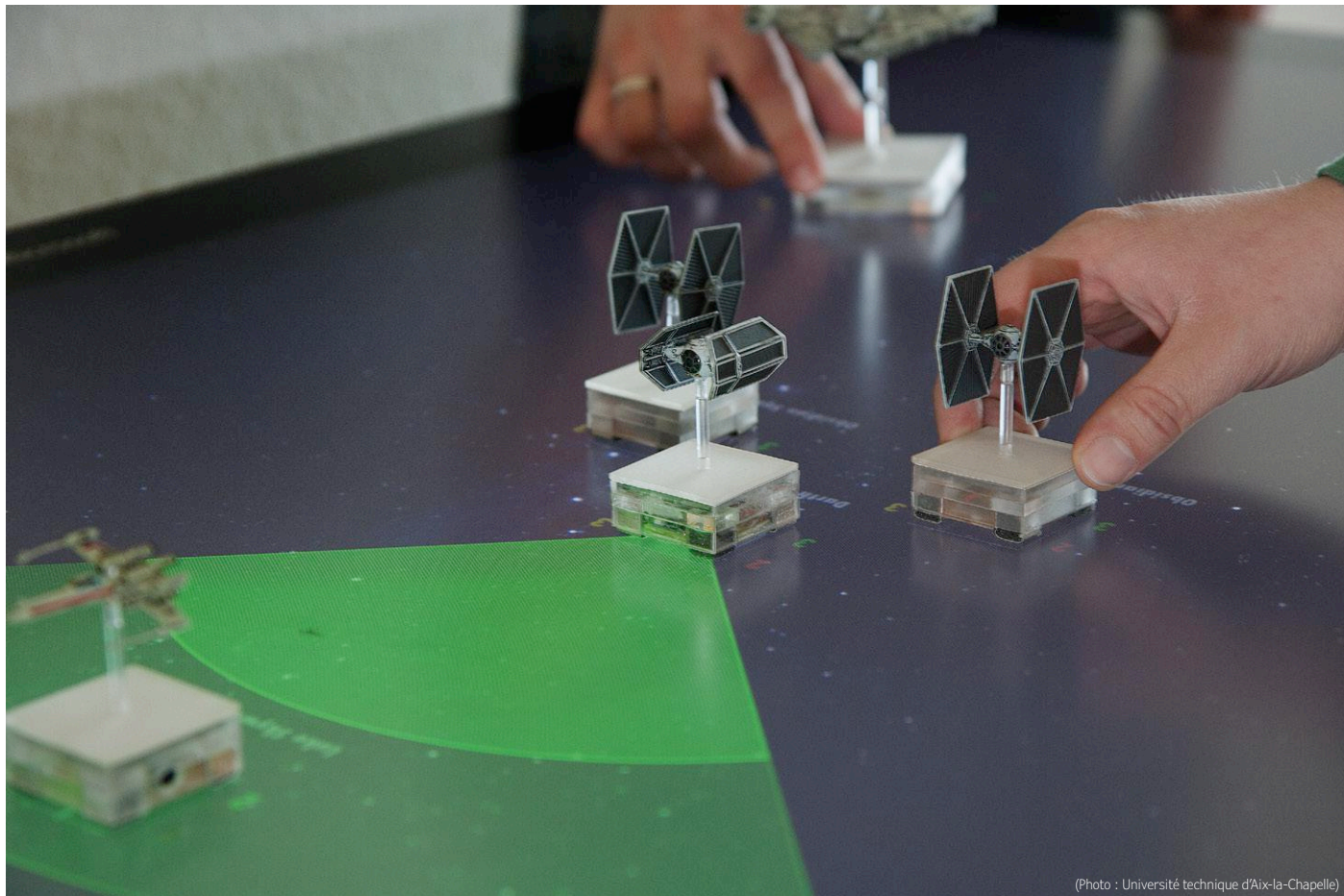


DANS L'E-CHOPPE

- 150716-1 : circuit imprimé de la télécommande
- 150716-2 : circuit imprimé de l'adaptateur de programmation
- 140270-91 : module eBoB-BL600
- 140190-91 : thermomètre BLE (module BLE monté sur circuit imprimé)
- 140115-1 : circuit imprimé de l'interrupteur 230 V BLE
- 150168-91 : module BL600 (peut remplacer le BL620, après reprogrammation)

le projet TABULA

détection capacitive d'objets sur des écrans tactiles



(Photo : Université technique d'Aix-la-Chapelle)

Christian Cherek, Université technique de Rhénanie-Westphalie (RWTH, Aix-la-Chapelle)

De grands écrans tactiles sur lesquels des objets tangibles peuvent être posés et déplacés, voilà un projet prédestiné aux applications éducatives. Jusqu'à présent, il était impossible d'exploiter la reconnaissance tactile capacitive des tablettes et des grands écrans tactiles modernes comme la « Surface Hub ». Les choses devraient changer grâce au projet de recherche mené par l'Université technique d'Aix-la-Chapelle en collaboration avec Elektor.

À l'heure actuelle, l'Allemagne a besoin de plus de 40 000 informaticiens : non seulement des spécialistes, mais aussi des généralistes capables de répondre aux besoins de chaque profession moderne. Pour augmenter le nombre d'informaticiens, la formation informa-

tique doit être perfectionnée. Soutenu par le ministère fédéral allemand chargé de l'éducation et de la recherche (BMBF), le projet TABULA [1] a pour objet de dispenser cette matière parfois sèche, de manière concrète et intuitive. L'idée est que les élèves puissent dépla-

cer des objets tangibles sur un écran tactile (à plat) qui présente un contenu didactique interactif parmi et autour de ces objets. Pour cela, l'ordinateur de commande doit connaître à tout moment l'emplacement et l'identité de ces objets tangibles. Les défis à relever sont nom-

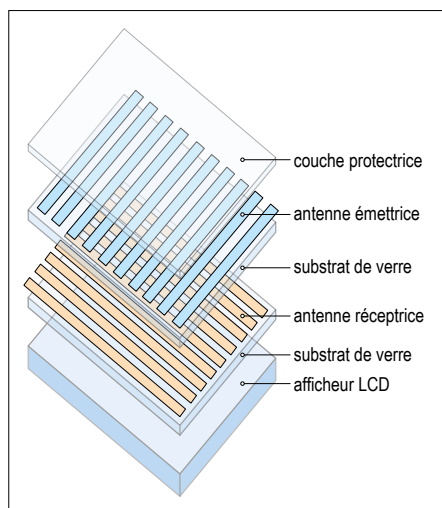
breux si l'on veut détecter des contacts de manière capacitive sur une tablette ou mieux encore une grande surface tactile.

Problématique

Les utilisateurs posent et déplacent les objets tangibles sur l'écran. Les applications possibles vont de la production musicale aux simulations médicales, en passant par la formation informatique (arbres de recherche, graphes). L'expérience tactile et la rétroaction en cas de « saisie » de l'utilisateur permettent un nouveau genre d'interaction. Il existe déjà des systèmes similaires, mais généralement ils utilisent une lumière infrarouge réfléchi pour détecter les contacts et les objets tangibles. C'est pourquoi leur fiabilité dépend fortement des conditions lumineuses. L'exposition directe aux rayons du soleil p. ex. pose un véritable problème.

Les systèmes optiques sont donc progressivement remplacés par des systèmes capacitifs compacts, moins sensibles à l'environnement. Les écrans tactiles capacitifs multipoints (qui peuvent détecter plusieurs contacts en même temps) comprennent des électrodes émettrices qui sont activées rapidement de manière séquentielle ainsi que des électrodes réceptrices situées à la perpendiculaire des émetteurs (**fig. 1**). Ceci permet de créer un champ magnétique à la croisée des électrodes. Le champ électrique change à l'approche d'un objet de haute capacité, p. ex. un doigt. La surface tactile détecte alors ce changement et communique les coordonnées du point de contact.

En principe, les objets tangibles déplacés sur les écrans tactiles capacitifs mul-



Acteurs du projet

Ce projet est soutenu par le **ministère fédéral allemand pour la formation et la recherche (BMBF)**. Durant les trois ans du projet, deux démonstrateurs seront développés. Le premier servira à traiter les structures de données et les algorithmes informatiques, tandis que le deuxième permettra de mettre en évidence la programmation basée sur le flux (FBP).



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

- L'Université technique d'Aix-la-Chapelle

participe au projet au travers de trois filières.

- Fondée par le professeur Jan Borschers, la filière « Informatique des médias et interactions homme-machine » se consacre

à la recherche de formes d'interaction modernes. Les scientifiques de cette filière ont été parmi les premiers à développer des objets tangibles pour écrans tactiles capacitifs multipoints. Ces objets peuvent être détectés même lorsqu'ils ne sont pas touchés par un utilisateur. En collaboration avec Elektor, cette filière est chargée de développer la technologie des objets tangibles.

- Le centre de technologies pédagogiques novatrices du professeur Ulrik Schroeder est chargé de transposer ses expériences et son savoir dans des jeux éducatifs interactifs et des qualifications en informatique.

- La filière « Sciences de la communication » menée par la professeure Martina Ziefle est chargée d'étudier les implications éthiques et sociales de la technologie retenue.

<http://learntech.rwth-aachen.de/cms/LearnTech/Forschung/Projekte/~ltmn/TABULA/?!idx=1>

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

- En collaboration avec la filière « Informatique des médias et interactions homme-machine », la maison d'édition **Elektor** est chargée d'améliorer la technologie des objets tangibles et de publier des articles sur l'avancement du projet, dans son magazine. À la fin du projet, les objets tangibles seront proposés à la vente aux utilisateurs intéressés.



www.elektormagazine.fr/160123

- Avec son outil rédactionnel électronique qui a gagné plusieurs prix ces dernières années, la société **inside Media AG** se propose d'introduire son savoir dans la création de contenus pédagogiques interactifs.



www.inside-online.de/de/

logos : domaine public

tipoints sont recouverts d'un matériau conducteur ou dotés d'un stylet, de sorte que la capacité résultant du toucher de l'utilisateur suffit pour assurer la détection. Cette dernière se fait grâce à la liaison conductrice qui relie la surface de contact aux pieds des objets tangibles. Pour pouvoir les distinguer, chaque pied présente un profil particulier, reconnu par le logiciel.

À première vue, cela paraît facile, mais si on y regarde de plus près, on découvre

que les choses sont beaucoup plus complexes (ce qui n'est pas une mauvaise chose en soi). Lorsqu'il est conducteur, un objet présente une capacité intrinsèque trop faible pour produire des points de contact. Il en résulte deux inconvénients :

- Sur les surfaces capacitives multipoints, les objets tangibles ne sont détectés que si l'utilisateur les touche. Dès que l'utilisateur lâche l'objet et que la capacité tombe, le système est incapable de détecter si l'utilisateur a tout simplement lâché l'objet ou bien s'il l'a pris et écarté

Figure 1. Structure d'un écran tactile capacitif multipoints.

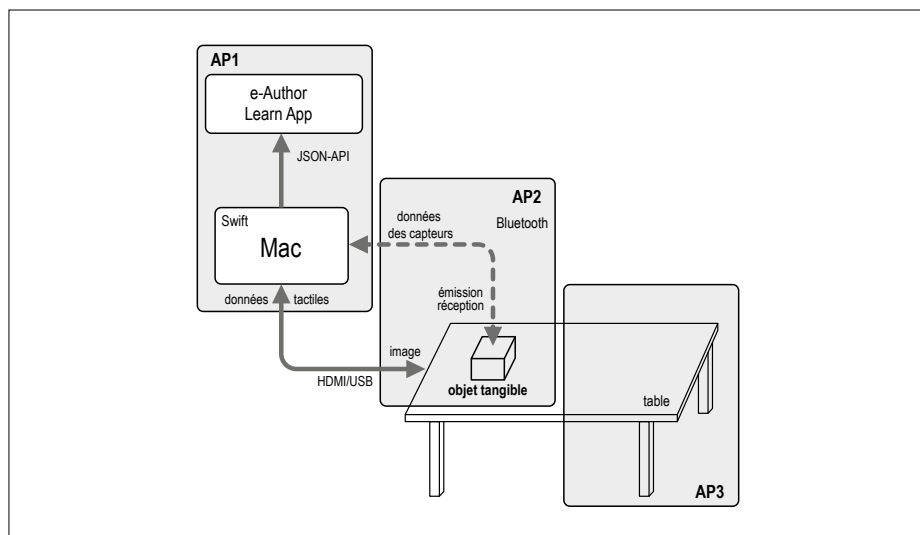


Figure 2. La configuration TABULA avec ses trois éléments : PC de commande, objets tangibles et écran tactile.

de l'écran tactile.

- Il y a peu d'objets tangibles qui permettent leur détection *unique-ment* au travers de leur propre profil tactile.

Ces deux problèmes ont été résolus en amont du projet TABULA. D'abord, jetons un coup d'œil à la configuration matérielle et logicielle (**fig. 2**). Le projet comprend trois éléments. L'écran tactile (AP3) qui envoie ses données tactiles à l'ordinateur de commande (AP1) par USB et reçoit, en contrepartie, des informations d'images en fonction de la position des objets tangibles. Au-dessus trône l'application didactique qui met à la disposition de l'utilisateur les données informatiques, et ce, sous une forme qui correspond à l'application concrète envisagée. Avant le lancement du projet

TABULA, les objets tangibles (AP2) placés sur la table tactile avaient un rôle passif. La donne a changé au cours du développement du projet. En effet, ces objets indiquent désormais à l'ordinateur leur position ainsi que leur identité par l'intermédiaire d'une connexion Bluetooth. Regardons de plus près comment le projet a évolué.

Détection

En 2013, la filière « informatique des médias et interaction homme-machine » de l'Université technique d'Aix-la-Chapelle a trouvé une solution pour contourner le premier problème en équipant les objets tangibles de pieds conducteurs (balises). Ces balises sont reliées entre elles, p. ex. par une pellicule de cuivre, ce qui permet de détecter les points de contact même lorsque l'utilisateur lâche l'objet tangible.

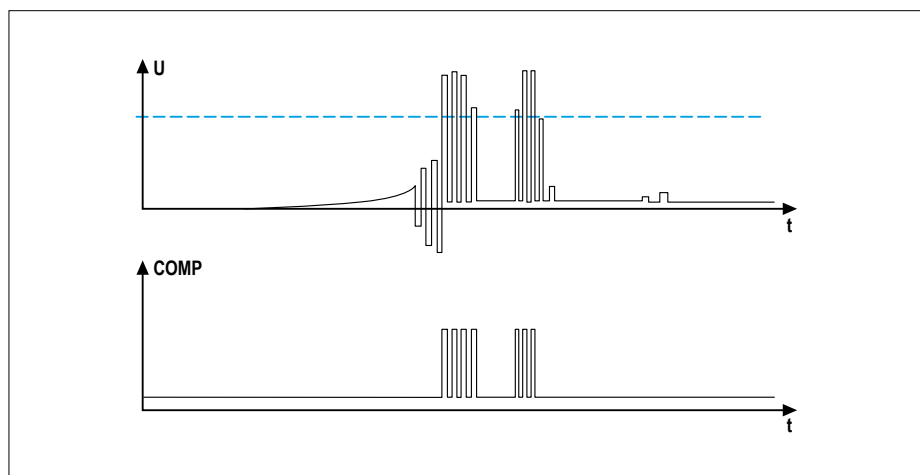


Figure 3. En haut, le signal qui permet à la surface tactile capacitive multipoints de trouver les saisies tactiles et en bas ce qui reste à l'entrée du microcontrôleur après la détection de contours.

Voilà comment ça fonctionne : lorsque le signal de mesure cherche un point de contact sous la première balise, les autres pieds se trouvent au-dessus d'électrodes émettrices de la surface tactile qui sont à l'état passif. Ces autres balises peuvent produire une capacité suffisamment élevée au point de mesure, grâce à la capacité par rapport à la masse de l'écran tactile. La capacité par rapport à la masse de l'écran tactile est suffisamment élevée pour être transmise des capteurs inactifs au capteur actif (celui en train de mesurer), au travers de la connexion conductrice établie entre les pieds (balises). Cela fonctionne comme avec un stylet, sauf que c'est la table qui fournit la capacité au lieu de l'utilisateur. En disposant les pieds selon un motif triangulaire (triangle rectangle), les objets tangibles peuvent être détectés de manière permanente.

Cette solution crée néanmoins un nouveau problème. Les systèmes capacitifs modernes sont dotés de puissants mécanismes de filtrage pour parer aux influences parasites de l'environnement. Après un certain temps, les points de contact sont éliminés par ces filtres (comme pour un objet tangible qui n'est plus touché). Resurgit alors le problème sous une autre forme : le système est incapable de distinguer un objet tangible éliminé par le filtrage d'un objet tangible qui a réellement quitté la table.

En 2015, après deux ans de recherche, l'Université a finalement trouvé une solution en créant des objets tangibles actifs. Ces nouveaux objets tangibles sont dotés de petites antennes et de détecteurs de contours qui enregistrent le signal de mesure de la surface tactile, ce qui leur permet de savoir s'ils se trouvent toujours sur la surface tactile. La **figure 3** montre un signal mesuré à l'aide d'un multimètre directement sur la surface d'un écran tactile capacitive multipoints. Ce signal est engendré à intervalles réguliers (en général à une cadence de 60 Hz) pour détecter les points de contact. Doté d'une antenne simple, l'objet tangible capte le signal et le filtre, il conserve uniquement l'amplitude qui se trouve au-dessus de la ligne pointillée de sorte qu'il ne reste plus qu'un signal comme celui illustré dans le bas de la figure.

Le potentiomètre du détecteur de contours permet de régler la hauteur de la ligne pointillée, soit la tension de seuil. Le circuit est illustré à la **figure 4**. Le réglage est nécessaire étant donné

que la force du signal peut différer d'une surface tactile multipoints à une autre. De plus, les objets tangibles sont dotés d'une diode photosensible comme solution de secours (**fig. 5**), pour pouvoir détecter les signaux lumineux sur l'écran. Un potentiomètre d'ajustement permet également de régler la sensibilité ou une luminosité de seuil.

L'objet tangible envoie toutes ces informations par Bluetooth à l'ordinateur de commande qui peut discerner un objet éliminé par filtrage d'un objet ôté de la table. Un effet secondaire (agréable) est que la puce Bluetooth octroie un identifiant unique universel (UUID), ce qui permet de distinguer entre plusieurs objets tangibles (même s'ils présentent le même profil de balises). Voilà qui a permis de résoudre le second problème.

Logiciel

Le système comprend deux logiciels, celui de l'ordinateur relié à la table multipoints et le micrologiciel des microcontrôleurs des objets tangibles. Le logiciel de l'ordinateur exploite les données issues directement du capteur tactile de la table de manière à détecter la position potentielle des objets tangibles. Si la table détecte un point de contact, le logiciel se met alors à la recherche des profils de contact qu'il a appris auparavant. Ces profils sont créés par les objets tangibles au travers de leurs pieds (balises) interconnectés. Dans notre configuration, l'ordinateur de commande est un iMac au travers duquel le pilote de l'écran tactile transfère les données brutes de l'évaluation tactile à un cadre Swift (kit *multitouch*). Ce dernier permet de faire la distinction entre points de contact et objets tangibles. Comme les objets tangibles créent un profil fixe de points de contact, le cadre Swift peut déduire la position ainsi que l'orientation des objets tangibles à partir des points de contact.

Le micrologiciel des objets tangibles est utilisé pour parer aux interférences créées par les doigts ou les autres objets tangibles qui présentent le même profil. Pour pouvoir exploiter le logiciel de manière aussi simple et universelle que possible, on se sert de la toute dernière version d'un ATmega85 comme contrôleur. Le module Bluetooth utilisé est un HM-11 BLE pour assurer la communication avec l'ordinateur avec le moins d'énergie possible. Chaque objet tangible est doté de trois piles AAA bien chargées pour environ 24 h de service.

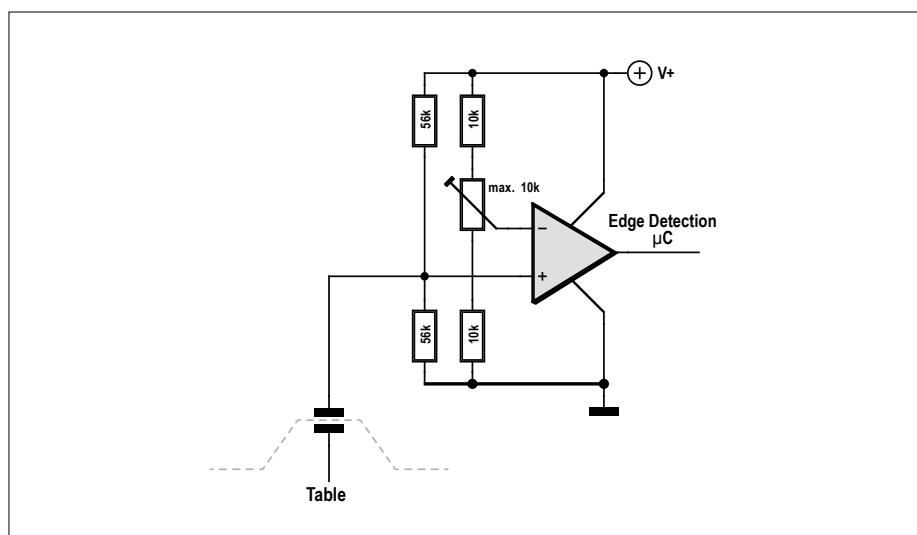


Figure 4. Schéma du circuit de détection de signal de l'objet tangible. Le potentiomètre permet de régler la tension de seuil.

Détecteur de contours

Dès qu'un objet tangible se trouve à proximité de l'écran tactile, son micrologiciel détecte le signal émis par la table (détection de contours) qui signale alors à l'ordinateur de commande la présence de l'objet sur la table (événement ON-table). À l'aide d'un *timer*, l'objet tangible vérifie si la table mesure un signal de manière régulière. La **figure 6** illustre la routine de cette mesure. Le *timer* est remis à zéro à chaque fois que la détection de contours capte un signal.

Le kit *multitouch* permet ainsi d'affecter les points de contact aux objets tangibles de manière univoque. Si un objet tangible reste au même endroit pendant un certain temps et que l'écran tactile ne détecte plus les points de contact, le logiciel de l'ordinateur de commande sait que l'objet tangible se trouve toujours sur la table grâce aux données émises par le capteur. Ce n'est que lorsque l'objet tangible a été retiré de la table et que la table n'a émis aucun signal pendant plus de 40 ms que le logiciel du microcontrôleur signale que l'objet a quitté la table (événement OFF-table), ce qui permet à l'ordinateur de commande de rayer l'objet tangible de sa liste d'objets posés sur la table. Comme le pilote d'affichage ne transmet pas qu'un point seul, mais un itinéraire des points de contact en mouvement, les points liés à un objet tangible peuvent être affectés avec retard. En règle générale, un objet tangible en mouvement est même plus facile à traquer parce que les points de contact qui bougent sont très faciles à détecter. Tous

les contacts que le kit *multitouch* ne peut pas affecter à un objet sont interprétés comme des doigts humains, ce qui permet une saisie manuelle multipoints. Toutes ces mesures et comparaisons sont exécutées à la même vitesse que la détection tactile de sorte que l'utilisateur perçoit à peine la communication établie entre les systèmes.

Capteur de luminosité

Si par hasard, l'utilisateur engendre le même profil qu'un objet tangible ou si deux objets tangibles sont posés en même temps sur la table, le logiciel de l'ordinateur de commande est incapable de savoir quel contact correspond à quel signal Bluetooth. Dans ces cas-là et lorsque la table veut vérifier la position de plusieurs objets tangibles, le logiciel du PC de commande engendre des

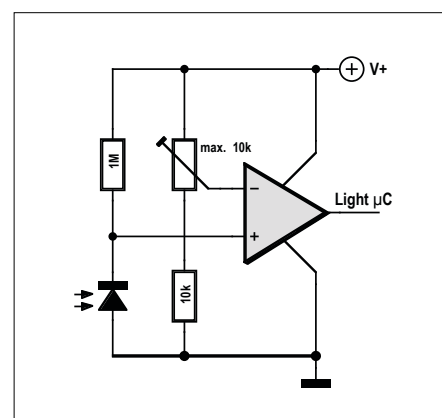


Figure 5. Schéma du circuit du capteur de luminosité de l'objet tangible. Une fois de plus, le potentiomètre permet de régler la tension de seuil.

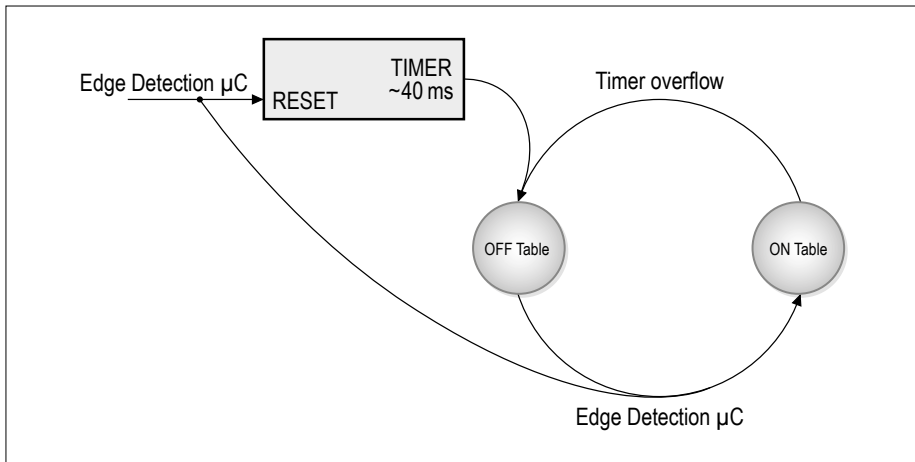


Figure 6. Automate fini pour la détection de contours ; chaque signal détecté remet à zéro le timer de 40 ms et envoie un événement « ON-table ».

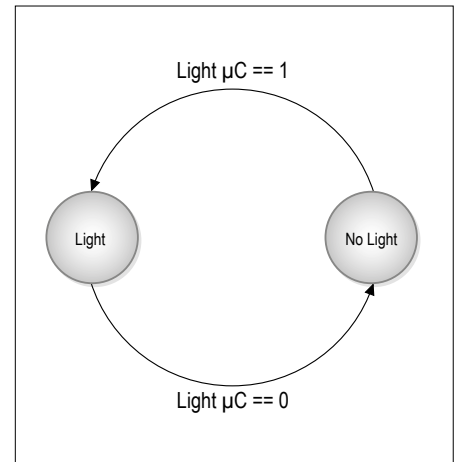


Figure 7. Automate fini pour le capteur de luminosité. Seul un point très lumineux sur l'écran permet de déclencher un événement de type lumière.

Listage 1. Structure arborescente du protocole qui permet aux objets tangibles d'envoyer à la table des informations sur leur état.

```

contrôler tree protocol
contrôler
|
+- [0: // advanced communication port
|
+- [1: // product identification
| +- 0: // manufacturer (like: rwth_i10)
| +- 1: // product id (like: 0A4F)
| +- 2: // uid (like: 0FA457EF)
|
+- [2: // basic attributes
| +- 0: // on table?
| | +- 0 // off table
| | +- 1 // on table (with side 1)
| | +- 2 // on table (with side 2)
| | +- .. // and so on..
| |
| +- 1: // see light? (the side that is on the table)
| +- 0 // see no light
| +- 1 // see light
|
+- [3: // orientation, position
| +- 0:FFFFFFFF // orientation (single rotation vector xxxxyyzzz)
| +- 1:FFF // orientation relative to table
(| +- 2:FFFFFFFF // position)
|

Examples:
[2:0:1] // placed on the touch table
[2:0:0] // taken off the touch table
[2:1:1] // sees the light
[2:1:0] // sees no light

```

petits points très lumineux au niveau des positions potentielles des objets tangibles. Dès qu'un point lumineux se trouve au-dessous d'un objet tangible, ce dernier le détecte et envoie un signal de luminosité (LIGHT) au PC. Ceci permet au système d'établir le lien entre les points de contact et l'objet tangible. Comme le capteur de luminosité ne livre des données fiables que lorsque les différences de luminosité sont particulièrement nettes, l'objet tangible n'envoie un signal de luminosité (LIGHT) que lorsque l'écran est réglé sur très lumineux. La distinction est uniquement de type binaire « lumière » ou « pas de lumière » (**fig. 7**), puisque la fiabilité du capteur est insuffisante pour pouvoir livrer une mesure précise. En revanche, cette fiabilité est suffisante pour l'application envisagée.

Protocole

Le protocole utilisé par l'objet tangible pour envoyer les messages à l'écran tactile multipoints a été conçu de manière à pouvoir ajouter des fonctions supplémentaires. Le logiciel de base de l'objet tangible tel que décrit ici et contenu dans le paquet téléchargeable n'envoie au système que les événements pour les deux capteurs. Le message envoyé par l'objet tangible correspond à l'une des branches de la structure arborescente (cf. **listage 1**). Le message 2:0:01 p. ex. est envoyé lorsque l'objet tangible se trouve sur la table. Pour l'instant, les messages transmis par les objets tangibles se limitent à l'indication de l'état : sur la table (ON-table) ou pas sur la table (OFF-table), et lumière (LIGHT) ou pas de

lumière (NOLIGHT). La structure arborescente permet néanmoins d'élargir ce protocole. Pour un objet tangible de la forme d'un dé p. ex., il est possible de distinguer entre différents événements de type ON-table - en fonction de la face du dé reposant sur la table, en envoyant 2:0:2, 2:0:3, etc.

Les écrans utilisés soit *Microsoft Surface Hub 55"* et *Microsoft Surface Hub 84"* permettent de détecter en même temps jusqu'à 100 points de contact. Il y a donc de la place pour une grande quantité d'objets tangibles et d'interactions tactiles. Le kit *multitouch* fonctionne également sous iOS de sorte que les objets tangibles peuvent aussi être utilisés avec un iPhone ou un iPad.

Objective C ou *Swift* permet de développer une application sur ces deux systèmes, par ex. avec l'interface de programme d'application (API) d'Apple pour des applications graphiques (SceneKit ou SpriteKit). Pour affecter un objet numérique à un objet tangible, on relie à un objet tangible un objet graphique qui reproduit les mouvements et se déplace donc automatiquement avec l'objet tangible. L'avantage est qu'on peut utiliser les moteurs Apple pour intégrer dans l'application des effets et autres expé-

riences (comme l'intelligence artificielle, avec les mises à jour offertes par iOS11), sans avoir besoin pour cela de programmer quoi que ce soit. La liaison se fait directement dans l'environnement de programmation Apple. Il suffit d'écrire des applications natives qui supportent les objets tangibles.

En principe, les objets tangibles fonctionnent également avec d'autres langages de programmation lorsque ceux-ci incluent des fonctions capables de traiter des événements multipoints. Il est également possible de créer rapidement des applications en HTML 5 qui lient un objet virtuel à un objet tangible.

Qu'est-ce qui a été achevé jusqu'à présent ?

Cet été (2017), le projet TABULA fête son premier anniversaire. Les partenaires ont encore deux ans pour mener à bien le projet. Le laboratoire Elektor soutient

l'Université technique dans la mise au point du matériel et du micrologiciel des objets tangibles.

Le code source actuel et complet du microcontrôleur peut être téléchargé sur le site consacré au projet décrit dans cet article [2]. La partie importante du micrologiciel comprend les deux automates et la mise en œuvre du protocole qui permet à l'objet tangible d'envoyer les données du capteur au PC de commande.

Le circuit imprimé des prototypes opérationnels était prêt juste avant la parution de cet article. La **figure 8** montre la première carte d'un objet tangible « produit en série ». Le paquet téléchargeable en [2] contient le schéma, le circuit imprimé et la liste des composants. ◀

(160123 - version française : Pascal Duchesnes)

Liens

- [1] <https://hci.rwth-aachen.de/TABULA>
- [2] www.elektormagazine.fr/160123

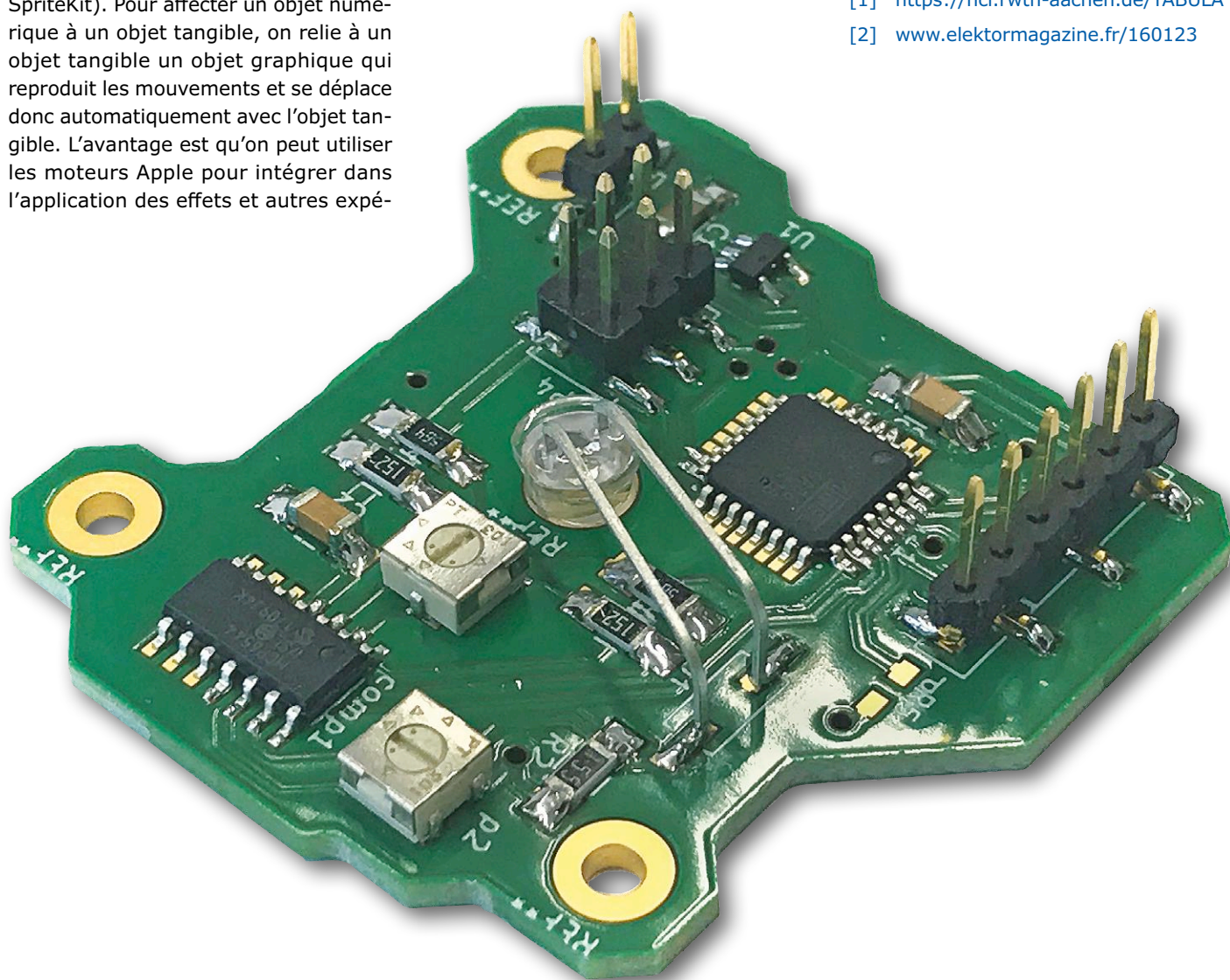
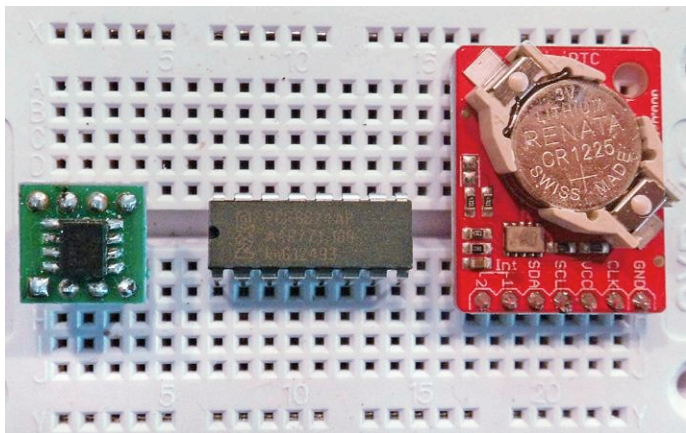


Figure 8. Carte équipée d'un ampli op, d'un potentiomètre d'ajustement et d'un microcontrôleur, mais sans module Bluetooth. Situé au milieu, le capteur de luminosité est orienté vers le bas pour viser l'écran tactile (photo : Université technique d'Aix-la-Chapelle).

le bus I²C

3^e partie : composants et analyse des erreurs



La dernière partie de cette série est consacrée à trois puces I²C typiques : un capteur de température, un extenseur d'entrées-sorties et une horloge en temps réel. Nous apprendrons comment lire et écrire leurs registres et de quels outils matériels et logiciels on peut se servir pour cela.

Josef Möllers

Il existe de nombreux composants et modules I²C, du capteur de température aux afficheurs graphiques, en passant par les horloges en temps réel et les capteurs de position et de mouvement. Il n'y a qu'à en rechercher une liste sur l'internet ou bien taper « I2C » dans le champ de recherche du site web de votre fournisseur de matériel électronique favori. Et voilà puces et modules qui vous arrivent par pages entières [1], nous vous en présenterons quelques-uns ici.

Les modules I²C ne nécessitent pas une connexion bien compliquée avec leur hôte. Avec un câble ruban à 4 conducteurs pour les données et l'alimentation, le tour est joué. Sur l'image

du chapeau de cet article, on distingue les trois composants dont il est question ici, enfilés côte à côte dans une platine d'essai, de gauche à droite : un capteur de température LM75 monté sur un adaptateur, un extenseur d'entrées-sorties PCF8574 et un module RTC avec la puce d'horloge en temps réel RV-8523, à gauche, en dessous de la pile.

LM75

Le LM75 est **LE** standard du capteur de température connecté par bus I²C. Dans son adresse à 7 bits, seuls les 4 bits de poids fort sont fixes, les 3 autres bits sont déterminés par un circuit extérieur. Il est donc possible de connecter huit LM75 avec les adresses 0x48 à 0x4F. Si, par exemple, on utilise le LM75 pour contrôler la température d'un gros ordinateur, on peut

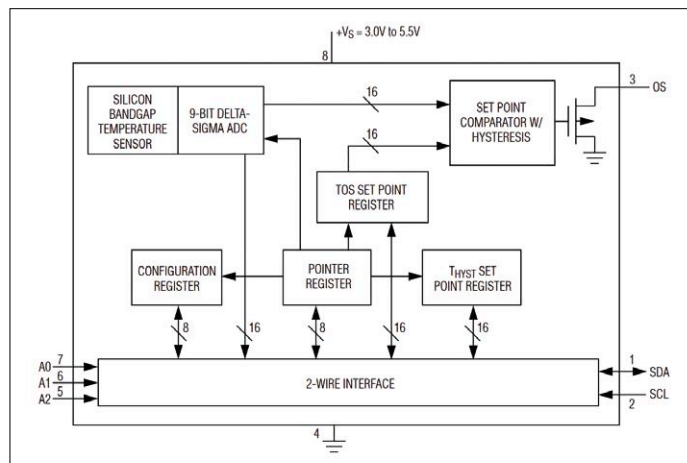


Figure 1. Logique interne du capteur de température LM75 (source : Maxim).

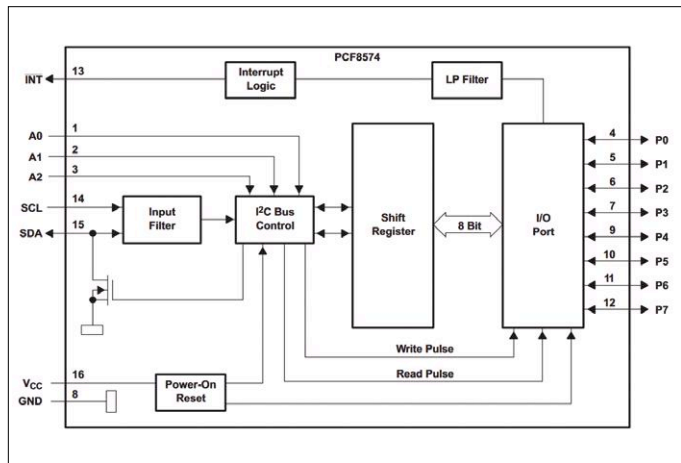


Figure 2. Structure interne de l'extenseur de port PCF8574 (source : Texas Instruments).

en disséminer huit dans l'enceinte de la machine.

Le LM75 dispose de quatre registres internes, adressables sur deux bits (**fig. 1**) :

- 00H : registre à 16 bits de température, en lecture seule,
- 01H : registre à 8 bits de configuration,
- 02H : registre à 16 bits d'hystérésis,
- 03H : registre à 16 bits de comparaison.

Même si, à la mise sous tension, c'est le registre de température qui est sélectionné par défaut, on doit toujours, avant de lire un registre (y compris le registre de température), transmettre son adresse. En écriture, cela est systématique, car le premier octet transmis au LM75 est toujours interprété comme une adresse de registre.

Les données suivent : pour les registres à 16 bits, un premier octet de poids fort, suivi de l'octet de poids faible.

Contrairement à d'autres puces I²C, le LM75 n'incrémente pas automatiquement l'adresse du registre après un accès, cette adresse ne change pas. S'il n'y a qu'un maître et qu'on ne fait que lire la température, il n'est pas nécessaire de remettre l'adresse du registre à zéro à chaque fois, il suffit de lire les deux octets de température lors de chaque transaction.

La précision du LM75 laisse malheureusement à désirer : la feuille de caractéristiques indique une incertitude de 2 °C. Il existe des alternatives plus précises, comme le TMP275, qui sont le plus souvent compatibles en termes de protocole de communication et de registres.

Le LM75 est également très sensible aux perturbations de l'alimentation. Il est donc impératif de respecter la règle d'or : « une puce, un condensateur de 100 nF », sous peine de voir le maître amasser du « n'importe quoi ».

PCF8574

Le PCF8574 est un extenseur distant d'entrées-sorties numériques à 8 bits, un gestionnaire de port parallèle contrôlé par le bus I²C (**fig. 2**). Il existe en deux variantes qui ne se distinguent que par leur adresse I²C : les quatre bits de poids fort du PCF8574 valent 0100, ceux du PCF8574A valent 0111. On peut ainsi piloter seize de ces puces sur un bus I²C.

En interne, il n'existe qu'un seul registre qui est directement relié aux entrées-sorties. Si l'on écrit un masque de bits dans le registre, on change l'état des entrées-sorties. Si l'on met l'état de l'un des bits à « 1 », on peut aussi l'utiliser comme entrée. Si on lit le registre, on obtient une information sur l'état des broches. Sur la **figure 3**, on a connecté au RPi un PCF8574 avec une LED reliée à P0.

Si l'on écrit un « 1 » dans le PCF8574,

```
i2cset -y 1 0x40 0x01
```

la LED s'allume. Si l'on écrit un « 0 »,

```
i2cset -y 1 0x40 0x00
```

la LED s'éteint.

Plus exactement, on a envoyé un numéro de registre 0x01 puis 0x00, car, selon la documentation et l'aide en ligne, **i2cset** exige à la suite de l'adresse I²C un numéro de registre, qui est interprété par l'extenseur de port comme un masque de bits pour ses sorties.

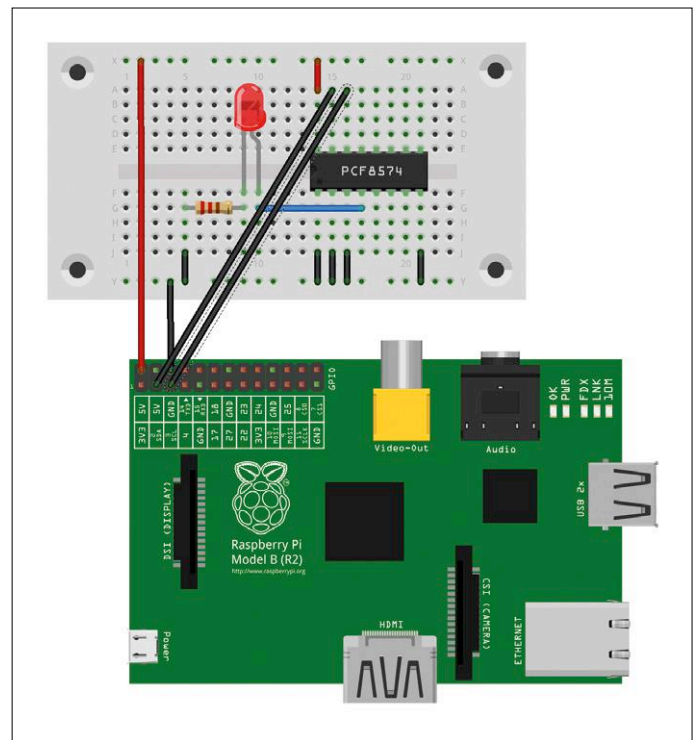


Figure 3. L'extenseur de port PCF8574 connecté à un RPi.

On a quelquefois intérêt à séparer électriquement un processeur et un périphérique, de sorte qu'un court-circuit accidentel, avec le 12 V par exemple, ne détruise « que » le PCF8574.

Le PCF8574 est aussi utilisé sur des cartes d'interfaçage simples qui apportent la connectivité I²C aux afficheurs LCD standard à une ou deux lignes équipés de contrôleurs HD44780. L'afficheur est alors contrôlé dans le mode à quatre bits, trois autres bits du PCF8574 fournissent les signaux E, RS et R/W. Le dernier bit peut être utilisé pour contrôler le rétroéclairage de l'afficheur. Sur certaines de ces cartes, il est prévu des résistances de rappel vers le 5 V. Il est recommandé de ne surtout pas les monter et même de les supprimer le cas échéant.

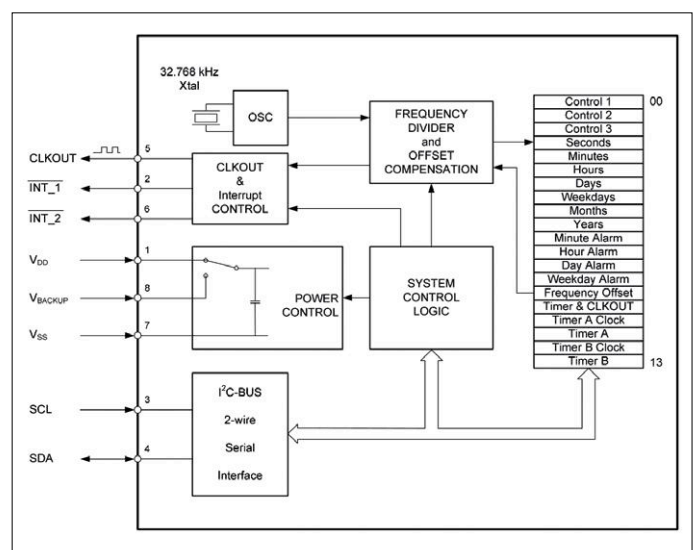


Figure 4. L'horloge en temps réel dispose de 14 registres adressables pour la commande, l'heure et l'alarme (source : Micro Crystal).

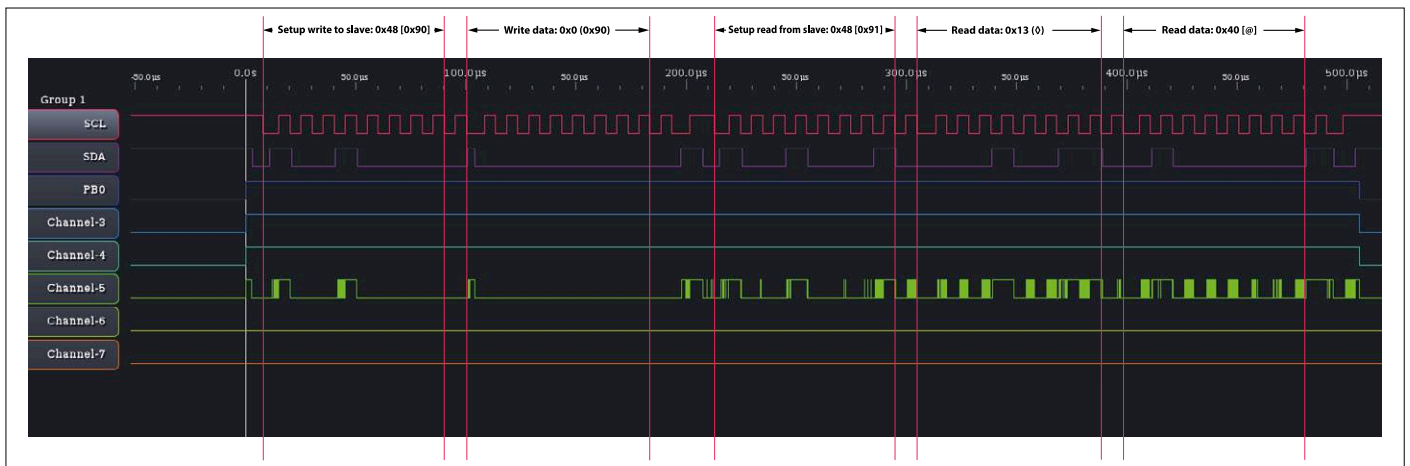


Figure 5. L'Open Logic Sniffer observe comment un ATmega88 lit les valeurs de température d'un LM75.

RV-8523

Le RV-8523 est une puce horloge en temps réel (RTC, *Real Time Clock*) avec vingt registres de 8 bits aux adresses 00H à 13H, listés sur la **figure 4**. Ce circuit possède une surveillance interne de la tension et peut commuter automatiquement son alimentation sur une pile. Comme le montre l'image du chapeau, la puce est souvent fournie montée sur une carte complète, comprenant le support de la pile.

Après avoir transmis l'adresse d'un registre (entre 0x00 et 0x13), on peut accéder à ce registre. Contrairement au LM75, cette adresse est incrémentée, avec un passage de 0x13 à 0x00. Avec un seul accès, on peut donc lire ou écrire l'ensemble des vingt registres.

Mais si l'on ne s'intéresse qu'à la date et à l'heure, on met l'adresse du registre à 3 et on lit 7 octets, comme dans cet exemple qui utilise la bibliothèque *Wire* d'Arduino :

```
Wire.beginTransaction(0x68);
Wire.write(byte(0x03));
// set register number to 3
Wire.endTransmission();
Wire.requestFrom(0x68, 7); // read time and date
seconds = Wire.read();
tenseconds = (seconds >> 4) & 0x07; seconds &= 0x0f;
minutes = Wire.read();
tenminutes = (minutes >> 4) & 0x07; minutes &= 0x0f
...
```

Les valeurs sont déjà codées en BCD, une conversion de binaire en décimal est donc superflue.

Outre son horloge, le RV-8523 possède une fonction réveil qui produit une interruption à une heure prédéterminée. Le problème est que la sortie INT_1 passe bien au niveau bas à l'heure prévue, mais ne revient pas d'elle-même au niveau haut. La condition d'alarme doit être annulée explicitement (AF dans le registre de commande 2).

Certains systèmes d'exploitation, comme Raspbian, fournissent un pilote pour ce composant ([rtc_pcf8523](#)), ce qui évite d'avoir à programmer soi-même, du moins en ce qui concerne l'heure. La commande [hwclock](#) accède à l'horloge en temps réel et lit ou modifie son heure. Au démarrage du système, un script [rc](#) exécute cette commande et copie l'heure en temps réel dans l'horloge du système ; lors de l'arrêt, le temps système (éventuellement actualisé manuellement ou par internet) est copié dans l'horloge en temps réel. De cette manière, on peut sauvegarder l'heure sur un RPi, même non connecté à l'internet, en cas d'interruption de l'alimentation. Mais on n'échappe pas à la nécessité de programmer soi-même si l'on veut utiliser la fonction réveil.

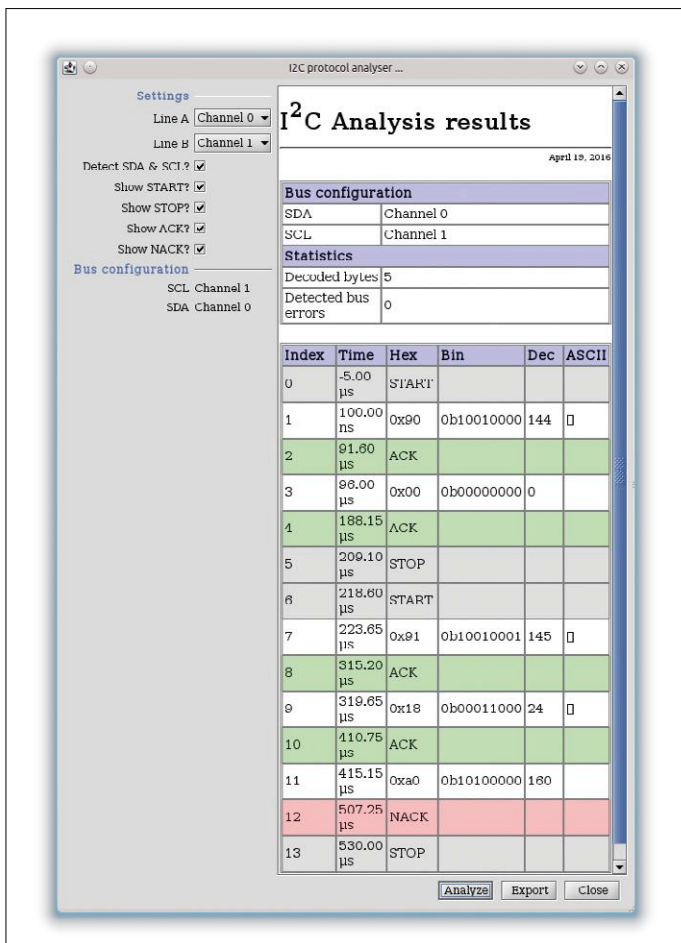


Figure 6. Le client OLS Java affiche les paramètres du bus sous forme de tableau.

Lorsqu'on a mis à l'heure la carte en temps réel sur un RPi, on peut ensuite la connecter à un ATmega ou un Arduino. La pile sur la carte assure la continuité du fonctionnement de l'horloge. Avec seulement quelques lignes de code, on dispose ainsi de la date et de l'heure sur un ATmega ou un Arduino.

Recherche et analyse d'erreurs

Tout ne fonctionne pas toujours du premier coup. On peut commencer la recherche d'erreurs avec un multimètre, mais si l'on a affaire à des problèmes de protocole, ça ne suffira pas le plus souvent.

Au repos, SDA et SCL sont au niveau haut. Pour commencer, on vérifie donc au **multimètre** si, après la mise sous tension (et de préférence quand le bus est au repos), SCL et SDA sont à un niveau suffisamment élevé. Comme déjà mentionné précédemment, le standard requiert un niveau haut d'au moins 0,7 V_{cc} (donc d'au moins 3,5 V pour 5 V). Toutefois, de nombreuses puces 5 V fonctionnent aussi avec des résistances de rappel au 3,3 V, du fait que le niveau haut dans la logique 3,3 V dépasse sensiblement les 3 V. Peut-être peut-on résoudre le problème rien qu'avec une ou deux résistances.

Si les tensions sont correctes, il faut recourir à d'autres moyens. Il existe une série d'**analyseurs logiques** dans une gamme de prix étendue. Qu'il s'agisse d'un petit ScanaQuad [2] ou d'un Red Pitaya [3] évolué ou, comme chez moi, d'un Open Logic Sniffer [4] de Dangerous Prototypes avec le client OLS Java de ols.lxtreme.nl [5] : ils sont tous utilisables pour analyser le flux de données sur le bus I²C.

La **figure 5** montre comment un ATmega lit le registre de température d'un LM75. Au début (à 0,0 s), on voit la condition de départ (*start*), à la fin (à 500,0 µs) la condition d'arrêt (*stop*) et à 200,0 µs la condition de répétition du départ (*repeated start*). Entre le point de départ et 200,0 µs environ, le LM75 est adressé en écriture et l'adresse de registre 0x00 lui est envoyée ; après la condition de répétition du départ, le LM est adressé à nouveau, cette fois pour la lecture, et les deux octets du registre de température 0x13 et 0x40 sont envoyés vers l'ATmega. Le déclenchement passe par PB0. Le transfert commence quand PB0 est mis à 1 ; en fin de transfert, PB0 est remis à 0. Autrement, on peut aussi lancer l'enregistrement par SDA = niveau bas.

Le client OLS Java analyse l'enregistrement et la communication I²C, et présente les octets échangés sous forme d'un tableau (**fig. 6**). Par erreur, la condition de répétition est représentée comme condition d'arrêt, suivie d'une condition de départ, alors que le diagramme montre clairement qu'aucune condition d'arrêt n'est envoyée à 200,0 µs.

Le **Bus Pirate** (**fig. 7**) de la société Dangerous Prototypes [6] est un outil d'analyse de protocoles sériels tels que I²C, SPI, ou du trafic sur un UART. Dangerous Prototypes commercialise elle-même le Bus Pirate et l'Open Logic Sniffer, mais met aussi librement à disposition le matériel et le logiciel, de sorte qu'on peut réaliser soi-même les deux modules. Selon le fabricant, la version 4 du Bus Pirate est « orientée vers le futur », mais elle ne fonctionne pas de manière aussi stable que la version 3.6, disponible chez le distributeur allemand Watterott Electronic [7]. Le **tableau 1** montre l'adressage et le transfert de données. On voit que dans les deux cas (écriture et lecture), le LM75 acquitte son adresse. Cela vaut aussi pour le numéro du registre (0x00),

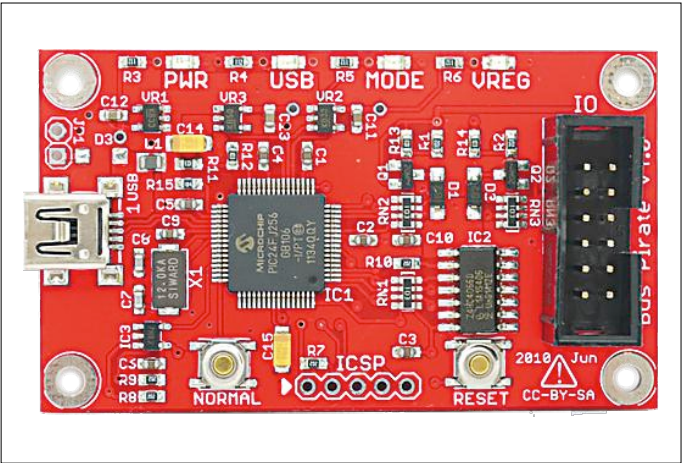


Figure 7. Le petit Bus Pirate est une interface de bus universelle pour PC (ici, la nouvelle version 4 ; source : Dangerous Prototypes).

car il se pourrait que d'autres octets soient transmis même si le registre de température est à lecture seule. L'ATmega88 acquitte le premier octet issu du registre de température avec ACK parce qu'il en attend un autre, et le second avec NACK parce que c'est le dernier à devoir être transféré. Ensuite l'ATmega88 termine la communication. Le Bus Pirate n'est pas capable d'identifier qui a envoyé ACK ou NACK.

Tableau 1. Adressage et transfert de données pour un LM75.		
HiZ>m		
1. HiZ		
2. 1-WIRE		
3. UART		
4. I2C		
5. SPI		
6. 2WIRE		
7. 3WIRE		
8. LCD		
9. DIO		
x. exit(without change)		Afficher le menu ...
(1)>4		
Set speed:		
1. ~5KHz		
2. ~50KHz		
3. ~100KHz		
4. ~400KHz		... I2C Bus ...
(1)>3		
I2C READY		... vitesse 100 kHz
I2C>(2)		
Sniffer		
Any key to exit		
[0x90+0x00+] [0x91+0x13+0x40-]		Démarrer le Bus Sniffer
en gras: commande		
[indique une condition de START,		
les chiffres donnent les valeurs transmises,		
+ un ACK,		
- un NACK et		
] une condition de STOP		

Tableau 2. Lecture d'un capteur LM75 avec le Bus Pirate en mode maître.

I2C>[0x90 I2C START BIT WRITE: 0x90 ACK	Envoyer la condition de <i>START</i> , l'adresse 0x48 et le bit d'écriture (0), le LM75 répond avec ACK
I2C>0x00 WRITE: 0x00 ACK	Envoyer l'octet 0x00, le LM75 répond avec ACK
I2C>] I2C STOP BIT	Envoyer la condition de <i>STOP</i> .
I2C>[0x91 r:2 I2C START BIT WRITE: 0x91 ACK READ: 0x14 ACK 0x20	Envoyer à nouveau la condition de <i>START</i> , puis l'adresse 0x48 et le bit de lecture (1), le LM75 renvoie ACK. Lire ensuite 2 octets. Le Bus Pirate acquitte le premier octet reçu avec ACK, le second seulement lorsqu'il est établi que c'est aussi le dernier, c'est-à-dire lorsqu'il a été averti d'émettre la condition de <i>STOP</i> .
I2C>] NACK I2C STOP BIT	Envoyer à nouveau la condition de <i>STOP</i> , le dernier bit reçu étant aussi le dernier à recevoir, l'acquitter au préalable avec NACK.
On peut aussi saisir l'ensemble sur une seule ligne :	
I2C>[0x90 0x00][0x91 r:2] I2C START BIT WRITE: 0x90 ACK WRITE: 0x00 ACK I2C STOP BIT I2C START BIT WRITE: 0x91 ACK READ: 0x14 ACK 0xA0 NACK I2C STOP BIT	

Le Bus Pirate peut aussi fournir les résistances de rappel (10 kΩ). Pour la version 3, il faut que la broche 5 (VPU) du bornier d'entrées/sorties soit raccordée à la tension de rappel souhaitée. Cette tension alimente alors un commutateur analogique auquel sont connectées toutes les résistances de rappel sur le Bus Pirate.

Cela est en principe superflu et même dangereux si un RPi y est également connecté. Dans la nouvelle version v4, la connexion est gérée par logiciel. Il est facile de déterminer si une résistance de rappel est connectée et à quelle tension par une mesure sur les broches 7 (SCL) et 8 (SDA). Les résistances de rappel peuvent être activées ou désactivées par les commandes :

I2C>P
Pull-up resistors ON (activer)

et

I2C>p
Pull-up resistors OFF (désactiver)

Ensuite, avec le Bus Pirate, on peut, de la même manière qu'avec la commande Raspbian [i2cdetect](#), rechercher les esclaves sur le bus I²C, ce qui affiche leurs fonctions d'écriture et de lecture séparément :

```
I2C>(1)
Searching 7bit I2C address space.
Found devices at:
0x90(0x48 W) 0x91(0x48 R)
```

C'est l'alternative si, ne disposant pas d'un RPi, on avait un doute sur l'adresse affectée à un esclave. On peut aussi utiliser le Bus Pirate comme maître et exécuter manuellement le protocole I²C. Le **tableau 2** donne l'exemple d'une lecture de température sur un LM74.

En résumé

Le bus I²C est un moyen extrêmement simple de connecter des périphériques à un processeur lorsque les volumes de données sont faibles et qu'aucun traitement d'interruptions n'est nécessaire. Deux fils, voilà tout ce qu'il faut ! Et comme il s'agit d'un protocole multipoint, on peut connecter plusieurs esclaves sur ces deux fils. La ligne ne devrait toutefois pas dépasser une longueur d'un mètre. Grâce à des bibliothèques gratuites, comme celle de Peter Fleury, l'effort de programmation reste limité et de nombreuses causes d'erreurs sont exclues d'office. Les instruments de mesure nécessaires à la recherche d'erreurs soit sont disponibles la plupart du temps (multimètre), soit ne coûtent pas une fortune. Une infinité de capteurs et autres modules I²C sont impatients de prendre contact avec la carte à microcontrôleur sur la paillasse de votre laboratoire ! ◀

(160373 – version française : Helmut Müller)

Liens

- [1] Par exemple : http://rn-wissen.de/wiki/index.php/I2C_Chip-%C3%9Cbersicht
- [2] www.elektor.fr/logic-analyzer-scanquad-sq100
- [3] www.elektor.fr/stemlab-125-10-starter-kit
- [4] http://dangerousprototypes.com/docs/Open_Bench_Logic_Sniffer
- [5] <http://ols.lxtreme.nl/>
- [6] http://dangerousprototypes.com/docs/Bus_Pirate
- [7] www.watterott.com/en/Bus-Pirate

Remerciements

Je remercie mes (anciens) collègues Franz Otte et Michael Kleineberg pour leurs indications et conseils concernant le matériel, ainsi que mes (anciens) collègues Reinhard Bernhardt-Grisson, Norbert Bandzius et Thomas Schlüssler pour leur relecture de mon texte et leurs remarques.



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.

septembre 2017

- ◇ **Congrès EMC Europe**
04 au 08/09 – Angers
emceurope2017.org
 - ◇ **Nantes Digital Week**
14 au 24/09 – Nantes
www.nantesdigitalweek.com
 - ◇ **Semaine européenne de la mobilité**
16 au 22/09 – partout en France
www.mobilityweek.eu
 - ◇ **La Mêlée Numérique 2017**
18 au 24/09 – Toulouse
www.meleenumerique.com
 - ◇ **8^e Colloque national éolien**
19 au 20/09 – Paris
www.colloque-national-eolien.fr
 - ◇ **18^e Congrès International de Métrologie**
19 au 21/09 – Paris
www.cim2017.com/
 - ◇ **ENOVA Paris**
19 au 21/09 – Paris
www.enova-event.com
- Elektor partenaire presse – visitez notre stand !**
- ◇ **Innovation Days 2017 of IoT**
21/09 – Labège
www.innovation-day.fr
 - ◇ **Salon du flipper et du jeu de café**
23 au 24/09 – Pouilly en Auxois
www.pinballpassion.org
 - ◇ **SEPEM industries Sud-Ouest**
25 au 27/09 – Toulouse
www.sepem-industries.com/toulouse
 - ◇ **APS (alarmes, protection, sécurité)**
26 au 28/09 – Paris
www.salon-aps.com
 - ◇ **Salons Solutions (dématérialisation, serveurs, archivage en ligne...)**
26 au 28/09 – Paris
www.salons-solutions.com
 - ◇ **Paris Manga & Sci-fi Show**
30/09 au 01/10 – Paris
www.parismanga.fr/

octobre 2017

- ◇ **Batteries 2017**
03 au 06/10 – Nice
www.batteriesevent.com
- ◇ **IBS Event**
04 au 05/10 – Paris
www.ibs-event.com
- ◇ **SmartCity + SmartGrid**
04 au 05/10 – Paris
www.smartgrid-smartcity.com
- ◇ **Fête de la science**
05 au 15/10 – partout en France
www.fetedelascience.fr
- ◇ **Salon du flipper et du jeu vidéo**
07 au 08/10 – Sorgues
www.facebook.com/rpjgame
- ◇ **SEPEM Industries Centre-Ouest**
10 au 12/10 – Angers
angers.sepem-industries.com
- ◇ **11^{es} Trophées Cap'Tronic**
10/10 – Paris
www.captronic.fr **Elektor partenaire presse**
- ◇ **Aero Space Days**
11 au 12/10 – Paris
www.asddays.com
- ◇ **Festival Son & Image**
14 au 15/10 – Paris
www.sonimage.com
- ◇ **Geek's Live**
14/10 – Paris
www.geekslive.fr
- ◇ **HAMexpo**
14/10 – Le Mans
www.ref-union.org
- ◇ **Rendez-vous Carnot**
18 au 19/10/2017 – Paris
rdv-carnot.com
- ◇ **World Electronics Forum (WEF)**
24 au 28/10 – Angers
www.wefonline.org
- ◇ **Hello Tomorrow Global Summit**
26 au 27/10 – Paris
<https://hello-tomorrow.org/>

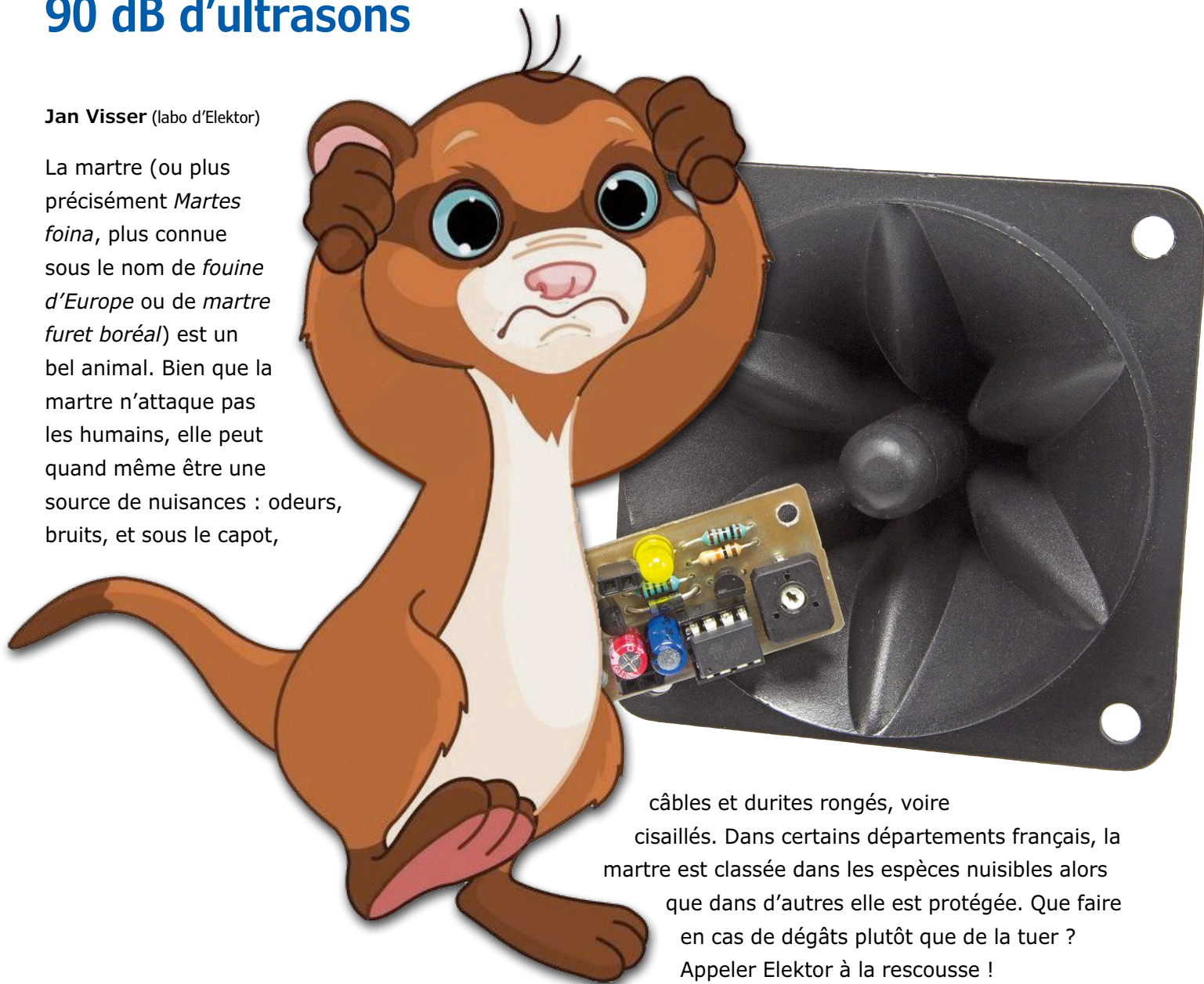


répulse-martre

90 dB d'ultrasons

Jan Visser (labo d'Elektor)

La martre (ou plus précisément *Martes foina*, plus connue sous le nom de *fouine d'Europe* ou de *martre furet boréal*) est un bel animal. Bien que la martre n'attaque pas les humains, elle peut quand même être une source de nuisances : odeurs, bruits, et sous le capot,



câbles et durites rongés, voire cisailés. Dans certains départements français, la martre est classée dans les espèces nuisibles alors que dans d'autres elle est protégée. Que faire en cas de dégâts plutôt que de la tuer ? Appeler Elektor à la rescousse !

Caractéristiques

- Tension d'alimentation de 9 à 12 V_{cc}
- Consommation moyenne de courant : 7 mA
- Consommation de courant lors d'une salve : 80 mA
- Consommation de courant au repos : 2 mA
- Fréquence réglable entre 20 et 43 kHz
- Signal sonore intermittent

C'est ce qu'a fait un lecteur d'Elektor ; il s'est adressé à notre labo pour savoir s'il n'y avait pas moyen de trouver l'une ou l'autre solution « électronique » pour régler le problème de la « martre ». Quelques recherches ont vite fait de nous apprendre que les mustélidés ont une forte aversion pour des ondes sonores proches de 23 kHz, donc des ultrasons (inaudibles pour nous). C'est

un fait intéressant pour concevoir notre répulse-martre électronique. Un vieux de la vieille, chez Elektor, pensait se souvenir que nous en avions déjà conçu un et, en effet, cela remontait à janvier 2003 (*Chasse-nuisibles, Respecte la nature sous tous ses aspects*). Le montage de l'époque n'était constitué que de composants discrets, montés sur une carte de belle taille – à l'ère du microcontrôleur

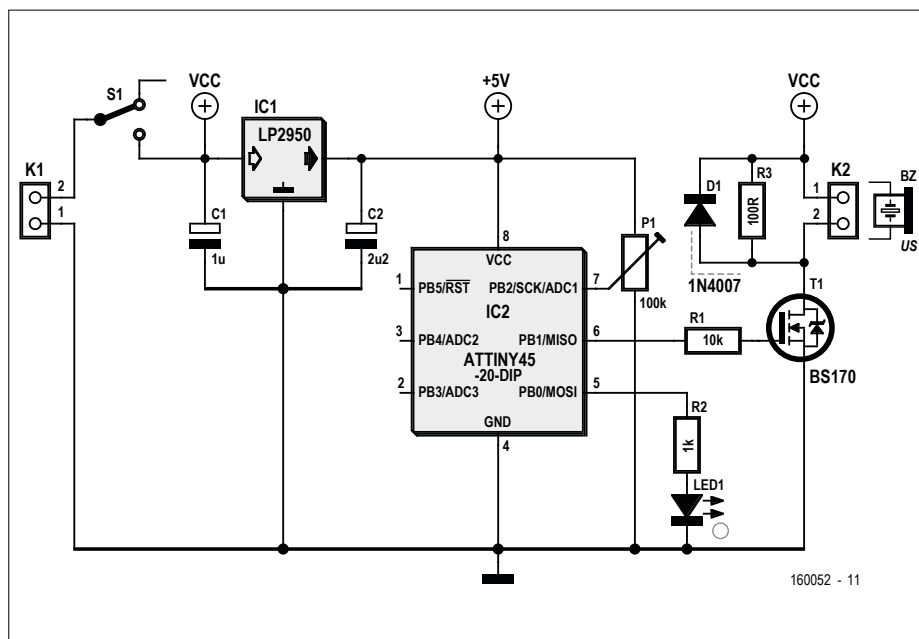


Figure 1. Le schéma du générateur d'ultrasons est on ne peut plus simple ; la réalisation du circuit est à la portée de tout un chacun.

INFOS SUR LE PROJET

- ultrasons
- microcontrôleur
- composants traversants

débutant

connaisseur

expert

Env. 1 h

Fer à souder standard

Env. 15 €

(μC), il devrait être possible de faire plus compact (et moins cher) ! Il est plus que temps de mettre la main à la pâte. Le cahier des charges de notre lecteur était, en fait, relativement modeste :

- Projet simple et compact
- Réalisation facile, pas de CMS SVP
- Plage de fréquences réglable (20 à 40 kHz)
- Puissance sonore élevée
- Bon marché
- Alimentation par pile de 9 V

Le schéma

En **figure 1**, nous découvrons le petit schéma de notre générateur d'ultrasons. Le cœur du circuit est formé par – comment pouvait-il en être autrement – un μC , ici un mini- μC , un ATtiny25-20. Mais commençons par le début : l'alimentation. La tension d'entrée, comprise entre 9 et 12 V_{CC} (pile de 9 V, adaptateur secteur ou batterie de voiture), est appliquée sur l'embase à deux pôles K1, transite via l'interrupteur marche/arrêt S1 et arrive sur le régulateur à faible tension de déchet, IC1, un LP2950 en version 5 V. Les classiques condensateurs C1 et C2 assurent la stabilité de la tension de sortie.

Le μC est alimenté par la tension de sortie stabilisée de 5 V du régulateur. Comme l'étage de sortie peut se passer de tension stabilisée, nous utilisons ici la tension « brute » de la pile ou de la batterie de voiture.

Entrons dans le saint des saints

Le cœur du générateur est IC2, un ATtiny25 avec le strict minimum en périphérie. L'ajustable P1 permet de régler la fréquence de sortie (sur une plage allant de 20 kHz à 43 kHz environ). Le micrologiciel est écrit de façon à ce que le générateur produise un signal intermittent. C'est à dessein que nous avons choisi ce mode de fonctionnement pour éviter que la pile ou la batterie de voiture ne se décharge trop vite, et que les créatures à repulser ne puissent

pas s'accoutumer au signal. Nous avons opté pour l'émission d'une salve d'une seconde toutes les dix secondes. Comme (évidemment) nous ne pouvons pas entendre à quel moment le circuit est actif (produit du bruit), nous avons ajouté une LED, LED1 (avec sa résistance série R2) pour visualiser le fonctionnement du générateur. La sortie du microcontrôleur (broche 6) est incapable, et de loin, de fournir l'énergie nécessaire à l'attaque du haut-parleur ; il



Figure 2. Après quelques mesures dans le labo d'Elektor, le tweeter MPT-001 de Monacor utilisé ici s'est avéré convenir parfaitement pour cette application.

nous a donc fallu ajouter un étage de puissance basé sur T1 (le fameux MOS-FET BS170).

Tweeter

Pour « balancer » dans la nature le signal de sortie amplifié du contrôleur (salves à une fréquence qui se situe au-delà de notre plage audible) avec les décibels requis, nous pouvons utiliser un tweeter piézo à haut rendement. Après quelques recherches et un rien d'expérimentation, nous avons opté pour le Monacor MPT 001 (**fig. 2**). S'il est vrai que ce tweeter n'est pas spécifiquement conçu pour les applications à ultrasons, il n'en combine pas moins un rendement décent avec des dimensions modestes et surtout un prix abordable, moins de dix euros. En tout cas, pour notre application, il est bon pour le service. Mais si vous avez un autre tweeter à ultrasons sous la main ou que vous préférez utiliser un modèle différent : allez-y ! À cet égard, ce circuit invite à l'expérimentation.

Réalisation et utilisation

Nous avons conçu, pour notre répulse-martre, un petit circuit imprimé de quelques centimètres carrés (**fig. 3**). Comme il n'est fait appel ici qu'à des composants conventionnels (traversants), il ne faudra guère plus d'une heure pour la réalisation, même à un amateur d'électronique

Ce logiciel repousse les martres...

```
//Attiny25 , running @ 1MHZ
// Using timer 1
//
//
//      +-\/-+
// Ain0  (D  5) PB5  1|      |8  VCC
// Ain3  (D  3) PB3  2|      |7  PB2  (D  2)  INT0  Ain1 <- Potmeter input
// Ain2  (D  4) PB4  3|      |6  PB1  (D  1)      pwm1 <- Speaker output
//      GND  4|      |5  PB0  (D  0)      pwm0 <- Led output
//      +----+

// calculate output frequency
// clockspeed / prescaler / OCR1C = frequency(Hz)
// clockspeed / prescaler / frequency = OCR1C
// OCR1C = OCR1A

#include <avr/sleep.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/wdt.h>

#define potmeter A1

#define adcDisable() (ADCSRA &= ~(1<<ADEN)) // disable ADC
#define adcEnable()  (ADCSRA |=  (1<<ADEN)) // re-enable ADC
byte compareValue = 0;

void setup() {
    disableWatchdog();
    adcEnable();
    compareValue = map(analogRead(potmeter), 0, 1023, 25, 10);
    startTimer1(); //20 - 50 kHz -> OCR0A: 25 - 10
    adcDisable();
    pinMode(0, OUTPUT);
    digitalWrite(0, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(0, LOW);
    stopTimer1();
    enableWatchdog();
    enterSleep();
}
```



Repoussez les mustélidés
avec un rien d'électronique !

moins expérimenté. Mettre le μ C sur support ! L'utilisation n'appelle guère de remarque : il n'y a qu'un seul ajustable de réglage (P1) qui permet de régler la fréquence du signal de sortie.

Pour le contrôle, utilisez de préférence un oscillo (ou un fréquencemètre). Si vous n'avez pas d'oscillo sous la main, vous pouvez travailler « à l'oreille » : bien que vous ne puissiez pas entendre le signal proprement dit, (après activation), le tweeter produit toutes les dix secondes (à chaque salve) un petit clic audible. La preuve que tout fonctionne correctement.


```

}

void loop() {
}

void startTimer1(void) {
  pinMode(1, OUTPUT);
  TCNT1 = 0;
  TCCR1 = 0;
  GTCCR |= (1 << PSR1); //section 13.3.2 reset the prescaler
  TCCR1 |= (1 << CTC1); // section 12.3.1 CTC mode
  TCCR1 |= (1 << COM1A0); //toggle pin PB1 table 12-4
  TCCR1 |= (1 << CS10); //prescaler 1 table 12-5
  //TCCR1 |= (1 << CS11);
  //TCCR1 |= (1 << CS12);
  //TCCR1 |= (1 << CS13);
  OCR1C = compareValue;
  OCR1A = compareValue;
}

void stopTimer1(void) {
  TCNT1 = 0;
  TCCR1 = 0;
}

void enableWatchdog(void) {
  wdt_enable(WDTO_8S); //enable watchdog
}

void disableWatchdog(void) {
  MCUSR &= ~(1<<WDRF); // reset status flag
  wdt_disable(); //reset watchdog
}

void enterSleep(void) {
  set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
  sleep_mode();
}

```



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances (0,25 W)

R1 = 10 k Ω

R2 = 1 k Ω

R3 = 100 Ω

P1 = ajustable horizontal de 100 k Ω

Condensateurs

C1 = 1 μ F/16 V

C2 = 2,2 μ F/16 V

Semi-conducteurs

IC1 = LP2950 (5 V)

IC2 = ATtiny25-20 DIP (programmé)

D1 = 1N4007

T1 = BS170

LED1 = LED blanche

Divers

K1, K2 = embase femelle à 2 contacts,
au pas de 2,54 mm

S1 = interrupteur à glissière pour montage
sur CI

BZ = Monacor MPT-001 ou similaire

Circuit imprimé, réf. 160052-1

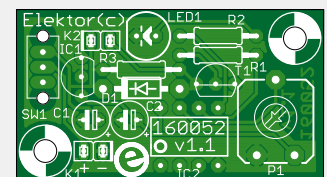


Figure 3. Le circuit imprimé simple face du répulse-martre est disponible dans l'e-choppe Elektor.

Liens

[1] www.elektormagazine.fr/160052

[2] www.elektor.fr/tl866a-universal-programmer

Le logiciel

Il n'y a pas grand-chose à dire au sujet du logiciel (cf. encadré) – après la mise en fonction, il y a lecture de la position de l'ajustable P1, puis configuration correspondante du temporisateur et le répulse-martre est prêt à jouer son rôle (efficacement nous l'espérons). Vous avez bien entendu liberté totale pour expérimenter avec le logiciel. La première idée qui vient à l'esprit est de jouer sur la durée du signal et l'intervalle entre salves : en fait, vous pouvez même (si vous avez suffisamment d'expérience en programmation) écrire une toute nouvelle routine

capable de fournir des signaux intermittents à intervalle variable.

Le logiciel est bien sûr disponible en téléchargement gratuit [1] ; vous pouvez également commander dans l'e-choppe d'Elektor, pour pas bien cher, un ATtiny25 programmé. Si vous préférez programmer votre μ C vous-même : le programmeur TL866A disponible lui aussi dans l'e-choppe d'Elektor [2] est exactement ce qu'il vous faut. **■**

(160052 - version française : Guy Raedersdorf)



DANS L'E-CHOPPE

→ 160052-1
circuit imprimé

→ 160052-41
microcontrôleur programmé

Quiz ENOVA Paris : un oscilloscope à gagner !



Comme chaque année à la rentrée de septembre, les bureaux d'études, les entreprises, les jeunes pousses, les centres de recherche, les universités, les pôles industriels et scientifiques se retrouvent au salon ENOVA de Paris pour découvrir les dernières innovations en matière d'électronique, de mesure, de vision et d'optique.

Le salon se déroulera du **19 au 21 septembre 2017**, dans le hall 4 du **parc des expositions Porte de Versailles à Paris**.

ELEKTOR, partenaire de presse, et les organisateurs du salon ENOVA vous invitent à participer à un **quiz en ligne sur l'électronique pour gagner un superbe oscilloscope R&S®RTB2000*** de marque Rohde&Schwarz (d'une valeur de 1250 €) ainsi que de nombreux autres lots comme une carte d'évaluation Uplynx pour le réseau Sigfox**.

Testez maintenant vos connaissances en électronique en participant au quiz et nous aurons (peut-être) le plaisir de vous accueillir sur notre stand ELEKTOR ; ça se passe ici :

www.elektormagazine.fr/enova-paris-quiz

*Attention : la date limite de participation est le **10 septembre 2017, minuit**.*

* Oscilloscope offert par Rohde&Schwarz.

** Carte de développement animée par un cœur à 32 bits M2C8001 de M2COMM, d'une valeur de 250 €, offerte par le distributeur Eurocomposant.

CAP sur l'innovation

Internet des objets, enfin l'âge de raison ?



Le programme CAP'TRONIC et la DGE (Direction Générale des Entreprises) organisent une journée d'échanges et de témoignages de chefs d'entreprises pour donner une large vision des possibilités offertes par les technologies numériques connectées.

Cette journée sera ponctuée par des présentations et diverses tables rondes :

- Cybersécurité : les risques et enjeux dans l'industrie (par l'ANSSI)
- Cybersécurité : comment protéger vos produits et systèmes connectés ?
- Plateforme de service IoT : offre clé en main ou développement sur mesure ?
- Objets connectés autonomes : pourra-t-on éviter les piles ?
- Les nouvelles offres de Bpifrance pour accompagner la transformation numérique des entreprises

Cette manifestation sera aussi l'occasion de découvrir les lauréats des **11^{es} Trophées CAP'TRONIC** au cours de présentations rapides et de désigner un 5^e vainqueur (prix du public) parmi les treize projets sélectionnés. Ces Trophées récompensent et mettent en lumière les projets des PME françaises les plus novateurs par l'introduction de solutions électroniques et logicielles dans leurs produits.

Cette manifestation aura lieu le **10 octobre 2017 à la Cité internationale universitaire de Paris**. Toutes les informations et inscriptions sur **www.captronic.fr**

bruits de labo



Les grands classiques d'hier, d'aujourd'hui et de demain dans le labo d'Elektor

Commande de volume à distance pour le CA/N audio RPi

Vous souhaitez régler le volume de la musique avec du matériel analogique, mais sans devoir investir dans de coûteux potentiomètres d'asservissement. Nous avons la solution : une commande de volume analogique commandée numériquement. Le circuit dispose d'une interface de commande série, d'un détecteur de passage par zéro et d'une fonction de mise en sourdine. Ce circuit a été conçu pour être utilisé avec une carte Raspberry Pi sur laquelle tourne Volumio, mais vous pouvez le connecter à n'importe quelle autre source audio. Il supporte même la commande à distance.



<https://goo.gl/rT3Wq0>

AVR Playground = carte d'évaluation Arduino tutti frutti

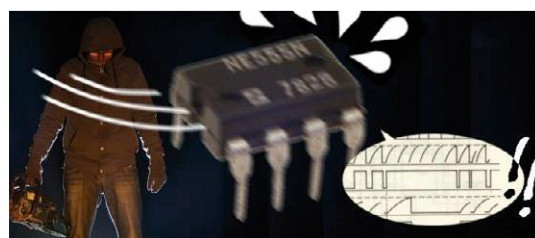
Avant l'Arduino, une carte d'évaluation de microcontrôleur était dotée de boutons-poussoirs, de LED, d'un afficheur et d'un ou même plusieurs potentiomètres pour signaux analogiques, de connecteurs d'extension et d'autres périphériques bien pratiques, sans oublier une alimentation digne de ce nom. Le but de telles cartes : vous permettre de prendre en main un microcontrôleur sans avoir à sortir votre fer à souder. C'est exactement ce que fait l'AVR Playground, un projet à logiciel et matériel ouverts qui donne un écran de confort et d'efficacité à l'Arduino sans le priver d'aucune de ces qualités pour lesquelles nous l'apprécions.



<https://goo.gl/XBGg0L>

La fin du 555, temporisateur historique

J'aime le temps. Plus j'en ai, mieux c'est. Malheureusement ça ne me suffit pas. Alors je me console, comme vous sans doute, en faisant plusieurs choses à la fois. En électronique, pour les tâches parallèles, il faut des temporisateurs qui donnent de façon autonome les signaux de début, de pause et de fin. Le 555 est le temporisateur par excellence, mais, aussi polyvalent qu'il soit, ce circuit ne convient pas pour toutes les applications. Voici un temporisateur qui lui ne souffre pas de ces restrictions.



<https://goo.gl/GHwWQd>

µA723 : 50 ans après, il revient

Voici un projet de derrière les fagots : un bon vieux régulateur de tension autour du légendaire uA723. Le géniteur de ce CI commercialisé par Fairchild Semiconductor en 1967 n'est nul autre que Bob Widlar. Cinquante ans plus tard, sa puce se présente à nous dans une version en boîtier métallique avec source de courant à commande numérique. Comme l'ont démontré les Rolling Stones pendant la même période : combinez une bonne régulation de ce que vous ingérez et de ce que vous dissipez, et vous restez longtemps sous les feux de la rampe. ◀

(160479)



<https://goo.gl/EwGjtN>

composants parasites

condensateur métamorphosé en inductance

Robert Lacoste (Chaville)

Les composants électroniques les plus simples peuvent parfois s'avérer farceurs. Dans le précédent article, je vous ai montré qu'un condensateur déchargé pouvait se recharger tout seul [1]. Continuons donc notre exploration du monde des condensateurs : si l'on n'y prend pas garde, ce composant peut offrir d'autres surprises et se comporter comme... une inductance !



Condensateur ?

Vous savez ce qu'est un condensateur, n'est-ce pas ? Prenez-en un et appliquez un signal sinusoïdal à ses bornes. Il sera traversé par un courant d'autant plus intense que sa capacité est grande ou que la fréquence du signal est élevée. Plus précisément, l'impédance d'un condensateur est égale à $Z = 1 / (2\pi f C)$, avec f la fréquence du signal en hertz et C la capacité du condensateur en farads. Enfin le courant à travers le condensateur est déphasé de -90° par rapport à la tension appliquée.

Vous préférez une illustration plutôt qu'une formule ? J'ai réalisé pour vous une petite simulation d'un condensateur de 100 nF, supposé parfait, en utilisant le simulateur QUCS (qui a le bon goût d'être excellent et gratuit [2]). Regardez le résultat sur la **figure 1**. Pour mesurer l'impédance d'un tel composant sur un simulateur, il suffit de mesurer la tension U et le courant I , et de calculer $Z=U/I$, c'est l'objet de la première équation. On peut alors afficher sur un graphique l'amplitude et la phase de Z (seconde équation). Comme prévu, l'impédance diminue lorsque la fréquence augmente, et vaut par ex. 0,78 Ω à 2 MHz ; elle est ensuite divisée par deux à chaque fois que la fréquence double. Comme prévu aussi, la phase reste constante, égale à $-1,57$ rad, c'est-à-dire -90° . Simple, n'est-ce pas ? Si vous n'avez jamais utilisé un simulateur comme QUCS, je vous recommande de le télécharger et d'essayer de reproduire cet exemple, un bon exercice...

Expérimentons !

Maintenant, essayons donc de mesurer l'impédance d'un vrai condensateur pour la comparer à cette belle théorie. Commençons par un petit condensateur de 100 nF standard (traversant), déniché dans un de mes tiroirs. Pour avoir une mesure propre, j'ai utilisé le circuit imprimé d'un ancien projet radio doté d'un connecteur SMA, et j'ai simplement soudé le condensateur entre l'âme du connecteur et le plan de masse. Dans un premier temps, j'ai volontairement gardé des fils de connexion un peu longs, de l'ordre de 1 cm. Voyez le résultat sur la **photo 1**. Comment mesurer l'impédance de ce condensateur ? Bien sûr il serait possible d'utiliser un capacimètre ou un pont RLC, mais ce type d'équipement n'autorise que des mesures avec des signaux à très basse fréquence, quelques dizaines ou centaines de kHz. Ici j'aimerais savoir comment se comporte le condensateur à des fréquences de quelques MHz à plusieurs centaines de MHz. Comment procéder ? La solution est d'avoir recours à un appareil de mesure longtemps réservé aux labos les plus fortunés, j'ai nommé l'analyseur de réseau vectoriel ou VNA (acronyme de *Vector Network Analyzer*). Cet appareil produit des signaux qui peuvent grimper à plusieurs GHz (voire beaucoup plus...). Grosso modo, un VNA est un appareil avec une impédance très précise, en général 50 Ω . Il produit un signal sinusoïdal de fréquence variable et envoie ce signal à un composant ou circuit d'impédance inconnue. Si cette impédance n'est pas rigoureusement de 50 Ω , une partie de l'énergie est réfléchie vers le

VNA. En mesurant le signal réfléchi, le VNA peut en déduire l'impédance du dispositif sous test (cf. mon article [3]). Un VNA est super, mais a le gros inconvénient de coûter facilement le prix d'une grosse voiture, voire d'un appartement... Heureusement, depuis quelques années, des solutions nettement plus abordables sont disponibles grâce aux efforts de la communauté des radioamateurs : j'ai utilisé pour cet article un appareil connu sous le sigle VNWA [4], commercialisé pour quelques centaines d'euros seulement et amélioré ici par les bons soins d'un de mes collègues. Bien sûr les performances sont plus limitées que celles d'un appareil professionnel, mais ce sera suffisant ici !

Étalonnage et mesure...

Juste une mise en garde : les VNA ont une particularité, ils sont parmi les rares appareils de mesure à nécessiter un étalonnage avant chaque utilisation. En pratique, la sortie de l'analyseur est d'abord connectée à un court-circuit aussi parfait que possible, puis à un circuit ouvert, et enfin à une charge de 50 Ω de référence. L'analyseur peut ensuite calculer les facteurs d'étalonnage et corrigera la plupart de ses erreurs de mesure, tant que les références sont bonnes. Il est plus qu'important d'effectuer cet étalonnage en utilisant tous les câbles d'interconnexion nécessaires afin d'annuler leur influence. Ici, j'ai d'abord soudé sur le circuit imprimé une résistance de 0 Ω à la place du condensateur et je l'ai utilisée comme référence de court-circuit. Puis je l'ai retirée pour avoir une référence de circuit ouvert. Enfin une résistance CMS de 49,9 Ω a fourni une référence de 50 Ω raisonnable. J'ai ensuite soudé le condensateur à tester et lancé la mesure...

L'impédance mesurée avec cette première configuration est illustrée sur la **figure 2**. La capacité mesurée est donnée par la courbe rouge, l'inductance par la courbe jaune. L'échelle horizontale est de 100 kHz à 500 MHz. Trois marqueurs indiquent les valeurs mesurées respectivement à 1 MHz, 6 MHz et 164 MHz. Qu'observe-t-on ? La capacité mesurée est effectivement de 100 nF, mais uniquement pour les très basses fréquences (93,5 nF à 1 MHz). Il y a ensuite une bosse étrange sur la courbe de capacité aux environs de 6 MHz, et pour des fréquences supérieures le condensateur se comporte exactement comme ... une inductance pure, plus précisément égale à 8 nH. La capacité résiduelle est même quasi nulle à partir de 10 MHz. Argh, notre condensateur devient une inductance à partir de 6 MHz !

Réfléchissons...

Que se passe-t-il ? Cette inductance est liée principalement aux pattes du condensateur. Rappelez-vous, je les avais laissées assez longues, à peu près 1 cm. Or un fil droit est une inductance. En 1908, E.B. Rosa a donné une formule pour calculer cette inductance :

$$\text{inductance (en nH)} = 2 L (\ln(2L/r) - 0,75)$$

Dans cette formule, L est la longueur du fil et r le rayon du fil, tous les deux en cm. Lorsque la fréquence est élevée, la formule est toujours la même, mais le paramètre de 0,75 augmente lentement jusqu'à 1. Faites le calcul pour un fil de 1 cm et un diamètre, disons de 0,6 mm, vous trouverez une inductance de 5 nH. Il faut multiplier cette valeur par deux, car le

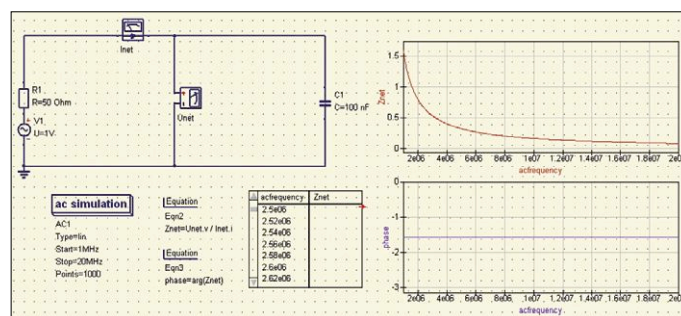


Figure 1. Cette simulation simple dans QUCS montre le comportement d'un condensateur parfait. Le graphe montre l'impédance et la phase lorsque la fréquence augmente de 1 MHz à 20 MHz.

condensateur a deux pattes (d'où deux inductances en série), cela donne 10 nH, ce n'est pas très loin des 8 nH mesurés.

Mais pourquoi le comportement du condensateur change-t-il à une fréquence de l'ordre de 6 MHz ? Tout simplement parce que le condensateur de 100 nF et cette inductance parasite de 10 nH forment un réseau résonant LC série. Un tel réseau a

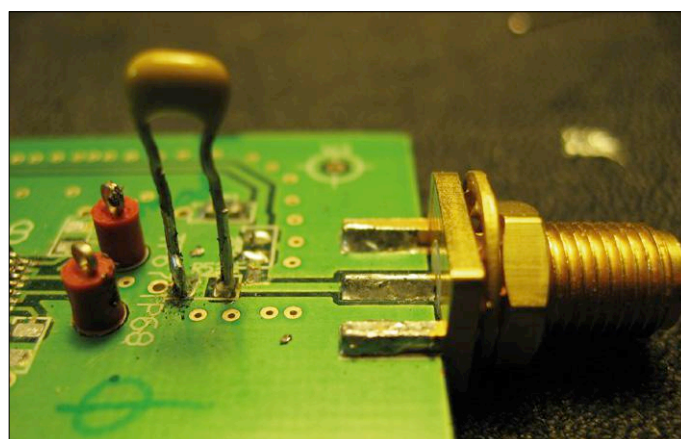


Photo 1. La première expérience repose sur un condensateur ordinaire de 100 nF, soudé aux bornes d'un connecteur SMA, avec des pattes un peu longues.

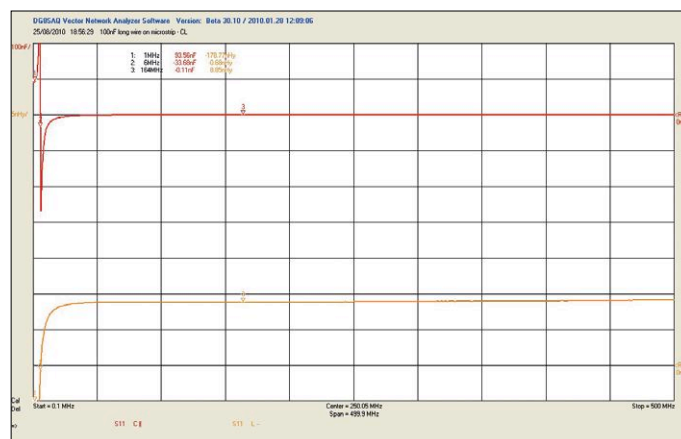


Figure 2. Voici le résultat de la mesure d'impédance sur le montage de la photo 1. En haut la capacité mesurée et en bas l'inductance, de 100 kHz à 500 MHz. Le condensateur n'en est plus un à partir de 6 MHz !

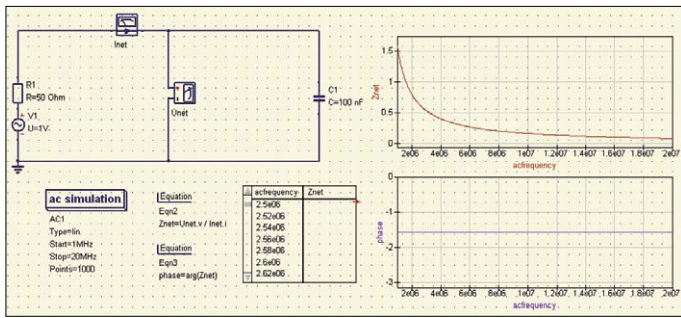


Figure 3. Une petite simulation dans QUCS d'un réseau LC série, qui résonne autour de 6 MHz.

une certaine fréquence de résonance et n'est équivalent à un condensateur qu'en dessous de celle-ci. Pour les fréquences supérieures, il est équivalent à une inductance. Je me suis livré pour vous à deux petites simulations sur QUC pour illustrer ce phénomène : la **figure 3** montre le comportement d'un LC série, et la **figure 4** illustre l'impact de l'ajout d'une petite résistance série supplémentaire, simulant la résistance série du condensateur (ESR). La fréquence de résonance d'un tel réseau est donnée par la formule suivante :

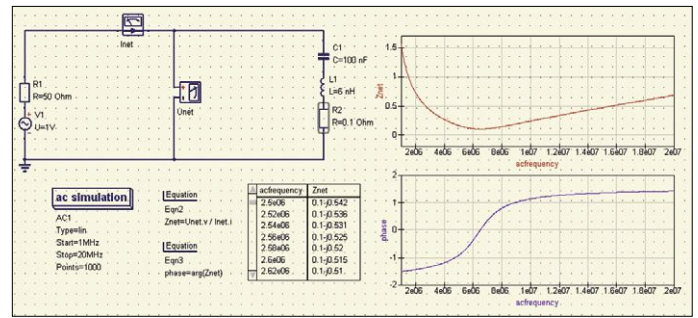


Figure 4. En ajoutant un peu de résistance série, on obtient un réseau RLC série qui est un peu plus lisse qu'à la figure 3.

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

Avec $C = 100 \text{ nF}$ et $L = 10 \text{ nH}$, cela donne 5 MHz, c'est assez proche des 6 MHz mesurés pour que l'interprétation soit confirmée !

Résumons-nous, le comportement étrange que nous avons observé est strictement normal : il ne faut simplement jamais utiliser un condensateur de 100 nF avec des jambes de 1 cm si l'on veut travailler à des fréquences dépassant le MHz !

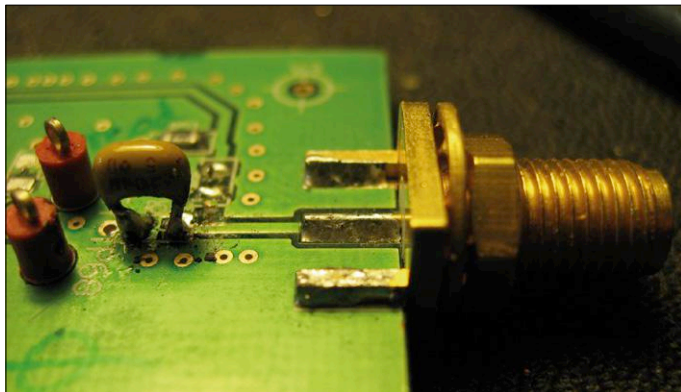


Photo 2. Pour le deuxième test, le condensateur de 100 nF est soudé au raz de la carte.

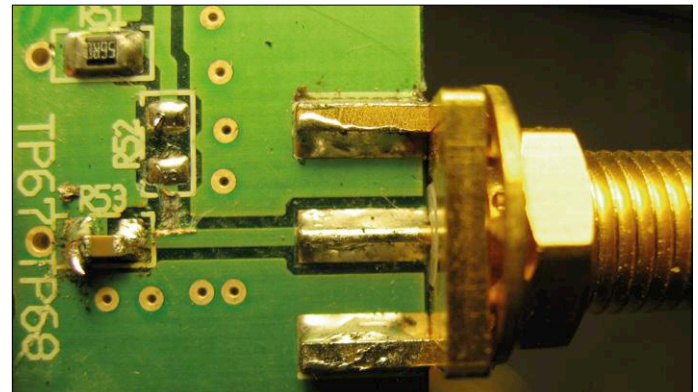


Photo 3. Ce test est réalisé avec un condensateur de 100 nF, mais monté en surface. L'inductance parasite est considérablement réduite.

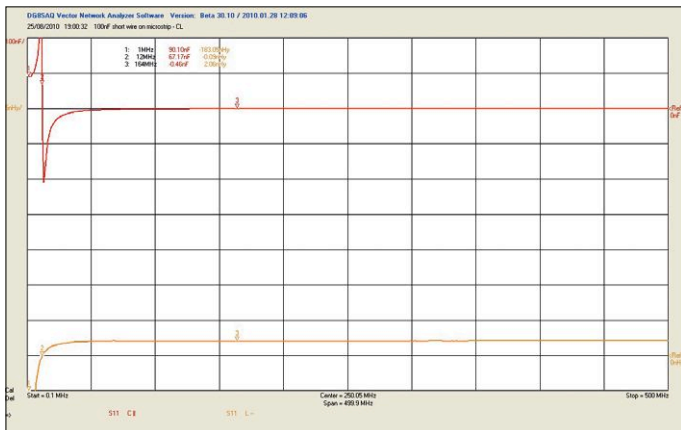


Figure 5. L'impédance du condensateur de 100 nF avec des fils plus courts montre encore une résonance, mais maintenant à 12 MHz, deux fois plus haut que précédemment.



Figure 6. La mesure du condensateur CMS de 100 nF ne présente plus de résonance, mais sa valeur diminue lorsque la fréquence augmente. À 30 MHz, sa capacité est légèrement supérieure à 50 nF.

Améliorations...

Comment augmenter la fréquence de résonance du circuit et utiliser un condensateur à des fréquences beaucoup plus élevées ? Regardez la formule ci-dessus, il n'y a que deux solutions pour augmenter la fréquence de résonance du réseau LC : diminuer L ou bien diminuer C... Essayons de diminuer L. J'ai resoudé le même condensateur de 100 nF, mais plus proprement, avec des pattes aussi courtes que possible (**photo 2**). Le résultat de la mesure est illustré sur la **figure 5** : il y a du mieux, en particulier l'inductance du circuit pour des fréquences élevées a été réduite de 8 nH à 2 nH. Malheureusement, cela n'a « que » doublé la fréquence de résonance qui est désormais de 12 MHz. En fait ces 2 nH correspondent à l'inductance équivalente d'un fil droit de 3 mm, ce qui ne semble pas irréaliste en tenant compte des petites pattes restantes et des conducteurs internes du condensateur.

Comment aller encore plus haut en fréquence ? Il faut pour cela lutter contre les inductances parasites, et la meilleure solution pour ce faire est d'employer des composants montés en surface (CMS). J'ai donc remplacé le condensateur par un condensateur CMS de 100 nF, céramique, en boîtier 0603 (**photo 3**). Regardez la **figure 6**, cette fois la mesure ne montre aucune résonance jusqu'à 500 MHz au moins. Par contre, la capacité mesurée diminue rapidement en fonction de la fréquence. Elle vaut bien 90 nF à 1 MHz, mais seulement 50 nF à 30 MHz. Elle chute même à 4 nF à 160 MHz. Cette dernière mesure doit être prise avec précaution, car les erreurs de mesure commencent à être énormes, mais cela montre qu'un condensateur CMS 0603 de 100 nF ne peut clairement pas être utilisé aussi haut en fréquence, probablement parce que la céramique qui le constitue n'est simplement pas faite pour ça.

Comment aller encore plus loin en fréquence ? En utilisant des valeurs de condensateur plus petites, ce qui augmentera la fréquence de résonance. J'ai réitéré l'essai avec cette fois un condensateur CMS de 100 pF de bonne qualité. La **figure 7** montre qu'alors la capacité reste très proche de 100 pF jusqu'à 500 MHz et probablement beaucoup plus haut. Pour les applications hyperfréquence, on trouve d'ailleurs sans problème des condensateurs CMS avec des fréquences de résonance garanties supérieures à 10 ou 20 GHz, mais uniquement avec des capacités de l'ordre de 10 pF.

Pour conclure

Exeptée la mise en œuvre d'un appareil de mesure un peu exotique, le VNA, cet article n'a montré que des expériences élémentaires. Toutefois j'espère qu'il vous a permis de décou-

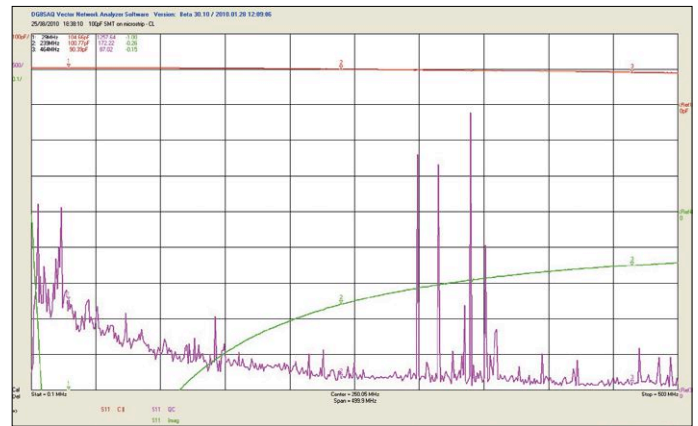


Figure 7. Mesure avec un condensateur CMS de seulement 100 pF. La courbe rouge montre que la capacité mesurée est de 104 pF aux basses fréquences, mais reste de 90 pF à 500 MHz (les autres courbes sont des artefacts de mesure).

vrir qu'un banal condensateur est moins simple que ce qu'il n'y paraît. À présent, vous comprenez sûrement pourquoi sur certains schémas, on trouve plusieurs condensateurs de valeurs différentes en parallèle, par ex. un 100 nF et un 100 pF. Il ne faut surtout pas les remplacer par un seul condensateur de 100,1 nF, et vous savez maintenant pourquoi : le 100 nF filtre les basses fréquences, mais devient probablement inutile à partir de quelques MHz, et le petit 100 pF prend ensuite le relais ! Bon, c'est en fait un peu moins simple, cela méritera un autre article ! ◀

(160547)

Cet article a été publié dans la revue Circuit Cellar (n°245, décembre 2010).

Liens et ressources

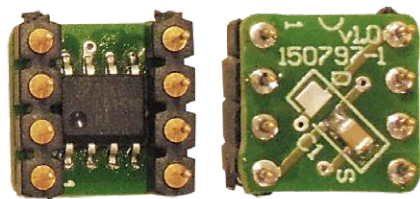
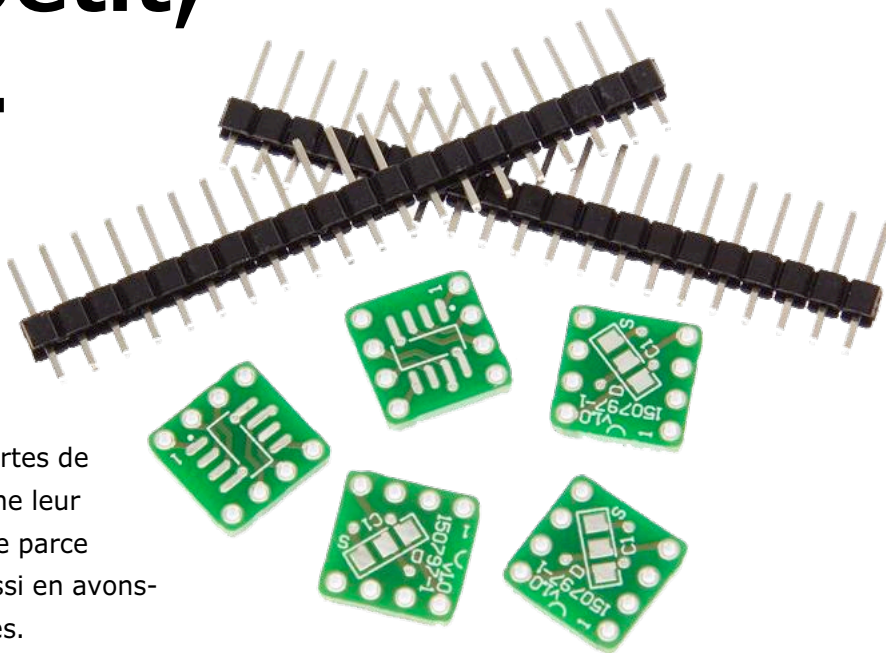
- [1] Article hors circuits « des condensateurs qui se rechargent tout seuls, attention à l'absorption diélectrique », Elektor 07-08/2017 : www.elektormagazine.fr/160500
- [2] Simulateur QUCS : <http://qucs.sourceforge.net/>
- [3] Article hors circuits « adaptation d'impédance », Elektor 06/2014 : www.elektormagazine.fr/140079
- [4] Analyseur VNWA : www.sdr-kits.net
- [5] « A Small, Simple, USB-Powered Vector Network Analyzer Covering 1 kHz to 1.3 GHz », Prof. Dr. Thomas C. Baier, DG8SAQ, QEX magazine, 01-02/2009 : http://sdr-kits.net/DG8SAQ/VNWA/Baier_VNWA2_QEX.pdf
- [6] « The self and Mutual inductance of Linear Conductors », E.B. Rosa, Bulletin of the Bureau of Standards, Vol 4, N°2, 1908, page 301 : www.g3ynh.info/zdocs/refs/NBS/Rosa1908.pdf

plus c'est petit, plus c'est...

les BoB d'Elektor

Jelle Aarnoudse (Pays-Bas)

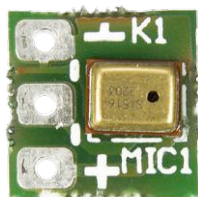
Si petits et pourtant si pratiques, les *Break out Boards* (BoB) que le labo d'Elektor conçoit régulièrement ! Ces cartes de liaison sont très appréciées, mais nous ne leur consacrons qu'épisodiquement un article parce qu'il y a peu à raconter à leur sujet. Aussi en avons-nous réuni ici une série des plus récentes.



Adaptateur de SO8 à DIP8 (150797)

Commençons par un BoB simple et minuscule (c'est celui qui nous a inspiré cet

article). Une carte si petite qu'on en poserait quatre sur un timbre poste. Elle sert à installer, sur un montage ancien dans l'emplacement prévu pour un boîtier DIP8, un CMS SO8 souvent plus avantageux. La puce se trouve en dessous, entre les broches de raccordement. Sur la face supérieure, on peut encore souder un petit condensateur de découplage entre la broche 4, généralement la masse, et la 7 (pour les amplis op) ou la 8 pour beaucoup d'autres. Disponible dans l'e-choppe par cinq pièces.



Adaptateur pour microphone MEMS (150346)

Encore plus petit ! Pour le *détecteur de chauve-sourisPLUS*, il nous fallait un microphone MEMS si petit qu'il est bien difficile à souder, nous lui avons donc fabriqué un adaptateur. Le module prêt à l'em-

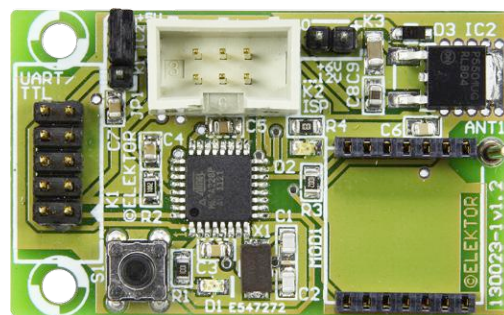
ploi est disponible dans l'e-choppe. Les caractéristiques excellentes du microphone destinent ce BoB à de nombreux usages.

Voir articles : www.elektormagazine.fr/160083 & www.elektormagazine.fr/150346

Passerelle radio entre UART et 433 MHz (130023)

Ce qui va caractériser l'électronique de demain, c'est assurément la déferlante du sans fil. Nous sommes habitués aux interfaces HMI (homme-machine), mais ce qui se profile, c'est le MMI (de machine à machine) ou l'Internet des Objets (IdO). C'est pourquoi il y a un besoin urgent de liaisons radio simples

et sûres à la fois. Des puces et des modules sont arrivés et on en développe encore à toute vitesse, mais leurs fiches de caractéristiques sont



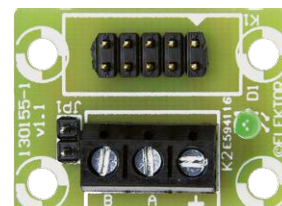
souvent des bouquins entiers et les applications ne sont pas très engageantes. Raison pour laquelle le labo d'Elektor a développé un certain nombre de BoB avec trancépteur à 433 MHz, ATmega328 et UART. Un micrologiciel tout préparé facilite l'utilisation de ces cartes comme passerelles sans fil. Les commandes et les chaînes de données prennent ainsi leur envol avec l'UART en tremplin. Également disponible dans l'e-choppe comme module prêt à l'emploi.

Voir article : www.elektormagazine.fr/130023

Module RS485 pour Embedded Extension Connector (130155)

Pour des missions moins ardues que ci-dessus, on a envie d'établir rapidement une connexion. Il existe pour cela le module RS485 pour ECC (*Embedded Extension Connector*) qui permet d'ajouter une interface RS485 à une carte à microcontrôleur, pour communiquer de manière fiable sur de grandes distances et configurer des bus. Disponible tout préparé dans l'e-choppe.

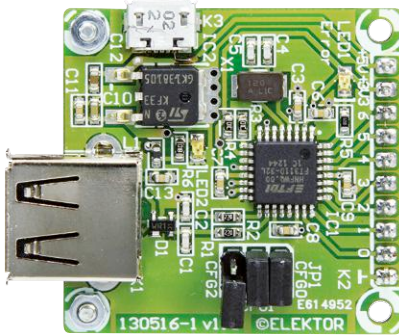
Voir article : www.elektormagazine.fr/130155



Carte de sorties pour la puce Android FT311D (130516)

Pour piloter et tester des cartes faites maison, on a toujours besoin d'interfaces d'entrée et de sortie. L'ordiphone, tellement répandu, convient parfaitement à la tâche. La puce FT311D est conçue spécialement pour relier les appareils Android par USB avec l'électronique externe. Ceci dit, la simplicité n'est pas la qualité majeure de l'USB, mais cette puce dispose d'une interface USB hôte et de différentes connexions pour la commande de son électronique perso, il y en a sept sur le FT311D. En outre, le fabricant a muni d'origine la puce du micrologiciel qui s'occupe intégralement de la communication USB par l'intermédiaire du protocole AOAM. Vous trouverez dans l'e-choppe aussi bien la carte nue que le module complet.

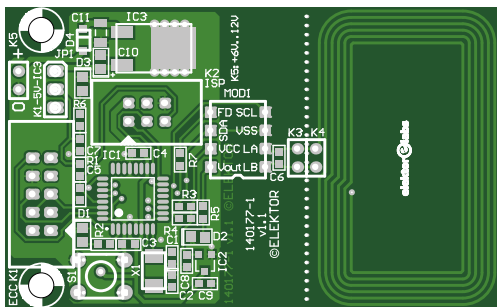
Voir article : www.elektormagazine.fr/130516



Passerelle NFC (140177)

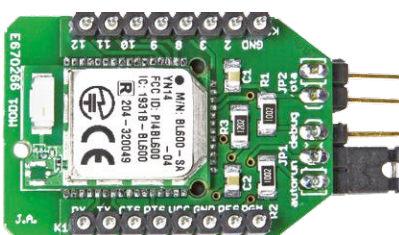
Et encore un BoB de communication. De plus en plus de téléphones sont dotés de la fonction NFC qui leur permet d'échanger des données jusqu'à quelques centimètres de distance, pour de petits paiements, par exemple. Très intéressant pour les électroniciens. Mais comment ça marche ? Pourrions-nous lire les étiquettes NFC, voire écrire dessus ? C'est possible, mais pas vraiment simple. Aussi avons-nous développé pour nos lecteurs une passerelle NFC sur laquelle le célèbre ATmega328 traite tous les aspects du protocole, dispose d'une étiquette NFC et d'une antenne intégrée. L'étiquette est tellement difficile à souder que nous la livrons sur un BoB prêt à l'emploi, en revanche, la passerelle est disponible comme carte nue.

Voir article : www.elektormagazine.fr/140177



e-Bob BL600 - module de communication Bluetooth Low Energy (140270)

Et encore un autre module sans fil ! L'e-BoB BL600 est une carte d'interface pour des communications radio ultra-économiques, compatible avec les plaques d'expérimentation. Même pour un usage à longue durée, une pile bouton CR2031 suffit ! Donc particulièrement apte à s'associer aux projets IdO jusqu'à une dizaine de

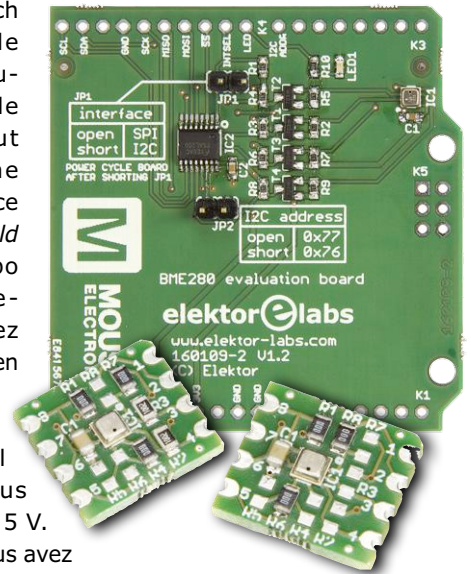


mètres, là où il n'y a pas, ou on ne veut pas, d'alimentation secteur. Un module prêt à l'emploi disponible dans l'e-choppe. Voir article : www.elektormagazine.fr/140270

Shield Arduino BME280 (160109)

Le BME280 de Bosch est un capteur de température, d'humidité et aussi de pression. On peut donc en faire une station météo à puce unique. Avec le shield Arduino que le labo d'Elektor a développé, vous pouvez l'essayer aussi bien en mode SPI que I2C. Et avec son adaptateur de niveau, il travaille aussi sous 3,3 V comme sous 5 V.

Dans l'e-choppe, vous avez quatre choix : un circuit imprimé nu ou avec carte d'évaluation, le module fin prêt en version I2C ou SPI.



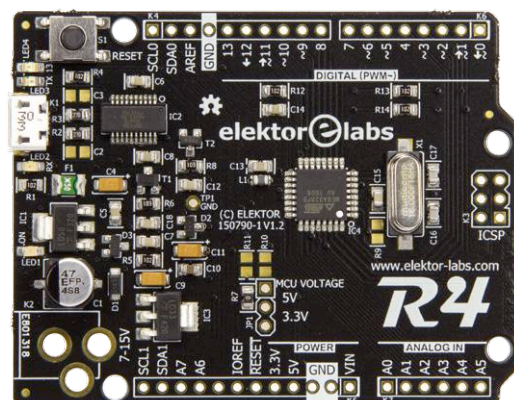
CC2-eBoB - capteur d'humidité/de température (140154)

Ce superbe capteur d'humidité et de température est précis à 2 %, il est étalonné et testé individuellement. Même s'il est en CMS, on peut aisément le souder à la main. Mais impossible évidemment de l'implanter sur une plaque d'essai. Nous avons donc fabriqué pour lui un petit circuit imprimé à picots standard.

Voir article : www.elektormagazine.fr/140154



Elektor Uno R4 (150790)



Enfin, cette énumération serait gravement incomplète si nous ne mentionnions pas notre carte Uno R4 Elektor, rejeton légitime de la célèbre carte Arduino R3. La R4 a plus de connectivité, de robustesse et même de souplesse. La plateforme rêvée pour vos propres réalisations en IdO !

Voir article : www.elektormagazine.fr/150790

(150797 - version française : Robert Grignard)

36 Expériences de Physique avec Arduino + Kit de démarrage



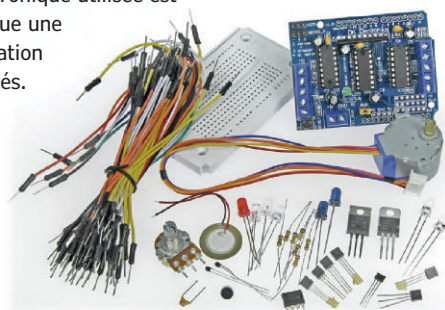
La rencontre de la physique et du microcontrôleur ne devrait plus étonner personne. Il existe d'excellents enregistreurs de données, ainsi que de nombreux programmes pour les traiter et les présenter sous forme de graphiques colorés et attrayants. La physique rébarbative, c'est fini !

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

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

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

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



www.elektor.fr/arduino-36-experiences

Trouvez Elektor en kiosque

avec votre code postal...

Où trouver Elektor près de chez vous ?



Si vous cherchez où acheter votre magazine Elektor, nous vous aidons à le trouver facilement.

Rendez-vous sur le site www.elektormagazine.fr, cliquez sur l'onglet **MAGAZINE**, puis sur **Elektor en kiosque**.

Ensuite indiquez votre code postal, puis cliquez sur **TROUVER**.

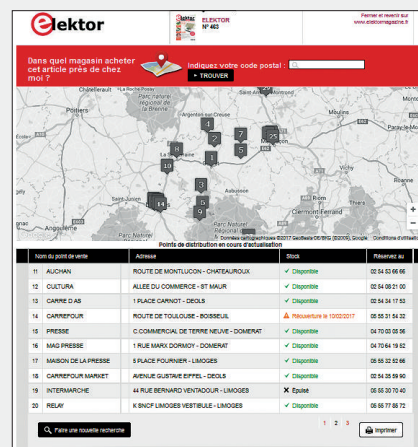
Vous verrez apparaître une carte avec des repères numérotés qui renvoient chacun à un des points de vente énumérés. Vous connaîtrez aussitôt l'état du stock chez ces différents revendeurs : magazine disponible ou épuisé.

Surveillez la carte pour découvrir les jours et horaires d'ouverture de chaque magasin.

Il ne reste qu'à choisir le plus commode pour y acheter votre magazine.

Ce moteur indique également la date de réouverture des points de vente fermés au moment de votre recherche.

Toutes ces informations, fournies par notre diffuseur (Messageries de Presse Lyonnaises), sont mises à jour quotidiennement et proviennent des 14.000 magasins informatisés de son réseau.



mémoire à bulles

drôle de composant n°32

Neil Gruending (Canada)

Nous avons déjà parlé de la mémoire magnétique qui se sert de tores comme supports de stockage. Ces tores fonctionnent bien sauf qu'ils sont relativement encombrants et onéreux. La mémoire magnétique a donné naissance à de nombreux produits comme la mémoire à bulles qui utilise des mini-bulles magnétisées pour sauvegarder les données. Bien des gens ont pensé que cette mémoire allait devenir une mémoire universelle qui remplacerait toutes ses rivales. En tout cas, tout semblait l'indiquer. Voilà son histoire.

Comme la fabrication de la mémoire à tores magnétiques impliquait un travail manuel complexe, des ingénieurs comme Andrew Bobeck qui travaillait pour les laboratoires Bell ont cherché d'autres solutions. Parmi elles, on trouve la mémoire à tistor où les tores sont remplacés par une bande magnétique. Cette mémoire est moins chère à produire, mais elle a un effet secondaire bizarre : le passage du courant dans les fils électriques noyés à l'intérieur de la bande magnétique provoque un déplacement des zones magnétisées de la bande dans le sens du courant. La mémoire à bulles reposera sur ce phénomène. La bande stocke des bits dans des zones magnétiques relativement étendues afin de stabiliser ces champs appelés « domaines ». Bobeck découvre qu'en appliquant un champ magnétique au support, les données peuvent être concentrées

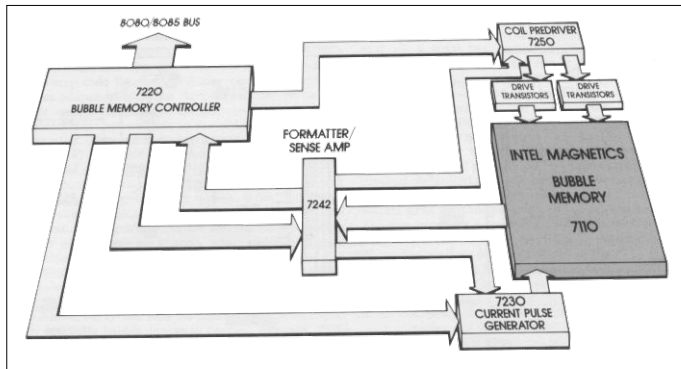


Figure 1. Schéma fonctionnel de la mémoire à bulle Intel de 128 Ko [1].

à l'intérieur de disques minuscules qu'il appelle « bulles ». Inspiré par les travaux de Paul Michaelis sur les substrats, Bobeck réussit à développer une grenaille dans laquelle ces bulles se déplacent de manière orthogonale. La mémoire à bulles magnétiques vient de naître.

La **figure 1** illustre l'architecture de la mémoire à bulles Intel 7110 qui a une capacité de 128 Ko. La partie mémoire à bulles est une grille bidimensionnelle placée sur le substrat. Comme la lecture est destructive, une partie de la grille sert à dupliquer la bulle avant que l'autre partie de la grille puisse la lire. La piste chargée de l'écriture transfère donc une copie des bits à la piste réservée à la lecture en se servant des

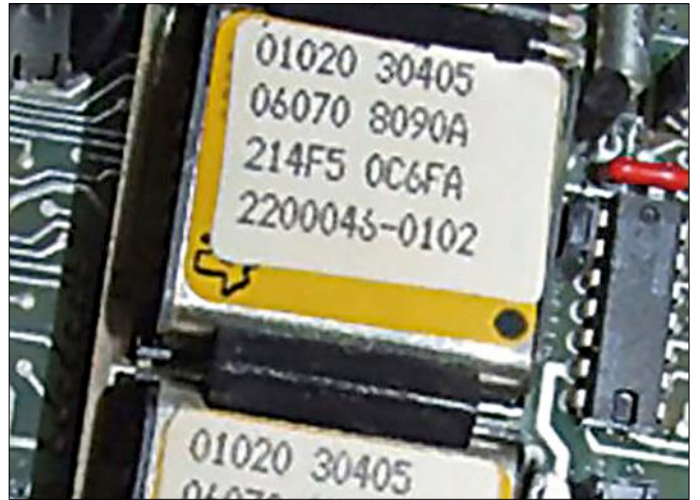


Figure 2. Mémoire à bulles TI [2].

bobines magnétiques. Le nombre de bits susceptibles d'être enregistrés entre ces deux pistes à l'instar d'un gigantesque registre à décalage correspond à la capacité de stockage de la mémoire. Ces mémoires sont souvent surdimensionnées de manière à avoir suffisamment de place pour masquer les zones de mémoire défaillantes. Les valeurs masquées sont indiquées sur l'autocollant (voir le TI TBM0103 dans la **figure 2**) ou bien elles sont sauvegardées de manière interne pour que le contrôleur de mémoire puisse en tenir compte.

Comme la mémoire à bulles était non volatile et permettait l'accès « aléatoire », elle a aussi été qualifiée de *mémoire universelle*. Presque tous les fabricants de semi-conducteurs se sont penchés sur la mémoire à bulles, mais le perfectionnement des disques durs et des mémoires vives a bien vite changé la donne. La mémoire à bulles a néanmoins trouvé quelques niches de marché au début des années 80 pour des applications qui requéraient une haute fiabilité dans des environnements hostiles, elle se distinguait ainsi des disques durs conventionnels de l'époque. La mémoire à bulles était prédestinée aux applications militaires dans la mesure où elle ne présentait aucune pièce mobile. En revanche, en raison de sa haute densité et de son prix économique, la mémoire *flash* a rendu la mémoire à bulles obsolète.

L'internet regorge d'informations sur la mémoire à bulles, mais aussi d'exemplaires à la recherche de nouveaux propriétaires. Je vous invite à essayer un de ces spécimens de mémoire non volatile dans vos prochains projets.

(160215 – version française : Pascal Duchesnes)

Liens

- [1] *Intel Bubble Memory Design Handbook* : <https://ia802606.us.archive.org/18/items/IntelBubbleMemoryDesignHandbook/BubbleMemoryDesignHandbook.pdf>
- [2] www.wylie.org.uk/technology/computer/bubblmem/bubblmem.htm

analyseur d'impédance



Wil Dijkman (Pays-Bas)

Un LCR-mètre permet de déterminer aisément la valeur et la « qualité » d'une inductance ou d'un condensateur, mais à une fréquence fixe. Si on utilise ces composants dans un circuit à large bande passante, leur comportement doit être étudié sur une plage de fréquence étendue. C'est là qu'un analyseur d'impédance devient intéressant ; on peut établir un graphique de l'impédance et du déphasage associé en fonction de la fréquence.

Un aperçu historique

L'histoire de la mesure d'impédance remonte au XIX^e siècle ; les lecteurs intéressés peuvent consulter la monographie en [1]. En résumé, la plupart des LCR-mètres étaient basés

sur des ponts de mesure jusque dans les années 60-70, lorsque sont apparus les premiers analyseurs d'impédance, comme le 4194A de *Hewlett Packard* (**fig. 1**). Cet appareil, sans doute le plus connu, se trouvait jusqu'à il y a une

quinzaine d'années dans bon nombre de laboratoires ; il était cher, volumineux, gourmand en énergie, et peu commode d'emploi,

un instrument de mesure perdu de vue, mais ô combien utile !



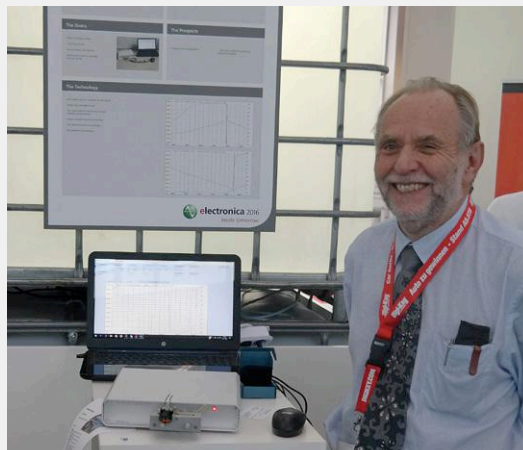
mais il était fiable et précis. Il n'y a pas beaucoup d'autres instruments qui ont résisté à l'obsolescence pendant plus de 40 ans, et ce n'est qu'avec l'avènement des microcontrôleurs qu'on a pu songer à

construire – en tant qu'amateur – un appareil aussi compliqué. Dès ces mêmes années 60-70, les circuits intégrés ont permis de réduire les dimensions et le prix de nombreux instruments de mesure : oscilloscopes, multimètres, générateurs

de fonctions, etc. L'analyseur d'impédance restait cependant gros, cher et avec beaucoup (trop) de boutons, et il n'y avait guère de modèles sur le marché. Cela m'a toujours intrigué, et j'ai décidé qu'une fois à la retraite j'en concevrai un.

Fast Forward Award 2016

Cet analyseur d'impédance était un des projets présentés lors du *Fast Forward Award 2016*, organisé par *Elektor* et le *Salon Electronica* de Munich. Cette compétition était une excellente opportunité pour les électroniciens – tant professionnels qu'amateurs, de présenter leurs idées, leurs projets, leurs produits, ou leur jeune pousse (*startup*) : youtu.be/AqmPsjSF00Y.



Le principe de fonctionnement

La source d'inspiration principale de ce projet est le manuel de mesure d'impédance [2] publié par *Keysight Technologies* (anciennement *Agilent* et *HP*).

Les techniques de mesure d'impédance sont apprises lors des cours d'électronique, dont la méthode du pont autoéquilibré (**fig. 2**). L'impédance à mesurer, appelée ici composant à tester (*Device Under Test – DUT*), est reliée à l'entrée inverseuse de l'ampli-op ; la différence de tension entre les deux entrées devant rester nulle, le même courant circule dans l'impédance et dans la résistance R_{ref} . Nous pouvons donc déduire :

$$Z_{DUT} = \frac{-V_x}{V_r} \times R_{ref}$$

Si la source délivre une tension continue, la mesure est simple, mais pour une tension alternative, il faut mettre en œuvre des détecteurs sensibles à la phase, pour mesurer correctement les composantes réelles et imaginaires de V_x et V_r . La valeur de l'impédance s'obtient à partir du rapport V_x sur V_r . Cette méthode, quoique bonne, a bien entendu ses limitations, dont il faut tenir compte :

- avec un ampli-op, la fréquence est limitée à quelques dizaines de kHz, peut-être 100 kHz. Au-delà, le déphasage, le délai de propagation, le temps de montée et d'autres facteurs perturbent le bon fonctionnement ;
- un oscillateur ajustable est nécessaire pour l'attaque du système ;
- les signaux à mesurer doivent être amplifiés, et leur phase détectée.



Figure 1. Le HP4194A pèse 37 kg et consomme 400 VA ; 36 pages sont nécessaires pour décrire ses caractéristiques. (Photo SGLabs)

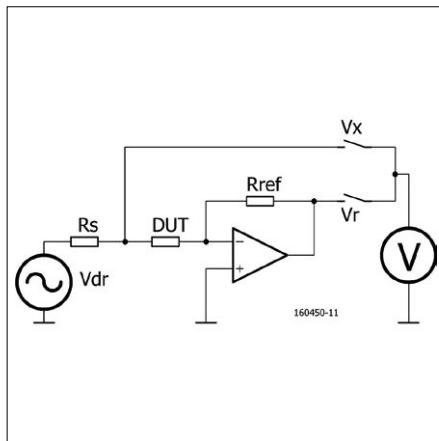


Figure 2. Cette méthode permet de mesurer une impédance.

L'oscillateur joue ici aussi un rôle important ;

- les résultats des mesures doivent être montrés sous forme de graphiques. Le logiciel doit contrôler la fréquence de mesure et l'amplitude du signal (les impédances ne sont pas nécessairement linéaires), et corriger les erreurs systématiques.

Pont de mesure automatique

Un ampli-op qui fonctionne en haute fréquence – avec un gain suffisant (environ 200), un faible déphasage, etc. – n'est pas facile à trouver. Notre dispositif avec contre réaction doit rester stable jusqu'à 40 MHz ; le déphasage doit rester inférieur à 90°, soit ¼ de période (25 ns/4 = 6,25 ns). En outre, la contre réaction doit être ajustable, pour permettre la sélection d'une plage de mesure, ce qui complique encore l'étude de la stabilité pour toutes les fréquences. Une autre solution doit donc être trouvée. Si on réalise que lors de chaque mesure le dispositif ne traite qu'une seule fréquence, il devient clair qu'un amplificateur à faible bande passante suffit. La fréquence centrale doit être réglée en fonction de celle du signal d'entrée. Le principe est illustré en **figure 3** : un système composé de détecteurs de phase, de deux amplis-op qui sont configurés en intégrateur, et deux multiplicateurs, le tout précédé et suivi de tampons. Considérons que le signal d'entrée et les signaux de commande des détecteurs et multiplicateurs ont la même fréquence ; les signaux de commande des deux parties sont déphasés de 90°. Prenons pour V_{in} un signal sinusoïdal de fréquence arbitraire :

$$V_{in} = a \sin(\omega t) + b \cos(\omega t)$$

La multiplication de V_{in} et des signaux de commande donne :

$$\begin{aligned} V_1 &= (a \sin(\omega t) + b \cos(\omega t)) \sin(\omega t) \\ &= (a - a \cos(2\omega t) + b \sin(2\omega t))/2 \\ V_2 &= (a \sin(\omega t) + b \cos(\omega t)) \cos(\omega t) \\ &= (b + b \cos(2\omega t) + a \sin(2\omega t))/2 \end{aligned}$$

L'intégration de V_1 et V_2 fait disparaître les termes en sinus et cosinus. L'intégrateur construit autour d'un ampli-op a un gain de $-A$, ce qui donne :

$$V_3 = -(A/2) a$$

$$V_4 = -(A/2) b$$

La multiplication avec les signaux de commande donne :

$$V_5 = -(A/2) a \sin(\omega t)$$

$$V_6 = -(A/2) b \cos(\omega t)$$

Enfin, le rapport des deux signaux donne :

$$V_7 = -(A/2) (a \sin(\omega t) + b \cos(\omega t)) \\ = -(A/2) V_{in}$$

Pour résumer : le signal de sortie est une version amplifiée et inversée du signal d'entrée.

Dans la pratique, ce dispositif peut être utilisé jusqu'à plusieurs dizaines de MHz. La largeur de bande du filtre passe-bande est déterminée par les intégrateurs, et l'amplification du signal se passe en fait en tension continue. Un schéma plus complet est visible sur les **figures 4 et 5**.

La figure 4 montre l'étage d'entrée. Après tamponnage par T5 et T4, le signal est envoyé vers les multiplicateurs – seule la partie SIN est illustrée, la partie COS étant identique – via un condensateur de blocage de composante continue. Chaque multiplicateur est basé sur un circuit éprouvé, qui fonctionne jusqu'en haute fréquence. Les bases et collecteurs des transistors de deux amplificateurs différentiels (*long-tailed pair*) – T2A/T2B et T3A/T3B – sont reliés ensemble. Le signal d'entrée attaque les bases, tandis que le signal de commande – converti en courant via une autre paire différentielle, T1A/T1B – attaque les émetteurs. Le signal de sortie symétrique est ensuite intégré et désymétrisé par l'intégrateur construit autour d'IC1, puis est dirigé vers un autre multiplicateur, repris en figure 5.

Les circuits multiplicateurs sont identiques, la différence réside dans les signaux d'entrée et de sortie. Dans le premier étage, nous avons à l'entrée un signal sinusoïdal, et à la sortie un signal continu. Ici le signal d'entrée est ce signal continu, alors que le signal de sortie est sinusoïdal ; les signaux symétriques COL-P/COL-M des circuits SIN et COS sont dirigés ensemble (il s'agit de courants, les signaux peuvent donc être connectés directement) vers le sommateur constitué par T14 et T15. Le signal résultant est ensuite dirigé – en asymétrie et avec toute composante continue bloquée – vers le

Caractéristiques

Tout appareil de mesure doit bien entendu avoir ses spécifications :

- paramètres : $|Z|$, Φ , L, C, D, Q, R, X
- huit combinaisons sont disponibles pour l'affichage
- fréquence de test : 100 Hz à 40 MHz, avec une résolution de 42 MHz
- amplitude du signal de test : 40 mV à 1 V (4 pas)
- courant maximal : 20 mA
- pas de tension continue de polarisation
- précision supérieure à 1%

Paramètre	Plage	Résolution
Z, R, X	100 mΩ à 10 MΩ	3 mΩ
Φ	$\pm 90^\circ$	0,01°
L	10 nH à 10 kH	
C	100 fF à 10 mF	
D	0,001 à 10	
Q	0,1 à 1 000	

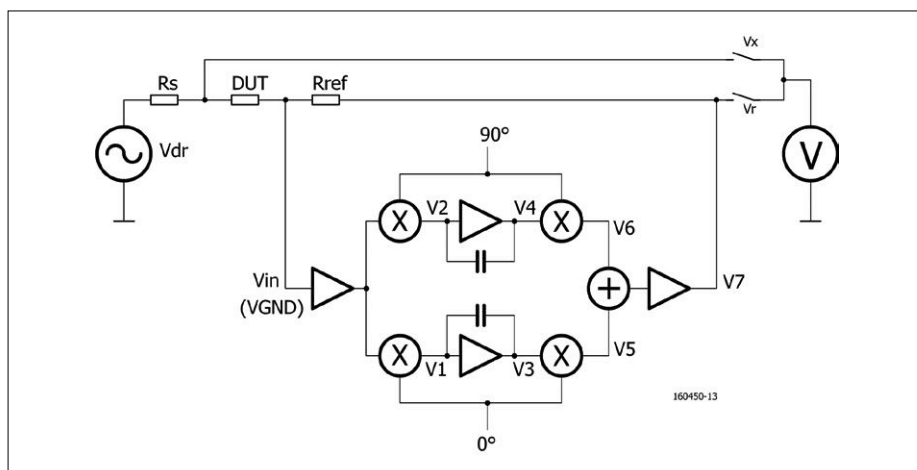


Figure 3. Pont de mesure automatique, adapté aux hautes fréquences.

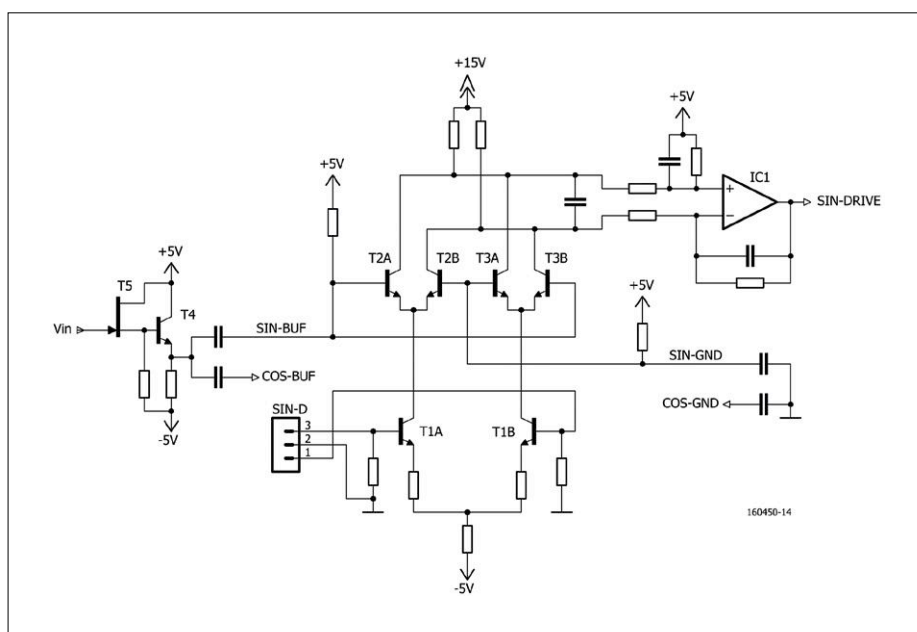


Figure 4. L'étage d'entrée (T4/T5), le multiplicateur et l'intégrateur (IC1) ; seul le canal sinus est montré, le canal cosinus est identique (après T4/T5).

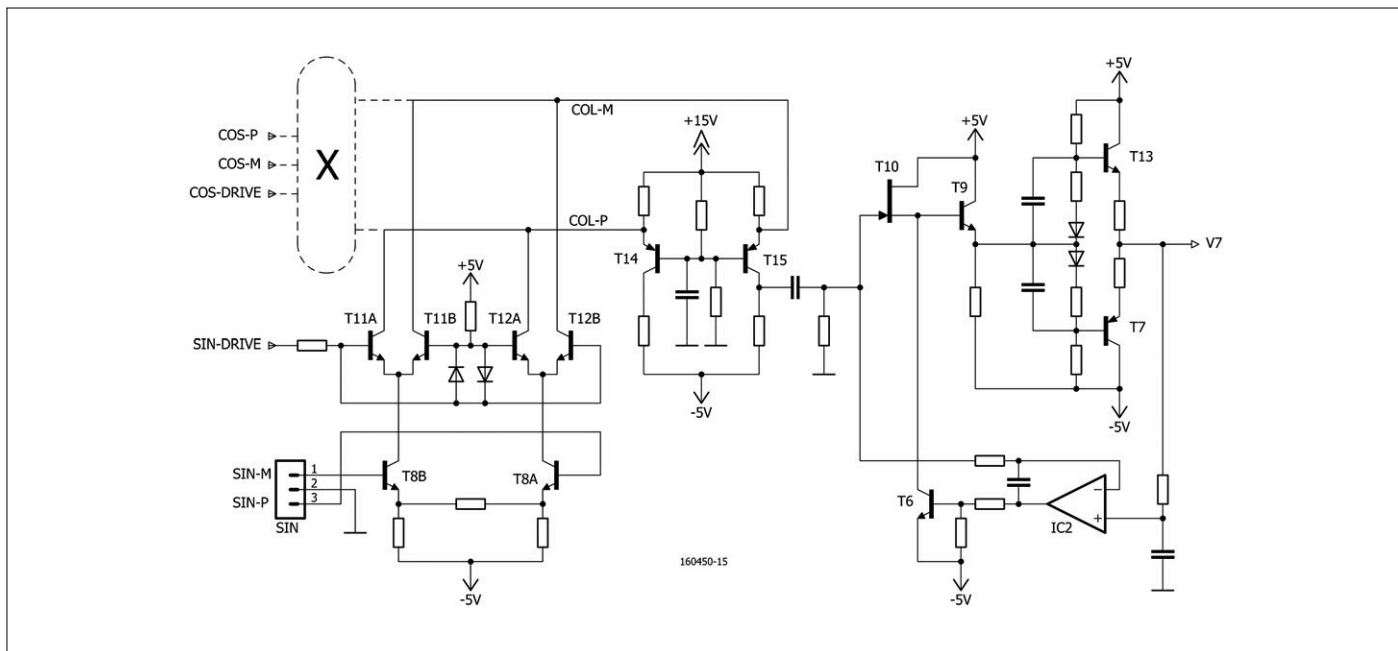


Figure 5. Un multiplieur, le sommateur (T14/T15) et l'amplificateur de sortie ; le second multiplieur est représenté par la partie en pointillés.

tampon de sortie. Celui-ci est constitué d'une paire FET/BJT (T10/T9), suivie d'un amplificateur en classe AB (T13/T7), qui peut fournir 20 mA à la charge. Le gain de cet étage est un peu inférieur à l'unité, et le décalage en continu (*offset*) est stabilisé par IC2 et T6. Le gain de l'ensemble des deux étages est d'environ 200.

Amplificateurs de mesure et commutateurs

Le schéma de principe du dispositif de mesure est en **figure 6**. L'impédance à mesurer (*DUT*) est alimentée en courant par la source V_{dr} via R_s ; ce courant circule aussi dans R_{ref} . Le point commun entre *DUT* et R_{ref} est relié à l'entrée du pont de mesure automatique,

qui maintient tant que faire se peut ce point au potentiel de la masse (artificielle – *Virtual Ground, VGND*) ; la sortie du pont est reliée à l'autre borne de R_{ref} . Pour permettre différentes plages de mesure, la valeur de R_{ref} varie entre 50 Ω et 100 k Ω ; les valeurs sont commutées par des relais, qui introduisent une légère erreur de mesure : environ 20 nH, soit

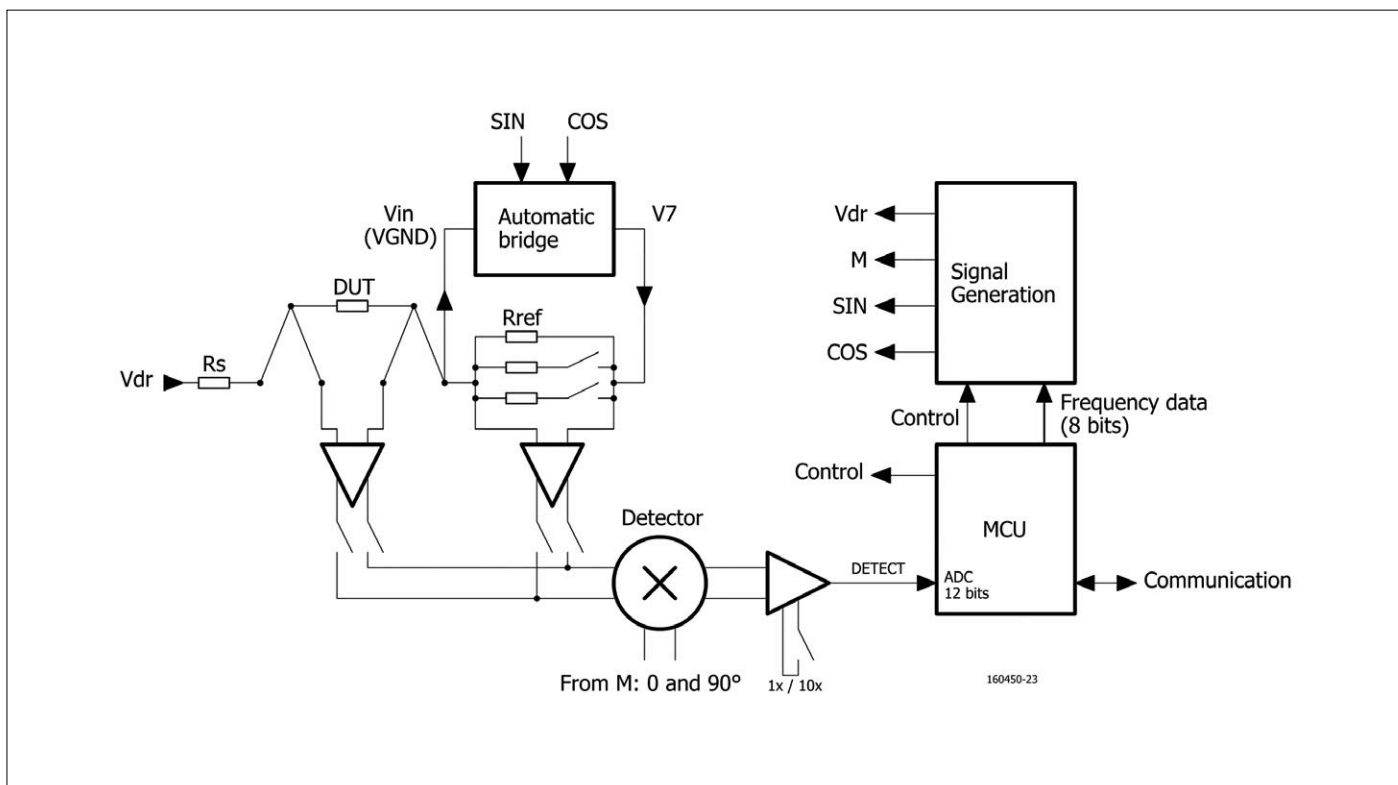


Figure 6. Schéma de principe de l'analyseur d'impédance.

5 Ω (composante imaginaire) à 40 MHz. Cette erreur est corrigée par le logiciel. Le courant parcourant les liaisons à la *DUT* peut occasionner des chutes de tension, et donc des erreurs de mesure ; une technique de mesure en quatre points est donc utilisée. Les bornes de la *DUT* et de R_{ref} sont reliées à un amplificateur différentiel, qui doit avoir une grande bande passante et être très stable. La sortie de ces amplificateurs transite par un commutateur, qui ne doit causer aucune perte de signal ou de bande passante lorsqu'il est fermé, mais bien une atténuation importante lorsqu'il est ouvert.

Le schéma des amplificateurs est repris en **figure 7**. Le besoin d'une impédance d'entrée élevée justifie l'emploi de FET, avec l'inconvénient que le point de fonctionnement en continu est mal défini ; celui-ci est stabilisé en variant le courant à travers le transistor, ce qui fait varier la tension grille-source. Les amplis-op fixent la tension aux émetteurs de la paire différentielle à la même valeur que la tension d'entrée ; il s'agit du même principe que pour l'amplificateur de sortie de V_{dr} . Le prix à payer est une perte de gain aux hautes fréquences : le gain entre entrée et émetteur de la paire FET/BJT est de 1 aux basses fréquences ;

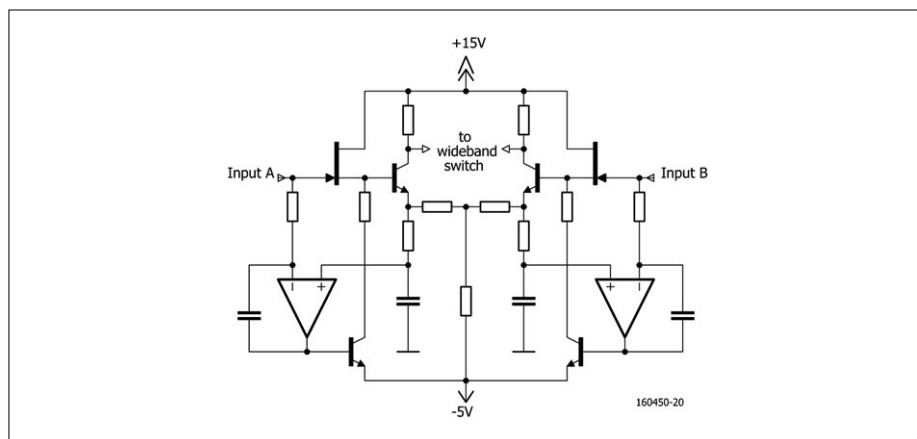


Figure 7. Le point de fonctionnement en continu des FET d'entrée des amplificateurs différentiels est stabilisé par des amplis-op.

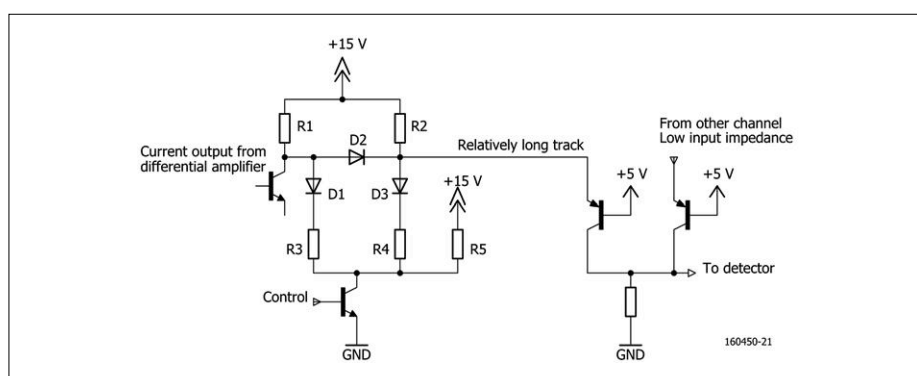


Figure 8. Le commutateur du circuit de mesure.



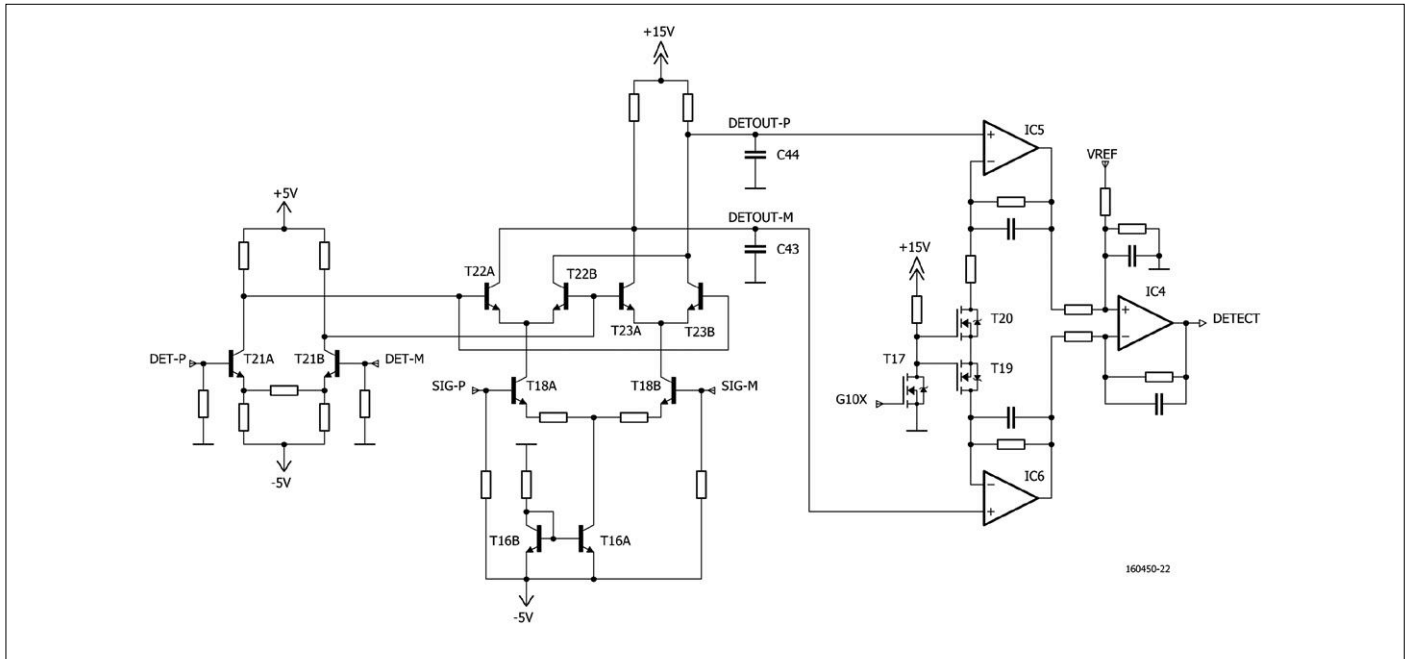


Figure 9. Le détecteur et l'amplificateur de mesure.

en HF le gain dépend des caractéristiques des transistors utilisés.

La **figure 8** montre le schéma d'un commutateur, il y en a deux par amplificateur différentiel (et il y a deux amplificateurs différentiels...). La commutation est effectuée par les diodes D1 à D3, qui sont des diodes de commutation (*band-switching diode*) :

- faible résistance lors de la conduction ;
- faible capacité série lors du blocage.

Une jonction PN bloquée n'atténue cependant pas assez le signal pour éviter les couplages parasites entre amplificateurs ; une commutation « double » est donc appliquée.

Lorsque le signal de commande est à l'état bas, D1 et D3 sont bloquées (cathodes au +15 V via R5) et D2 conduit. Le courant à travers R2 va en partie vers le collecteur du transistor de sortie de l'amplificateur différentiel, dont le courant de sortie va vers l'émetteur du transistor PNP via D2. Cette partie du circuit est à basse impédance, et les capacités parasites d'une liaison relativement longue n'occasionneront pas de pertes significatives aux hautes fréquences. La résistance commune aux collecteurs des transistors PNP convertit le courant en tension pour l'attaque du détecteur.

Quand le signal de commande est à l'état haut, D1 et D3 conduisent. Les valeurs de R2 et R4 sont choisies pour que le transistor PNP soit bloqué, et celles de R1 et R3 pour que D2 le soit aussi. Nous avons donc deux blocages successifs, ce qui assure en pratique une atténuation suffisante.

Le détecteur

Le schéma du détecteur est en **figure 9** ; les sous-ensembles du circuit sont semblables à ceux des étages déjà étudiés. Il y a deux signaux d'entrée : le signal de commande M (DET-P et DET-M), et le signal issu des amplificateurs de mesure (SIG-P et SIG-M). Les signaux de sortie DETOUT-P et DETOUT-M sont lissés par C43 et C44, puis amplifiés par un amplificateur de mesure ($\times 1$ ou $\times 10$)

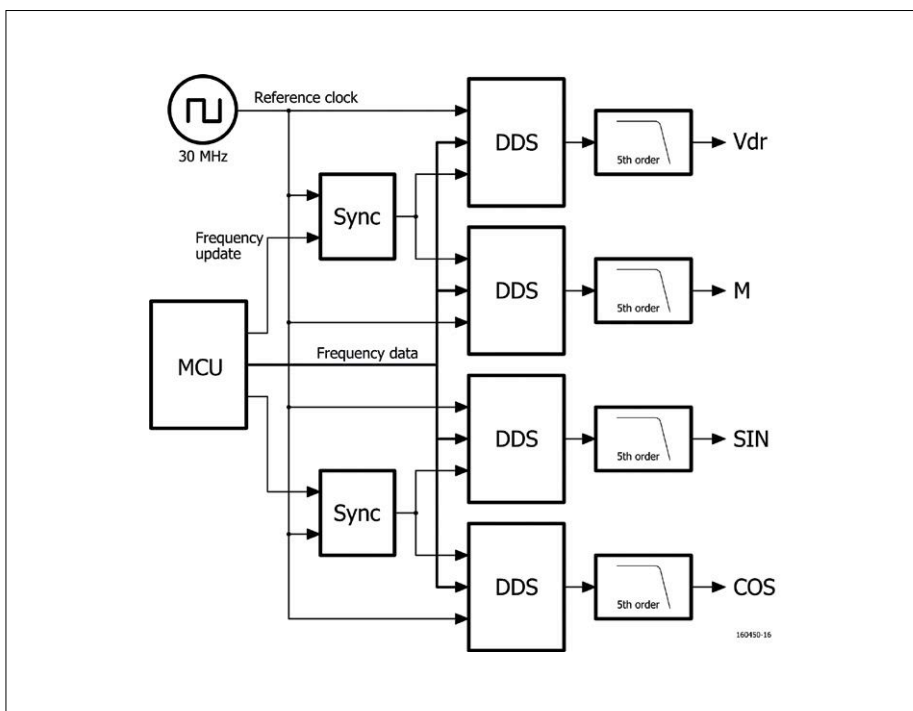


Figure 10. Une batterie de synthétiseurs numériques directs produit les signaux de test et de commande.

et désymétrisés. Le signal est ensuite envoyé vers le convertisseur A/N du microcontrôleur.

Les générateurs de signaux

Si on compte bien, il faut quatre signaux. Tout d'abord le signal de test de la *DUT*, appelé V_{dr} , dont l'amplitude doit être ajustable pour compenser les effets d'une impédance non linéaire. Il y a ensuite deux signaux de commande pour le pont de mesure, SIN et COS ; ces deux signaux doivent être déphasés d'exactly 90° sur toute la plage de fréquence. Il faut encore un signal de commande pour le détecteur de phase, M (pour mesure) ; ce signal doit être en phase avec V_{dr} , ou déphasé de 90°. Ces signaux ont la même fréquence, qui doit être variable entre 100 Hz et 40 MHz.

Dans le HP4194A, ces signaux sont élaborés avec un ensemble assez compliqué de boucles à verrouillage de phase (*Phase-Locked Loop, PLL*). Il existe de nos jours une solution plus simple, l'emploi d'un synthétiseur numérique direct (*Direct Digital Synthesizer, DDS*). Nous avons choisi l'AD9851 d'Analog Devices [3], qui permet la variation de la fréquence entre 0 et 70 MHz (nous n'utilisons que la plage de 100 Hz à 40 MHz), avec une résolution d'environ 0,042 Hz (180 MHz / 2^{32}).

Le schéma de principe du générateur de signaux est en **figure 10**. La sortie de chaque synthétiseur est suivie d'un filtre passe-bas du 5^e ordre, pour atténuer le plus possible les fréquences image et autres produits d'intermodulation. Le déphasage entre SIN et COS est constant et de 90° ; celui entre V_{dr} et M est soit nul, soit de 90°, en fonction du cycle de la mesure. Le déphasage entre V_{dr} et M d'une part, et SIN/COS d'autre part, n'est pas défini ; la fréquence de ces signaux est cependant rigoureusement identique. L'amplitude de V_{dr} doit être ajustable, nous utilisons à cet effet l'entrée R_{SET} du CN/A de l'AD9851 (broche 12), voir **figure 11**. Les trois MOSFET peuvent commuter différentes valeurs de résistance en quatre pas (en fait huit, mais seuls quatre sont utiles) et ainsi ajuster l'amplitude du signal de sortie du synthétiseur.

Le signal filtré est amplifié et désymétrisé pour fournir le signal de test de la *DUT* ; l'étage de sortie est un amplificateur en classe AB – identique à celui utilisé dans le pont de mesure (figure 5) – dont la

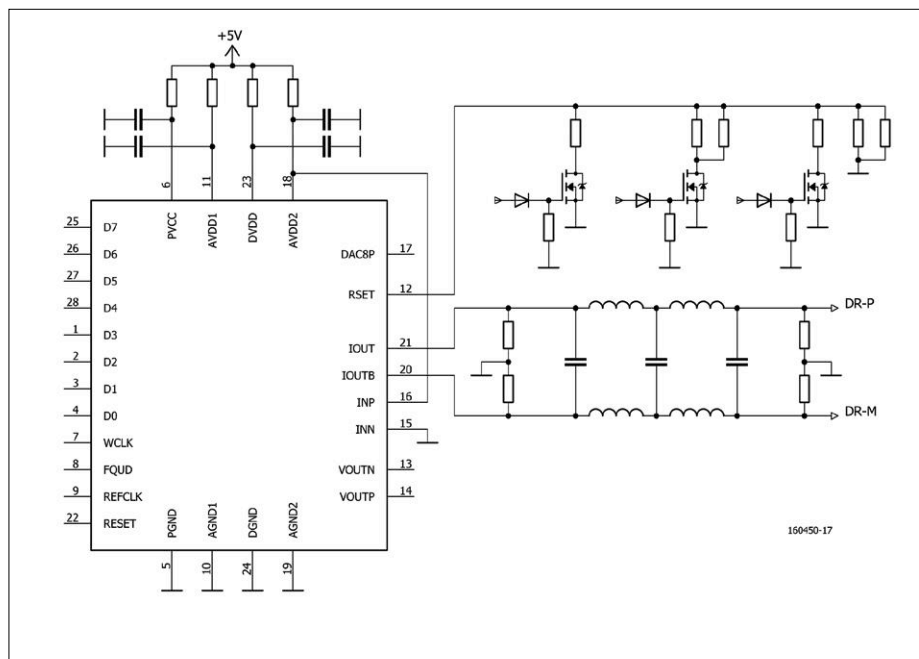


Figure 11. Schéma de principe d'un DDS avec son filtre du 5^e ordre ; les trois MOSFET permettent d'ajuster l'amplitude du signal (uniquement pour V_{dr}).

sortie est reliée directement à la *DUT*. Le décalage en continu est stabilisé par un ampli-op, qui compare entrée et sortie de l'amplificateur, et augmente ou diminue le courant du FET ; ceci modifie la tension grille-source du transistor.

Le logiciel du microcontrôleur

Le cerveau de l'instrument est un PIC18F4523. Le microcontrôleur n'a pas de lourdes tâches : il doit effectuer quelques commandes simples, disposer d'un port série, d'un CA/N à 12 bits, et des lignes d'E/S nécessaires pour les commandes. Le programme du *PIC* a été

écrit en *mikroBasic* (*MikroElektronika*). L'ordinateur hôte envoie un ordre de mesure au microcontrôleur, avec comme paramètres la fréquence des signaux de mesure et l'amplitude du signal V_{dr} . Le programme exécute alors les tâches suivantes :

- régler la fréquence ;
- régler l'amplitude ;
- régler le facteur d'amplification à 10 (sensibilité maximale) ;
- 1. mesurer l'amplitude du signal aux bornes de la *DUT*, avec M et V_{dr} en phase et déphasés de 90°. Si le

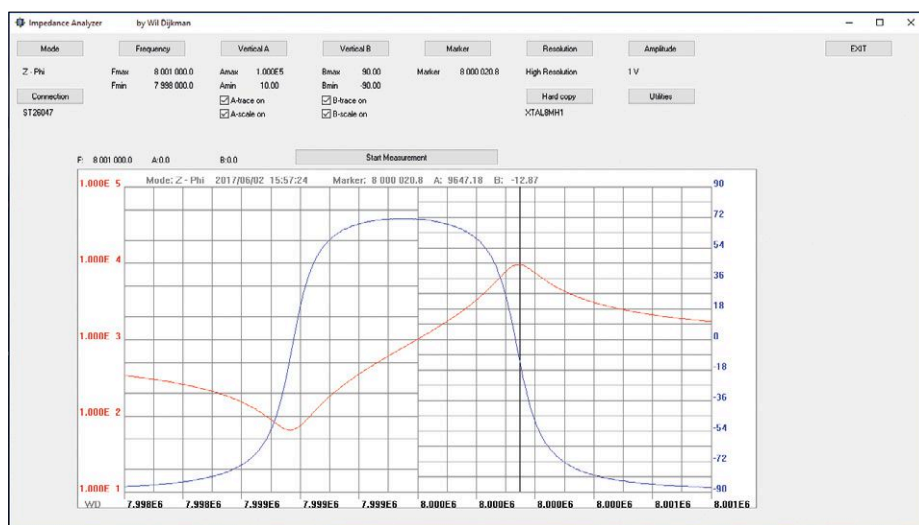


Figure 12. L'interface utilisateur sur un ordinateur. Deux paramètres peuvent être affichés en même temps sur les graphiques.



Figure 13. L'intérieur de l'analyseur, qui tient dans un boîtier de 25 cm de côté et d'une hauteur de 5 cm. Le circuit imprimé du haut supporte les alimentations, le microcontrôleur et les circuits de communication (FT232) ; le circuit imprimé du bas accueille la partie analogique, telle que décrite dans le texte.

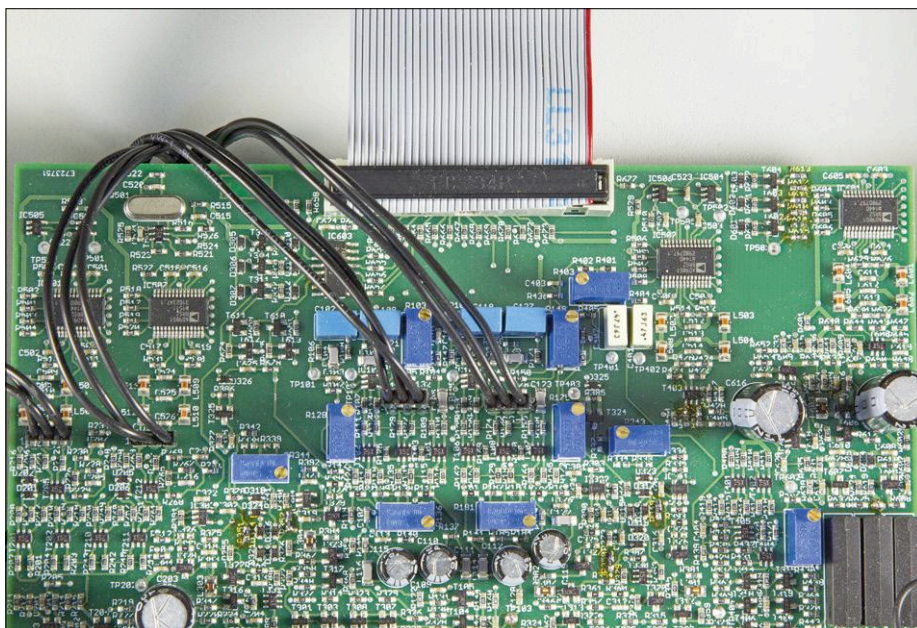


Figure 14. Le circuit imprimé avec la partie analogique. Les quatre DDS sont bien visibles en haut, le pont de mesure automatique prend la moitié de la place, le reste est pour le détecteur et le signal V_{dr} . On reconnaît aussi les relais pour la commutation de R_{ref} . Les entrées de mesure, en bas à droite, sont distantes entre elles de 22 mm, cela facilite les connexions.

CA/N est saturé, ramener le facteur d'amplification à 1, et recommencer la mesure ;

- 2. remettre le facteur d'amplification à 10 et répéter les mesures aux bornes de R_{ref} . Si le CA/N est saturé, ramener le facteur d'amplification à 1, et recommencer la mesure ;
- calculer l'impédance Z_{DUT} (manipulation de nombres complexes) à partir des résultats des mesures ;
- si le module de Z_{DUT} est beaucoup plus grand ou petit que R_{ref} changer celle-ci, remettre le facteur d'amplification à 10 et recommencer les mesures 1 et 2 ;
- si le module de Z_{DUT} est du même ordre de grandeur que R_{ref} la valeur de celle-ci est soit maximale soit minimale, la mesure est terminée ;
- transmettre les valeurs R et X de l'impédance complexe Z_{DUT} à l'ordinateur hôte ;
- attendre l'ordre de mesure suivant.

R_{ref} ne doit pas nécessairement être modifiée à chaque mesure ; lors du balayage de la bande de fréquence, la plupart des valeurs de mesure sont proches les unes des autres.

Le programme de l'ordinateur hôte

Le but du programme de l'ordinateur hôte est de permettre un contrôle simple de l'analyseur d'impédance, et de corriger les erreurs systématiques. La **figure 12** illustre le processus.

Au démarrage, le port COM auquel est relié l'analyseur est identifié automatiquement ; ensuite, une mesure est effectuée avec les réglages de la dernière session.

Un bouton *Start Measurement* est clairement visible sur l'écran de commande. À la suite d'une pression sur ce bouton, les fréquences minimale et maximale sont enregistrées, et le programme calcule les valeurs nécessaires pour commander les générateurs de l'analyseur (le programme en *mikroBasic* du PIC travaille en virgule flottante sur 4 octets ; ce n'est pas suffisant, et cela conduirait à trop d'arrondis et d'imprécision). Ces valeurs et l'information relative à l'amplitude sont ensuite envoyées au microcontrôleur.

Les résultats des mesures sont enregistrés dans un tableau R/X, à partir duquel les paramètres pour l'affichage

sont calculés. Ceci permet de modifier l'affichage sans avoir à recommencer les mesures.

Le bouton *Mode* permet d'accéder au menu de l'affichage des résultats de mesure. Il y a huit paires A/B possibles : Z/ϕ , L_s/R_s , L_p/R_p , L/Q , C_s/R_s , C_p/R_p , C/D et R/X . L'échelle verticale de gauche est pour le paramètre A, celle de droite pour B ; les boutons *Vertical A* et *Vertical B* permettent de modifier ces échelles.

L'impédance parasite des connexions de l'impédance à mesurer introduit une erreur de mesure qui doit être corrigée. Pour ce faire, on mesure l'impédance parasite en circuit ouvert et en court-circuit à diverses fréquences dans la bande de l'analyseur. Un petit calcul permet alors de déduire la valeur correcte de l'impédance à mesurer de la valeur mesurée par l'analyseur ; les détails du calcul sont repris à l'appendice B du manuel en [2]. Le bouton *Connection* permet de choisir parmi divers types de connexion.

Le menu du bouton *Frequency* permet de fixer les fréquences minimale et maximale ; l'échelle peut être linéaire ou logarithmique. Les fréquences de mesure sont automatiquement adaptées à l'échelle et aux fréquences minimale et maximale. Avec *Spot*, une seule fréquence F_{\max} sera utilisée pour la mesure.

Il y a aussi un curseur – une ligne noire verticale qui permet de sélectionner une fréquence précise ; la position du curseur, lorsqu'il est visible, peut être ajustée à l'aide de la souris. La valeur de la fréquence et des valeurs mesurées de Z_{DUT} à cette fréquence sont affichées à l'écran avec les graphiques. Quatre résolutions horizontales différentes peuvent être sélectionnées. Avec une basse

résolution, la mesure est plus rapide, mais on peut perdre un détail. Avec *Medium Resolution* ou *High Resolution*, les résultats sont en principe acceptables. L'amplitude du signal de mesure est aussi réglable, ce qui est pratique pour des impédances non linéaires comme des semi-conducteurs ou des bobines à noyau. Il y a quatre valeurs possibles : 40, 120 ou 340 mV, et 1 V. Avec une faible amplitude, le résultat de la mesure peut contenir plus de bruit. Aux basses fréquences, l'amplitude est limitée automatiquement pour ne pas saturer le détecteur.

Enfin, il y a quelques fonctions utilitaires (*Utilities*), comme le calibrage de l'appareil, ou la mesure d'une connexion donnée. Les données de calibrage et de compensation sont enregistrées sur l'ordinateur hôte, la mémoire du *PIC* étant insuffisante ; si on utilise un autre ordinateur, il faudra bien entendu recommencer la procédure.

On peut superposer à l'écran les résultats de deux ou plusieurs mesures, et détecter ainsi des différences entre composants. Si on superpose en continu les résultats de mesures successives d'un même composant, on finit par obtenir à l'écran une ligne épaisse. Cela permet d'évaluer la répétabilité de la mesure ; c'est parfois utile si on est à la limite (inférieure ou supérieure) des capacités

de l'appareil.

Les graphiques sont imprimables, et exportables sous forme d'images *Windows bitmap (BMP)*. Les résultats peuvent aussi être enregistrés dans un fichier *CSV* (valeurs séparées par une virgule) ; le fichier est exploitable avec par exemple *Excel*. Toutes les valeurs de fréquence, R et X sont disponibles, libre à l'utilisateur d'en faire ce qu'il veut.

Conclusion

Cet article aura, je l'espère, réveillé l'intérêt pour l'électronique analogique ; pour ma part, ce fut passionnant et très instructif. Bien que les schémas paraissent simples, il m'a fallu plusieurs essais avant de retenir tel ou tel circuit. L'appareil s'avérera sans nul doute utile à des petits laboratoires (voire même des plus grands), ainsi qu'à des établissements d'enseignement. Il est beaucoup plus maniable et moins cher (au moins 20 fois) qu'un appareil commercial équivalent, mais peut-être encore trop cher pour un amateur peu fortuné.

Les questions et commentaires peuvent être adressés à l'auteur, de préférence en anglais ou néerlandais, les données de contact sont sur son site web [4].

◀ (160450 – version française : Jean-Louis Mehren)



Liens

- [1] www.ietlabs.com/pdf/GenRad_History/A_History_of_Z_Measurement.pdf
- [2] literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5950-3000.pdf
- [3] www.analog.com/AD9851
- [4] www.wildijkmanelectronics.nl
- [5] youtu.be/AqmPsjSF00Y



QUESTIONS D'ÉTHIQUE

Internet des Objets : tous responsables !

Tessel Renzenbrink (Pays-Bas)

« Avec le recul, il semble que la croissance rapide du World Wide Web fut l'étincelle qui a déclenché l'explosion de la domination du réseau par les 'objets'. »

– Neil Gershenfeld, initiateur des Fab Labs, 1999.

La révolution technique et sociale qui a accompagné l'introduction de l'internet dans notre quotidien est bien fade en comparaison du bouleversement causé par l'Internet des Objets. L'Internet des Objets (IdO) existe grâce à ses *objets* dotés d'une grande puissance de calcul et connectés de diverses manières à l'internet. Les objets peuvent échanger des informations, prendre des décisions de manière autonome et lancer des processus sans intervention humaine.

Parallèlement à ses fonctions premières, l'internet s'étend grâce à l'IdO pour devenir un système nerveux électronique. On peut à tout moment repasser dans le monde réel en s'appuyant sur une large gamme de capteurs et d'actionneurs. Comme la réaction aux événements est immédiate, certains problèmes techniques peuvent avoir des conséquences lourdes et imprévisibles. Alors que par le passé les cyberattaques visaient « uniquement » le vol de données, les attaques actuelles touchent aussi l'Internet des Objets, ce qui peut entraîner la paralysie de toute une installation industrielle ou centrale électrique. Les besoins en cybersécurité grandissent à mesure que l'usage de l'IdO s'étend.

Le terme « Internet of Things » apparaît, avec un peu d'avance, dès 1999. Aujourd'hui c'est une période de croissance exponentielle, car dans l'intervalle les conditions requises ont été réunies en ce qui concerne les processeurs et réseaux. Suivant la loi de Moore, le prix du matériel a fortement baissé, l'accès universel et bon marché à l'internet est devenu omniprésent, sans compter la constante miniaturisation des composants ainsi que l'augmentation progressive des vitesses de transmission des données et de traitement.

Responsabilité partagée

Il est plus que temps d'augmenter de manière pérenne le niveau de sécurité. Nous en sommes tous responsables. L'internet fonctionne sans contrôle centralisé, il s'appuie sur le *Multistakeholder Model*, un cadre qui donne à chacun un droit de participation. La plupart des parties prenantes appartiennent à l'un des quatre groupes suivants : les gouvernements, l'industrie, la communauté du point de vue technique et la société

civile. Le dernier groupe inclut également les utilisateurs qui ont recours à l'internet comme système d'information ou pour la transmission de données. En principe, tous ceux qui sont connectés à l'internet sont participants.

La hausse de la sécurité sur l'internet exige un échange entre toutes les parties prenantes. On entend régulièrement parler d'appareils de l'IdO qui souffrent d'une sécurité insuffisante : des téléviseurs connectés qui enregistrent les habitudes du spectateur ou transmettent les conversations qui ont lieu au salon ; des caméras qui diffusent leur flux sans cryptage sur l'internet ou des poupées qui espionnent la chambre des enfants. Ce sont des exemples de cas incontestables où le fabricant ne s'est pas préoccupé suffisamment de la sécurité. Les raisons en sont évidentes : *Time to Market*, c'est-à-dire que c'est le premier sur le marché qui a la meilleure chance d'enregistrer le plus de profits. En conséquence, le temps consacré au développement et à la production est réduit au minimum. La sécurité passe au second plan. En outre la cybersécurité a la réputation de coûter de l'argent sans rien apporter en retour. Généralement, l'acheteur n'est pas prêt à payer plus cher pour qu'un produit offre plus de sécurité. De plus, les nouveaux venus dans le monde de l'IdO, comme les fabricants de produits « ordinaires » (fabricants de machines à laver ou de poupées par ex.) ne s'y connaissent pas en matière de sécurité. Ils risquent de reproduire les erreurs commises par les professionnels de l'internet à leurs débuts – comme livrer des appareils tels que des routeurs ou des centraux téléphoniques avec des mots de passe standard sans presser le client de les changer.

Sécurité dès la conception

La sécurité dès la conception (*security by design*) est la réponse à ce défi. Les fabricants d'appareils pour l'IdO doivent intégrer la sécurité dès la conception, au lieu de bricoler quelque chose après coup. Partout dans le monde, des développeurs travaillent sur des normes ouvertes pour atteindre cet objectif. D'un autre côté, les utilisateurs portent également une part de responsabilité : ils ne doivent plus se ruer sur des appareils bon marché, mais être prêts à payer plus cher pour acquérir des appareils qui respectent des standards de sécurité élevés. Il est également nécessaire que l'utilisateur moyen améliore ses compétences en matière de numérique. Aujourd'hui des notions de base en informatique ne suffisent plus. Une connaissance plus approfondie du contexte est nécessaire pour détecter les dangers et prendre à temps des mesures préventives.

C'est là que les gouvernements ont un rôle à jouer. Ils doivent améliorer la connaissance du numérique que ce soit via les programmes scolaires ou ceux de formation continue. Les associations de défense des consommateurs peuvent également informer les acheteurs. Elles pourraient évaluer la sécurité des appareils de l'IdO et apposer une étiquette semblable à celle qui indique l'efficacité énergétique des appareils ménagers.

Innovation sans frontières

Le législateur est également tenu de ne pas étouffer l'IdO sous une montagne de prescriptions et autres règlements. L'internet repose sur la liberté et l'ouverture, il ne faudrait pas grignoter ces principes. Jusqu'à présent, tout le monde peut proposer un service sur l'internet. La *permissionless innovation*, c'est-à-dire l'innovation sans l'approbation d'une autorité souveraine, a contribué au développement rapide de l'internet. Larry Page et Sergey Brin n'ont pas eu besoin d'autorisation gouvernementale pour concrétiser leur idée de « moteur de

recherche Google ». Chacun peut apporter sa pierre à l'édifice internet. Ni autorisation ni homologation ne sont nécessaires pour créer des réseaux locaux et connecter des appareils à l'internet. Ce n'était pas le cas du réseau téléphonique qui se connecte à un système fermé...

Il faut considérablement augmenter la sécurité informatique, tout en conservant le caractère ouvert de l'internet. Ce ne sera pas chose facile. L'utilisateur doit s'intéresser à la technique pour mieux la comprendre. Les fabricants doivent investir dans la sécurité de leurs produits, même si le retour sur investissement n'est pas immédiat. Tous les participants doivent prendre leurs responsabilités en matière de sécurité, sinon l'Internet des Objets sera vulnérable face à d'éventuelles cyberattaques. Des scénarios catastrophes vont même plus loin, ils prévoient que les infrastructures mondiales s'effondreront à cause de l'insouciance vis-à-vis de l'IdO. ◀

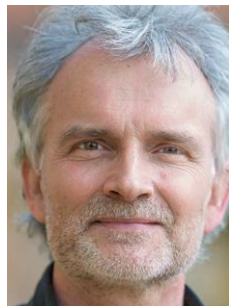
(160473 – version française : Thierry Destinobles)





bienvenue dans votre e-choppe

la rédaction recommande



Paul Hetreleis a publié *Retro Audio* (en anglais) – cet excellent guide contient toutes les informations et explications nécessaires pour explorer le monde merveilleux de la réparation des appareils audio analogiques d'antan : tourne-disques, lecteurs de CD, tuners, amplificateurs (pas de classe D) avec des composants discrets comme des transistors qui brûlent les doigts. Au lieu de tâtonner, tout en risquant de provoquer des dégâts supplémentaires

sur un poste de radio rare, consultez ce manuel d'entretien très concret. Le tour de l'atelier de réparation et l'inventaire des outils nécessaires sont complétés par des tableaux, des trucs et astuces ou encore les sources d'approvisionnement en pièces détachées. Grâce à ce livre, vous effectuerez des diagnostics et gagnerez du temps pour réaliser des réparations de qualité.

Jan Buiting

rédacteur en chef (Elektor Business)



www.elektor.fr/retro-audio

Vos favoris :

1. Microscope USB numérique A1
www.elektor.fr/usb-microscope-a1



2. Maîtrisez les microcontrôleurs à l'aide d'Arduino
www.elektor.fr/maîtrisez-les-microcontrôleurs-3

3. Lampe Peltier
www.elektor.fr/lampe-peltier

4. Horloge de sable Arduino
www.elektor.fr/horloge-de-sable-arduino

5. Carte BBC micro:bit
www.elektor.fr/bbc-micro-bit

6. Carte Elektor Uno R4
www.elektor.fr/elektor-uno-r4

Maîtrisez les microcontrôleurs à l'aide d'Arduino



3^e édition augmentée avec AVR Playground & Elektor Uno R4

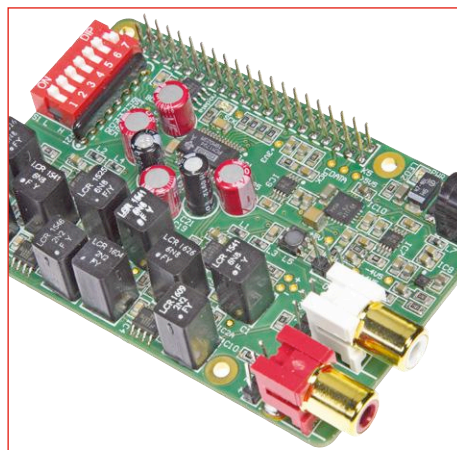
L'ambition de cet ouvrage est de vous faire entrer dans le monde Arduino puis de vous en faire ressortir victorieux pour vous emmener plus loin dans l'apprentissage de la programmation des microcontrôleurs. Il met la théorie en pratique sur une carte Arduino avec l'environnement de programmation Arduino.



Prix (membres) : 32,85 €

www.elektor.fr/maîtrisez-les-microcontrôleurs-3

Convertisseur A/N audio haut de gamme pour RPi



Les mini-ordinateurs, tel le Raspberry Pi, sont vraiment prédestinés à être utilisés comme lecteur audio autonome et sur réseau. Avec une distribution Linux spécifique comme *Volumio*, c'est pratiquement un jeu d'enfant. Mais qu'en est-il de la qualité du signal audio ? Le quatuor formé par un Raspberry Pi, le C A/N haut de gamme de type PCM1794A (flanqué de remarquables filtres), la commande de volume et l'écran tactile flattera votre ouïe.



Prix (membres) : 134,95 €

www.elektor.fr/audio-dac-rpi

Kit de 40 capteurs

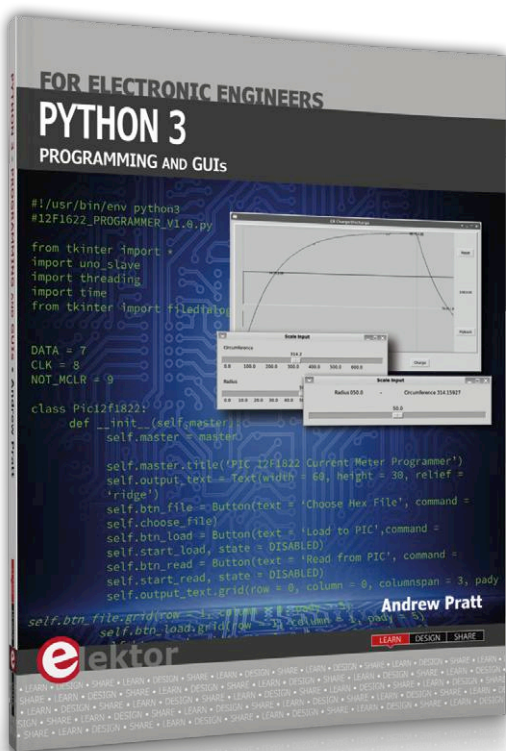


Ce kit a été spécialement conçu pour les plateformes à code source ouvert les plus courantes. Il est compatible avec les nano-ordinateurs (Raspberry Pi, Banana Pi, CubieBoard, CubieTruck, Beaglebone, pcDuino) et divers microcontrôleurs (Arduino, ATmega, AVR, PIC, STM32, etc.). Il contient 40 capteurs différents. Vous pouvez soit les souder, soit les monter sur une platine d'expérimentation pour travailler sur différents circuits.



Prix (membres) : 71,96 €

www.elektor.fr/sensor-kit-x40



Python 3

Programming and GUIs

(livre en anglais)

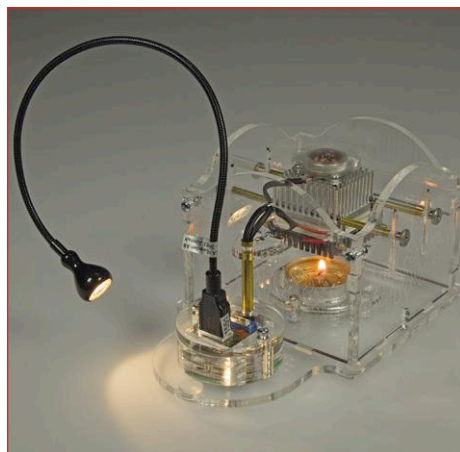
Ce livre s'adresse aux techniciens, scientifiques et amateurs qui développent des interfaces graphiques pour faire communiquer entre eux matériel et divers ordinateurs. Ils apprendront à écrire en Python des applications pour le web ainsi que pour les environnements de bureau. Python est un langage de script orienté objet.

Le lecteur se familiarisera aussi avec les outils Linux grâce à une distribution *Linux Live* à télécharger gratuitement et à utiliser depuis n'importe quel ordinateur, sans avoir à l'installer. Les circuits associés aux codes, de même que les exemples de programme, peuvent servir de base à d'autres projets. La carte utilisée est le module de développement bon marché UM245R.



Prix (membres) : 29,95 €
www.elektor.fr/python

Lampe Peltier



Transformez des modules Peltier en générateur thermoélectrique. Ici, la chaleur de la flamme d'une bougie est transformée en électricité pour alimenter une lampe à LED, ce qui permet de gagner en intensité lumineuse. Le kit comprend toutes les pièces nécessaires pour assembler la lampe : convertisseur CC/CC préassemblé, pièces en acrylique avec tous les accessoires et le matériel, modules Peltier, ventilateur, lampe USB, et même quelques bougies.



Prix (membres) : 107,96 €

www.elektor.fr/peltier-lamp-1

Carte StromPi 2



La carte d'extension StromPi 2 permet à une Raspberry Pi d'être alimentée par des sources issues d'environnements très divers (tension d'entrée entre 6 et 61 V ; courant de sortie de 3 A) : voiture, bateau, camion, site industriel, etc. Cette carte peut également augmenter la puissance des ports USB de la carte Raspberry Pi ; le système pour alors alimenter des périphériques gourmands en énergie comme des disques durs USB.



Prix (membres) : 26,96 €

www.elektor.fr/strompi-2

DVD Elektor 2010-2014



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



Prix (membres) : 62,10 €

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

Hexadoku casse-tête pour elektorniciens

Votre magazine se termine toujours et encore par une grille de sudoku particulière. Éteignez le fer à souder, oubliez les écrans de PC et d'oscilloscope, rangez les pinces et les fils. Faites travailler votre matière grise d'une autre façon : attrapez un crayon pour remplir la grille d'hexadoku.

N'oubliez pas d'envoyer votre réponse pour tenter de gagner un bon d'achat.

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

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

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



Participez et gagnez !

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

À vos crayons !

Envoyez votre réponse (les chiffres sur fond grisé)

avec vos coordonnées par courriel,

avant le **21 septembre 2017** à l'adresse **hexadoku@elektor.fr**

Les gagnants

La solution de la grille du numéro de juillet/août est **92D17**

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

Jean-Claude **Carré** (France), Chris **Cliquet** (Belgique), Gilbert **Luyckx** (Belgique),
Harrie **Rouwhorst** (Pays-Bas) et Per **Troelsen** (Danemark)

Bravo à tous les participants et félicitations aux gagnants !

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

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

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

enova

PARIS

LE SALON
DES **TECHNOLOGIES**
POUR LES **INNOVATIONS**
DE DEMAIN

ÉLECTRONIQUE / EMBARQUÉ / IOT / MESURE / VISION / OPTIQUE / BIG DATA

19 AU 21 SEPT
2017

Paris expo Porte de Versailles - Hall 4

NOUVEAU

+ d'exposants

+ de conférences

+ de services

+ village Prototypage / Impression 3D

Stand ELEKTOR – rendez-nous visite !

DONNEZ VIE À VOS PROJETS

AÉRONAUTIQUE | MILITAIRE | AGROALIMENTAIRE | AGRICOLE | AUTOMOBILE | TRANSPORT
SMART CITIES | SMART BUILDING | MÉDICAL | INDUSTRIE 4.0 | RECHERCHE ACADÉMIQUE



BADGE GRATUIT : www.enova-event.com

MÊME LIEU, MÊMES DATES

18^e CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉTROLOGIE
CIM2017



- Plus de 45 ans d'expérience
- Envoi en 24 heures
- Plus de 80 000 produits

BUILD, REPAIR & SAVE LIKE NEVER BEFORE – RND

RND est synonyme de qualité et fiabilité à un prix avantageux.

Conçus pour un usage professionnel, les produits répondent exactement aux exigences d'approvisionnement comme aux exigences techniques des ingénieurs et spécialistes de l'électronique.

Consultez régulièrement la boutique en ligne reichelt pour y découvrir les tous derniers produits :

RND **connect**, RND **cable**,
RND **components** ou RND **lab**.



Bornes vissées à souder

2 contacts, RM 5,08 mm, 90°

FORME PLATE
HOMOLOGATION cUL

- Broche/borne – laiton étainé
- Vis/couple – M2,5 acier nickelé



Référence :
RND 205-00232

0,20

>400 Bornes vissés, connecteurs multibroches et barrettes à broches

DÉCOUVRIR MAINTENANT ►

<http://rch.it/Fp>



Toron PVC

0,75 mm², 100 m, rouge



- Conducteur cuivre souple classe 5
- Plage de température fixe -30 °C à +70 °C
- Tension de contrôle : 300/500 V



Référence :
RND 475-00101

17,14

>300 Tuyauterie souple en caoutchouc et plastique, conducteurs terre et individuels

DÉCOUVRIR MAINTENANT ►

<http://rch.it/Fo>



Supports de fusibles

5 x 20 mm, fermés

- 100 Mohms
Résistance d'isolation
- Grille 22,6 mm
- 1,5 mm diamètre du trou dans la plaquette



Référence :
RND 170-00004

0,20

>2100 Résistances, fusibles et boîtiers

DÉCOUVRIR MAINTENANT ►

<http://rch.it/Fq>



Lot de pincettes de précision

5 pièces



- En acier inoxydable, type SA
- Non magnétisable
- Bonne résistance à la corrosion vis-à-vis de la plupart des agents chimiques, sels et acides



Référence :
RND 550-00011

42,40

NOUVEAU déjà 60 Endoscopes, microscopes, pincettes, boîtes et mallettes

DÉCOUVRIR MAINTENANT ►

<http://rch.it/Fr>



Prix du jour! Prix à la date du: 24. 7. 2017

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

Les langues de notre boutique:

MODES DE PAIEMENT INTERNATIONAUX:



ACHETER EN LIGNE TOUT SIMPLEMENT !



www.reichelt.fr

ASSISTANCE TÉLÉPHONIQUE: +33 97 518 03 04