

n°148 Automne 2019

Détecteur de séismes

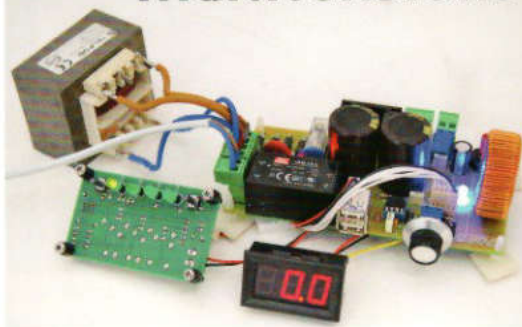


- Machine à sous
- Electromètre avec bargraphe à LED

- Les régulateurs LDO
- Le guide de la CAO

- Récepteur FM
- Scanner 3D - 2

Alimentation multitenions



Analyseur de la qualité de l'air



N° 148 Septembre 2019

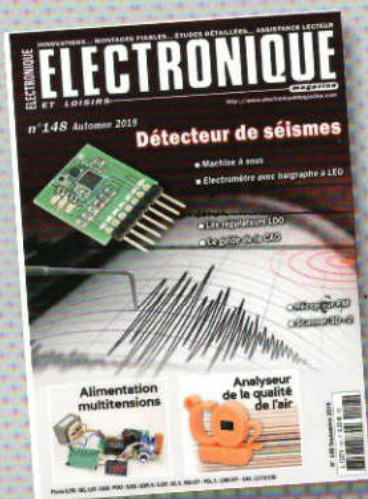
L 13270 - 148 - F: 8,30 € - RD



Sommaire

ARTICLES

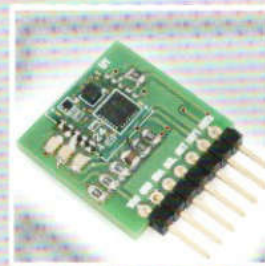
Numéro 148
AUTOMNE 2019



04 SÉCURITÉ

DÉTECTEUR DE SÉISMES

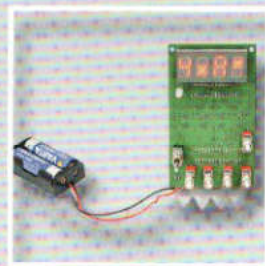
Chaque jour notre planète est soumise en moyenne à des milliers de tremblements de terre, seulement la plupart d'entre eux sont imperceptibles par la population, ils ne peuvent être détectés que par des instruments. Dans cet article, nous allons mettre en œuvre le circuit « D7S » de Omron. Il s'agit du plus petit détecteur de tremblement de terre au monde. Nous allons fabriquer un sismographe capable de rivaliser avec des instruments professionnels en termes de sensibilité et de précision.



14 LOISIRS

MACHINE À SOUS

Nous vous proposons de réaliser une version portable des célèbres machines à sous qui font penser à Las Vegas. La rotation des rouleaux, qui présentent une série de symboles, est ici visualisée sur des afficheurs alphanumériques. Le terme « machine à sous » est devenu au fil du temps synonyme de jeu de casino (cela remonte à plusieurs décennies, lorsque les jeux vidéo n'existaient pas), dont le temple se situe dans la ville de Las Vegas.



24 DIDACTIQUE

ELECTROMÈTRE AVEC BARGRAPHE À LED

L'un des appareils qui occupent les laboratoires de physique des écoles et que beaucoup d'entre vous ont certainement vu au fil des années en tant qu'élèves, est l'électromètre sous sa forme canonique. C'est un appareil assez simple qui met en évidence l'électricité statique d'un corps. Dans ces pages, nous vous proposons une version électronique, modernisée, où la quantité d'électricité statique présente sur un corps électrisé est visualisée par une rangée de LED.



33 LABORATOIRE

ALIMENTATION MULTI-TENSIONS POUR LABORATOIRE

Que vous soyez amateur ou professionnel de l'électronique, vous ne pouvez pas ne pas avoir dans votre laboratoire une source d'alimentation utilisable en toutes circonstances. Très utile pour tester des prototypes et alimenter des appareils en réparation, elle dispose de trois sorties, deux à tension fixe et une à tension variable.



Les typons des circuits imprimés et les programmes **lorsqu'ils sont libres de droits** sont téléchargeables

L'EDITO AUTOMNE 2019

Chères lectrices et lecteurs,

à l'heure où la pollution atmosphérique devient de plus en plus critique dans les grandes agglomérations, nous avons tenté de répondre à un grand nombre de lecteurs en proposant un montage pouvant analyser la qualité de l'air. Les polluants tels que la fumée de cigarette, les solvants, les poussières et même les produits chimiques utilisés pour le ménage ne doivent pas être négligés. Notre projet vous permettra de connaître la concentration, dans votre milieu ambiant, de dioxyde de carbone (afin d'indiquer la qualité de l'air dans un environnement fermé) et le « COVT » (Composés Organiques Volatils Totaux) qui est la concentration en parties par milliard de particules en suspension.

Dans la même optique, nous avons mis au point un détecteur de séismes, il est doté du plus petit détecteur de tremblement de terre au monde. Ce sismographe est capable de rivaliser avec des instruments professionnels en termes de sensibilité et de précision.

Pour l'amateur d'électronique nous proposons une alimentation de laboratoire multi-tensions et aussi un cours sur l'utilisation des régulateurs LDO.

Pour les fans d'expériences, nous avons construit un électromètre avec un bargraphe à LED. Il rappellera certainement à la plupart d'entre vous les cours de physique concernant l'électricité statique.

En effet, pour ceux qui veulent se divertir nous leur proposons une machine à sous du plus bel effet, rappelant celles présentes dans les casinos de Las Vegas.

La Rédaction

43 MESURE

ANALYSEUR DE LA QUALITÉ DE L'AIR

La pollution atmosphérique est un problème qui se pose depuis des décennies, surtout pour ceux qui habitent dans les grandes agglomérations, ou à proximité des grands centres industriels. Il s'ensuit une préoccupation, parfois peu motivée, pour la qualité de l'air que nous respirons. Grâce à un capteur capable de détecter la concentration de particules polluantes en suspension dans l'air, nous vous proposons de réaliser un instrument capable de détecter la qualité de l'air et de vous conseiller éventuellement de ventiler la pièce.



52 CAO

LE GUIDE DE LA CAO

Après le cours complet sur le logiciel Open Source KiCad EDA, paru dans les revues 141 à 146, nous vous proposons un guide vous permettant d'évaluer l'offre des logiciels de CAO pour la conception et la fabrication des circuits imprimés. Ainsi, vous pourrez choisir celui qui vous convient le mieux (gratuit ou payant). Dans cet article, nous allons vous expliquer en détail ce que sont les outils de CAO pour la conception de cartes électroniques et comment ils peuvent être utilisés pour la réalisation de circuits imprimés.



59 HIGH-TECH

SCANNER 3D AVEC CAMÉRA DEUXIÈME PARTIE

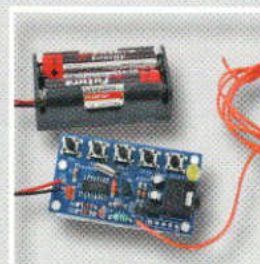
Dans le précédent numéro, nous avons décrit la réalisation d'un scanner 3D dont la réalisation s'effectuait à l'aide d'une caméra et d'un laser. Dans cette seconde et dernière partie, nous allons réaliser un scanner 3D qui réalise en 3 dimensions la surface d'un objet à l'aide d'une caméra et du logiciel de traitement d'image « 123D Catch ».



68 HAUTE FRÉQUENCE

MINI RÉCEPTEUR FM

Dans ces pages, nous vous proposons de concevoir un récepteur stéréo FM à commande numérique, réalisé avec un circuit intégré particulier et alimenté par deux piles bâtons, il est donc facilement transportable. Le circuit intégré « HEX3653 » permet de réaliser un excellent récepteur de radio FM stéréo portable qui peut être facilement fabriqué, car il ne nécessite ni la confection de bobines ni la mise au point de circuits de syntonisation.



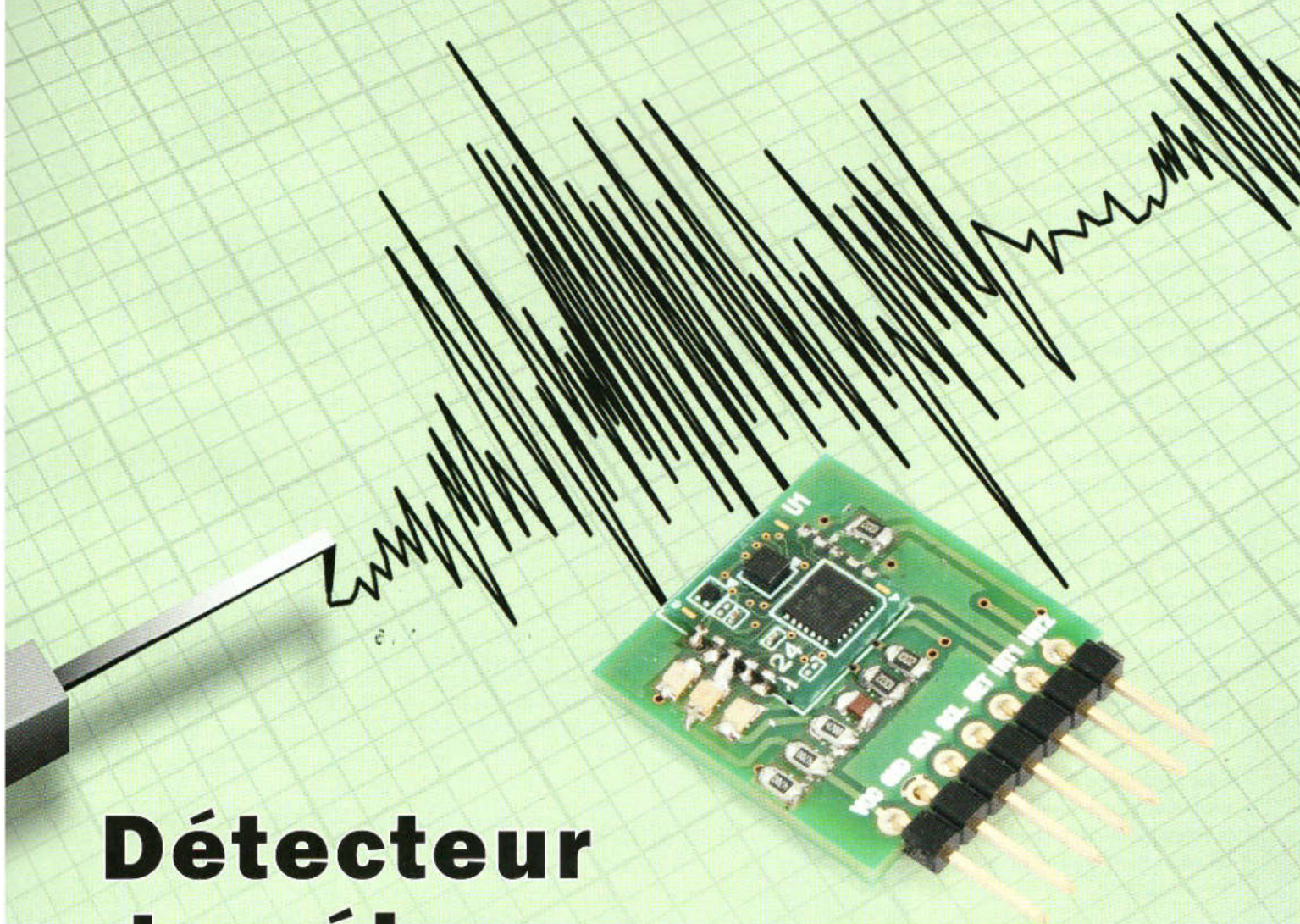
74 ALIMENTATION

CONNAÎTRE LES RÉGULATEURS LDO

Les régulateurs linéaires à faible chute, plus connus sous le nom de LDO pour « Low DropOut », sont largement utilisés dans de nombreuses applications électroniques où le bruit introduit par la commutation n'est pas toléré. Ils constituent une alternative aux régulateurs linéaires classiques, en particulier pour les circuits de traitement de signaux audio, médicaux et analogiques. Examinons leurs caractéristiques pour les choisir en fonction de nos besoins.



Dans cet article, nous allons mettre en œuvre le circuit « D7S » de Omron. Il s'agit du plus petit détecteur de tremblement de terre au monde. Nous allons fabriquer un sismographe capable de rivaliser avec des instruments professionnels en termes de sensibilité et de précision.



Détecteur de séismes

..... de Alessandro Pasqualini

Chaque jour notre planète est soumise en moyenne à des milliers de tremblements de terre, seulement la plupart d'entre eux sont imperceptibles par la population, ils ne peuvent être détectés que par des instruments.

Seule une petite partie des séismes provoque des secousses suffisamment puissantes pour être perçues par le public, et seulement (heureusement) une infime partie d'entre elles provoque des dommages importants.

Les tremblements de terre ont des origines différentes, mais la cause la plus réaliste réside dans le modèle de la **tectonique des plaques**, selon lequel la Terre a été formée à l'origine par un seul continent (ce qui explique la présence d'espèces animales identiques sur des continents espacés

les uns des autres), puis a été ensuite séparé en plusieurs continents que nous connaissons aujourd'hui et qui sont au nombre de 5.

On parle techniquement de « **dérive des continents** » et on constate que les continents bougent encore aujourd'hui.

Lorsque le mouvement continu et imperceptible des plaques s'arrête brusquement, de l'énergie s'accumule pendant des décennies, voire des centaines d'années et des tensions apparaissent dans certaines zones.

Lorsque la tension de rupture est dépassée à un moment donné, toute l'énergie stockée est libérée en quelques minutes. Cela génère une déviation soudaine de la masse rocheuse au

point de rupture et, par conséquent, un phénomène de tremblement de terre se produit, appelé aussi séisme. Le point où prend naissance la rupture est appelé **épicentre**. De plus, l'activité de la lave sous la croûte terrestre est liée aux tremblements de terre.

La détection de l'activité sismique, autrefois effectuée uniquement par des dispositifs électromécaniques appelés sismographes (composés d'une masse fixée à une pointe montée sur une bascule, capable de tracer des oscillations égales à la force du mouvement tellurique), a récemment évolué grâce à l'apparition de composants électroniques spécialisés dans le domaine, notamment les capteurs de type « **MEMS** », capables de détecter des accélérations sur les trois axes avec une précision extrême.

Pour information, l'acronyme anglais « **MEMS** » (Microelectromechanical systems) veut dire « systèmes microélectromécaniques ». Un microsystème électromécanique est un microsystème fabriqué à partir de matériaux semi-conducteurs.

Il comprend un ou plusieurs éléments mécaniques et utilise l'électricité comme source d'énergie, en vue de réaliser une fonction de capteur ou d'actionneur, avec au moins une structure présentant des dimensions micrométriques. La fonction du système étant en partie assurée par la forme de cette structure.

De tels capteurs ont permis la fabrication de sismographes électroniques miniatures, ils intègrent des composants qui détectent des micromouvements.

Le projet que nous décrivons dans cet article repose précisément sur un tel capteur et, en particulier, sur un composant de la firme Omron pour lequel nous avons réalisé une carte électronique prête à l'emploi. Elle est idéale pour les expérimentations.

Le capteur D7S

Le dispositif que nous vous présentons est, aujourd'hui, le plus petit capteur sismique au monde. Il est fabriqué par la firme Omron et sa référence est « **D7S** ». L'une de ses caractéristiques les plus importantes est l'indication, par le biais de sa broche « **INT1** », d'événements sismiques susceptibles d'avoir des effets catastrophiques sur les équipements électroniques.

Cette fonction permet par exemple d'éteindre l'équipement avant que les vibrations causées par le séisme puissent réellement causer des dommages. La protection de l'équipement est fondamentale pour pouvoir, après un événement sismique, disposer d'un appareil en état de fonctionnement afin de prévenir d'autres événements préjudiciables.

De plus, comme la signalisation est disponible sur la broche « **INT1** », cette dernière peut être utilisée pour déclencher des alarmes et, pourquoi pas, activer des protections mécaniques pour les instruments de mesure et les locaux les abritant.

Le capteur émet deux signaux : **arrêt** et **effondrement du sol**. La première situation se présente si le séisme est jugé égal ou supérieur à 5 sur l'**échelle de Shindo**, c'est-à-dire l'échelle d'intensité sismique de l'agence météorologique du Japon (JMA).

Contrairement à l'**échelle de Richter**, qui mesure la magnitude totale du tremblement de terre et le représente donc avec une seule valeur, l'échelle de Shindo décrit le **degré de tremblement d'un point à la surface** de la Terre.

Ainsi, la mesure d'un séisme varie selon l'endroit. Dans la seconde situation, le sol subit une inclinaison d'environ 20° (ce qui est très grave).

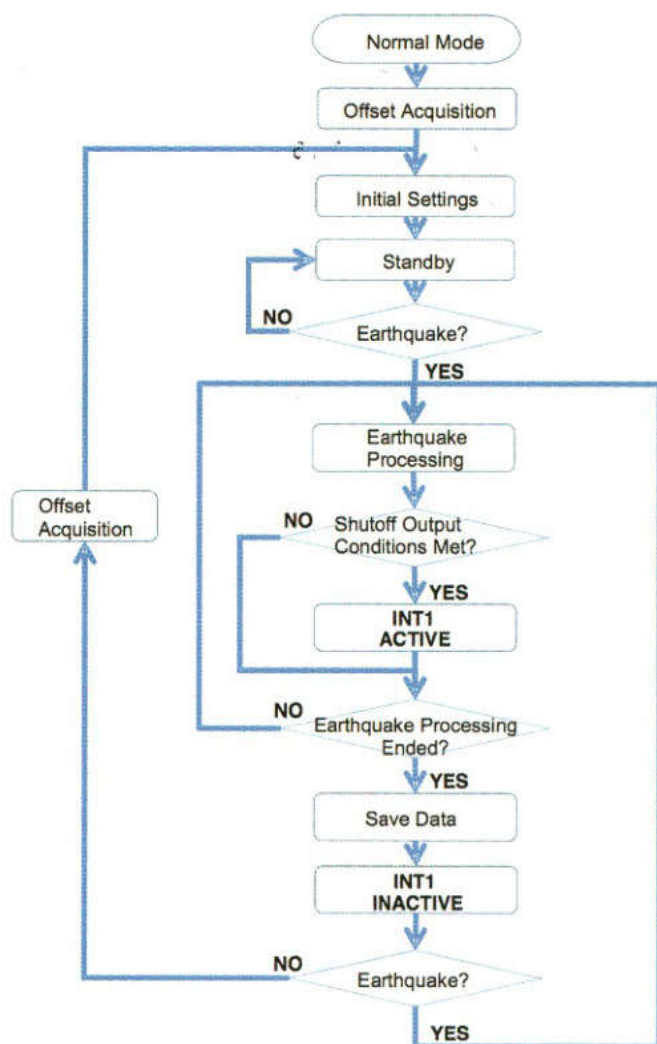


Figure 1 : organigramme d'un cycle de détection d'un tremblement de terre, où le mode normal correspond au mode veille.

Le capteur possède une **mémoire interne** dans laquelle sont **stockées les données relatives aux cinq derniers séismes enregistrés et aux cinq plus importants**, ainsi que, bien sûr, tous les paramètres de la configuration.

Le « D7S » est donc un accéléromètre à trois axes, dont deux seulement sont utilisés lors de la détection d'un séisme. Ils peuvent être sélectionnés par l'utilisateur ou automatiquement en fonction de l'inclinaison du capteur.

La présence d'un bus I2C permet de modifier les paramètres du capteur et/ou de lire les données sismiques à partir de n'importe quel microcontrôleur équipé d'un tel bus, comme par exemple Arduino.

Le capteur « D7S » comporte au total trois broches de fonction, dont deux (INT1 et INT2) sont des broches de signalisation et la troisième (SET) est une broche permettant de modifier l'état de fonctionnement.

Avant d'utiliser le capteur, il est nécessaire d'**effectuer la procédure d'installation initiale** (étalonnage), c'est-à-dire que le capteur doit détecter les

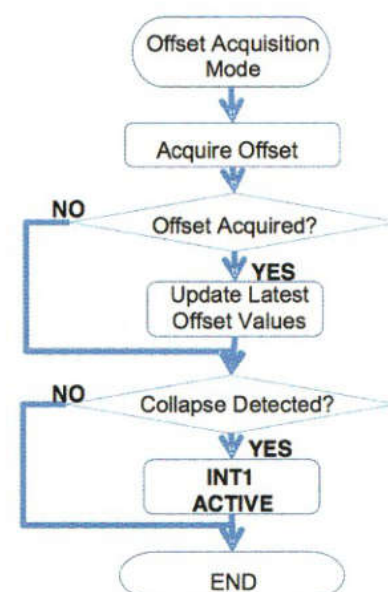
décalages (offset) des axes sélectionnés et enregistrer leurs valeurs dans la mémoire interne. Ces décalages serviront à déterminer la condition d'effondrement, en les comparant à ceux qui existaient au moment de la détection du séisme.

Après la phase d'installation initiale, le capteur entre en mode veille jusqu'à ce qu'un séisme se manifeste. Le calcul des données du séisme commence alors, le capteur reste dans cet état jusqu'à la fin du tremblement de terre. À ce stade, la mémoire interne est mise à jour avec les données récemment détectées.

Chaque fois qu'il est alimenté, le capteur passe en mode de détection d'offset et détermine si la condition d'effondrement s'est produite et, dans l'affirmative, la broche « INT1 » passe à un niveau logique bas (0). Si la condition n'est pas vérifiée, le capteur entre en mode veille et le cycle de détection d'un tremblement de terre commence (voir la figure 1).

Il faut préciser que la détection de la condition d'effondrement ne se produit pas seulement lorsque le capteur

Figure 2 : diagramme de flux de la détermination de la condition d'effondrement forçant l'acquisition des offsets.



est alimenté, mais à chaque fois que celui-ci passe en mode veille.

En fait, il est possible de forcer le contrôle de la condition d'effondrement en mettant le capteur en mode de détection d'offset (voir la figure 2).

Tableau 1 : description sommaire des registres d'état et de configuration.

Registre	Accès	Description	Valeurs
ÉTAT (0x1000)	R	État actuel	- 0x00 veille - 0x01 détection de tremblement de terre - 0x02 installation initiale - 0x03 acquisition d'offset - 0x04 auto-diagnostic
ÉTAT DE L'AXE (0x1001)	R	Axes utilisés pour la détection	- 0x00 axe YZ - 0x01 axe XZ - 0x02 axe XY
EVENEMENT (0x1002)	R	Événements générés	- Bit 0 1 si l'arrêt est généré - Bit 1 1 si l'effondrement est généré - Bit 2 1 si une erreur survient dans l'autodiagnostic - Bit 3 1 si une erreur survient dans l'acquisition d'offset
MODE (0x1003)	R/W	Mode actuel	- 0x01 veille - 0x02 installation initiale - 0x03 acquisition d'offset - 0x04 auto-diagnostic Il est possible de changer le mode actuel uniquement si le capteur se trouve dans l'état de veille.
CTRL (0x1004)	R/W	Axes utilisés lors de la détection	- Bit 4 à 6 - 0x00 utilise les axes YZ - 0x01 utilise les axes XZ - 0x02 utilise les axes XY - 0x03 choisit automatiquement les axes à utiliser - 0x04 choisit automatiquement les axes à utiliser pendant installation initiale
		Seuil pour le signal d'arrêt	- Bit 3 - 0 pour le seuil haut - 1 pour le seuil bas
CLEAR_COMMAND (0x1005)	R/W	Commandes d'effacement de la mémoire	- Bit 0 Si à 1, les données sismiques sont supprimées - Bit 1 Si à 1, les informations d'autodiagnostic sont supprimées - Bit 2 Si à 1, la dernière information relative aux offsets est supprimée - Bit 3 Si à 1, les informations relatives à l'installation initiale sont supprimées

Les données que le capteur calcule pour chaque événement sismique sont :

- **PGA** : Peak Ground Acceleration ou accélération maximale du sol ;
- **SI** : Spectral Intensity ou intensité spectrale ;
- la **température** ambiante moyenne à laquelle l'événement s'est produit.

Lors du calcul, ou lors d'un séisme, il est possible de lire les valeurs instantanées de « PGA » et « SI » en accédant à certains registres spécifiques.

Une fonction d'**autodiagnostic** a été mise en œuvre à l'intérieur du capteur, ce qui est très utile pour vérifier que le « D7S » fonctionne correctement. Elle doit être activée manuellement en écrivant dans un registre spécifique via le bus I2C.

À chaque opération de détection d'offset, le capteur détermine automatiquement si l'opération a réussi. Dans le cas contraire, il met à jour un registre spécifique en signalant le défaut.

Les broches fonctionnelles du capteur sont « INT1 », « INT2 » et « SET ». Les deux premières correspondent, comme cela a déjà été mentionné, à l'indication des conditions d'arrêt et d'effondrement.

La broche « INT2 » permet de savoir si le capteur est en veille, si le capteur est en phase de détection d'un séisme, si une opération d'acquisition d'offset est en cours ou si la fonction d'autodiagnostic a été activée.

La broche « SET » permet de faire passer le capteur, via une impulsion externe, en mode d'installation initiale, sans devoir utiliser le bus I2C.

Lorsque la broche « INT1 » est portée à un niveau logique bas par un événement d'arrêt ou d'effondrement, la valeur par défaut, c'est-à-dire le « 1 » logique, ne peut être restaurée qu'en lisant le registre « EVENT » (voir le paragraphe suivant), en exécutant la procédure d'installation initiale ou en supprimant et rétablissant l'alimentation du capteur.

Tableau 2 : description sommaire du bloc des registres contenant les informations sur les séismes.

#	Adresse (8 derniers bits)	Nom	Accès	Description
1	0x00	MAIN_OFFSET_X_H	R	Offset sur l'axe des X.
2	0x01	MAIN_OFFSET_X_L	R	
3	0x02	MAIN_OFFSET_Y_H	R	Offset sur l'axe des Y.
4	0x03	MAIN_OFFSET_Y_L	R	
5	0x04	MAIN_OFFSET_Z_H	R	Offset sur l'axe des Z.
6	0x05	MAIN_OFFSET_Z_L	R	
7	0x06	MAIN_T_AVE_H	R	Température à laquelle le séisme s'est produit.
8	0x07	MAIN_T_AVE_L	R	
9	0x08	MAIN_SI_H	R	Valeur de "SI" enregistrée.
10	0x09	MAIN_SI_L	R	
11	0x0A	MAIN_PGA_H	R	Valeur de "PGA" enregistrée.
12	0x0B	MAIN_PGA_L	R	

La mémoire interne

Pour utiliser le « D7S », il est nécessaire de savoir programmer les principaux paramètres de configuration, ainsi que l'emplacement des données que le capteur calcule pour chaque séisme.

La mémoire interne est configurée à l'aide de registres de 8 bits adressables avec des adresses de 16 bits.

Par conséquent, en utilisant par exemple la librairie Wire d'Arduino, il est nécessaire d'envoyer d'abord les 8 bits

les plus significatifs de l'adresse, suivis des 8 bits les moins significatifs.

Tous les registres ne sont pas accessibles et le fabricant indique qu'il ne faut pas accéder aux registres dont l'accès est protégé, afin de ne pas compromettre le bon fonctionnement du capteur.

Les trois premiers registres de la mémoire sont « STATE », « AXIS_STATE » et « EVENT » (accessibles uniquement en lecture). Ils contiennent des informations sur l'état actuel du capteur

Les ondes générées par un séisme

Un séisme est principalement associé à **deux ondes** appelées « **P** » et « **S** », générées dans l'**hypocentre** du séisme. Les ondes « **P** » sont **longitudinales** et se caractérisent par le fait qu'elles imposent aux roches une oscillation égale au mouvement de propagation des ondes. Elles provoquent des compressions et des dilatations des roches lors de leur passage. Ces ondes se propagent rapidement et traversent tous les types de roches (ou plus généralement de matériaux). On les appelle aussi ondes principales.

Les ondes « **S** » sont des ondes **secondaires**, car elles se déplacent à une vitesse inférieure à celle des ondes « **P** » correspondantes. Ce sont des ondes **transversales** qui ne peuvent, par conséquent, que se propager dans des matériaux rocheux. Elles ne peuvent pas traverser des fluides, ni des gaz (si, par exemple, le tremblement de terre prend naissance dans l'océan, seules les ondes « **P** » se propagent, car les ondes « **S** » ne peuvent pas se propager dans l'eau).

Ces ondes permettent de déterminer la valeur de l'intensité du séisme en fonction des différentes échelles existantes. Par exemple, le capteur « D7S » utilise les ondes « **S** » pour déterminer les valeurs de « **PGA** » et « **SI** » pour chaque séisme.

et sur sa configuration actuelle. Le registre « STATE » contient, dans ses 3 bits les moins significatifs, l'état du capteur.

Le registre « AXIS_STATE » est composé de 2 bits dans lesquels sont indiqués les axes utilisés pour la détection, tandis que le registre « EVENT » est constitué de 4 bits, chacun étant relatif à un possible événement pouvant se produire.

Les trois registres suivants sont « MODE », « CTRL » et « CLEAR_COMMAND », accessibles en lecture et en écriture. Ils permettent de modifier le comportement du capteur.

Le premier registre « MODE » permet de changer l'état du capteur, le registre suivant « CTRL » permet de sélectionner les axes à utiliser et le seuil d'arrêt.

Enfin, le registre « CLEAR_COMMAND » permet, en mettant ses bits à 1, la remise à zéro de certaines parties de la mémoire.

Le tableau 1 récapitule tous les registres de configuration et indique les valeurs possibles qu'ils peuvent prendre.

Dans les registres situés de l'adresse 0x2000 à 0x2003, se trouvent les informations instantanées de l'événement sismique en cours (si le capteur est en veille, les registres sont remis à zéro) et sont réparties comme suit : les deux premiers registres, respectivement 0x2000 et 0x2001, contiennent la valeur de « SI » divisée en deux parties (haute et basse), tandis que dans les autres registres 0x2002 et 0x2003, se trouve la valeur de « PGA », toujours divisée en deux parties (haute et basse).

Ensuite, sont présents 10 blocs de registres, positionnés de l'adresse 0x30XX à 0x39XX, et contenant les données sismiques.

Les 5 premiers correspondent aux 5 derniers événements sismiques enregistrés, tandis que les 5 derniers sont les séismes les plus puissants.

Tous les blocs sont subdivisés comme mentionné dans le tableau 2, où les

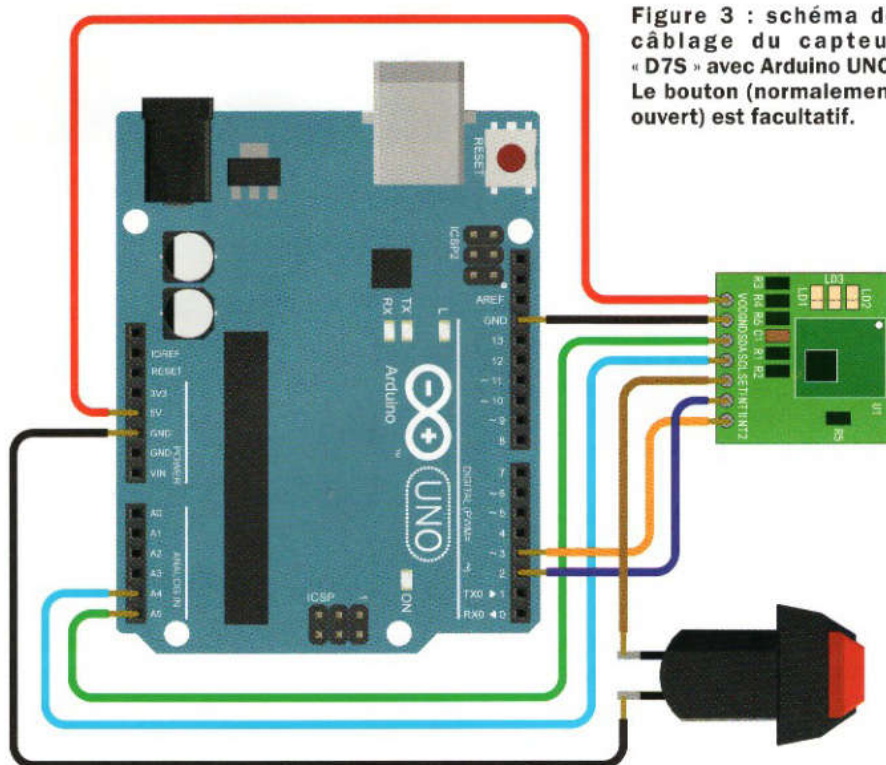


Figure 3 : schéma de câblage du capteur « D7S » avec Arduino UNO. Le bouton (normalement ouvert) est facultatif.

6 premiers registres correspondent à une information de décalage (offset), deux registres contiennent la température à laquelle l'événement sismique s'est produit, deux contiennent la valeur de « SI » et, enfin, deux registres contiennent la valeur de « PGA ».

L'adresse du registre spécifique doit être construite en ajoutant l'adresse du bloc à l'adresse du registre à l'intérieur du bloc.

Enfin, il existe des blocs de registres relatifs aux informations d'installation initiale, aux derniers décalages (offsets) enregistrés et à l'autodiagnostic.

Ces données ne sont pas strictement liées à l'application, c'est pourquoi, pour ceux d'entre vous que cela intéresse, référez-vous à la documentation technique du « D7S ».

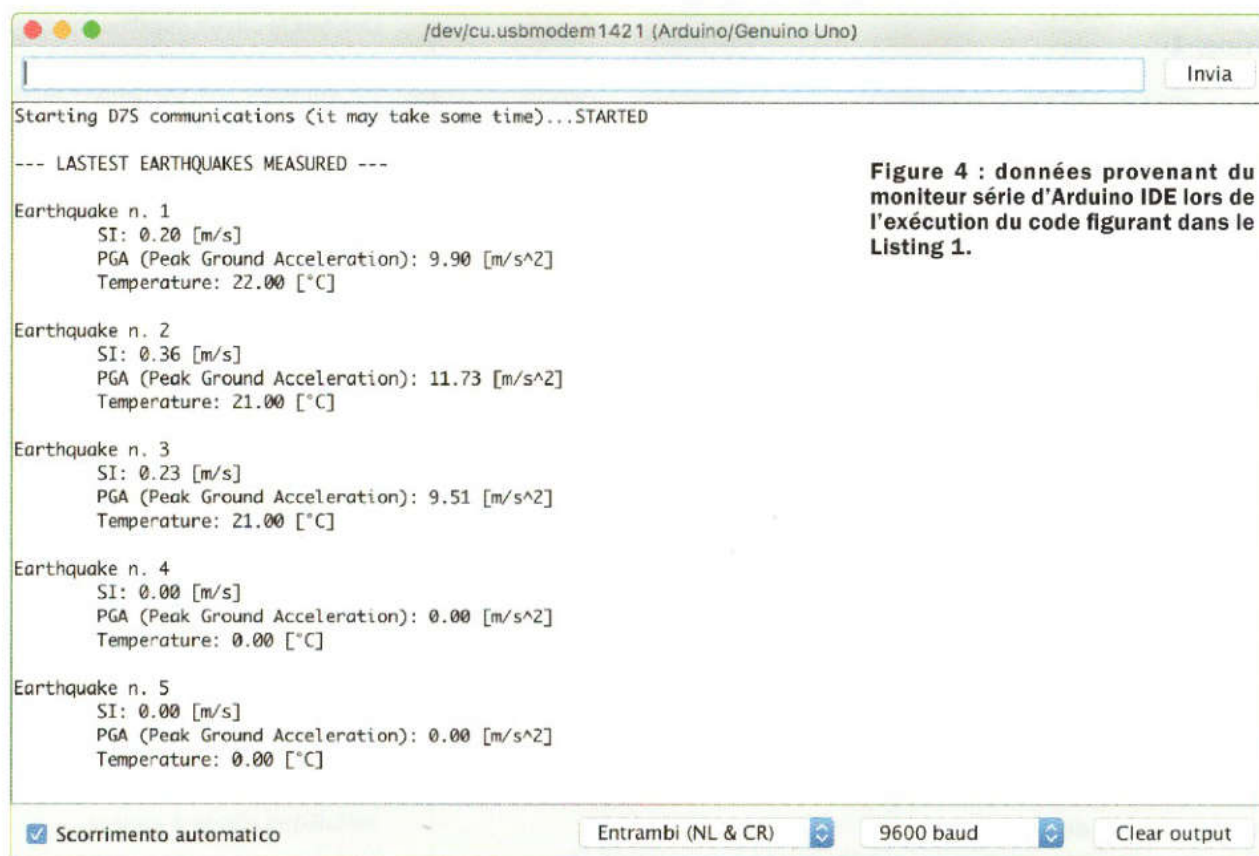
Notre carte

Le projet que nous proposons est de réaliser un sismographe au format d'une breakout board sur laquelle se trouve le capteur. Le bus de communication est accessible via une barrette externe, afin de simplifier l'intégration de la carte et l'utilisation du capteur dans des équipements existants.

Les broches « SDA », « SCL », « SET », « INT1 » et « INT2 » du « D7S » sont accessibles sur le connecteur, elles sont dotées de résistances de tirage. De plus, nous avons ajouté 3 LED : l'une est connectée à l'alimentation et permet de vérifier la présence de la tension d'alimentation du capteur, tandis que les deux autres sont reliées aux sorties « INT1 » et « INT2 ». Le fonctionnement des 3 LED est indiqué dans le tableau 3.

Tableau 3 - description résumée des LED présentes sur la carte détectrice de séismes.

#	Couleur de la LED	Description
1	VERTE	Indique que le capteur est sous tension.
2	ORANGE	S'allume lorsque le capteur enregistre un séisme, effectue une acquisition d'offset ou un autodiagnostic. La LED reste éteinte lorsque le capteur est en veille.
3	ROUGE	S'allume lorsque la condition d'arrêt ou d'effondrement survient.



```

/dev/cu.usbmodem1421 (Arduino/Genuino Uno)
Invia

Starting D7S communications (it may take some time)...STARTED

--- LASTEST EARTHQUAKES MEASURED ---

Earthquake n. 1
SI: 0.20 [m/s]
PGA (Peak Ground Acceleration): 9.90 [m/s^2]
Temperature: 22.00 [°C]

Earthquake n. 2
SI: 0.36 [m/s]
PGA (Peak Ground Acceleration): 11.73 [m/s^2]
Temperature: 21.00 [°C]

Earthquake n. 3
SI: 0.23 [m/s]
PGA (Peak Ground Acceleration): 9.51 [m/s^2]
Temperature: 21.00 [°C]

Earthquake n. 4
SI: 0.00 [m/s]
PGA (Peak Ground Acceleration): 0.00 [m/s^2]
Temperature: 0.00 [°C]

Earthquake n. 5
SI: 0.00 [m/s]
PGA (Peak Ground Acceleration): 0.00 [m/s^2]
Temperature: 0.00 [°C]

[ ] Scorrimento automatico [ ] Entrambi (NL & CR) [ ] 9600 baud [ ] Clear output

```

Figure 4 : données provenant du moniteur série d'Arduino IDE lors de l'exécution du code figurant dans le Listing 1.

La broche « SET » peut être connectée à un bouton, sans devoir se soucier de la résistance de tirage, car elle est déjà présente sur la carte. Cette broche permet de mettre le capteur dans le mode d'installation initiale, simplement en appuyant sur le bouton. Cela évite de devoir utiliser le bus I2C.

La connexion avec la carte Arduino est également très simple. Il suffit simplement de connecter les broches d'alimentation du capteur (VCC et GND) aux broches Arduino 5 V et GND et les broches **SDA** et **SCL** aux broches respectivement « **A4** » et « **A5** » de la carte Arduino UNO (ce sont les broches utilisées pour le bus I2C).

Arduino permet également la gestion des interruptions, une fonction très utile à associer au capteur car elles vous permettent de réagir instantanément aux événements générés par le « D7S ».

Pour utiliser les interruptions, il suffit simplement de connecter les broches 2 et 3 d'Arduino aux broches « INT1 » et « INT2 » et configurer l'exécution de l'ISR (Interrupt Service Routine) sur la broche 2 lorsque l'événement

« FALLING » se produit (c'est-à-dire le passage d'une valeur logique haute à une valeur logique basse).

La broche 3 gère l'événement « CHANGE », c'est-à-dire les transitions logiques 1/0 et 0/1 (changement de niveau logique).

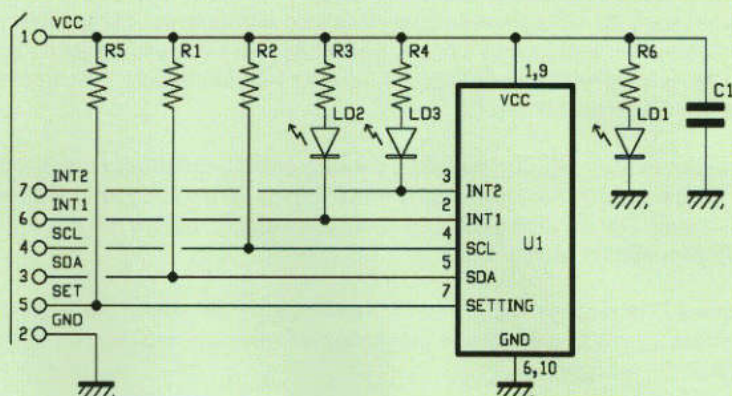
Le tableau 4 détaille le brochage du connecteur de la carte capteur (voir le plan de montage visible dans ces pages). Le premier groupe est formé par les broches d'alimentation, le second

par les broches du bus I2C, et le dernier par les trois broches (entrée et sorties) du capteur.

Les connexions de la carte capteur avec Arduino sont illustrées en figure 3. Vous pouvez voir le matériel complet du projet. La réalisation se fait en câblant les fils comme indiqué en figure 3.

En ce qui concerne la carte capteur, il est possible de la construire en consultant le plan de montage visible dans ces pages.

Schéma électrique du détecteur de tremblement de terre.



Listing 1

```
#include <D7S.h>

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial);

    // initiation de la communication avec le capteur D7S
    Serial.print("Starting D7S communications (it may take some time)...");
    D7S.begin();
    while (!D7S.isReady()) {
        Serial.print(".");
        delay(500);
    }
    Serial.println("STARTED");

    // données provenant du capteur
    Serial.println("--- LASTEST EARTHQUAKES MEASURED ---\n");
    for (int i = 0; i < 5; i++) { // les indices vont de 0 à 4 (5 indices au total)
        Serial.print("Earthquake n. ");
        Serial.println(i+1);
        //Affiche la valeur de SI
        Serial.print("\tSI: ");
        Serial.print(D7S.getLastestSI(i));
        Serial.println(" [m/s]");
        // Affiche la valeur de PGA
        Serial.print("\tPGA (Peak Ground Acceleration): ");
        Serial.print(D7S.getLastestPGA(i));
        Serial.println(" [m/s^2]");
        // Affiche la valeur de la température
        Serial.print("\tTemperature: ");
        Serial.print(D7S.getLastestTemperature(i));
        Serial.println(" [°C]\n");
    }
}

void loop() {
}
```

Une fois le circuit imprimé double face gravé et percé (vous pouvez télécharger sur notre site les fichiers du projet dans le sommaire détaillé de la revue), commencez par souder délicatement le capteur « D7S » en respectant le sens indiqué sur le plan de montage.

Comme la carte contient essentiellement des composants CMS, une certaine précision est nécessaire. Vous devez vous munir d'un fer à souder à pointe très fine (0,2 mm), d'une puissance maximale de 20 W. Utilisez de la soudure pour CMS de 0,5 mm de diamètre et un flux de soudure. Munissez-vous d'une loupe pour vérifier les soudures et les éventuels courts-circuits.

Pour que le capteur puisse détecter avec précision les séismes, il est conseillé de fixer le circuit imprimé sur une structure solidement ancrée au sol ou sur un socle en béton posé en extérieur ou encore fixé à une plaque métallique vissée à un mur.

Évitez d'utiliser un connecteur pour la barrette, soudez directement des fils.

La librairie Arduino

Nous avons développé une librairie pour utiliser le capteur avec Arduino, évitant ainsi de gérer directement les registres avec le bus I2C et la librairie Wire.

Mesure de l'intensité d'un séisme

Au fil du temps, pour l'étude et la classification des séismes, diverses échelles de mesure d'intensité ont été introduites, parmi lesquelles les plus importantes et les plus significatives sont l'échelle de Richter (mesure de la magnitude), l'échelle de Mercalli et l'échelle PGA (Peak Ground Acceleration).

L'échelle de la magnitude mesure l'énergie mécanique libérée par un événement sismique à l'épicentre. Dans la définition proposée par Charles Richter (magnitude de Richter), qui est utilisée dans le monde entier, la magnitude est définie sur une base purement instrumentale, évitant ainsi les erreurs subjectives dues à l'observateur. L'intensité relative est définie sur une échelle logarithmique et est mise en relation directe avec une quantité équivalente de TNT qui générerait la même quantité d'énergie libérée.

L'échelle de Mercalli, en revanche, est une échelle empirique qui évalue l'intensité d'un séisme en fonction de ses effets sur les personnes, les objets et les bâtiments. Cela implique que deux événements sismiques ayant la même intensité, mais situés l'un dans le désert ou dans une zone inhabitée et l'autre dans une métropole, auront deux valeurs différentes selon l'échelle de Mercalli.

L'échelle PGA mesure l'accélération maximale du sol induite par le séisme, elle est quantifiée par des accéléromètres. Précisément de par sa nature, elle est facilement détectable et fournit des données étroitement liées aux valeurs équivalentes de l'échelle Mercalli.

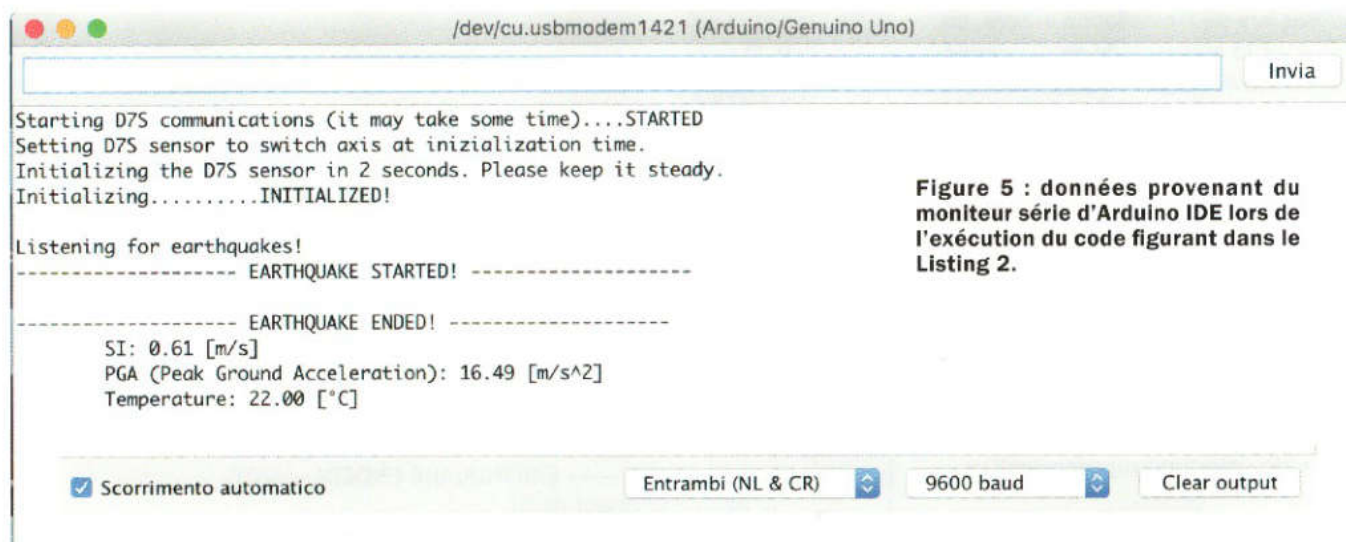


Figure 5 : données provenant du moniteur série d'Arduino IDE lors de l'exécution du code figurant dans le Listing 2.

La librairie permet à la fois de modifier la configuration et de lire les données sismiques stockées dans la mémoire du capteur. Elle gère également les événements d'interruptions générés par le capteur « D7S », son fonctionnement est illustré dans le listing 2.

Le Listing 1 montre comment accéder à la mémoire interne du capteur pour récupérer les données des 5 derniers séismes enregistrés.

Dans la fonction « setup », il est nécessaire d'appeler la méthode « begin() » qui initialise la communication avec le capteur.

Avant de commencer à envoyer des commandes au capteur, il est nécessaire d'attendre que le « D7S » soit prêt, c'est-à-dire qu'il se trouve en veille (standby).

À ce stade, il est possible d'accéder à la mémoire du capteur à l'aide des méthodes « getLastestSI(index) », « getLastestPGA(index) » et « getLastestTemperature(index) », où « index » correspond à l'indice du séisme dont nous voulons collecter les données parmi les 5 séismes enregistrés, donc l'indice peut varier de 0 à 4.

La librairie implémente également les méthodes équivalentes « getRankedSI(index) », « getRankedPGA(index) » et « getRankedTemperature(index) » pour accéder aux données relatives des 5 principaux séismes enregistrés dans la mémoire.

Tableau 4 : brochage de la carte.

#	Broche	Direction/Fonction	Description
1	VCC	Alimentation	de 3,3 VDC à 5 VDC
2	GND	Alimentation	/
3	SDA	I2C	Ligne de données du bus I2C.
4	SCL	I2C	Horloge du bus I2C
5	SET	IN	Lorsqu'elle est mise à un niveau bas, elle change l'état du capteur et passe à la phase d'installation initiale. Lorsqu'elle est à un niveau haut, le capteur est en mode de fonctionnement normal.
6	INT1	OUT	Elle prend un niveau bas lorsque la condition d'arrêt ou d'effondrement survient. Sinon, elle reste à un niveau haut.
7	INT2	OUT	Elle prend un niveau bas lors de la phase de détection d'un tremblement de terre, lors de l'acquisition d'un offset ou lors d'un autodiagnostic. Elle prend un niveau haut lorsque le capteur est en veille.

Dans le Listing 2, vous pouvez voir que le firmware implémente un sismographe en utilisant des interruptions pour gérer les événements générés par le capteur « D7S ».

Pour pouvoir utiliser cet exemple, vous devez connecter les broches 2 et 3 d'Arduino aux broches « INT1 » et « INT2 » du capteur, puis configurer les « ISR » contenus dans la librairie. Ensuite, vous devez appeler les deux méthodes « enableInterruptINT1(pin) » et « enableInterruptINT2(pin) », où le paramètre « pin » correspond aux broches d'Arduino auxquelles « INT1 » et « INT2 » sont connectées.

Ces appels permettent à la librairie de gérer automatiquement les événements d'interruption et d'appeler des gestionnaires définis par l'utilisateur.

Pour configurer les gestionnaires, la méthode « registerInterruptEventHandler(event,handler) » doit être appelée.

Le terme « event » correspond à l'événement généré par le capteur (START_EARTHQUAKE, END_EARTHQUAKE, SHUTOFF_EVENT ou COLLAPSE_EVENT) et le terme « handler » est le pointeur sur la fonction qui gère l'événement.

Une attention particulière doit être portée à la fonction de l'événement « END_EARTHQUAKE » qui nécessite une signature différente des autres.

En effet, lors de son appel, les trois données du séisme qui vient de se terminer sont transmises sous forme de paramètres (SI, PGA et température).

À ce stade, il est nécessaire d'initialiser le capteur ou d'effectuer la procédure d'installation initiale pour paramétrer les offsets de référence des axes de l'accéléromètre.

Dans le Listing 2, le capteur « D7S » est configuré pour choisir les axes à

utiliser lors de l'installation initiale, en appelant la méthode de configuration « setAxis(SWITCH_AT_INSTALLATION) ». Les autres paramètres possibles sont « FORCE_YZ », « FORCE_XZ », « FORXE_XY » et « AUTO_SWITCH », qui correspondent aux différentes possibilités énumérées dans le tableau 1.

Une fois la phase d'initialisation terminée, il est possible d'activer la gestion des événements d'interruption (désactivée par défaut pour éviter des données incohérentes), en appelant la méthode « startInterruptHandling() ».

Mais avant cela, il est nécessaire de réinitialiser le registre des événements du capteur en appelant la méthode « resetEvents() », afin d'éviter de gérer des événements générés lors de séismes précédents.

L'exécution du Listing 2 mérite une remarque concernant la manière dont le capteur « D7S » est construit.

En effet, une fois que l'événement d'arrêt ou d'effondrement est généré, la LED connectée à la broche « INT1 » doit s'allumer, mais les interruptions l'empêchent de s'allumer car elles gèrent instantanément l'événement. Il est toutefois possible que la LED clignote une fois.

La librairie inclut également les méthodes « selftest() » et « acquireOffset() » pour effectuer des autodiagnostic et forcer l'acquisition de décalages. Les méthodes associées « getSelftestResult() » et « getAcquireOffsetResult() » permettent d'obtenir le résultat des deux opérations.

Les méthodes « clearEarthquakeData() », « clearInstallationData() », « clearLastestOffsetData() », « clearSelftestData() » et « clearAllData() » permettent d'effacer la mémoire. Cependant, d'autres exemples sont disponibles dans la librairie pour examiner toutes les fonctions disponibles.

Conclusion

Dans cet article, nous vous avons présenté le plus petit capteur sismique disponible dans le commerce, en décrivant

Listing 2

```
#include <D7S.h>
#define INT1_PIN 2 // Broche d'Arduino connectée à la broche INT1 du
                    // capteur D7S
#define INT2_PIN 3 // Broche d'Arduino connectée à la broche INT2 du
                    // capteur D7S

// Fonction pour gérer le début de l'événement d'un séisme
void startEarthquakeHandler() {
    Serial.println("----- EARTHQUAKE STARTED! -----\\n");
}

// Fonction pour gérer la fin de l'événement d'un séisme
void endEarthquakeHandler(float si, float pga, float temperature) {
    Serial.println("----- EARTHQUAKE ENDED! -----\\n");
    // Affiche la valeur de SI
    Serial.print("\\tSI: ");
    Serial.print(si);
    Serial.println(" [m/s]");
    // Affiche la valeur de PGA
    Serial.print("\\tPGA (Peak Ground Acceleration): ");
    Serial.print(pga);
    Serial.println(" [m/s^2]");
    // Affiche la valeur de la température
    Serial.print("\\tTemperature: ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.println(" [°C]\\n");
    // Réinitialisation des événements
    D7S.resetEvents();
}

// Fonction permettant de gérer l'événement d'arrêt
void shutdownHandler() {
    Serial.println("----- SHUTOFF! -----\\n");
    Serial.println("Shutting down all device!");
    //stop all device
    while (1) ;
}

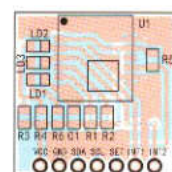
// Fonction permettant de gérer l'événement d'effondrement
void collapseHandler() {
    Serial.println("----- COLLAPSE! -----\\n");
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial);
    // initialisation de la communication avec le capteur D7S
    Serial.print("Starting D7S communications (it may take some time)...");
```

ses caractéristiques, son fonctionnement, son interface et son utilisation, et en vous fournissant toutes les informations nécessaires pour que vous puissiez développer de manière autonome des projets spécifiques.

L'application proposée, en combinaison avec une carte Arduino classique et la librairie appropriée, vous permettra de gérer de manière transparente le capteur « D7S ».

Plan de montage



Plan de câblage des composants du détecteur de séismes.


```

D7S.begin();
while (!D7S.isReady()) {
    Serial.print(".");
    delay(500);
}

Serial.println("STARTED");

// Le capteur choisira automatiquement les axes à utiliser lors de la phase d'installation
Serial.println("Setting D7S sensor to switch axis at initialization time.");

D7S.setAxis(SWITCH_AT_INSTALLATION);

//Activation des interruptions
D7S.enableInterruptINT1(INT1_PIN);
D7S.enableInterruptINT2(INT2_PIN);

//Enregistrement des évènements
D7S.registerInterruptEventHandler(START_EARTHQUAKE, &startEarthquakeHandler);
D7S.registerInterruptEventHandler(END_EARTHQUAKE, &endEarthquakeHandler);
D7S.registerInterruptEventHandler(SHUTOFF_EVENT, &shutoffHandler);
D7S.registerInterruptEventHandler(COLLAPSE_EVENT, &collapseHandler);

// Initialisation du capteur
Serial.println("Initializing the D7S sensor in 2 seconds. Please keep it steady.");
delay(2000);
Serial.print("Initializing...");
D7S.initialize();
while (!D7S.isReady()) {
    Serial.print(".");
    delay(500);
}

Serial.println("INITIALIZED!");

// Vérifie s'il n'y a pas eu d'effondrements
if (D7S.isInCollapse()) {
    collapseHandler();
}

//Réinitialisation des évènements
D7S.resetEvents();

// Initialisation de la gestion des événements à l'aide des interruptions
D7S.startInterruptHandling();
Serial.println("\nListening for earthquakes!");
}

void loop() {
}

```

**Photo de l'un de nos prototypes
du détecteur de séismes.**



Liste des composants

R1..... 10 kΩ boîtier CMS 0805
 R2..... 10 kΩ boîtier CMS 0805
 R3..... 470 Ω boîtier CMS 0805
 R4..... 470 Ω boîtier CMS 0805
 R5..... 10 kΩ boîtier CMS 0805
 R6..... 470 Ω boîtier CMS 0805
 C1..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805
 U1..... D7S-A0001

LD1.... LED verte boîtier CMS 0805
 LD2.... LED rouge boîtier CMS 0805
 LD3.... LED jaune boîtier CMS 0805

Divers

Barrette mâle 7 pôles soudée à 90°

Machine à sous



Nous vous proposons de réaliser une version portable des célèbres machines à sous qui font penser à Las Vegas. La rotation des rouleaux, qui présentent une série de symboles, est ici visualisée sur des afficheurs alphanumériques.

Le terme « machine à sous » est devenu au fil du temps synonyme de jeu de casino (cela remonte à plusieurs décennies, lorsque les jeux vidéo n'existaient pas), dont le temple se situe dans la ville de Las Vegas.

Ces machines peuvent être considérées comme dangereuses car la mise en jeu au départ est minime mais provoque rapidement une dépendance au jeu (surtout lorsque de l'oxygène pur est distribué au-dessus des machines, ce qui a pour effet de rendre le joueur euphorique).

En réalité, comme tous les jeux d'argent qui provoquent l'appât du gain, cela dépend du joueur qui en fait un instrument

de divertissement ou une dépense d'argent à un niveau pathologique.

En réalisant le projet décrit dans cet article, nous avons pensé à ceux qui ne savent pas rester sans un tel jeu et qui perdent de l'argent en « jouant » aux machines à sous dans les casinos.

Il s'agit d'une version de poche (étant donné sa taille) qui imite très bien le fonctionnement des véritables machines historiques, cependant elle a un gros avantage car elle ne nécessite pas d'argent pour jouer et donc les gains sont symboliques.

Lorsqu'une combinaison gagnante apparaît sur les écrans, les trois couleurs de base d'une LED RVB s'allument, en fonction du score obtenu. Cet instrument propose donc une alternative inoffensive, capable de donner libre cours à l'envie de jouer, sans risquer nécessairement de perdre de l'argent. De plus, c'est aussi un gadget ou un divertissement qui peut être partagé entre amis ou un passe-temps lors d'une convalescence.

En quoi cela consiste-t-il ?

Avant d'entrer dans le cœur du montage, rappelons à ceux qui ne le connaissent pas, le fonctionnement d'une machine à sous. Il s'agit d'un jeu dans lequel le joueur tire un levier ou appuie sur un bouton pour déclencher la rotation des rouleaux (en général entre trois et cinq rouleaux) sur lesquels différents symboles sont imprimés et qui tournent avec la même vitesse initiale.

Cependant, chaque rouleau s'arrête à un moment différent et à une position différente les uns des autres, en raison de l'inertie ou de la vitesse différente imposée par le mécanisme (engrenages) de la machine.

Le joueur gagne si une combinaison de symboles (ou des symboles identiques) est réalisée. En principe, la combinaison de symboles est aléatoire. Plusieurs combinaisons peuvent faire gagner le joueur, même si les symboles ne sont pas tous identiques.

Notre circuit est une version électronique de la machine à sous, il s'agit en

fait d'une version simplifiée au niveau des combinaisons et des scores, mais reste particulièrement attrayante. Elle est basée sur quatre afficheurs alpha-numériques qui visualisent une combinaison de 19 symboles générés par le programme d'un microcontrôleur.

Quatre boutons vous permettent de choisir l'afficheur sur lequel agir, de manière à modifier le symbole et d'essayer d'obtenir le score ou de l'augmenter. Une LED RVB indique le score en fonction des gains éventuels et un cinquième bouton permet de démarrer rapidement une nouvelle partie.

Schéma électrique

Le cœur de notre circuit est le microcontrôleur ATMEL **ATmega328P-PU** (U1), désormais bien connu pour être le composant principal des cartes **Arduino Uno** et **Genuino UNO**.

Il est **configuré en version autonome**, sans bootloader, à l'aide du quartz Q1 et des deux condensateurs C1 et C2 qui forment un oscillateur externe.

La résistance R1 de tirage (pull-up) permet de garantir un niveau logique haut sur la broche RESET, tandis que le bouton P5 a pour fonction de mettre cette broche à la masse (niveau logique bas) afin de réinitialiser le microcontrôleur et redémarrer le programme pour un nouveau jeu.

Les broches 27, 18 et 14 (dans la partie dédiée au firmware, nous étudierons la correspondance avec les broches Arduino) du microcontrôleur sont utilisées comme sorties digitales.

Elles commandent respectivement les anodes rouge, bleue et verte de la LED RVB LD1. Les cathodes de LD1, qui sont communes, sont mises à la masse via la résistance de limitation R15.

En réalité, nous aurions dû utiliser une résistance pour chaque anode, car les différentes caractéristiques des trois couleurs ont des valeurs différentes. Cependant, cela n'est pas primordial car une seule couleur à la fois est utilisée.

Dans la pratique, l'utilisation d'une seule résistance pour les trois couleurs nous permet d'obtenir les effets optiques nécessaires avec seulement deux composants au lieu de quatre (ou six, si nous avions utilisé des LED séparées). Ceci, toujours dans l'intention de développer un circuit aux dimensions compactes.

Les broches 28, 2, 3 et 4 sont configurées en entrées digitales. Les résistances internes de tirage (pull-up) sont activées dans le programme pour les quatre boutons qui permettent de changer les symboles affichés.

Les broches 6, 11, 12 et 13 commandent les quatre anodes des deux afficheurs doubles, en utilisant autant de circuits de commutation constitués

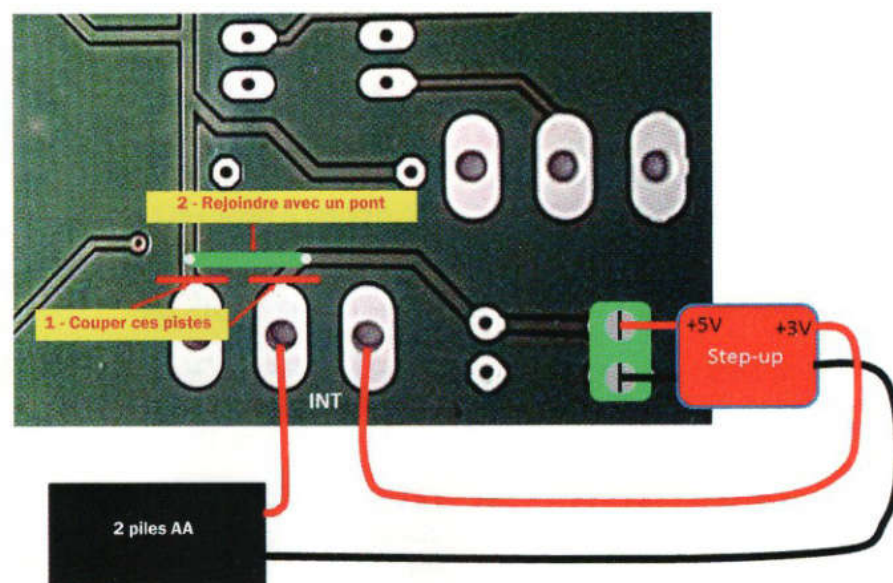
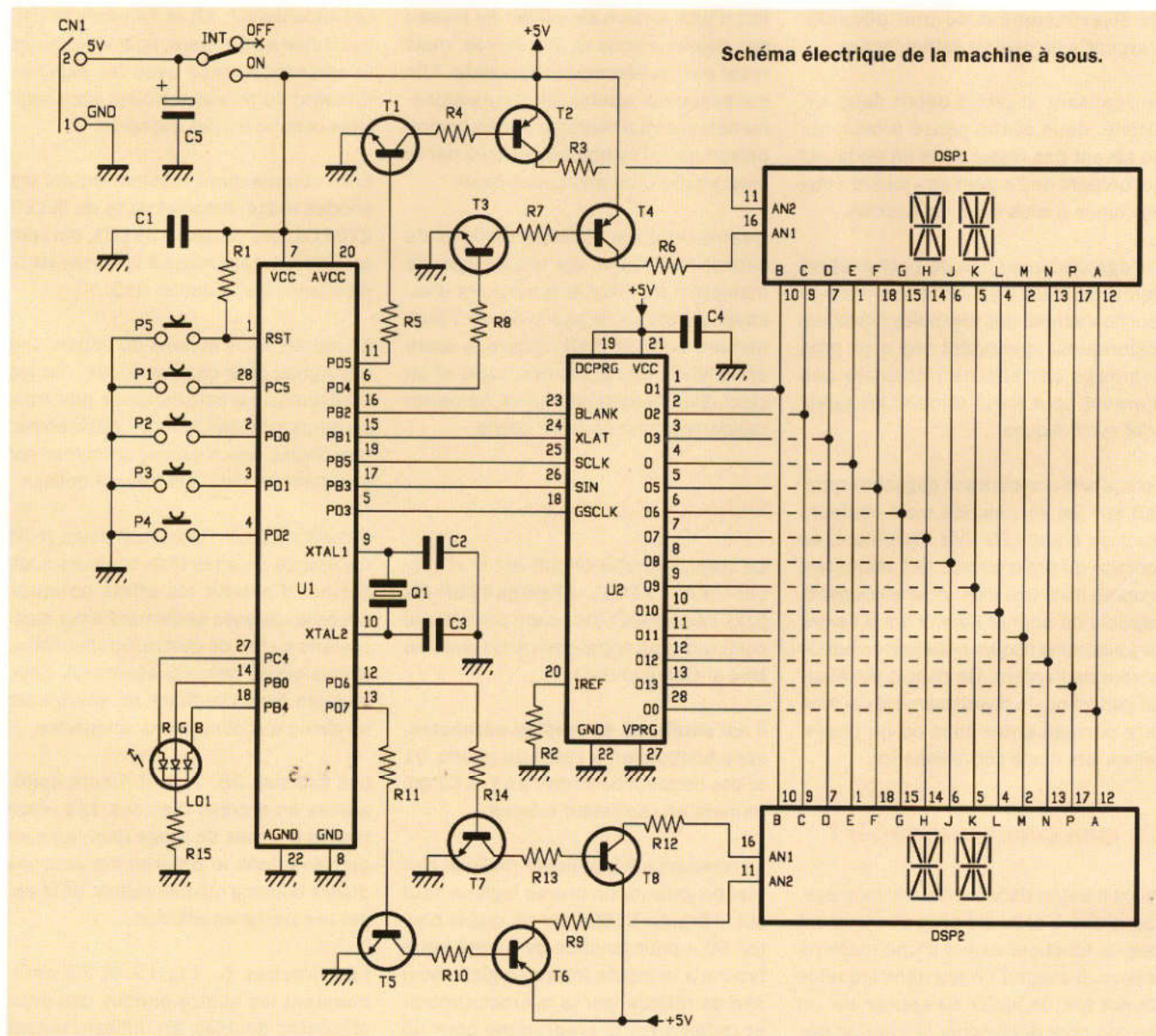


Figure 1 : modification du circuit imprimé et connexion du convertisseur DC/DC.



chacun d'une paire de transistors complémentaires (un NPN et un PNP) et de trois résistances, comme l'indique clairement le schéma électrique.

DSP1 et DSP2 sont des afficheurs alphanumériques à deux chiffres, ils sont pilotés à l'aide de la technique du multiplexage, c'est-à-dire que les 14 segments sont connectés en parallèle et les anodes sont communes.

Dans notre circuit, les segments des afficheurs sont reliés en parallèle pour les quatre symboles, de sorte qu'un seul circuit driver TLC5940 (U2) pilote l'ensemble des afficheurs. Nous avons utilisé les sorties « OUT0 » à « OUT13 ».

Le circuit TLC5940 est commandé par le microcontrôleur à l'aide de 5 signaux :

- la broche 16 du microcontrôleur contrôle le signal « BLANK » du circuit U2 (broche 23) ;
- la broche 15 du microcontrôleur contrôle le signal « XLAT » du circuit U2 (broche 24) ;
- la broche 19 du microcontrôleur contrôle le signal « SCLK » du circuit U2 (broche 25) ;
- la broche 17 du microcontrôleur contrôle le signal « SIN » du circuit U2 (broche 26) ;
- la broche 5 du microcontrôleur contrôle le signal « GSCLK » du circuit U2 (broche 18).

La broche « VPRG » (broche 27) du circuit U2 est connectée à la masse, tandis que la broche « DCPRG » (broche 19) est connectée au pôle positif de l'alimentation.

Enfin, la broche 20 de U2 (« IREF » qui génère le courant de référence pour les segments des afficheurs) est connectée à la masse via la résistance R2 afin de limiter le courant circulant dans chaque segment à environ 10 mA.

Pour ceux qui souhaitent en savoir plus sur le circuit driver TLC5940, consultez la documentation technique à l'adresse :

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc5940.pdf>.

Comme nous l'aborderons plus loin dans l'article, tous les signaux de commande sont gérés par le microcontrôleur grâce à la librairie spécifique « **TLC5940.h** », téléchargeable dans le sommaire détaillé de la revue.

Figure 2 : Ici vous pouvez voir les supports situés sous les afficheurs et la LED RVB.

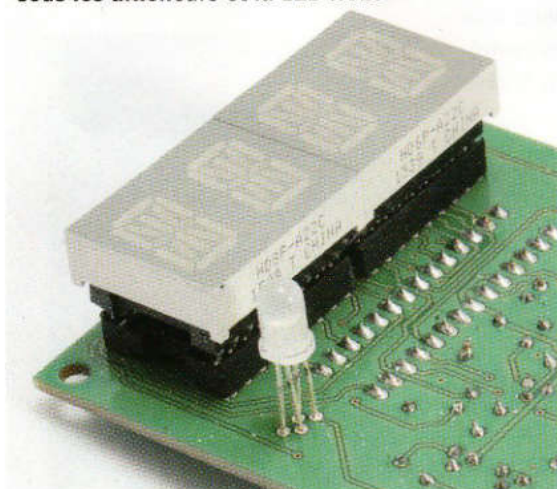
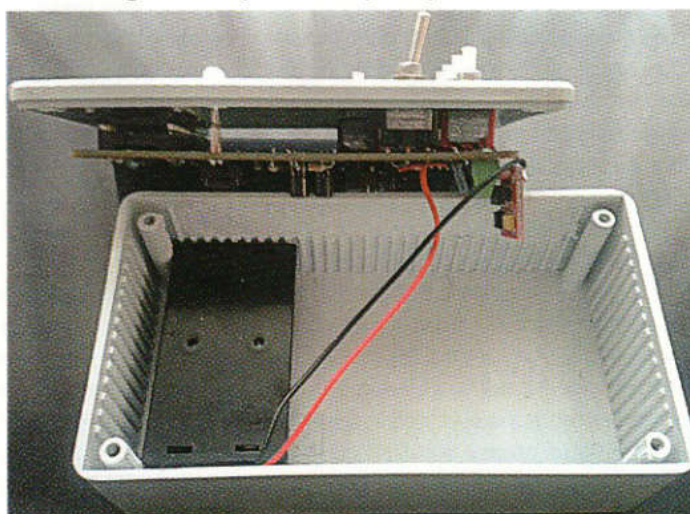


Figure 3 : disposition du porte pile dans le boîtier.



Enfin, les condensateurs C1 et C4 ont pour fonction de découpler l'alimentation, tandis que le condensateur C5 filtre la tension provenant de l'alimentation externe. Le circuit doit être alimenté avec une tension de 5 VDC pouvant fournir un courant de 200 mA.

Dans notre prototype, nous avons également testé une version alimentée par 2 piles de type AA en série, afin d'obtenir 3 V. Cette solution convient parfaitement pour une utilisation nomade. Dans ce cas, nous avons utilisé un convertisseur DC/DC de type « step-up » dont la référence est NCP1402 afin d'obtenir une tension de 5 VDC.

L'entrée du convertisseur est reliée aux 2 piles et la sortie au connecteur CN1 (5V).

Si vous souhaitez tester cette solution, il est conseillé d'installer un interrupteur sur l'entrée positive du convertisseur DC/DC afin d'empêcher une consommation de courant, même lorsque le circuit n'est pas alimenté.

Par conséquent, il est nécessaire de modifier le circuit imprimé de manière à isoler les trois broches de l'interrupteur et les utiliser pour interrompre le positif du 3 V provenant des 2 piles et allant au convertisseur DC/DC.

La modification est décrite en figure 1. Si vous disposez d'une source de tension de 5 V, alimentez directement le circuit sans convertisseur DC/DC.

La construction

Passons maintenant à la réalisation pratique de la machine à sous, pour laquelle il est nécessaire de préparer un circuit imprimé double face à partir des fichiers téléchargeables sur notre site web, dans le sommaire détaillé de la revue.

L'assemblage des composants est une opération assez simple, étant donné qu'ils sont tous de type traversant, les différentes pastilles (pad) sont donc assez éloignées les unes des autres.

Une fois le circuit imprimé gravé et percé, il est préférable, comme toujours, de commencer par souder les composants ayant un profil bas. Commencez donc par les résistances, puis les supports des deux circuits intégrés U1 et U2.

Continuez en soudant les condensateurs non polarisés, puis les transistors en vérifiant leur orientation. Soudez ensuite le condensateur polarisé en vérifiant son orientation, puis continuez par le quartz et le bornier d'alimentation qui sera monté du côté composants (face supérieure) du circuit imprimé.

NB : vous devez faire très attention lors de l'insertion des supports, de sorte que le repère en forme de « U » soit orienté comme indiqué sur le plan de câblage des composants. Faites attention aussi à l'orientation des circuits intégrés U1 et U2 lors de leur insertion.

N'oubliez pas que le microcontrôleur doit d'abord être programmé avant d'être mis en place dans son support, sinon le circuit ne fonctionnera pas.

Maintenant, vous devez souder les composants restants, à savoir les cinq boutons, l'interrupteur d'alimentation, la LED RVB et les deux doubles afficheurs alphanumériques qui seront montés du côté soudures (face inférieure) du circuit imprimé.

Ces derniers ne doivent pas être soudés directement sur le circuit imprimé, mais insérés dans des supports afin qu'ils soient positionnés à fleur du couvercle du boîtier.

De même, la LED doit être positionnée et soudée de manière à dépasser du couvercle (voir la figure 2).

A propos de l'interrupteur et des boutons, l'idéal serait de trouver des modèles disposant de broches à souder. Sinon, pour les souder dans les pastilles du circuit imprimé, vous devez utiliser des morceaux de pattes de composants (par exemple, ceux excédentaires des résistances).

Ne commettez pas l'erreur d'agrandir les trous du circuit imprimé pour faire entrer directement l'interrupteur et les boutons sur le circuit imprimé, car cette opération ferait disparaître la métallisation et les connexions entre les deux faces, rendant ainsi impossible le fonctionnement du circuit.

Le boîtier

En ce qui concerne le boîtier dans lequel nous avons installé le circuit de notre machine à sous, nous avons trouvé un boîtier référence « COFFER-2.9 » (125 x 70 x 39 mm), disponible sur le site de TEK0.

Vous devez percer un trou de 5 mm pour la LED, puis 6 trous de 6,5 à 7 mm pour les boutons et l'interrupteur et enfin vous devez pratiquer une ouverture rectangulaire de 51 mm x 21 mm pour les afficheurs. Vous pouvez naturellement adopter votre propre solution concernant la mise en boîtier.

Le circuit imprimé est fixé au couvercle au moyen des boutons en utilisant des écrous. Sous la partie afficheurs, à l'intérieur du boîtier, se trouve le support des piles (voir la figure 3).

Le porte pile, en plus de remplir sa fonction spécifique, sert d'épaisseur pour le circuit imprimé, de manière à maintenir les afficheurs à fleur du couvercle.

Une fois l'assemblage terminé, notre jeu électronique ressemblera à celui de la figure 4. Rappelez-vous qu'avant d'être inséré dans son support, le microcontrôleur doit être programmé de manière appropriée.

Le firmware

Le programme qui assure le fonctionnement de notre machine à sous est relativement simple, en raison du fait qu'il existe une librairie spécifique pour gérer le driver TLC5940 avec le microcontrôleur sélectionné. Nous allons maintenant décrire la structure et le fonctionnement du firmware.

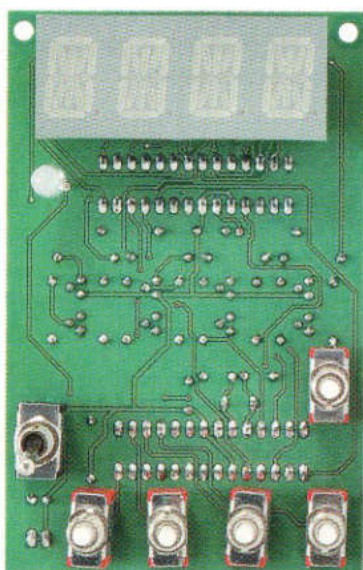
Après l'inclusion de la librairie « Tlc5940.h », nous avons la déclaration des constantes qui servent à préréglager la valeur du signal PWM commandant le driver, la luminosité des afficheurs, le nombre de symboles (nous en avons prévu 19, mais vous pouvez les augmenter en modifiant le programme), le nombre de segments utilisés (14 dans le cas du HDSP-A2XC) ainsi que la

Figure 4 : la machine à sous montée dans son boîtier en plastique.

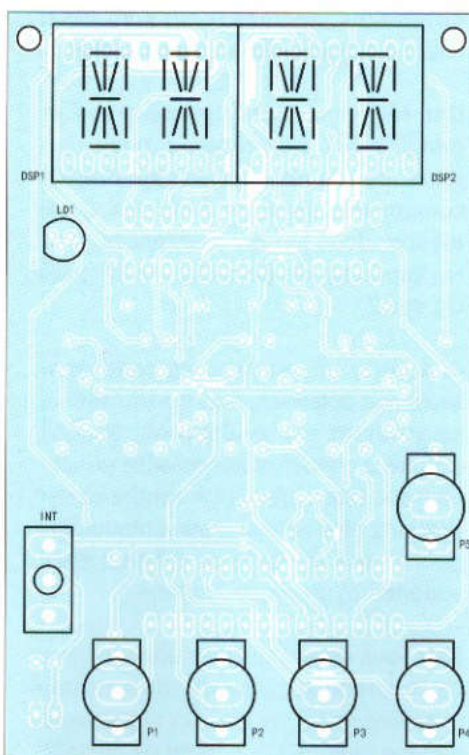


durée du multiplexage, que nous décrivons plus tard. Après la déclaration des constantes, nous trouvons la matrice booléenne de création de symboles.

Plan de montage de notre machine à sous



Le prototype de la machine à sous vu du côté soudures (face inférieure).



Plan de câblage des 5 boutons, de l'interrupteur, de la LED RVB et des deux doubles afficheurs du côté soudures (face inférieure).

Liste des composants de la machine à sous

- R1..... 10 kΩ
- R2..... 4,7 kΩ
- R3..... 100 Ω
- R4..... 2,2 kΩ
- R5..... 10 kΩ
- R6..... 100 Ω
- R7..... 2,2 kΩ
- R8..... 10 kΩ
- R9..... 100 Ω
- R10.... 2,2 kΩ
- R11 ... 10 kΩ
- R12 ... 100 Ω
- R13 ... 2,2 kΩ
- R14.... 10 kΩ
- R15 ... 330 Ω
- C1..... 100 nF céramique
- C2..... 22 pF céramique
- C3..... 22 pF céramique
- C4..... 100 nF céramique
- C5..... 10 µF 16 VL électrolytique
- P1..... bouton poussoir
- P2..... bouton poussoir
- P3..... bouton poussoir
- P4..... bouton poussoir

Tableau 1 : la matrice de construction des symboles.

SYMBOLE	SEGMENT (0=éteint 1=allumé)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
4	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
5	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
6	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
9	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
A	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
B	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
C	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
D	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
E	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
F	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
GS	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
GI	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
GT	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Dans la pratique, chaque ligne représente le symbole affiché avec un commentaire en fin de ligne (la première ligne correspond au symbole « 0 » et le dernier nous l'appelons « GT »), qui consiste en une série de 0 et 1 qui

seront utilisés pour éteindre (0) ou allumer (1) le segment relatif (dont la liste apparaît sur la ligne précédant la déclaration de la matrice et va de « A » à « P », à l'exclusion de « O »). Comme vous pouvez facilement le comprendre,

la liste pourrait être considérablement augmentée avec toutes les autres lettres de l'alphabet (elle s'arrête actuellement à la lettre « F ») et avec toute une série de symboles « graphiques » en combinant un ou plusieurs

P5..... bouton poussoir

INT..... interrupteur à levier

T1..... BC547

T2..... BC557

T3..... BC547

T4..... BC557

T5..... BC547

T6..... BC557

T7..... BC547

T8..... BC557

Q1..... Quartz 16 MHz

U1..... ATMEGA328P-PU
(MF1327)

U2..... TLC5940

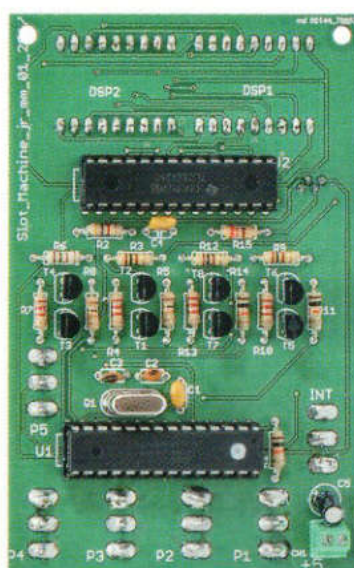
LD1.... LED 5 mm RVB à cathode commune

DSP1 ; DSP2 afficheur à LED alphanumérique à 2 digits de 14 segments à anode commune

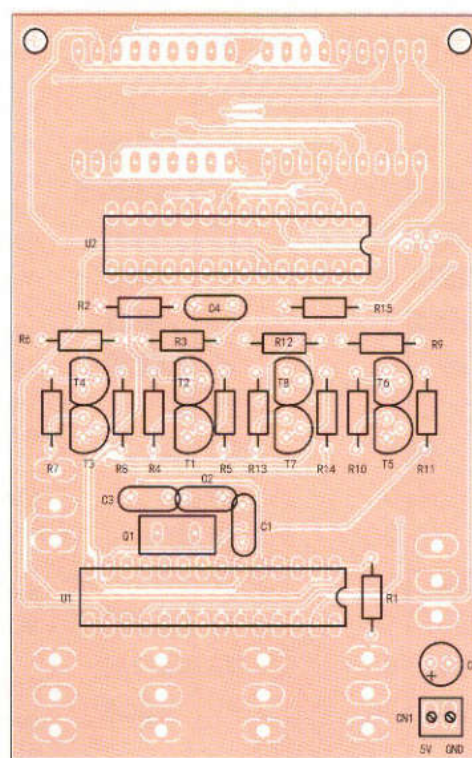
Divers

Support circuit intégrés 2 x 14 broches (x2)

Bornier 2 pôles au pas de 2,54mm



Le prototype de la machine à sous vu du côté composants (face supérieure).



Plan de câblage des composants (face supérieure).

segments ne représentant ni un chiffre ni une lettre (nous avons créé 3 symboles de ce type).

Dans le tableau 1, nous avons représenté notre matrice sous la forme d'un tableau pour faciliter la compréhension de la génération des symboles.

Naturellement, si vous décidez d'augmenter le nombre de symboles, vous devrez modifier la valeur de la constante « **n_sym** », tandis que si vous adoptez un affichage alphanumérique différent du nôtre avec un modèle ayant un nombre différent de segments, vous devrez modifier la constante « **n_seg** ».

À ce stade, nous déclarons les variables, à savoir, la matrice des symboles affectés aux quatre afficheurs, le symbole, le segment, une matrice avec tous les segments, l'affichage unique, le compteur de score et le nombre de « tirs » du levier virtuel représenté par le bouton P5, nécessaire pour remplacer les symboles.

Nous avons prévu quatre tentatives, mais vous pouvez modifier la valeur de cette variable afin de les augmenter ou de les diminuer.

ATmega 328P-PU

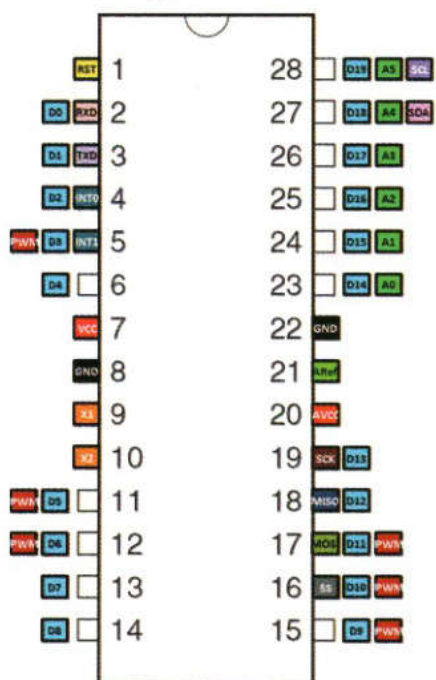


Figure 5 : correspondance entre les broches de la carte Arduino et le microcontrôleur ATmega328P-PU.

Ensuite, nous abordons la configuration des broches, qui termine cette section initiale du programme. Cette dernière contient simplement les noms affectés aux trois broches de sortie servant à piloter la LED RVB et ceux attribués aux quatre broches d'entrée pour les boutons de changement de symbole.

La section SETUP du firmware

Dans cette partie du programme, la librairie du TLC5940 est activée, puis la routine est exécutée pour allumer tous les segments des quatre afficheurs pendant deux secondes, puis les trois sorties et les quatre entrées décrites ci-dessus sont activées.

Dans ce dernier cas, les résistances internes de tirage (pull-up) sont activées, puisque les boutons sont reliés à la masse.

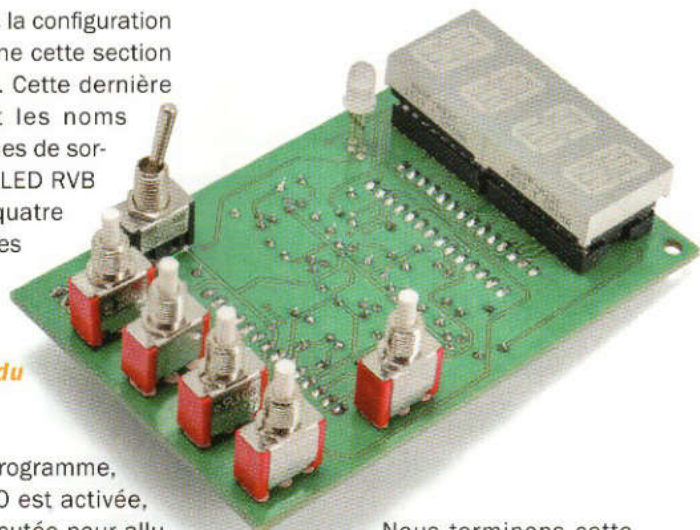
À ce stade, les quatre broches analogiques libérées du microcontrôleur sont lues et les valeurs permettent d'initialiser le générateur de nombres aléatoires, en le démarrant à partir de n'importe quelle position de la séquence aléatoire qui, bien que longue et aléatoire, reste toujours la même.

Cette astuce, recommandée par le site officiel d'Arduino (<https://www.arduino.cc/en/Reference/RandomSeed>), est suivie de l'instruction « **random** ». Cela permet donc d'obtenir quatre symboles aléatoires pour chaque nouveau jeu.

L'instruction « **random** » est limitée à 19 valeurs (de 0 à 18) par la constante « **n_sym** », elle sélectionnera donc quatre symboles de la matrice décrite ci-dessus.

Ces symboles sont aléatoires, mais ils peuvent également être égaux, générant ainsi un score initial, calculé par la routine « **count()** » et visualisé par la routine « **LED()** ».

Enfin, la routine « **value_mem()** », basée sur le symbole déjà attribué à chaque afficheur, extrait de la matrice la combinaison de segments à afficher en lui affectant la valeur « **PWM** » fournie par la constante « **light** » ou la laisse inactive.



Nous terminons cette section en signalant que les références numériques des broches digitales utilisées en tant qu'entrées « **INPUT** (19, 0, 1, 2) » ou en tant que sorties « **OUTPUT** (18, 12, 8) » ou pour les lectures analogiques « (0, 1, 2, 3) » sont complètement différentes des broches physiques correspondantes visibles dans le schéma électrique.

L'explication est simple, puisque nous utilisons l'IDE Arduino pour programmer le microcontrôleur, les références sont celles sérigraphiées à côté du connecteur de la carte Arduino. Les choses seront plus claires en observant la figure 5.

L'image montre les broches physiques du microcontrôleur en correspondance avec les fonctions attribuées aux broches de la carte Arduino. En particulier, nous nous intéressons aux broches marquées « **DX** » (digitales) et « **AX** » (analogiques).

La section LOOP

Comme les utilisateurs d'Arduino le savent, il s'agit de la section (ou routine) qui exécute à l'infini le programme, ou du moins jusqu'à ce que le bouton RESET soit pressé ou que le circuit soit éteint. La boucle « **for** » envoie au driver TLC5940 les instructions pour l'activation des segments du symbole attribué au premier afficheur.

L'instruction « **tlc.update()** » initialise le driver et l'instruction « **digitalWrite** » met à un niveau logique haut la broche 6 (qui est configurée en sortie) du microcontrôleur.

Cette dernière gère le circuit d'alimentation de l'anode du premier afficheur (constitué de T3, T4, R6, R7 et R8).

Dans la pratique, le driver relie virtuellement les segments à allumer du premier afficheur à la masse. D'autre part, le microcontrôleur relie au positif de l'alimentation l'anode de cet afficheur, ce qui provoque une circulation de courant et donc la visualisation du premier symbole.

Après un temps d'affichage défini par l'instruction « **delay()** », dont la valeur est imposée par la constante « **mux** » (d'une valeur comprise entre 20 ms et 25 ms), le driver est réinitialisé et l'afficheur s'éteint. Puis le cycle de la boucle « **LOOP** » passe au second afficheur et ainsi de suite jusqu'au quatrième.

Ensuite, l'exécution de la routine « **LED()** » affiche le score, puis le programme vérifie si l'un des quatre boutons est pressé pour modifier le symbole relatif.

Dans le cas positif, (l'instruction « **delay(100)** » sert d'anti-rebond pour les boutons), cette séquence suivante d'opérations est effectuée :

1. un nouveau symbole aléatoire est attribué à l'afficheur ;
2. les segments relatifs à activer sont définis ;
3. le nouveau score est recalculé ;
4. la variable « **tiri** » est incrémentée ;
5. tous les segments des quatre afficheurs s'allument ;
6. la boucle « **for** » recommence pour afficher la nouvelle combinaison.

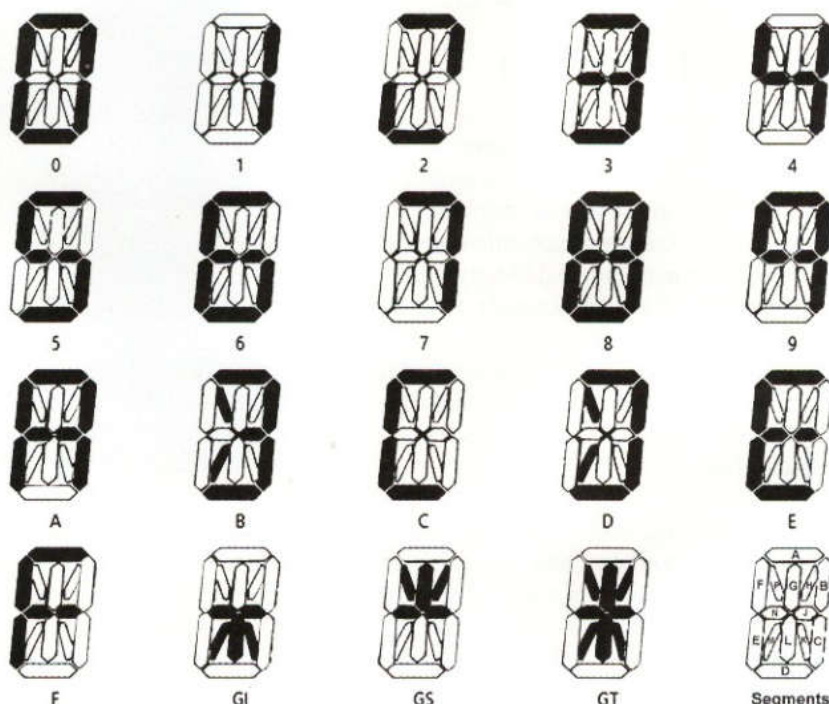
L'appui sur les boutons est ignoré après la quatrième tentative, ainsi le jeu est considéré comme terminé. À ce stade, vous ne pouvez que redémarrer une nouvelle partie en appuyant sur le bouton « **RESET** ».

La section ROUTINE

Dans cette section, sont regroupées les différentes routines exécutées durant le fonctionnement. Ci-après un bref résumé :

- **all_display()** : active tous les segments de tous les afficheurs pendant deux secondes. La double fonction permet de vérifier le bon

Figure 6 : les graphiques des symboles disponibles.



fonctionnement des afficheurs et de masquer la combinaison qui sera visualisée ultérieurement ;

- **LED()** : pilote la LED RVB, en visualisant une seule couleur ou la séquence des trois couleurs basée sur le score attribué par la combinaison actuelle des symboles présents sur les quatre afficheurs ;
- **count()** : calcule le score en fonction des combinaisons gagnantes. Dans notre cas, nous avons prévu des combinaisons de type « **poker** », mais la routine peut être facilement modifiée pour d'autres types de combinaisons. Par exemple, les séquences gagnantes pourraient être des suites de lettres ou de chiffres (AB, ABC, ABCD ou 12, 135, 1234), en attribuant un score de 1 à 4 ;

- **value_mem()** : effectue quatre cycles pour assigner à chaque afficheur les segments à activer, basé sur le symbole défini par l'instruction « **random** ».

La programmation du microcontrôleur

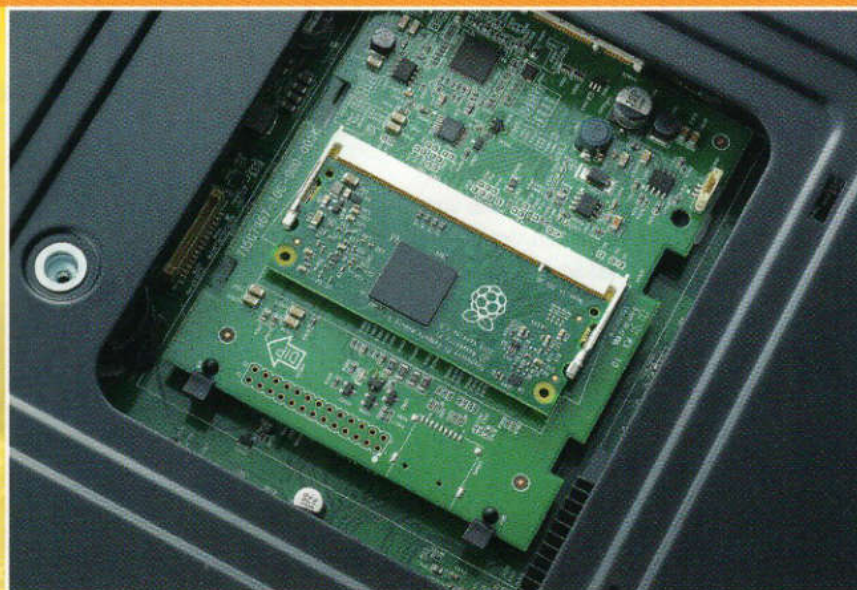
À ce stade, le circuit est prêt pour le chargement du firmware dans le microcontrôleur, que ce soit celui disponible en téléchargement ou une version modifiée selon vos besoins. L'opération est effectuée par programmation ISP (In System Programming). La configuration des fusibles du microcontrôleur doit correspondre aux valeurs suivantes : low = FF, high = DF, ext = 07.

Tableau 2 : affichage des gains.

Combinaison des symboles	Score	Couleur de la LED
Paire (2 symboles identiques)	1	rouge
Double paire (2 paires de symboles identiques)	2	bleue
Brelan (3 symboles identiques)	3	verte
Poker (4 symboles identiques)	4	clignotante RVB

L'intelligence dans l'écran

NEC a récemment intégré le RaspberryPi dans les options du module OPS de ses écrans de la série « P » et « V » grand format pour la signalisation numérique. D'autres applications prennent en charge la plate-forme NEC OMi (Open Modular Intelligence). Plus précisément, le slot OPS avec lequel les écrans sont équipés, prend désormais en charge le RaspberryPi Compute Module 3 (CM3), une version SODIMM DDR2 qui garantit les mêmes fonctions de base que le RaspberryPi 3.



Cela permet de transformer l'écran NEC hautes performances en un système embarqué pour créer des solutions multimédia entièrement intégrées et autonomes, également en termes de gestion et de création de contenu, en tirant parti de la plateforme logicielle open source et des performances du CM3. Ce dernier comporte un SoC Broadcom BCM2837 de 64 bits, basé sur un processeur quad-core ARM Cortex-A53 avec une fréquence d'horloge de 1,2 GHz et 1 Go de RAM LPDDR2, en plus des 4 Go de mémoire flash. Le Raspberry Pi Compute Module 3, pour les écrans de la firme japonaise, est en version NEC Edition.

Pour de plus amples informations, vous pouvez consulter la page web suivante (en anglais) : <http://www.open-electronics.org/arduino-isp-in-system-programming-and-stand-alone-circuits/>.

Le fonctionnement

Une fois les assemblages électronique et mécanique de la machine à sous terminés, il est enfin possible de passer à la phase de test. Il suffit de connecter une source d'alimentation de 5 VDC ou de 3 VDC via le module convertisseur DC/DC NCP1402 (ou à un autre circuit convertisseur équivalent), en prêtant une attention particulière à la polarité !

Dès que le circuit est alimenté, en manœuvrant l'interrupteur, les 14 segments des quatre afficheurs s'allument pendant deux secondes, puis chaque afficheur visualise l'un des 19 symboles disponibles (voir la figure 6).

La LED ne s'allume que si les quatre symboles affichés permettent d'obtenir l'une des combinaisons gagnantes possibles, comme indiqué dans le tableau 2. Elle s'allumera donc en rouge dans le cas d'une paire, en bleu dans le cas de deux paires, en vert dans le cas d'un breelan.

Pour la combinaison « poker », elle dispose de son propre graphisme. La LED alterne entre ses trois couleurs principales et l'affichage clignote (ON/OFF) au rythme d'une seconde, créant ainsi une mise en scène digne du gain maximal !

Le joueur peut intervenir sur le score en modifiant un ou plusieurs symboles, en appuyant sur le bouton correspondant.

Les quatre afficheurs visualiseront à nouveau tous les segments allumés et, après deux secondes, les symboles précédents seront à nouveau visibles, à l'exception du nouveau généré par une pression sur le bouton relatif (qui, en raison de son caractère aléatoire, pourrait rester inchangé).

Si le nouveau symbole coïncide avec un ou plusieurs des symboles déjà présents, l'état de la LED changera en fonction du nouveau score obtenu.

Il est possible d'effectuer quatre tentatives sur un ou plusieurs boutons. Après le quatrième essai, le jeu sera terminé. Vous devrez alors commencer un nouveau en appuyant sur le bouton RESET.

NB : le système de multiplexage, que nous avons adopté afin de simplifier le circuit et de le rendre nomade, ne nécessite qu'un seul driver pour piloter tous les segments des quatre afficheurs, tandis que le microcontrôleur prend en charge la commutation séquentielle des quatre anodes.

Cette technique a deux types d'effets : le premier provoque un clignotement des symboles, mais l'effet optique obtenu en raison de la persistance des images sur la rétine, fera que vous verrez toujours les symboles allumés. Le second est que certains segments clignoteront alors qu'ils devraient être éteints.

Cela dépend du temps de réinitialisation du driver, qui est malheureusement supérieur au temps de commutation du multiplexeur.

Cet effet peut être réduit en augmentant la valeur de la constante « mux ».

Tableau 3 - Fonction des boutons.

Bouton	Fonction
P1	Modifie le quatrième chiffre de la combinaison extraite
P2	Modifie le troisième chiffre de la combinaison extraite
P3	Modifie le second chiffre de la combinaison extraite
P4	Modifie le premier chiffre de la combinaison extraite
P5	Démarre une nouvelle partie

cependant l'effet visuel de clignotement des quatre afficheurs augmenterait également.

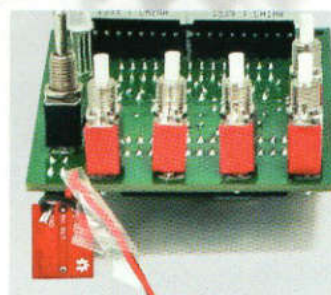
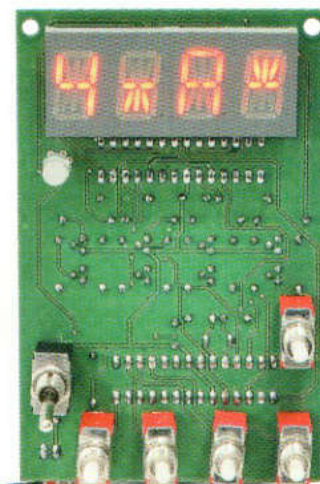
Cependant, nous vous assurons qu'après les premiers instants d'utilisation, ces effets inhabituels ne seront plus remarqués, car les segments réellement allumés seront bien plus visibles que ceux qui clignotent légèrement.

Dans tous les cas, en agissant sur les deux constantes « light » et « mux », vous pouvez ajuster ces deux effets de manière à ce que l'affichage vous convienne mieux.

Pour obtenir un meilleur affichage, il aurait fallu adopter deux drivers (puisque les afficheurs sont doubles).

Pour supprimer complètement ces effets, il aurait fallu adopter quatre afficheurs séparés et quatre drivers, un pour chaque afficheur, avec pour conséquence

Figure 7 : ici le circuit en fonctionnement, alimenté par deux piles. Le convertisseur DC/DC se trouve à l'arrière, vissé au bornier d'alimentation (image du bas).



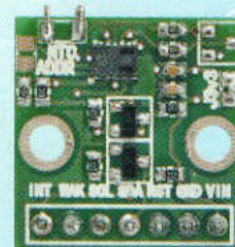
une augmentation disproportionnée des coûts et de la taille du circuit qui, finalement, ne serait plus un jeu nomade.

Avec ceci, nous concluons ce montage et nous vous souhaitons des bons moments de divertissement.

Analyseur de la qualité de l'air

Basée sur le capteur CCS811 d'AMS, cette breakout board permet de connaître la concentration de dioxyde de carbone (afin d'indiquer à quel point l'air dans un environnement fermé est défectueux) et la concentration de COVT (Composés Organiques Volatils Totaux) en parties par milliard de particules en suspension. Afin d'obtenir des données en CO2 précises en fonction de la température ambiante, la carte dispose d'une entrée CTN (en option). Grâce à la présence d'un adaptateur de niveau logique TTL, cette breakout board est compatible avec les différentes cartes Arduino et en général avec tous les circuits à microcontrôleurs ayant une logique de fonctionnement en 5 V et à 3,3 V. Dimensions : 21 mm * 21 mm

NB : l'écran OLED couleur, la carte Arduino Micro, la sonde de température CTN, le boîtier et l'alimentation USB 5V doivent être achetés séparément en supplément de la breakout board



Réf. : 7100-FT1331M

Prix : 32,00€

Boîtier en plastique fabriqué avec une imprimante 3D, il convient parfaitement pour le projet « Analyseur de la qualité de l'air. Vous pouvez choisir la couleur et le type de matériau parmi ceux énumérés. Pour ce type d'objet, nous recommandons de sélectionner le PLA en tant que matériau.

Options disponibles :

Matériau : PLA ; ABS (+ 30,50 €)

Couleur : Noir ; blanc ; Gris ; Rouge ; Orange ; Jaune ; Rose ; Vert ; Bleu

Réf. : 7300-CASEAIRQUALITY

Prix : 36,00€



Réf. : 850-OLEDRGBA

Prix : 13,60€

Écran OLED RVB de 0,95 ". Il est doté d'un bon contraste et de couleurs vives, il ne nécessite pas de rétroéclairage. Il comporte un contrôleur graphique SSD1331 de SOLOMON SYSTECH, avec interface SPI. Résolution : 128 px * 64 px, Dimension de la zone d'affichage en mm : 19 * 12. Dimension de l'écran (mm) : 37 * 32.

**FUTURA
ELECTRONICA**

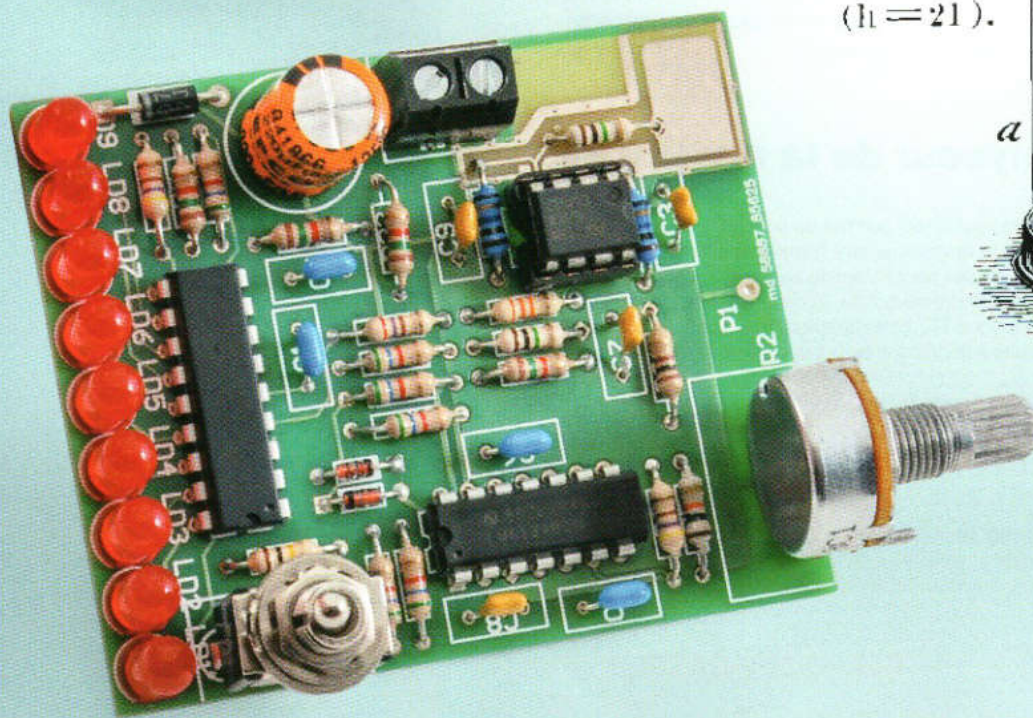
CD 908 - 13720 BELCODÈNE Tél. : 04 42 70 63 90 Fax : 04 42 70 63 95

www.comelec.fr

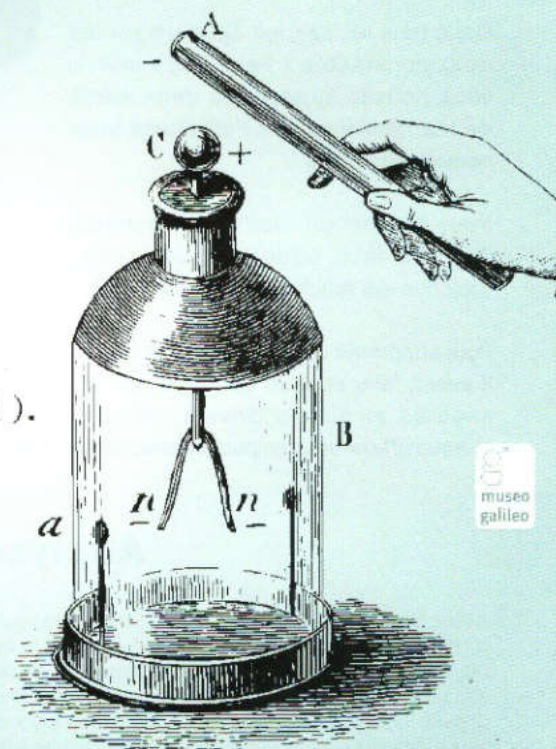
ELECTROMÈTRE avec bargraphe à LED

..... de Osvaldo Sandoletti

Nous vous proposons de construire un appareil simple et d'une grande sensibilité afin de mesurer l'électricité statique... et plus encore.



($h = 21$).



L'un des appareils qui occupent les laboratoires de physique des écoles et que beaucoup d'entre vous ont certainement vu au fil des années en tant qu'élèves, est l'électromètre sous sa forme canonique. C'est un appareil assez simple qui met en évidence l'électricité statique d'un corps.

Dans ces pages, nous vous proposons une version électronique, modernisée, où la quantité d'électricité statique présente sur un corps électrisé est visualisée par une rangée de LED.

L'électricité statique : causes et effets

Tous les **matériaux isolants** sont des **sources** potentielles d'**électricité statique**, c'est-à-dire qu'ils peuvent **emmagasiner et conserver une charge électrique positive ou négative** par rapport à l'état neutre. Ce dernier correspond à un équilibre où la quantité de charge positive est égale à celle de la charge négative.

La charge électrique prend naissance dans l'atome, élément de base constituant la matière, où l'on trouve un

noyau composé de charges positives, appelées protons, agrégées par des particules appelées neutrons. Les charges négatives sont représentées par les électrons, qui tournent autour du noyau selon des trajectoires ondulatoires appelées orbitales.

Bien qu'ils aient une masse très différente, les protons et les électrons ont la même charge, mais de signe opposé et l'atome est en condition d'équilibre lorsqu'ils sont en nombre égal. La somme des charges individuelles, en tenant compte de la polarité, est appelée charge nette et est nulle que dans des conditions particulières.

Car chaque atome, dans des conditions normales, a une valence c'est-à-dire une défaillance de charge au niveau de ses dernières orbitales.

La couche de valence (ou couche périphérique) d'un atome est sa dernière couche électronique partiellement ou totalement remplie. Lorsqu'une défaillance de charge se produit dans les atomes constituant un matériau, on dit que le corps est chargé.

Puisque les protons sont internes au noyau de l'atome et ne peuvent donc pas bouger, l'accumulation de charge ne peut se produire que par le déplacement des électrons. Un corps se chargera alors négativement si on ajoute des électrons et positivement si on les enlève.

Cette accumulation peut être obtenue de trois manières différentes :

- **par contact** (mise en contact d'un corps déjà chargé avec un autre, il existe une répartition des charges en excès entre le premier et le second) ;
- **par induction** (en plaçant un corps déjà chargé à côté d'un autre, ce dernier se charge avec un signe opposé au premier) ;
- **par frottement** (frottement de deux corps de matériau différent, même s'ils étaient tous les deux dans un état neutre).

Ce dernier phénomène (appelé effet **triboélectrique**, du grec tribos = frottement) est le principal phénomène responsable du chargement électrique de presque tous les objets isolants auxquels nous sommes confrontés dans notre vie quotidienne.

Il suffit de marcher, car nos chaussures ont une semelle isolante qui frotte sur le sol et accumule des charges électriques, ou encore il suffit de frotter un chiffon synthétique contre tout autre objet isolant, etc.

La **triboélectricité** désigne le phénomène électrostatique créé par la mise en contact de deux matériaux de nature différente : une partie des électrons de la surface de contact d'un des deux matériaux est transférée à l'autre et ce transfert subsiste lors de la séparation.

L'effet triboélectrique peut être augmenté par apport d'énergie mécanique en frottant les matériaux l'un contre l'autre.

L'électroscope et l'électromètre

Inventé par l'abbé Nollet en 1747, l'électroscope fut un outil fondamental pour la détection et la caractérisation d'une charge électrique, un phénomène connu depuis un certain temps à l'époque et qui était difficile à recréer. Le modèle le plus connu (et toujours utilisé à des fins de démonstration dans les laboratoires de physique) est l'électroscope à feuilles d'or, illustré en figure A.

Il est constitué d'une tige conductrice reliée en son sommet à une sphère en métal (ou une petite plaque), tandis que l'extrémité inférieure est accrochée à deux fines feuilles d'or. Ces dernières n'ont pas de contraintes sur leurs extrémités inférieures, elles restent ainsi libres de se déplacer. L'ensemble est enfermé dans une ampoule de verre afin d'éviter des perturbations avec l'air ambiant.

En l'absence de charge, il n'y a pas de force d'attraction ou de répulsion entre les feuilles et elles sont

disposées verticalement en raison de la force de gravité, proches et parallèles l'une de l'autre. Il suffit d'approcher de la sphère un corps chargé (sur la figure A il est chargé négativement). Celui-ci accumule par induction une charge de signe opposé qui est ensuite transmise par la tige conductrice aux deux feuilles, qui sont chargées à leur tour.

Comme leur charge est de polarité identique, une force répulsive s'établit entre les deux feuilles (selon la loi de Coulomb), ce qui tend à les éloigner l'une de l'autre en formant un « V » inversé. L'électroscope à feuilles d'or a fait l'objet d'améliorations successives (l'électroscope à condensateur de Volta est remarquable). Il a été équipé d'échelles graduées permettant de mesurer l'angle en degré des feuilles d'or pour trouver une corrélation avec la quantité de charge présente. Dans ce contexte, la désignation la plus correcte de l'instrument est un électromètre.

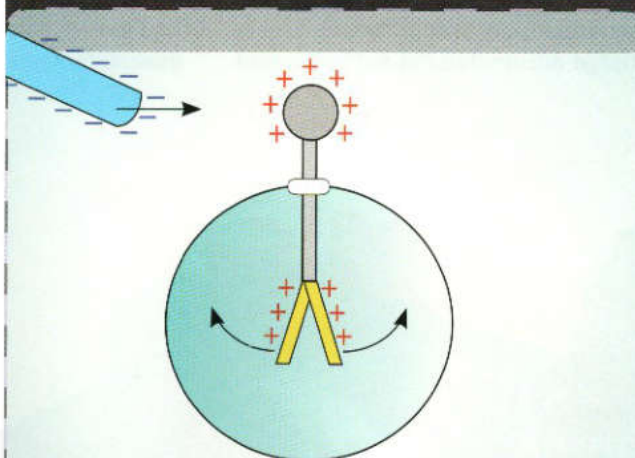


Figure A : un électromètre est composé de deux fines feuilles d'or suspendues à une électrode. Quand l'électrode est chargée, les feuilles se chargent à leur tour et se repoussent mutuellement (suivant la loi de Coulomb). L'angle ainsi formé est la mesure directe de la charge de l'électrode.

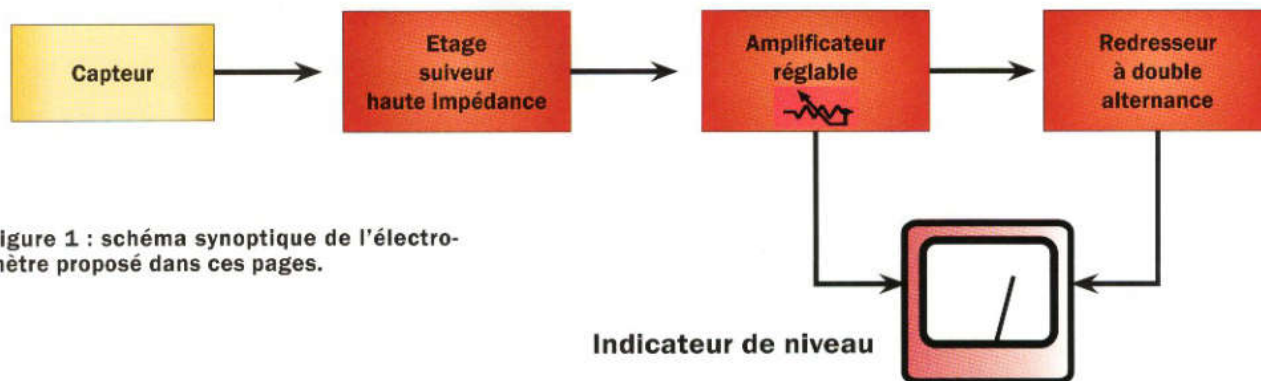


Figure 1 : schéma synoptique de l'électromètre proposé dans ces pages.

La charge nette, une fois accumulée, est alors retenue par le corps en raison de son isolement. Plus elle est grande, plus il faudra des charges pour la redistribuer, c'est-à-dire la « décharger », vers la terre ou sur d'autres objets ayant une charge différente.

L'environnement joue également un rôle important, les climats très secs favorisent la rétention des charges, tandis que l'humidité réduit l'isolation en accélérant la décharge d'un corps.

Mais comment savoir si un corps est « chargé » ?

Pour l'observer à un niveau macroscopique, il est nécessaire de lui donner un moyen de se décharger rapidement (par exemple, en le reliant au sol à l'aide d'un conducteur).

Le flux soudain de charges entraîne un pic de courant électrique élevé, mais instantané, qui produit souvent (si la charge accumulée est suffisamment

élevée) un petit arc électrique accompagné des crépitements classiques. Il s'agit de la décharge dite électrostatique.

Souvent, il nous arrive aussi, involontairement, de jouer le rôle de conducteur électrique. Ainsi, en touchant des objets chargés, nous ressentons un choc typique.

Par exemple, lorsque vous sortez de la voiture et que vous touchez la portière vous sentirez une décharge, car la voiture a accumulé des charges en roulant et est isolée de la terre grâce aux pneus.

Un système de mesure plus rigoureux ne devrait pas être basé sur le processus de décharge d'un corps, mais plutôt avoir une sensibilité suffisante pour détecter les charges (par contact ou par induction), sans que celles-ci ne soient modifiées de manière significative.

Ici, l'électromètre entre en jeu. Il s'agit essentiellement, dans notre variante

« électronique », d'un **voltmètre à très haute impédance d'entrée** pour pouvoir **mesurer le potentiel capté par une électrode** détectant une charge.

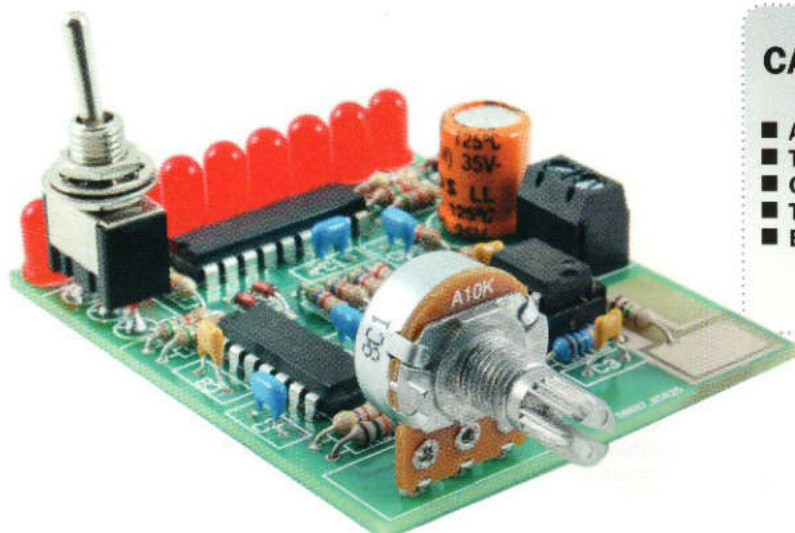
Cette charge (Q) est en fait reliée au potentiel (V) par la relation :

$$Q = C \cdot V$$

où C est la capacité formée par l'objet porteur de charge (constituant une armature d'un condensateur virtuel) et la référence de tension du circuit (la terre, qui est donc la deuxième armature virtuelle).

Étant donné que cette capacité est inconnue ou difficilement calculable (en fonction, entre autres, de nombreux facteurs, y compris notre propre proximité avec l'objet), il n'est pas possible de réaliser des mesures quantitatives du potentiel absolu de l'objet.

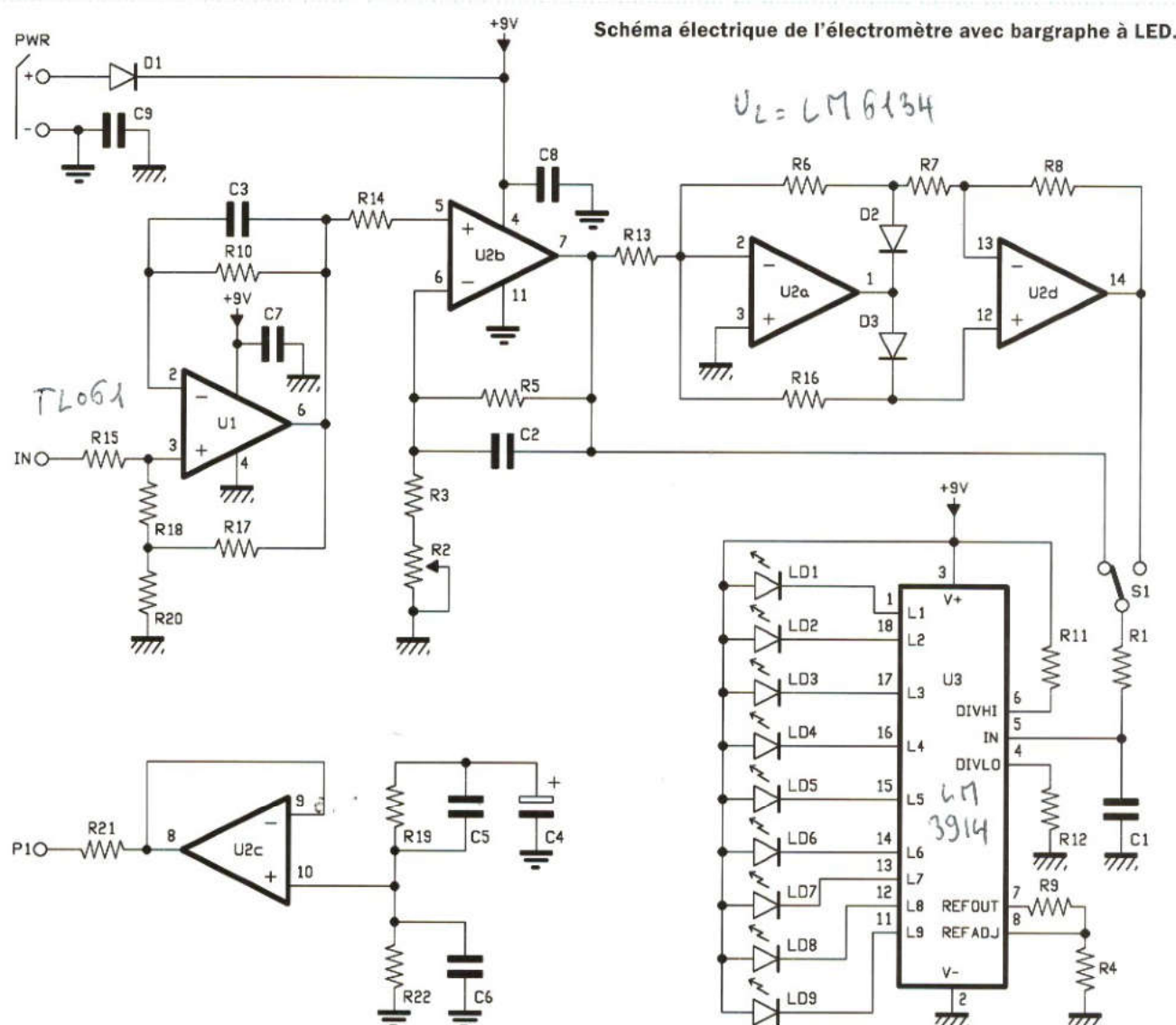
En figure 1, nous pouvons voir le schéma de principe général d'un tel dispositif.



CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

- Affichage : bargraphe à 9 LED (avec 0 central).
- Tension d'alimentation : de 9 VDC à 12 VDC.
- Consommation typique : 20 mA.
- Tension d'entrée minimale pleine échelle : +/- 200 mV.
- Bande passante (sans redressement) : de 0 Hz à 2 Hz.

PWR



L'électrode qui détecte l'électricité statique est constituée d'une tige de cuivre ou de tout autre conducteur, d'une surface appropriée pour pouvoir détecter la charge de l'objet à mesurer par contact direct, ou aussi par induction (dans ce cas, une charge de signe opposé à celle de l'objet s'accumule sur l'électrode).

Un **suiveur de tension** (buffer ou étage tampon) est connecté à ce capteur. Il a pour but de **séparer l'impédance entre l'entrée et la sortie**. En d'autres termes, l'impédance d'entrée « vue » par le capteur doit être très élevée.

L'impédance de sortie, en revanche, doit être suffisamment **basse pour piloter l'étage suivant** sans aucune atténuation du signal.

Ce dernier étage est un amplificateur à proprement parler, il est réglable de manière à adapter la sensibilité de l'affichage en fonction du niveau d'électricité statique détectée par le capteur.

Nous avons ensuite inséré un redresseur à double alternance, permettant de détecter également des charges variant dans le temps (c'est-à-dire alternatives). Celles-ci produisent des champs électriques variables qui peuvent être captés et détectés par notre instrument.

Comme application pratique de cette caractéristique, il est possible de **détecter la proximité des fils électriques dans les murs** d'une maison, car ils génèrent un champ alternatif de 50 Hz.

Schéma électrique

Regardons maintenant le schéma électrique de notre électromètre. En ce qui concerne la description, partons du circuit intégré **U1**, utilisé comme **suiveur de tension** pour **mesurer le potentiel détecté par la zone cuivrée** (c'est une sorte d'antenne) du circuit imprimé, qui fait office de capteur.

Il est également possible de souder un fil afin de relier une plaque externe plus grande, ou d'autres types d'antennes, en fonction des expériences que vous souhaitez effectuer.

Par exemple, si nous voulons analyser la classique tige de verre électri  e, nous pouvons nous contenter de la surface cuivrée du circuit imprimé.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, cet étage doit présenter une impédance d'entrée très élevée, ce qui impliquerait dans la pratique l'utilisation de résistances de polarisation de l'amplificateur opérationnel de très grandes valeurs.

En particulier, celles situées sur l'entrée non inverseuse, puisque l'impédance vue par le capteur en dépend.

Mais **en ayant des résistances de valeur élevée** (de l'ordre de centaines de MΩ), **il est nécessaire d'utiliser des composants avec de très faibles courants de polarisation d'entrée** (de l'ordre du picoampère ou même moins), comme par exemple l'amplificateur opérationnel LMC6001, qui est cependant très cher.

Nous avons donc choisi de recourir à un circuit artificiel qui nous permet d'utiliser des résistances de valeurs « modérées » (aux alentours de 10 MΩ), et aussi un amplificateur opérationnel d'usage courant, sans diminution de l'impédance d'entrée vue par le capteur.

Ce système est basé sur l'application du théorème de Miller, que nous allons décrire brièvement ci-après, car il peut également être adopté dans d'autres applications.

Comme le montre la figure 2, le **théorème de Miller** stipule qu'une **impédance Z placée entre l'entrée et la**

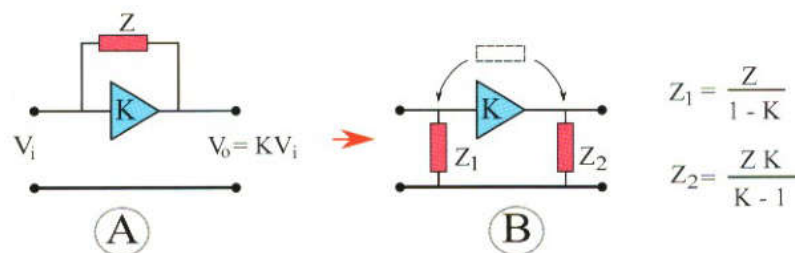


Figure 2 : schématisation du théorème de Miller.

sortie d'un amplificateur de tension (diagramme A) **équivalait à un circuit avec deux impédances placées entre l'amplificateur et le masse** (diagramme B), dont les **valeurs dépendent** à la fois de l'impédance **Z** et de l'amplification **K** entre l'entrée et la sortie.

En particulier, s'il s'agit d'un amplificateur non inverseur (comme dans notre cas, U1 est configuré comme un suiveur à gain unitaire), K est positif et la valeur de l'impédance d'entrée Z1 peut varier théoriquement entre Z (si K = 0) et l'infini (K = 1).

Pour obtenir des valeurs « intermédiaires », nous réduisons le gain à une valeur inférieure à l'unité à l'aide du diviseur de tension constitué par R17 et R20 :

$$K = R_{20} / (R_{17} + R_{20})$$

Avec les valeurs présentes dans notre schéma électrique, nous obtenons K = 0,968.

Nous prélevons à partir de ce diviseur de tension, à l'aide de la résistance R18 (qui agit comme l'impédance Z de la figure 2-A), le signal de contre réaction reporté sur l'entrée non inverseuse de l'amplificateur.

Comme R18 = 10 MΩ, selon le théorème de Miller, c'est comme si nous appliquions une résistance de :

$$10 / (1 - K) = 10 / (1 - 0,968) = 310 \text{ M}\Omega$$

De même, l'impédance d'entrée vue par le capteur (à l'exclusion des courants de polarisation et de l'offset de U1, négligeables par rapport à ces impédances) est presque identique.

Pour nos besoins, cette valeur s'est révélée adéquate. Cependant, il est clair qu'en approchant de l'unité la valeur de K (en modifiant R17 et/ou R20), il serait possible d'obtenir des valeurs d'impédances d'entrée encore plus élevées, en tenant compte du fait



Abeilles robotisées et électricité statique

Walmart, une chaîne commerciale américaine bien connue, conçoit sa propre version d'une ferme automatisée dans laquelle des flottes d'abeilles artificielles voleront. L'idée de Walmart en vérité n'est pas nouvelle, car des expériences ont longtemps été menées pour lutter contre le déclin de la population d'insectes pollinisateurs, provoqué notamment par le changement climatique et l'abus de pesticides.

Les abeilles robotisées sont techniquement des drones utilisés pour la pollinisation et possèdent des caméras et des capteurs pour détecter le pollen, le collecter et le transporter d'une fleur à l'autre. Pour que ces minuscules drones collent aux surfaces, ils exploitent le phénomène d'électricité statique, comme cela a déjà été fait dans le projet « RoboBees » développé par l'Université de Harvard.

qu'il serait souhaitable dans ce cas de remplacer l'amplificateur opérationnel utilisé (TL061) par un modèle ayant des courants d'entrée inférieurs.

De plus, comme cette méthode prévoit la présence d'une contre réaction positive (le signal de sortie est en partie réinjecté sur l'entrée non inverseuse), une valeur de K proche de 1 augmentera la tendance à l'instabilité.

Nous avons ainsi expliqué l'utilité des résistances R17, R18 et R20 connectées à l'amplificateur opérationnel U1.

La résistance R10 (qui, pour minimiser l'offset de U1, doit être égale à $R18 + R20$) réalise une contre réaction unitaire, car, comme nous l'avons déjà mentionné, U1 doit fonctionner comme un suiveur de tension.

De cette manière, la tension de sortie prend la valeur « capturée » par la sonde mais, en basse impédance, elle est également utilisée pour piloter le contour du tracé de l'entrée « IN » sur le circuit imprimé, autour et au-dessous de la piste du signal d'entrée.

À travers R14, le signal de U1 arrive sur l'amplificateur opérationnel **U2b utilisé comme amplificateur de tension**. Son **gain est ajustable** par l'intermédiaire du potentiomètre R2.

Avec les valeurs proposées, il peut être réglé entre un minimum de 2 et un maximum de 22 fois, en fonction de la sensibilité que vous souhaitez obtenir lors de la détection.

Le signal amplifié sort de U2b et est envoyé au circuit constitué de **U2a et U2d**, qui constituent le **redresseur à double alternance**.

Comme nous l'avons déjà prévu, cet étage nous permettra d'effectuer la détection de champs électriques alternatifs, car le signal redressé présent sur la sortie de U2d pourra « surmonter » le filtre passe-bas formé par R1 et C1.

Le déviateur **S1 permet de visualiser ou non le signal redressé**. À partir de son point commun, le signal sélectionné est en fait envoyé, via le filtre R1/C1, au bargraphe à LED.

En ce qui concerne ce dernier étage, nous avons utilisé le classique circuit intégré **LM3914 (U3)**, car il contient tous les circuits nécessaires à la réalisation d'un voltmètre à 10 LED.

Dans cette application, nous l'utilisons **comme voltmètre à 9 LED avec affichage à point unique**.

Les résistances R11 et R12 sont calculées de manière que, lorsque son entrée (broche 5) est à la moitié de la tension d'alimentation, la LED centrale s'allume. Cette tension correspond à l'absence de signal entrant dans l'électromètre.

De cette façon, si nous appliquons sur l'entrée un signal négatif, le point lumineux se déplacera vers la gauche, et inversement avec un signal positif.

Si nous sélectionnons le signal provenant du redresseur (sortie U2d) via S1, l'affichage sera toujours positif (le point lumineux se trouvera uniquement dans la moitié droite du bargraphe).

Enfin, l'amplificateur opérationnel **U2c est utilisé**, avec le diviseur de tension formé par **R19 et R22**, pour **générer le potentiel de masse virtuel (GNDF)** du système. Ce potentiel se trouve à la **moitié de la tension d'alimentation**, qui sert à faire fonctionner les étages d'amplification et de redressement.

Assemblage et test

L'assemblage du circuit ne présente pas de difficultés particulières, car tous les composants sont de type « traditionnel » (traversant).

Il suffit de faire attention à l'orientation des composants polarisés (diodes, condensateurs électrolytiques et circuits intégrés) indiquée dans le plan de montage.

Pour la soudure, il est recommandé d'utiliser un alliage à faible teneur en flux, en particulier dans la zone de l'amplificateur à haute impédance, car les résidus de soudage contribuent à réduire l'impédance d'entrée, même si cet effet est atténué par la présence de « l'anneau de garde » conçu sur le circuit imprimé.

Une fois le circuit assemblé, il est possible d'alimenter le circuit en tension. Pour cela, il est conseillé d'utiliser une alimentation stabilisée de 9 VDC et limitée (si possible) en courant.

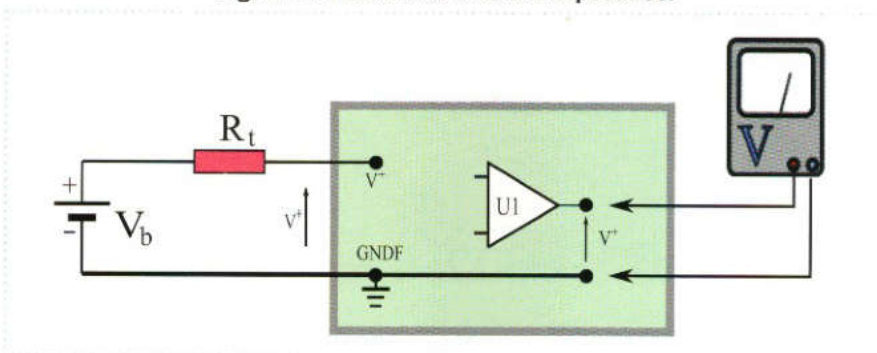
La consommation du montage est de l'ordre de 20 mA et la LED centrale du bargraphe doit s'allumer.

À ce stade, il suffit de frotter le bout d'un stylo sur un chiffon et, en le tenant de l'autre côté, de le rapprocher de la zone cuivrée servant de capteur pour observer un déplacement du point lumineux.

En éloignant l'objet, le point lumineux doit se déplacer du côté opposé. Cela est dû au fait, que rapprocher l'objet du capteur augmente la capacité entre les deux objets et qu'un potentiel avec un certain signe est induit sur le capteur.

En éloignant l'objet, la variation de capacité devient négative, induisant ainsi un potentiel de signe opposé sur le capteur. L'effet sera d'autant plus marqué que le stylo est approché et éloigné rapidement du capteur.

Figure 3 : Schéma de test de l'impédance.



Le tracé du circuit imprimé

Lorsque vous souhaitez créer des circuits avec des lignes à très haute impédance, vous devez prendre en compte les courants de fuite qui peuvent naître à partir des lignes et se propager le long ou à l'intérieur des matériaux utilisés pour construire le circuit imprimé lui-même, afin de s'écouler vers la masse et ainsi dégrader le niveau du signal. Cela est dû au fait qu'aucun matériau n'est un isolant parfait et qu'il s'agit (en première approximation) d'une différence de potentiel appliquée entre deux points, comme une résistance, certes de grande valeur, mais non infinie.

Par exemple, entre deux pistes superficielles adjacentes d'un circuit imprimé, il existe une certaine résistance de surface, due au type de soudure qui les recouvre (le cas échéant), au nettoyage de la surface (poussière, flux de soudure) et au degré d'humidité du milieu ambiant.

Même le matériau constituant le circuit imprimé lui-même a sa propre résistance, et par conséquent, un faible courant de « fuite » peut naître entre deux conducteurs, s'ils sont placés à des potentiels différents et qu'ils s'étendent sur les deux faces opposées du circuit.

Ces résistances (dites distribuées car elles ne sont pas de vrais composants), du fait de leur valeur élevée, ne sont normalement pas prises en compte lors de l'étude d'un circuit. Toutefois, lorsqu'il est nécessaire de détecter un signal provenant d'un capteur d'impédance de l'ordre de quelques centaines de mégohms, leur influence devient importante.

Par exemple, si notre circuit avait un étage amplificateur avec une impédance d'entrée de $1\text{G}\Omega$ et que les résistances parasites de la piste de masse sur laquelle le capteur est connecté étaient similaires, la moitié du courant fourni par ce dernier partirait vers la masse à travers ces résistances, sans entrer dans l'amplificateur !

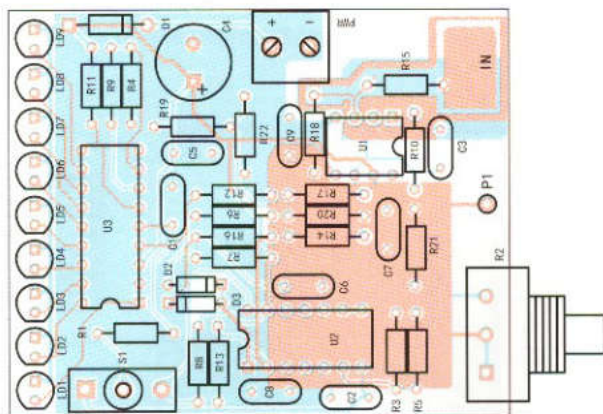
Deux méthodes sont alors réalisables :

la première consiste à établir des connexions volantes (dans l'air) de fils qui transmettent des signaux à haute impédance, du capteur vers l'entrée de l'amplificateur. La résistance de l'air, en particulier s'il est sec, est en réalité considérablement supérieure à la résistance du circuit imprimé ; la seconde ne vise pas à augmenter la résistance, mais à neutraliser ses effets. Selon la loi d'Ohm, le courant traversant une résistance est proportionnel à la différence de potentiel présente à ses bornes. Par conséquent, si cette différence de potentiel disparaissait, le courant pur s'annulerait quelle que soit la valeur de la résistance, réelle ou distribuée.

La conclusion est que la méthode pour annuler les courants parasites qui peuvent provenir d'un conducteur consiste à l'entourer d'une sorte de « barrière » placée à son même potentiel.

À titre d'exemple, considérons la figure B, à gauche se trouve la partie du circuit imprimé sur laquelle est située la piste du signal S (haute impédance), qui est à un potentiel de 1 V. À proximité se trouve la piste de masse M. En raison des résistances de surface (inévitables) représentées ici par la résistance « R_s », un courant de fuite « I_p » s'établit à partir de la piste du signal S vers la masse.

Plan de montage



Plan de câblage des composants de l'électromètre.

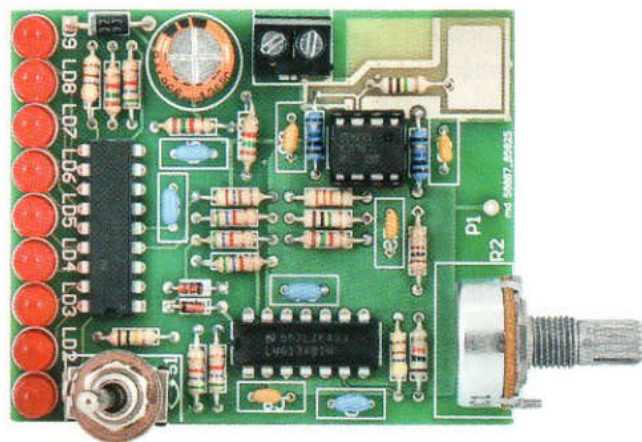


Photo de l'un de nos prototypes de l'électromètre.

Les choses changent si nous passons à la figure de droite, sur laquelle une piste faisant office de barrière et nommée « G », de même potentiel que celle de S, est placée entre les pistes S et M. Entre les trois pistes, il y a toujours une résistance de perte de surface (R_{s1} et R_{s2} respectivement), cependant, puisque la différence entre les potentiels de S et de G est égale à zéro, il n'y a pas de courant de fuite au niveau de R_{s1} .

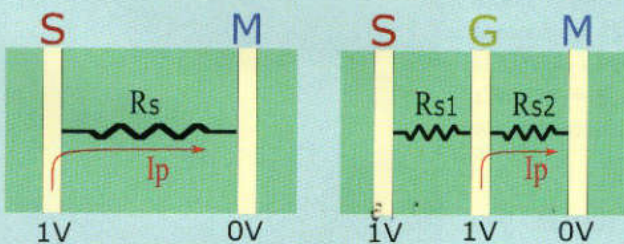
Un courant sera plutôt présent au niveau de R_{s2} , car une différence de potentiel de 1 V est présente entre G et M. Cependant ce courant est cette fois engendré par le circuit constitué par la barrière G, il n'affecte donc plus la ligne du signal S.

Ce raisonnement suggère que la barrière doit avoir les deux caractéristiques suivantes :

1. sa tension doit être identique à celle présente sur la ligne à protéger (pour ne jamais avoir de différence de potentiel au niveau de R_{s1}) ;
2. elle doit avoir une impédance suffisamment basse pour pouvoir drainer tous les courants de fuite possibles sans altération de sa tension (pour, dans tous les cas, satisfaire à la première caractéristique ci-dessus).

Comme critère pour le traçage de la piste constituant la barrière sur le circuit imprimé, il est habituel d'entourer complètement les lignes des signaux à protéger pour empêcher les courants de fuite dans n'importe quelle direction : d'où le terme « anneaux de garde » (guard ring).

En outre, pour éviter les courants de fuite transversaux du circuit, il est judicieux de tracer une surface en cuivre du côté opposé à celui sur lequel passent les pistes à protéger. Ce plan doit ensuite être connecté par l'intermédiaire de trous traversants (vias) à l'anneau de garde superposé (il suffit donc que ce plan suive le dessin de l'anneau de garde).



Cela est possible si au moins le circuit imprimé contient deux faces et qu'il n'y a aucune contrainte d'impédance sur la ligne du signal à protéger.

Dans des applications particulières, afin de limiter les courants transversaux et les courants dus aux diélectriques, il est préférable de ne pas utiliser le matériau FR4 typique d'un circuit imprimé, mais plutôt d'utiliser un matériau constitué de stratifiés céramiques particuliers tels que le « Rogers 4350 » (fréquemment utilisé dans les circuits à hyperfréquences).

La méthode de l'anneau de garde est non seulement valable pour les circuits imprimés, mais elle est également appliquée dans les connexions « volantes ». Il existe pour cela des câbles coaxiaux dits « triaxiaux », formés d'un conducteur central et de deux écrans concentriques (l'un interne et l'autre externe) isolés les uns des autres.

Si le signal haute impédance passe dans le conducteur central, la tension de garde peut être appliquée à l'écran interne, tandis que le retour du signal (c'est-à-dire la masse) est appliqué à l'écran externe.

Liste des composants de l'électromètre

R1..... 100 k Ω
 R2..... potentiomètre 10 k Ω
 R3..... 470 Ω
 R4..... 5,6 k Ω
 R5..... 10 k Ω
 R6..... 5,6 k Ω
 R7..... 5,6 k Ω
 R8..... 5,6 k Ω
 R9..... 1,5 k Ω
 R10.... 11 M Ω
 R11.... 470 Ω
 R12.... 270 Ω
 R13.... 5,6 k Ω
 R14.... 1,5 k Ω

R15.... 1 M Ω
 R16.... 5,6 k Ω
 R17.... 33 k Ω
 R18.... 10 M Ω
 R19.... 1,5 k Ω
 R20.... 1 M Ω
 R21.... 100 Ω
 R22.... 1,5 k Ω
 C1..... 1 μ F céramique
 C2..... 1 μ F céramique
 C3..... 1 nF céramique
 C4..... 220 μ F/25 V électrolytique
 C5..... 1 μ F céramique
 C6..... 1 μ F céramique
 C7..... 10 nF céramique
 C8..... 10 nF céramique

C9..... 10 nF céramique
 LD1 à LD9 LED 5 mm rouge
 D1..... 1N4007
 D2..... 1N4148
 D3..... 1N4148
 U1..... TL061CN
 U2..... LM6134BIN
 U3..... LM3914N
 S1..... interrupteur à levier pour circuit imprimé

Divers

support ci 2 x 4 broches
 support ci 2 x 7 broches
 support ci 2 x 9 broches
 bornier 2 pôles

Si le point lumineux ne bouge pas, vous pouvez jouer sur la sensibilité de l'appareil en agissant sur le potentiomètre R2.

Une autre vérification de fonctionnement peut être effectuée en commutant S1 afin de prélever le signal de la sortie de U2d pour être visualisé, c'est-à-dire en insérant le redresseur à double alternance.

De cette manière, en rapprochant le montage d'une ligne 230 VAC d'une installation électrique (par exemple, près d'une prise de courant), vous pouvez observer le décalage du point lumineux vers la droite.

Dans ce cas, le capteur ne détecte pas de champ électrique avec des charges statiques, mais un champ alternatif généré par la tension du secteur.

Nous vous recommandons de ne pas maintenir le circuit dans votre main, ou du moins de ne pas toucher les pistes ou le capteur, car notre corps est une excellente « antenne » pour les champs électriques du réseau, ainsi qu'un endroit contenant des charges statiques (surtout si nous portons des chaussures à semelles isolantes).

Nous recommandons donc de placer le montage dans un petit boîtier en plastique, en ne laissant exposée que la zone du capteur.

Mesure de l'impédance d'entrée

Si vous le souhaitez, vous pouvez vérifier l'impédance d'entrée réelle de votre électromètre (du moins dans sa composante résistive).

À cet effet, le schéma suggéré en figure 3 peut être utilisé. Il nécessite l'utilisation d'un petit bloc d'alimentation (ou batterie) fournissant une tension V_b comprise entre 1 et 2 VDC et d'une résistance R_t de valeur élevée (de l'ordre de quelques centaines de MΩ, comparable à la valeur de l'impédance d'entrée attendue).

Une fois le circuit connecté à l'électromètre (qui doit être naturellement

allumé, via une batterie ou une autre source d'alimentation), il est alors possible de mesurer la tension en sortie de U1 qui, configurée comme étage suiveur, doit reporter (par rapport à GNDF) la même valeur présente sur l'entrée non inverseuse « V+ », qui est donnée par le diviseur de tension « R_t » et l'impédance d'entrée « Z_i ».

$$V+ = V_b * Z_i / (Z_i + R_t)$$

Par conséquent, connaissant la valeur de la tension V_b appliquée et la valeur de la résistance R_t utilisée, nous pouvons en déduire la valeur de Z_i :

$$Z_i = V+ * R_t / (V_b - V+)$$

Avec les valeurs du schéma, en utilisant une alimentation $V_b = 1$ V et une résistance $R_b = 1$ GΩ, nous avons mesuré une tension « $V+$ » de 0,236 V, ce qui correspond à $Z_i = 310$ MΩ. Cela confirme la valeur théorique calculée précédemment.

Nous rappelons que la tension « $V+$ » doit être mesurée en sortie de U1 et non sur l'entrée de l'électromètre (en aval de R_t), car l'impédance du multimètre, bien qu'élevée, modifierait la mesure.

Enfin, n'oubliez pas que la mesure de la tension doit être effectuée par rapport à la référence GNDF et non pas le négatif de l'alimentation.

Conclusion

L'instrument présenté dans ces pages nous permet de prendre davantage conscience de l'existence des charges électriques qui nous entourent dans notre vie quotidienne, que nous ne prenons normalement pas en compte, mais qui peuvent également être des sources de problèmes.

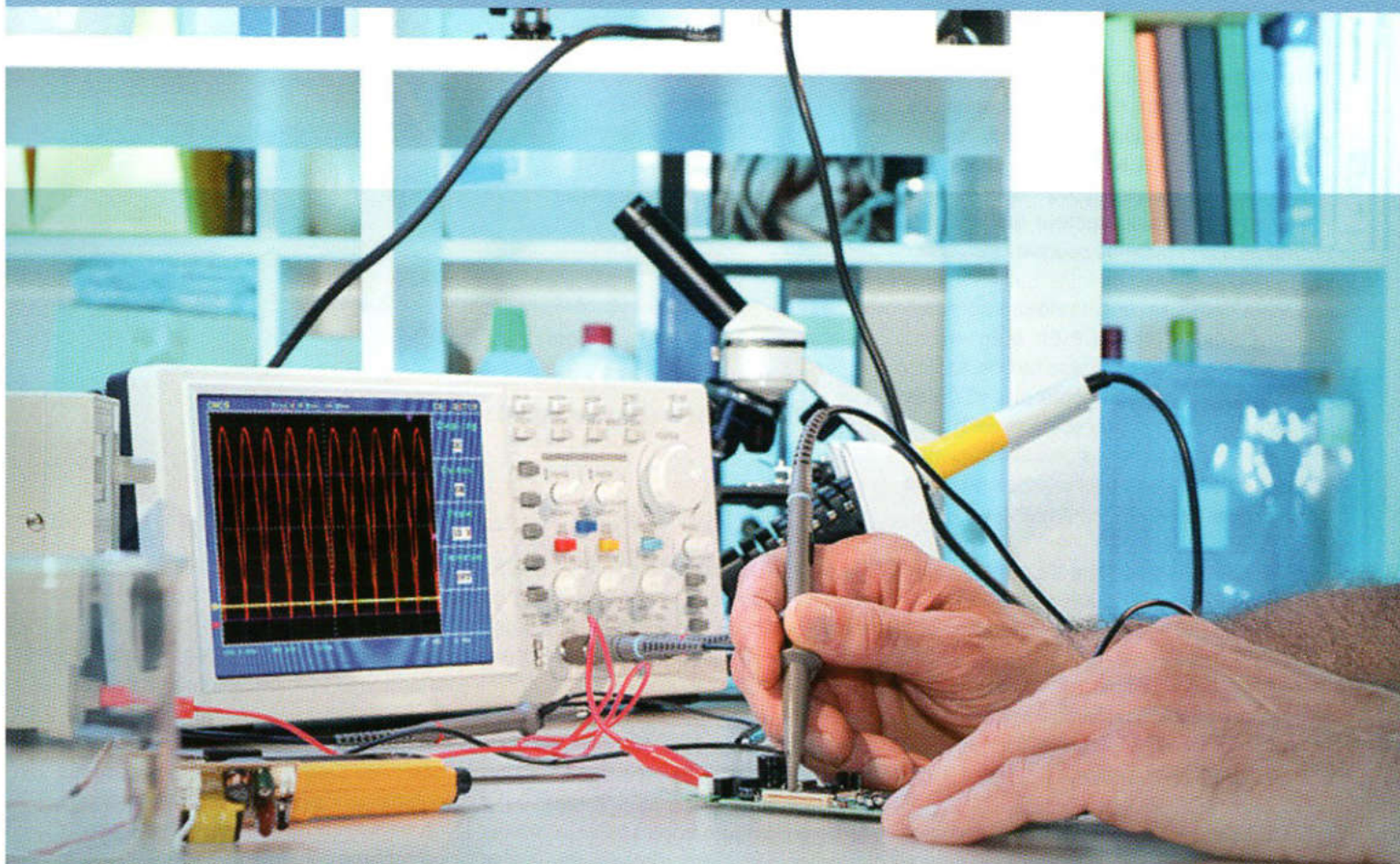
Par exemple, lorsque nous manipulons des composants électroniques très sensibles, sans les précautions nécessaires.

Au-delà de la valeur pédagogique, la méthode de détection par électromètre

(qui est en fait un capteur de champ électrique) trouve plusieurs applications pratiques, notamment la mesure de la pollution électromagnétique basse fréquence, la capture de champs électriques produit par les décharges des orages et même la détection « à distance » de signaux biomédicaux tels que l'électrocardiogramme. ■



Ci-dessus, différents modèles d'électromètres.



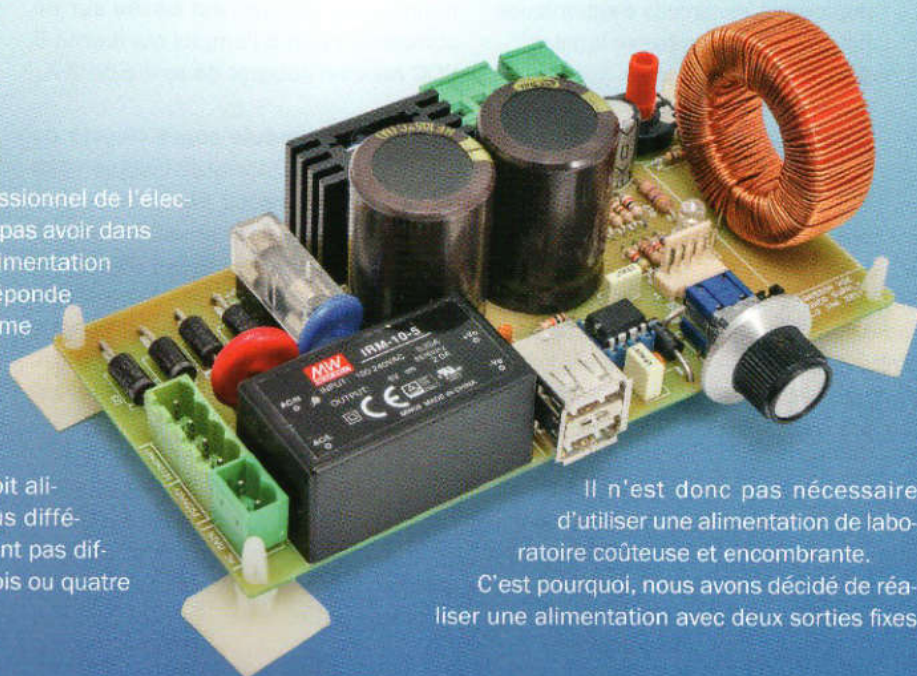
ALIMENTATION MULTI-TENSIONS POUR LABORATOIRE

Très utile pour tester des prototypes et alimenter des appareils en réparation, elle dispose de trois sorties, deux à tension fixe et une à tension variable.

de Diego Frasson

Que vous soyez amateur ou professionnel de l'électronique, vous ne pouvez pas ne pas avoir dans votre laboratoire une source d'alimentation utilisable en toutes circonstances, qui réponde aux besoins essentiels de ceux qui, comme l'auteur du présent article, conçoivent, fabriquent et programment du matériel électronique.

À plusieurs reprises, un électronicien doit alimenter des cartes qui fonctionnent sous différentes tensions, mais ces tensions ne sont pas différentes à l'infini. Elles sont limitées à trois ou quatre valeurs.



Il n'est donc pas nécessaire d'utiliser une alimentation de laboratoire coûteuse et encombrante.

C'est pourquoi, nous avons décidé de réaliser une alimentation avec deux sorties fixes

et régulées et une sortie variable dont la tension peut être réglée afin d'obtenir les valeurs des tensions considérées comme les plus répandues dans un laboratoire moderne. Le projet proposé ici fonctionne avec une tension secteur de 230 VAC reliée à une prise de courant classique.

Mais comment avons-nous choisi les tensions de sortie ? Eh bien, étant donné que les smartphones et les tablettes sont très répandus et qu'ils requièrent tous une tension de 5 VDC pour leur recharge, nous avons pensé que cela devrait être l'une des tensions fournies par notre alimentation.

Voici donc la première de ces trois sorties, **5 VDC** avec double connexion USB, sur laquelle vous pouvez connecter des adaptateurs USB/micro USB pour les dispositifs mobiles. Ces derniers possèdent tous aujourd'hui en standard une prise micro USB pour l'alimentation et l'échange de données.

L'alimentation proposée ici permet non seulement de recharger les smartphones, mais également dispose d'une sortie **24 VDC**, utile par exemple pour la domotique ou pour commander des actionneurs industriels.

Nous avons ensuite prévu une dernière sortie fournissant une tension dont la valeur peut être définie au moyen d'un sélecteur permettant de choisir parmi les valeurs suivantes :

- **12 VDC** pour d'innombrables alimentations de circuits électroniques fonctionnant sous basse tension ;
- **9 VDC** pour les cartes Arduino et diverses cartes de prototypage ;
- **5 VDC** pour les cartes à microcontrôleur de type PIC et AVR ;
- **3,3 VDC** pour les montages basés sur des processeurs plus avancés.

Le courant de sortie a une valeur respectable de 2 A, sauf celui de la sortie 24 V limité à 1,5 A. Cela permet d'alimenter en toute sécurité tout montage dans un laboratoire électronique moderne.

Une cinquième valeur de tension a également été prévue sur la sortie sélectionnable, correspondant à **13,8 VDC** et conçue pour recharger des batteries au plomb à 6 éléments (12 V).

Caractéristiques techniques de l'alimentation multi-tensions

- Alimentation : 230 VAC 50 Hz ;
- Sorties : deux tensions fixes et une sélectionnable ;
- Sorties fixes : **5 VDC** et **24 VDC**
- Sortie sélectionnable : **3,3 - 5 - 9 - 12 - 13,8 VDC**
- Courant de la sortie **5 VDC** : **2 A**
- Courant de la sortie **24 VDC** : **1,5 A**
- Courant de la sortie sélectionnable : **2 A**

De plus, en modifiant les valeurs de certaines résistances comme expliqué un peu plus loin dans cet article, vous pourrez obtenir d'autres valeurs spécifiques.

Le circuit a été conçu pour être facile à construire, il est donc composé de composants faciles à se procurer. Le circuit imprimé est de type simple face, donc facile à fabriquer et peu coûteux, même pour les débutants. Cette alimentation est à la portée de tous. Examinons maintenant le schéma électrique de l'alimentation.

Schéma électrique

L'alimentation est composée de **deux parties distinctes**, examinons la première qui est la plus simple. La section 5 VDC, adaptée au chargement des smartphones, tablettes et appareils mobiles en général, est basée sur un composant prêt à l'emploi qui fournit 5 VDC avec un courant de sortie de 2 A.

Il s'agit d'un **module convertisseur** de type **AC/DC** du fabricant **Mean Well** et dont la référence est **IRM10-5**. Il fonctionne avec une tension d'entrée alternative comprise entre 85 VAC et 260 VAC. Il est donc parfait pour être utilisé dans tout type de réseau et donc dans différents pays. Il convient évidemment pour le réseau français qui fournit 230 VAC en monophasé.

Sa connexion est simple, il suffit de relier sur son entrée la tension alternative qu'il convertit en 5 VDC sur sa sortie. Il est protégé contre les courts-circuits et les surtensions.

Il suffit donc de relier sa sortie à une double prise USB-A et de mettre un condensateur de 100 nF en parallèle pour pouvoir recharger/alimenter les téléphones mobiles, les tablettes, etc.

Examinons maintenant la deuxième partie de l'alimentation qui est la plus complexe. Cette section est constituée de composants communs et discrets ou intégrés et est très différente de la précédente.

Cette partie est composée d'un **convertisseur** fonctionnant en **commutation** (**régulateur à découpage**) constitué par un circuit intégré de **STMicroelectronics** adapté à cet usage. Il est précédé d'un circuit de redressement particulier avec filtrage capacitif. Commençons donc par l'entrée du convertisseur.

L'alimentation de la carte s'effectue par l'intermédiaire d'un transformateur commun qui est disponible dans le commerce. L'important est qu'il doit avoir une puissance de 50 VA.

Aucun transformateur à double enroulement secondaire ou à enroulement central n'est absolument nécessaire, il suffit d'un simple enroulement secondaire de 12 VAC ou 24 VAC (vous pouvez même récupérer un vieux transformateur). Le primaire doit être de 230 VAC 50 Hz.

Si vous regardez maintenant l'étage redresseur, vous remarquerez deux particularités. La première est le cavalier **JP1** qui doit être inséré si un transformateur de 12 V est utilisé et laissé ouvert si un transformateur ayant un secondaire d'au moins 21 V est utilisé.

Le projet prévoit idéalement un transformateur de 24 VAC.

La seconde est la présence de **deux condensateurs de 10 000 μ F/25V** chacun **connecté en série** et dont le point commun est relié à un côté du cavalier JP1. Le cavalier permet de sélectionner deux modes de fonctionnement de l'étage redresseur.

Lorsque le cavalier JP1 n'est pas présent (pont ouvert), cela correspond au fonctionnement classique en mode pont de **Graetz**. Le transformateur doit être de 24 V. Si JP1 est inséré (pont fermé), deux diodes du pont sont exclues. Le circuit de redressement se transforme alors en un **pont de Delon**.

Le pont de Delon est un circuit électrique permettant de doubler la tension. Ce montage était très courant dans la construction des téléviseurs à tubes cathodiques, où il servait à fournir l'alimentation très haute tension. Les téléviseurs noir et blanc avaient besoin de 10 kV, ceux en couleur beaucoup plus de l'ordre de 25 kV.

Chaque demi-circuit fonctionne lors d'une alternance. La tension de sortie est égale à deux fois l'amplitude de la tension d'entrée, c'est-à-dire égale à l'amplitude crête à crête.

Ainsi, la première demi-onde charge le condensateur électrolytique du haut (C2) alors que la seconde charge le condensateur électrolytique C3. Cela permet d'obtenir en sortie une tension égale à deux fois celle appliquée sur l'entrée.

Attention, il est très important de ne pas dépasser les limites inférieure et supérieure de la tension d'entrée AC. Le secondaire du transformateur doit fournir une tension minimale de 11 VAC et maximale de 15 VAC dans le cas où le cavalier est fermé (JP1 inséré).

Le secondaire du transformateur doit fournir une tension minimale de 21 VAC et maximale de 30 VAC dans le cas où le cavalier est ouvert (JP1 absent), cela correspond au fonctionnement en mode pont de Graetz.

En particulier, ne dépassez pas la limite inférieure, sinon l'alimentation ne sera

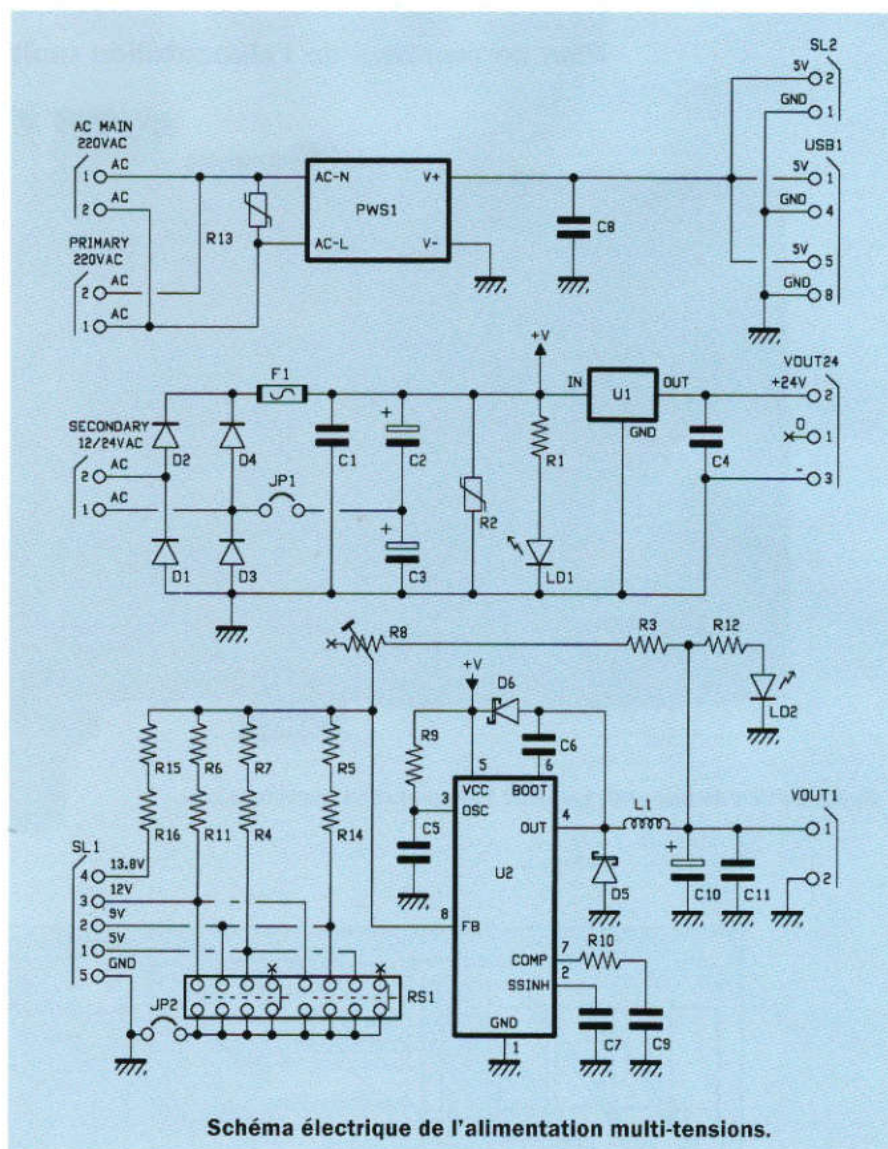


Schéma électrique de l'alimentation multi-tensions.

pas en mesure de fournir 24 V à partir de la sortie correspondante. En sortie du redresseur et du circuit de filtrage, il faut au moins 26 VCC.

De même, ne dépassez pas la valeur maximale, car dans ce cas le régulateur risque d'être endommagé. La documentation technique indique, pour le circuit U1, une tension maximale absolue de 40 VCC.

Au niveau du circuit d'entrée (section redresseur), les condensateurs de filtrage sont en série. Ainsi, la capacité totale est divisée par deux.

Lorsque le circuit fonctionne en redresseur demi-onde, l'ondulation résiduelle double. Lorsque le courant de charge augmente, la tension sur les condensateurs a tendance à diminuer.

Notez enfin que le circuit redresseur avec le cavalier permet d'appliquer une tension donnée ou sa moitié sur l'entrée. Ce dispositif est largement adopté dans les alimentations des PC pour permettre un fonctionnement à 110 VAC ou à 230 VAC à l'aide d'un sélecteur de tension.

Après l'étage redresseur, nous trouvons un régulateur linéaire classique de la série 78XX. Il s'agit d'un **L7824** qui permet d'obtenir une tension de 24 VDC acheminée vers un bornier à trois broches au pas de 5 mm, adaptée à tout type de charge.

La présence de la tension redressée est visualisée par la LED LD1, connectée en parallèle sur l'entrée du régulateur. Le courant traversant la LED est limité par la résistance R1.

Plan de montage de l'alimentation multi-tensions



Photo de l'un de nos prototypes de l'alimentation multi-tensions.

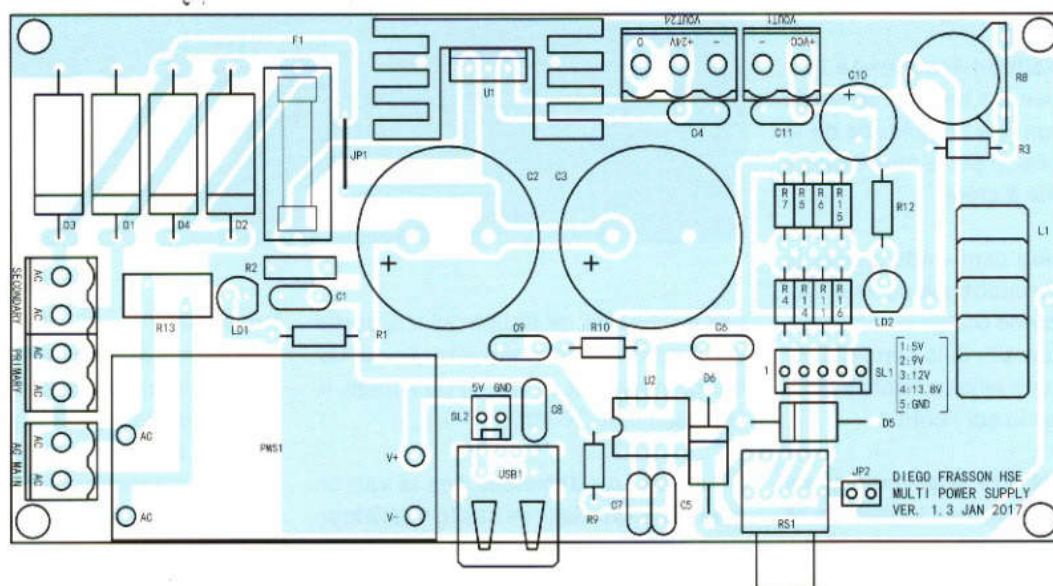


Schéma d'implantation des composants de l'alimentation multi-tensions.

Le condensateur C1 filtre toutes les perturbations impulsionnelles et la varistance R2 protège contre les surtensions tout ce qui se trouve en aval du redresseur. Le fusible F1 limite le courant traversant les régulateurs (U1 et U2) à des valeurs non destructrices et saute si la varistance intervient pendant une période prolongée.

Après l'analyse de la section linéaire, nous passons maintenant à l'étage suivant, à savoir l'alimentation à découpage.

Elle se compose d'un régulateur à découpage monolithique de chez STMicroelectronics, il s'agit du **L4978** dont les caractéristiques techniques sont disponibles à l'adresse :

https://www.st.com/content/st_com/en/products/power-management/dc-dc-switching-converters/buck-regulators/l4978.html

Sur le site web du fabricant STMicroelectronics, vous pouvez également trouver une note d'application qui explique comment concevoir une alimentation de

Liste des composants de l'alimentation multi-tensions

R1.....2,7 kΩ
 R2.....varistance S14K25
 R3.....1,8 kΩ
 R4.....4,7 kΩ
 R5.....390 Ω
 R6.....100 Ω
 R7.....0 Ω
 R8.....trimmer 1 kΩ MO
 R9.....22 kΩ
 R10.....10 kΩ
 R11.....820 Ω
 R12.....560 Ω 1/2W
 R13.....varistance S14K250
 R14.....1 kΩ
 R15.....82 Ω
 R16.....680 Ω

C1.....100 nF 63 V polyester
 C2.....10 000 µF 25 V électrolytique

C3.....10 000 µF 25 V électrolytique
 C4.....100 nF 63 V polyester
 C5.....4,7 nF céramique
 C6.....100 nF 63 V polyester
 C7.....470 nF 63 V polyester
 C8.....100 nF 63 V polyester
 C9.....22 nF 63 V polyester
 C10.....470 µF 25 V électrolytique faible impédance
 C11.....100 nF 63 V polyester

D1.....1N5408
 D2.....1N5408
 D3.....1N5408
 D4.....1N5408
 D5.....SB360
 D6.....SB360

U1.....L7824
 U2.....L4978

L1.....self 1 mH 3 A
 LD1.....LED 5 mm rouge

LD2....LED 5 mm verte
 PWS1.convertisseur AC/DC IRM10-05
 RS1....commutateur rotatif
 F1.....fusible 1,6 A
 USB1 .double prise
 USB-A pour circuit imprimé

Divers

Porte fusible
 Barrette mâle 2 pôles
 Cavalier
 Bornier 2 pôles (x4)
 Bornier 3 pôles
 Support circuit intégré 2 x 4 broches
 Dissipateur HS-132-25

NB : les typons des circuits imprimés à l'échelle 1 sont disponibles en téléchargement dans le sommaire détaillé de la revue.

type convertisseur Buck avec ce circuit intégré.

Notre solution intégrée résout des problèmes importants pour le concepteur, car elle regroupe l'ensemble du circuit de génération, de contrôle et de contre réaction du **signal PWM**.

Cela permet au régulateur de fonctionner correctement. De plus, le circuit dispose d'un étage de puissance intégré et de 3 types de protection :

- **protection thermique ;**
- **protection** contre les **surintensités** et contre les courts-circuits ;
- **protection** contre les **surtensions**.

Toutefois, lors de la conception d'une alimentation avec des tensions variables en cours de fonctionnement, il est nécessaire de procéder à des ajustements supplémentaires. Examinons en particulier les détails, sans examiner le fonctionnement complet d'une alimentation à découpage de type step-down ou buck, comme la nôtre.

Nous savons déjà que la **tension de sortie moyenne est égale à la tension d'entrée multipliée par le rapport du temps d'activation (t_{ON})** de la sortie de puissance. Dans notre cas, cette dernière est intégrée dans le circuit.

La période de commutation (T) est donnée par la formule :

$$V_o = V_i (t_{ON} / T)$$

d'où la relation : $\delta = t_{ON} / T$

qui prend le nom de **rapport cyclique** ou **duty-cycle**.

Une première attention doit être portée à l'étage final composé du filtre LC. La documentation technique propose une formule pour calculer la valeur de l'inductance :

$$L_o = V_o * (1 - D_{min}) / (F_{SW} * \Delta_{IL})$$

La formule est correcte du point de vue énergétique. En fait, l'inductance augmente proportionnellement par rapport à l'augmentation de la tension de sortie pour un même rapport cyclique minimal (D_{min}).

Cependant, nous supposons que le réseau de filtrage RC (RL dans notre cas) se comporte linéairement, mais en réalité il n'en est rien, car le réseau a plutôt un comportement exponentiel. Il ne peut être linéarisé que si on considère une constante de temps du circuit RL au moins 5 fois supérieure au temps d'évolution du signal parcourant le réseau de filtrage.

Dans la formule, cette considération est mise en évidence par la présence du coefficient Δ_{IL} , la note d'application indique d'utiliser 30 % du courant de charge. L'expérience suggère que cette valeur est excessive, car 30 % signifie avoir un temps égal à moins de 3 fois la constante de temps (ce qui pour nous correspond à l'intervalle d'activation).

L'alimentation ne peut donc pas stabiliser la tension de sortie lorsque le courant de sortie augmente.

Vous pouvez obtenir, en théorie, un maximum de 20 %, mais si vous voulez avoir une sortie stable, utilisez plutôt 10 %. Si vous voulez effectuer les calculs voici quelques formules :

$$V_i = \sqrt{2V_{SEC} - 2V_{DON}}$$

Avec une tension secondaire de 24 VAC, nous obtenons une tension de 30 VCC après redressement et filtrage, la fréquence de commutation étant égale à 50 kHz et Δ_{IL} égal à 10 % pour un courant de 2 A.

Quant à D_{min} , il est égal au rapport entre la tension minimale du régulateur V_F soit 3,3 V et la tension d'entrée V_i . Nous obtenons le résultat suivant : $L_o = 1072 \mu H$, nous prenons une valeur standard de 1000 μH soit 1 mH.

Portons maintenant notre attention sur la fréquence de commutation. Selon le fabricant, il est possible de faire fonctionner le circuit à une fréquence de plus de 200 kHz. Cela convient tant que le courant de sortie ne dépasse pas 1 A et que la tension de sortie ne dépasse pas 5 V. Si cette limite est dépassée, l'inductance se comporte comme l'antenne d'un émetteur radiofréquence.

Nous devons toujours nous rappeler que nous avons une onde carrée, dont la décomposition selon l'analyse de Fourier, est entièrement réalisée par des sinusoïdes d'ordre impair, l'amplitude de la 5^{ème} harmonique d'une onde carrée est égale à 20 % de l'amplitude de l'onde originelle.

Si nous utilisons une fréquence de commutation de 200 kHz, la 5^{ème} harmonique sera égale à 1 MHz avec une amplitude de 20 %.

Si la tension est d'environ 12 V, l'onde a un rapport cyclique de près de 50 %, et nous avons donc un émetteur radioélectrique d'environ 6 W à 1 MHz !

Cette considération nous apprend qu'un circuit de puissance haute fréquence risque de se transformer en un générateur de perturbations électromagnétiques. C'est la raison pour laquelle nous utilisons une fréquence de 50 kHz et non de 200 kHz, comme le suggère le fabricant, précisément pour éviter des interférences électromagnétiques excessives (EMI).

La tension de sortie est calculée selon la formule habituelle des amplificateurs

linéaires non inverseurs « idéaux », à savoir : $V_o = V_{ref} * (1 + R_{pa} / R_{pb})$ où R_{pa} est la résistance entre la sortie et la broche de contre réaction FB (8) du circuit intégré et R_{pb} la résistance entre la broche de contre réaction FB (8) et la masse.

Le réseau de résistances utilisé pour commuter la tension de sortie est géré de la manière suivante. **La broche de feedback n'est jamais déconnectée du circuit** lors de la sélection de la tension de sortie.

Ainsi, même si vous isolez la résistance insérée pour passer d'une valeur de la tension de sortie à une autre, **le circuit n'a jamais de dérive de tension vers le haut**, mais se stabilise plutôt à la tension de référence, c'est-à-dire 3,3 V.

En d'autres termes, au moment où on passe d'un groupe de résistances à un autre (sélection de la tension de sortie de l'alimentation), la sortie n'atteint pas le maximum (comme dans le cas d'un fonctionnement en boucle ouverte) mais se stabilise à 3,3 V.

Notez également que dans notre circuit, le trimmer **R1 permet un réglage** très précis de la tension de 5 VDC. Au niveau du sélecteur SL1, deux résistances sont placées en série avec chaque broche (de SL1) de manière à obtenir les valeurs résistives requises pour fournir les tensions de sortie désirées, sans devoir obligatoirement utiliser des résistances de précision ou d'autres potentiomètres.

De plus, la précision absolue des valeurs des résistances n'est pas absolument

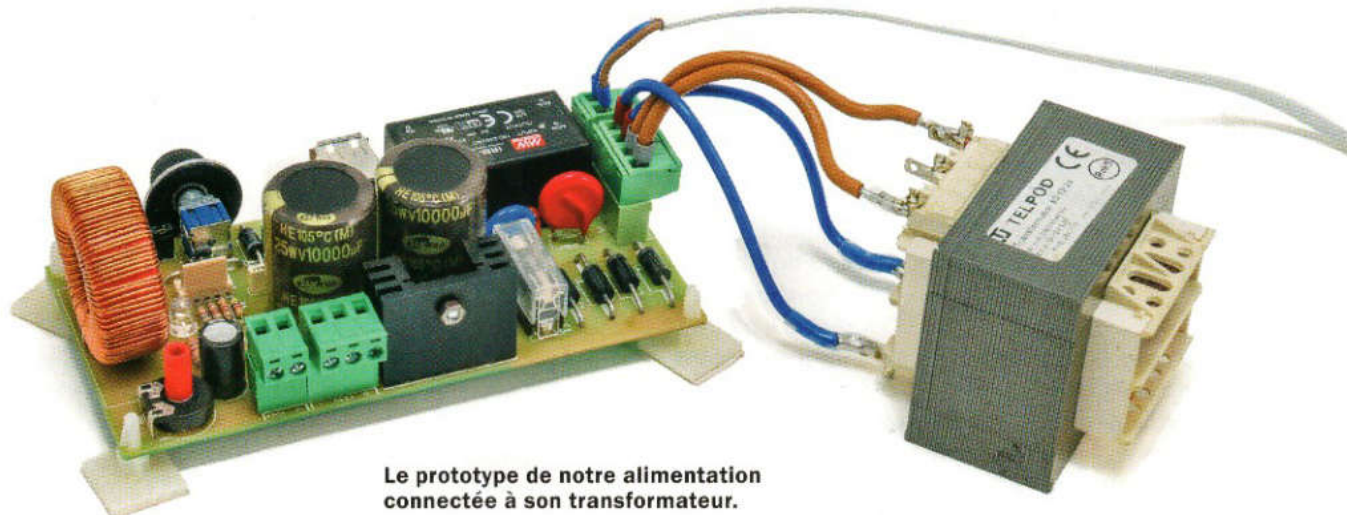
nécessaire, car si la tension de sortie varie de 0,1 V ou 0,2 V autour des 3,3 V et/ou des 5 V cela n'a pas d'incidence sur le circuit à alimenter.

Notez également sur le schéma électrique la présence d'un connecteur à 5 pôles (RS1) et du cavalier **JP2**. Ce dernier permet de mettre **hors service le sélecteur de commutation manuel afin de piloter notre alimentation par une carte microcontrôleur** par exemple, équipée de sorties sur relais ou à collecteur ouvert et reliée au connecteur à 5 pôles.

La possibilité de fermer les contacts dudit connecteur avec des relais ou des transistors NPN montés en collecteur ouvert, permet de régler la tension de sortie VOUT1 à l'aide d'une carte électronique distante.

Dans notre alimentation, qui est de **type Buck**, nous devons mettre une diode très rapide (généralement une Schottky) placée entre la sortie de l'étage de puissance et la masse avant l'inductance.

Cette diode (D5) est connue sous le nom de **diode de roue libre**. Celle-ci est essentielle pour la circulation du courant lorsque l'étage de puissance est désactivé. L'inductance doit « évacuer » l'énergie accumulée pendant la période de conduction, de sorte que la diode de roue libre permet de fermer le circuit et donc de faire circuler le courant emmagasiné pendant la période T_{OFF} . Notez aussi la présence de la diode D6 connectée en antiparallèle entre l'entrée et la sortie de l'étage de puissance. Mais pourquoi une diode entre la sortie et l'entrée ?



Le prototype de notre alimentation connectée à son transformateur.

Réduisons la consommation d'énergie

La division Smart Energy de l'ENEA a développé et breveté un système capable de surveiller et d'optimiser la consommation d'énergie des maisons et des bureaux, en maintenant une température et un éclairage optimums en été et en hiver. Grâce à un dispositif innovant de détection de présence de personnes, ce système peut être considéré comme un majordome virtuel. Il peut activer ou désactiver de manière indépendante les lumières, les appareils électroménagers, les volets, etc. d'une maison. De plus, grâce à une analyse qualitative de la présence de dioxyde de carbone dans l'air, il avertit également les personnes qui doivent alors ouvrir les fenêtres pour ventiler les lieux.

Ce système est formé d'une unité centrale et de capteurs qui fonctionnent comme un réseau neuronal artificiel. Les capteurs de surveillance acquièrent des données sur la température, l'humidité, la luminosité, les valeurs de CO₂, mais également des informations sur les mouvements, le bruit et les déplacements des personnes dans la maison (ou dans les locaux).

L'aspect important du projet est que l'unité centrale est une plate-forme informatique Open Source connectée en Wi-Fi, qui collecte des données sur la situation environnementale, les traite et détermine la gestion correcte de l'énergie de la maison (ou des locaux). Cet assistant idéal pour nos maisons intelligentes du futur vous permet de trouver la bonne température pour chaque saison, sans gaspiller d'énergie et sans devoir programmer aucun appareil à l'avance.

Ce système peut intégrer, sans coûts supplémentaires, d'autres fonctions relatives à la sécurité, la domotique, la protection contre les incendies et les inondations et, ce qui est très important, l'assistance aux personnes en cas de besoin. Il a été développé dans le but d'élaborer des outils d'expérimentation et de démonstration, ou des systèmes intelligents pour les villes du futur.



La réponse est que cela ne serait pas nécessaire si notre régulateur fonctionnait à une tension constante, mais puisque nous voulons obtenir une **tension variable, cette diode est absolument nécessaire afin de ne pas détruire le régulateur** à découpage.

Comme l'alimentation a une tension de sortie variable que nous pouvons ajuster, le problème se pose lorsque la tension diminue.

En effet, nous savons que dans une alimentation à découpage, nous avons une **période de fonctionnement (T_{on})** et une **période d'arrêt (T_{off})** correspondant respectivement à la conduction et au blocage de l'étage de puissance du régulateur à découpage. Pendant la période d'arrêt, il n'y a pas de problème, car la diode de roue libre intervient.

Mais, pendant la période de conduction, si nous abaissons la tension de sortie, la bobine étant toujours chargée a tendance à se décharger dans l'étage de puissance du régulateur (c'est-à-dire

dans le transistor MOSFET interne). Il se produit une surtension inverse au niveau du MOSFET qui pourrait le détruire.

En théorie, le MOSFET possède dans son substrat une diode dite intrinsèque entre la source et le drain pour protéger celui-ci, mais cette diode intrinsèque n'a pas les caractéristiques de puissance et de vitesse nécessaires pour absorber une telle surtension. C'est pour cela que nous avons inséré une diode entre la sortie et l'entrée du régulateur.

Cependant, il faut aussi prendre d'autres précautions, notamment avec l'augmentation du courant de sortie, car lorsque le courant est important l'énergie emmagasinée dans la self est d'autant plus grande, ce qui produit une surtension encore plus importante qui se déchargera à travers D6 sur les condensateurs de l'étage d'entrée.

Ces derniers pourraient être soumis à une surtension destructrice. Donc, nous avons inséré un fusible et une varistance (R2) après le pont redresseur.

Si la tension sur les condensateurs augmente trop, la varistance intervient et réduit le pic de surtension en faisant circuler le courant vers la masse.

Si la varistance intervient pendant un laps de temps trop important, l'étage redresseur se trouve alors en court-circuit ce qui fait sauter le fusible afin de protéger complètement l'étage de sortie.

Enfin, notez que l'inductance utilisée dans notre alimentation est de type toroïdale avec une section importante. Le tore a été choisi pour réduire l'émission d'interférences électromagnétiques par rapport aux noyaux cylindriques ou aux tôles en « E ». La grande section permet également d'éviter des problèmes de saturation du circuit magnétique et permet donc un fonctionnement très régulier du circuit avec une bonne stabilité de la tension de sortie lorsque le courant dans la charge varie.

Enfin, le circuit peut être divisé en deux sections avec deux interrupteurs, l'un pour l'ensemble de l'alimentation et

Les calculs

Étudions la manière d'effectuer les calculs pour une alimentation à découpage. Si vous utilisez ces formules, vous obtiendrez les valeurs du circuit. Ici, tous les paramètres sont en unités de mesure fondamentales sans multiplication ni division par un facteur de base 10. Ci-après, les définitions des abréviations :

- V_{sec} : tension d'entrée au niveau du pont redresseur provenant du secondaire du transformateur ;
- V_{Omax} : tension de sortie maximale de l'alimentation ;
- V_{Don} : tension de conduction des diodes ;
- V_{ref} : tension de référence de l'étage comparateur du régulateur égale à 3,3 V ;
- r_{in} : facteur de « ripple » (réjection de l'ondulation résiduelle) de l'étage d'entrée redresseur ;
- r_{out} : facteur de « ripple » de la sortie de l'alimentation ;
- f_g : fréquence du secteur ;
- f_s : fréquence de découpage ;
- R_{PA} : résistance entre la sortie et la broche de contre réaction FB (8) du circuit intégré ;
- R_{PB} : résistance entre la broche de contre réaction FB (8) et la masse ;
- C_{osc} : capacité entre la broche 3 du régulateur à découpage et la masse ;
- R_{osc} : résistance entre l'alimentation et la broche 3 du régulateur à découpage ;
- Δ_{IL} : ondulation résiduelle du courant de sortie dans la bobine.

Les calculs suivants peuvent être effectués :

$$V_{in} = \sqrt{2}V_{sec} - 2V_{Don}$$

$$r_{in} = \frac{1}{2\sqrt{3}f_g R_{eq} C} \text{ da cui } C = \frac{1}{2\sqrt{3}f_g R_{eq} r_{in}} \text{ dove } R_{eq} = \frac{V_{in}}{I_{max}}$$

$$L_O = V_{Omax} \cdot \frac{(1 - D_{min})}{f_s \cdot \Delta I_L} \text{ dove } D_{min} = \frac{V_{ref}}{V_{Omax}} \quad C_O = \frac{I_{Omax}^2 \cdot L_O}{2 \cdot V_{Omax} r_{out} \cdot (V_{in}(1 - r) - V_{Omax})}$$

$$\text{dove } f_s = \frac{1}{R_{osc} C_{osc} \ln \frac{6}{5} + 100 \cdot C_{osc}} \text{ e } V_O = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_{PA}}{R_{PB}}\right)$$

l'autre qui ouvre le primaire du transformateur, seul le convertisseur PWS1 sera alors alimenté. Cela permet de charger un smartphone ou une tablette et d'arrêter l'alimentation d'un montage à tester sans que la charge de l'appareil mobile ne soit interrompue.

Pour conclure l'aspect théorique, ceux qui souhaitent approfondir le sujet peuvent se reporter à l'encadré intitulé « Les calculs ».

Vous y trouverez les formules pour calculer les principaux paramètres de notre alimentation. Ils seront utiles pour ceux qui souhaitent personnaliser le projet en l'adaptant à leurs besoins.

Réalisation pratique

Après la théorie, passons à la construction de notre alimentation.

La première étape consiste à préparer le circuit imprimé.

À ce stade, vous avez deux possibilités, soit utiliser le typon du circuit imprimé que vous pouvez imprimer sur un transparent et ensuite fabriquer le circuit par photogravure, soit pour ceux qui possèdent le logiciel **Eagle** modifier le fichier « **brd** » pour adapter l'alimentation à leurs besoins et générer les fichiers Gerber pour une fabrication professionnelle. Les fichiers sont téléchargeables dans le sommaire détaillé de la revue.

En figure 1, vous pouvez voir le fichier « Alimentation ET1323_V1_3.brd » ouvert dans Eagle. Il s'agit du circuit imprimé dont vous pouvez voir les pistes (en bleu) de la couche inférieure (bottom).

En cliquant sur le bouton « **Manufacturing** » en haut à droite, vous pouvez voir

un aperçu du circuit une fois fabriqué (voir la figure 2). Cliquez alors sur le bouton « **CAM** » en bas à droite afin de générer les fichiers Gerber. Une fenêtre s'ouvre dans laquelle vous pouvez visualiser l'ensemble des fichiers Gerber.

En sélectionnant à gauche « **Gerber** » → « **Bottom Copper** », vous devez obtenir un résultat semblable à celui de la figure 3 qui représente la couche inférieure (bottom). En sélectionnant les autres couches, vous visualiserez les différents fichiers correspondants.

Pour générer l'ensemble des fichiers Gerber, cliquez sur le bouton « **Process Job** » en bas à droite. Ensuite, vous pouvez faire fabriquer votre circuit par un professionnel du circuit imprimé.

Une fois le circuit imprimé gravé et percé, commencez par souder les composants

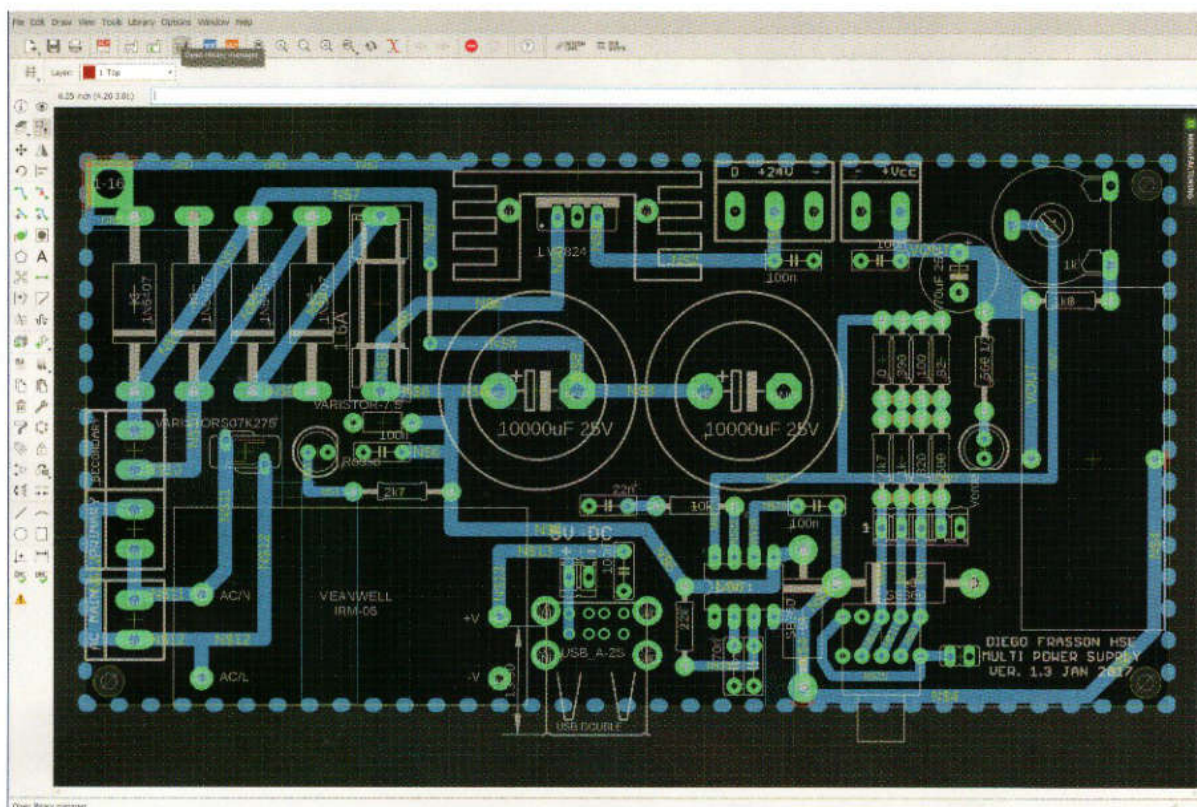


Figure 1 : le fichier « Alimentation ET1323_V1_3.brd » ouvert dans Eagle.

ayant un profil bas, c'est-à-dire les résistances, les diodes en prêtant attention à leur orientation.

Ensuite, soudez le support de U2, les condensateurs non polarisés, le cavalier et le trimmer. Continuez avec les LED en respectant l'orientation du méplat (sinon la LED ne s'allumera pas), les varistances et le porte-fusible, les connecteurs, les borniers et le potentiomètre, puis le double connecteur USB.

Soudez ensuite les condensateurs électrolytes les plus petits, les plus gros doivent être soudés en dernier. Continuez avec le régulateur 7824 en respectant son orientation (sa partie métallique doit être positionnée vers l'extérieur du circuit). Il doit être monté sur un dissipateur de 15 °C/W.

Ensuite soudez le convertisseur PWS1, ces broches ne peuvent être insérées que dans une seule position. Enfin soudez les condensateurs électrolytes de 10 000 µF et l'inductance.

Une fois toutes les soudures terminées, insérez le circuit intégré U2 dans son support en respectant son orientation (son détrompeur en forme de « U » doit

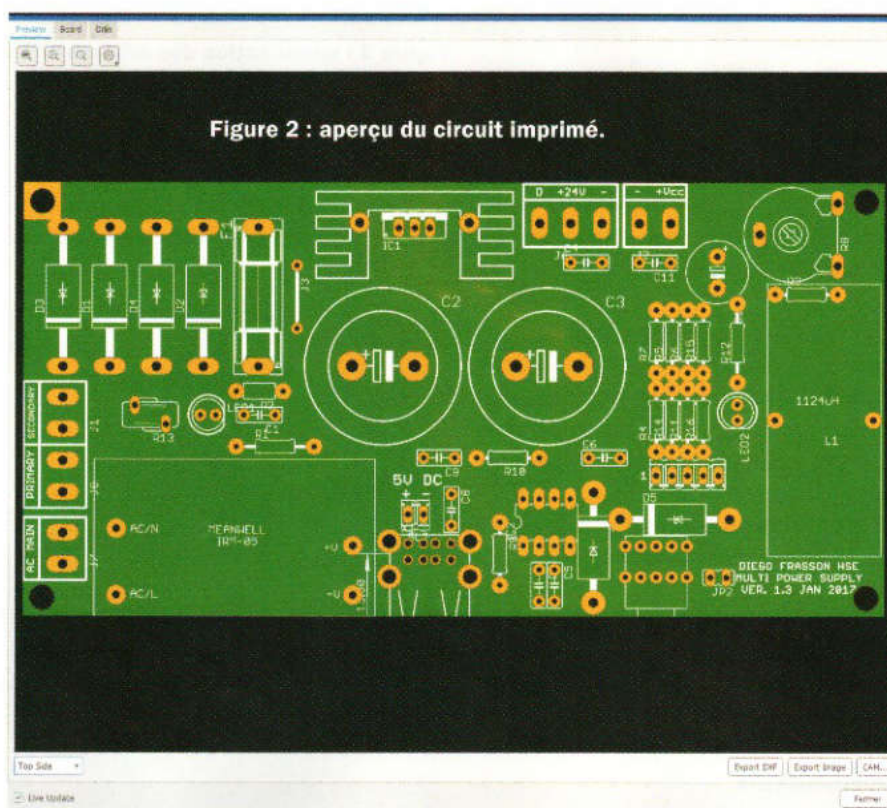


Figure 2 : aperçu du circuit imprimé.

être positionné vers le convertisseur PWS1). Vérifiez soigneusement l'orientation des composants polarisés (diodes, condensateurs électrolytiques, 7824, U2) en suivant le plan de montage.

En ce qui concerne le câblage, connectez un cordon d'alimentation se terminant par une fiche secteur au bornier « AC MAIN » (sans la brancher au secteur pour l'instant !).

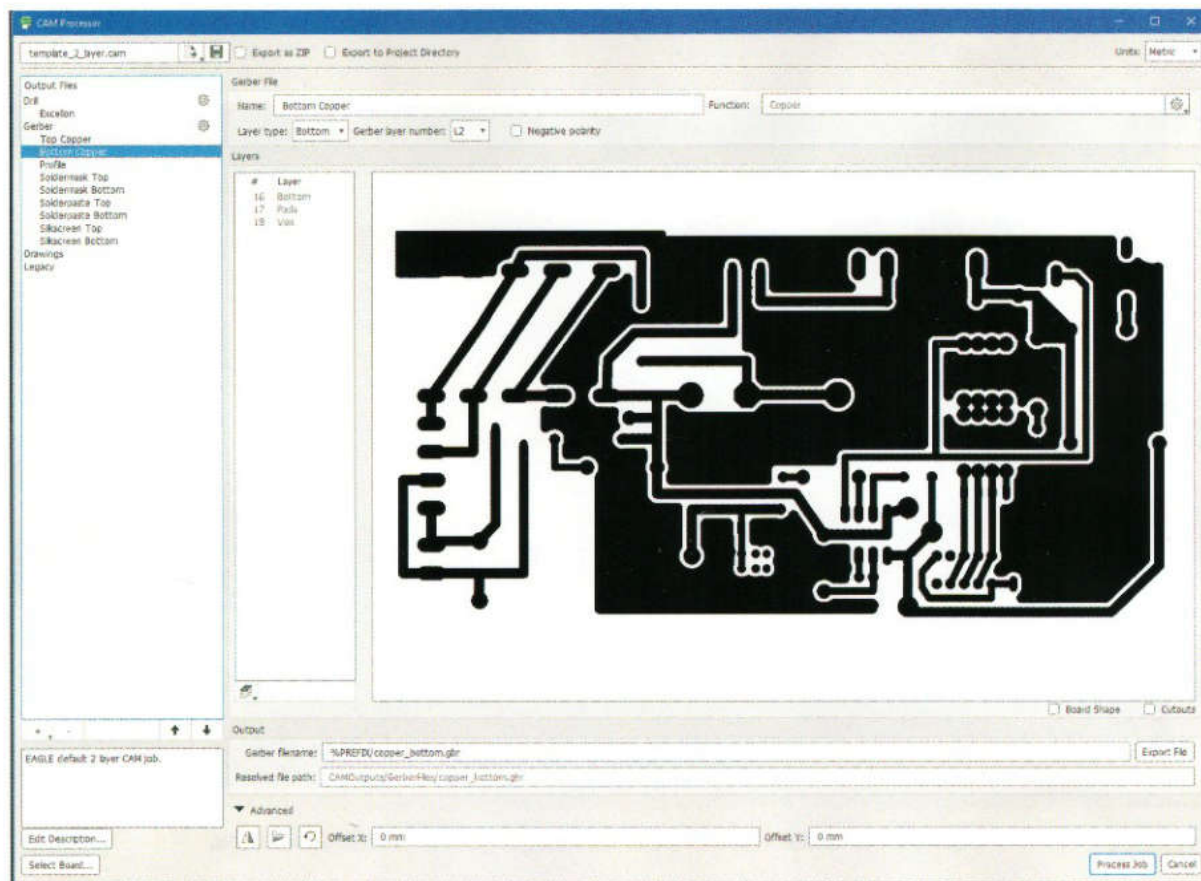


Figure 3 : visualisation des différents fichiers Gerber.

Reliez les fils de l'enroulement primaire du transformateur au bornier « PRIMARY ». Le secondaire du transformateur doit être connecté au bornier « SECONDARY ».

Une fois les connexions terminées, alimentez le circuit (en insérant la fiche d'alimentation dans une prise secteur) et avec un multimètre, contrôlez les différentes tensions de sortie une par une.

Réglez éventuellement la tension « VOUT1 » à l'aide du trimmer R8.

Une fois cela effectué, votre alimentation est prête à être placée dans un boîtier approprié.

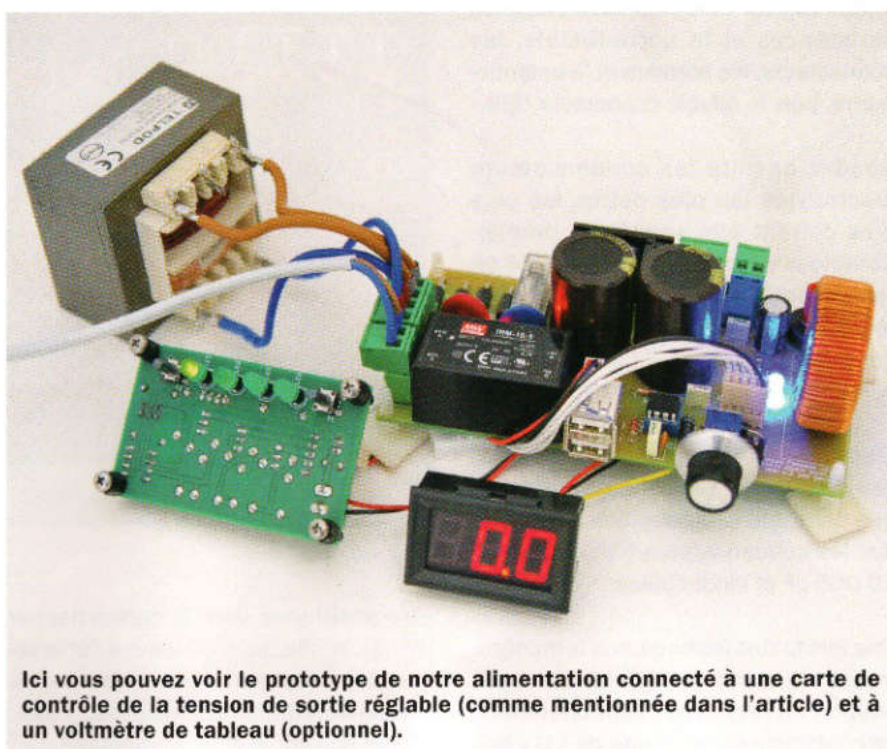
Conclusion

Nous avons terminé la description de notre alimentation multi-tensions.

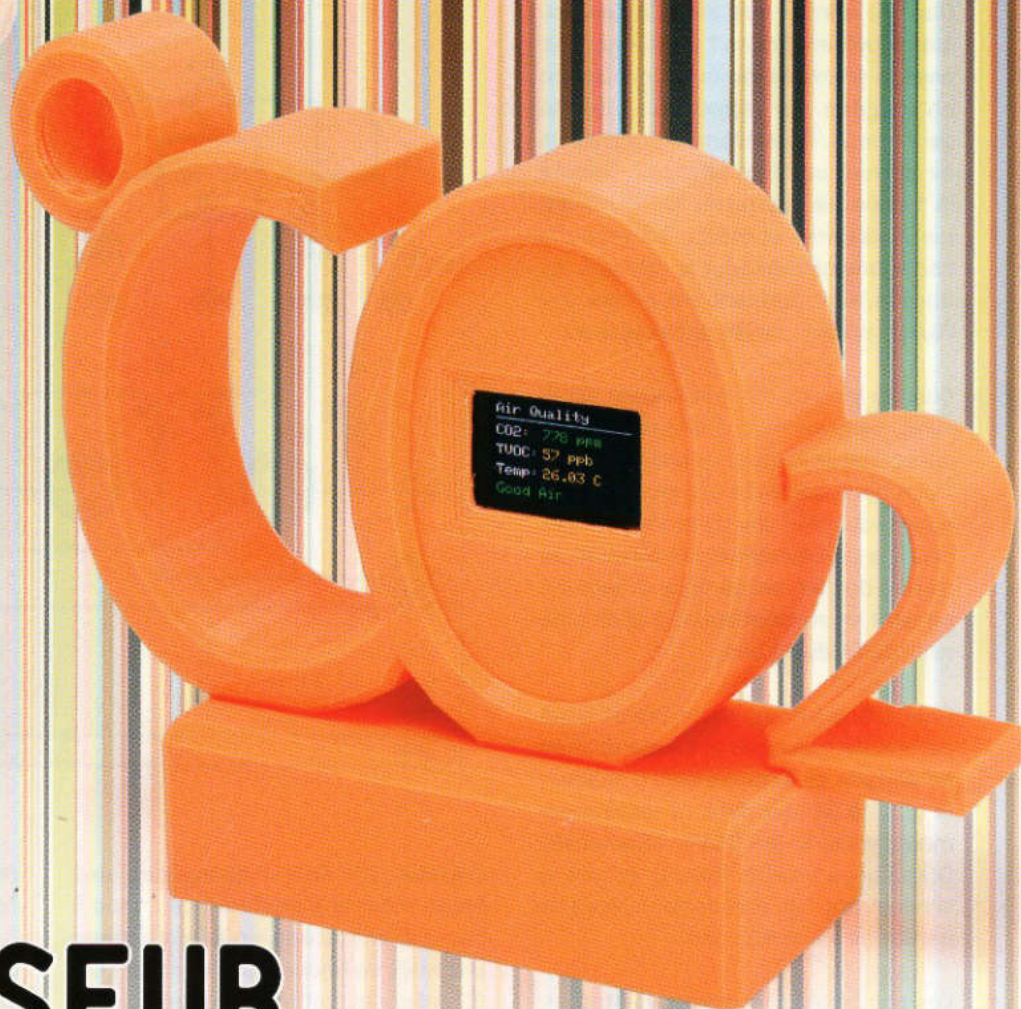
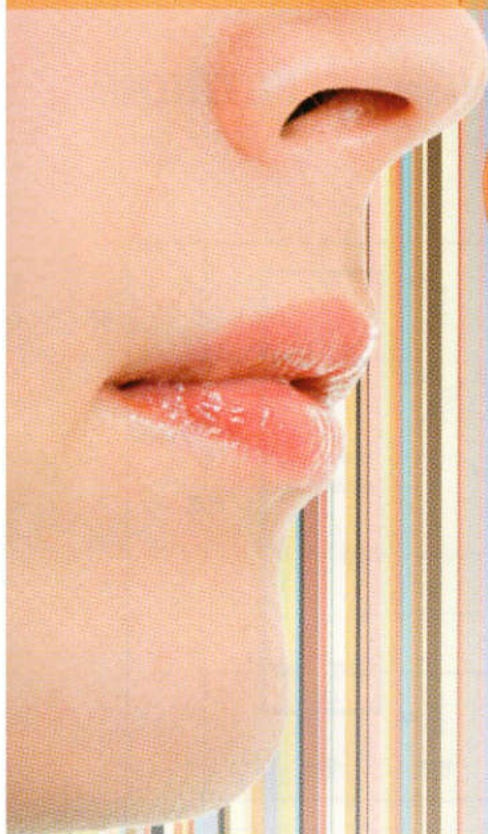
Rappelons que nous publierons une carte de contrôle (basée sur un microcontrôleur ATTiny) afin de régler la tension de sortie à l'aide de deux boutons

poussoirs et visualiser la valeur de la tension sélectionnée à l'aide de LED. Plus qu'un projet, cet accessoire sera l'occasion de montrer comment un

petit microcontrôleur provenant de la firme Atmel peut être mis en œuvre et de fournir quelques notions utiles sur sa programmation.



Ici vous pouvez voir le prototype de notre alimentation connecté à une carte de contrôle de la tension de sortie réglable (comme mentionnée dans l'article) et à un voltmètre de tableau (optionnel).



ANALYSEUR DE LA QUALITÉ DE L'AIR

de Alessandro Sottocornola

Grâce à un capteur capable de détecter la concentration de particules polluantes en suspension dans l'air, nous vous proposons de réaliser un instrument capable de détecter la qualité de l'air et de vous conseiller éventuellement de ventiler la pièce.

La pollution atmosphérique est un problème qui se pose depuis des décennies, surtout pour ceux qui habitent dans les grandes agglomérations, ou à proximité des grands centres industriels. Il s'ensuit une préoccupation, parfois peu motivée, pour la qualité de l'air que nous respirons.

Les détecteurs de polluants existent depuis longtemps, en particulier ceux mis périodiquement au premier plan, et qui sont essentiellement les détecteurs de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone et des fameuses particules fines issues des moteurs diesel récents.

Les données qu'ils détectent sont ensuite traitées et rendues publiques sur des sites spécialisés ou ceux des organismes chargés du contrôle de la santé publique, ainsi que sur les sites de certaines grandes municipalités.

Comme pour les stations météorologiques, que beaucoup d'entre nous aimerions avoir chez nous pour avoir des prévisions personnalisées, le même phénomène se pose pour la qualité de l'air. Il existe un grand intérêt à connaître la qualité de l'air d'un endroit fermé, où le problème se pose pendant l'hiver, lorsque les portes et les fenêtres ne sont pas ouvertes à cause du chauffage.

Dans ce dernier cas, au-delà des polluants présents dans l'air ambiant, se pose le problème de la concentration en oxygène par rapport au dioxyde de carbone. Cependant, les polluants ne doivent pas être négligés, comme la fumée de cigarette, les solvants, les poussières et même les produits chimiques utilisés pour le ménage. Au bureau, l'air ambiant est pollué par l'ozone produit par les photocopieurs.

Compte tenu de l'intérêt suscité par le sujet, nous avons cherché un capteur qui permet de mesurer la qualité de l'air. Nous nous sommes mis au travail et nous avons créé une carte électronique capable de détecter et de surveiller la qualité de l'air, basée uniquement sur un petit microcontrôleur 8 bits comme celui de l'Arduino Uno.

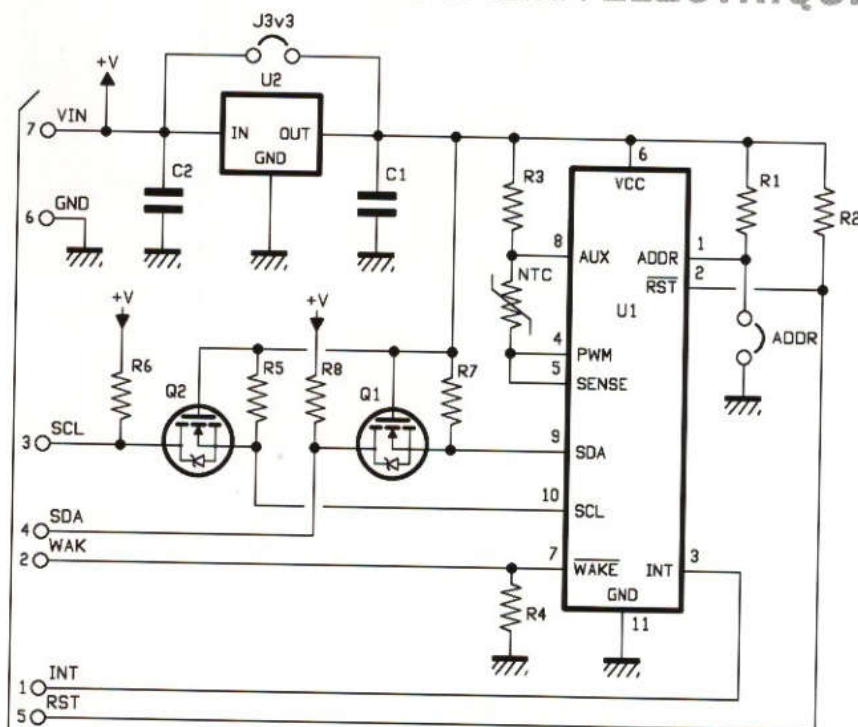
Plus précisément, notre projet nous permet de connaître la **concentration de dioxyde de carbone** (afin d'indiquer la qualité de l'air dans un environnement fermé) et le « **COVT** » (Composés Organiques Volatils Totaux) qui est la concentration en parties par milliard de particules en suspension.

Les composés organiques volatils, ou « COV » sont des composés organiques pouvant facilement se trouver sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Ces composés ont la particularité d'avoir un point d'ébullition très bas, ils s'évaporent ou se subliment facilement depuis leur forme solide ou liquide. Cela leur confère l'aptitude de se propager plus ou moins loin de leur lieu d'émission, entraînant ainsi des impacts directs et indirects sur les animaux et la nature.

Les **COV ont un impact direct sur la santé**. Plusieurs normes de la qualité de l'air ont été établies dans le passé afin de protéger les humains face aux différents polluants atmosphériques pouvant nuire à la santé. Il est difficile de déterminer des valeurs limites pour la concentration en COV dans l'air ambiant, à cause de la complexité de la chimie entre ces molécules.

Certains COV ont des effets directs sur le corps humain, comme le tétrahydrofurane qui s'attaque au foie et aux nerfs ; le trichloroéthylène nuit au cœur et est cancérigène.

SCHÉMA ÉLECTRIQUE



Certains COV sont cancérogènes, une étude récente a confirmé ce risque à partir d'une étude épidémiologique effectuée en Rhône-Alpes et portant sur 37 polluants. L'étude a montré que ces polluants induisent des irritations des yeux, du nez et de la gorge et attaque au fil du temps les voies respiratoires.

Schéma électrique

Notre montage a été conçu au format d'une carte de type « breakout board » afin de rendre les connexions facilement accessibles. La carte contient donc des composants montés en surface (CMS). Le composant principal de notre circuit est le capteur « **CCS811** » de AMS (<http://ams.com>).

Il est disponible sous la forme d'un très petit boîtier de type LGA (avec contacts en-dessous) de dimensions 2,7 mm x 4 mm seulement.

Ce composant **intègre un capteur à oxyde métallique** qui, lors du fonctionnement, peut être frappé par certains ions de l'air et, en fonction de la « contamination », modifie ses paramètres. Ces derniers sont mesurés par la logique interne et convertis en

données qui sont disponibles sur une connexion de type bus I2C.

Comparé aux capteurs de gaz classiques qui incorporent un élément en dioxyde d'étain chauffé par une résistance absorbant un certain courant, le CCS811 consomme très peu, typiquement 1,2 mW. Il est alimenté avec une tension de 3 VDC.

C'est donc une solution idéale pour de nombreux appareils et capteurs alimentés par des panneaux solaires ou par des batteries. La faible consommation provient des très petites dimensions de l'élément sensible, qui nécessitent donc un chauffage minimaliste, d'où une très faible consommation.

Examinons le schéma électrique afin d'étudier le fonctionnement de notre circuit. Le capteur (U1) **est interfacé** avec le mode externe **via le bus I2C** équipé de **translateurs de niveaux**, car il fonctionne avec une tension de 3,3 V.

Cette tension est fournie par le régulateur U2 LDO « TS3480CX33 » de la firme « Taiwansemi » (www.taiwansemi.com).

Ce dernier reçoit la tension d'alimentation (filtrée par le condensateur C2) sur

la broche « VIN » de la carte, référencée à la masse commune (GND).

Le régulateur est indispensable si la tension d'alimentation sur la broche « VIN » dépasse 3,3 V ou si elle n'est pas stabilisée. Si la tension appliquée sur la broche « VIN » est stabilisée à 3,3 VDC, il est alors possible de bypasser le régulateur U2 en fermant le cavalier « J3v3 ». La tension de 3,3 VDC est ensuite filtrée par le condensateur C1 et atteint le capteur sur la broche 6.

Le « CCS811 » analyse la qualité de l'air grâce à la détection de la concentration de certains gaz et de particules en suspension qui passent à travers la partie supérieure du boîtier du circuit intégré.

La concentration des gaz modifie la conductivité de l'élément sensible aux oxydes métalliques présent à l'intérieur du capteur. L'élément sensible est chauffé par un circuit chauffant alimenté par un signal PWM généré par le MCU interne (au capteur), il s'agit en fait d'un transistor (interne) qui fait office de chauffage.

En chauffant le capteur, la sensibilité de ce dernier augmente. La température de l'élément à oxyde métallique est stabilisée grâce à une logique dont la référence est disponible sur la broche 5 (SENSE).

La variation de la résistance détermine une modification du potentiel présent sur « S+ » par rapport à la masse (voir la figure 1), cette variation est lue par le MCU interne et interprétée comme une concentration de polluant. Le schéma interne représenté en figure 1 permet de comprendre le fonctionnement du circuit intégré d'AMS.

Pour fonctionner correctement et ne pas donner des indications inexactes, il doit s'auto-calibrer, c'est-à-dire **qu'il doit séjourner pendant une période relativement longue** (presque une journée entière) **dans un environnement où la qualité de l'air doit être analysée**, afin d'accumuler des valeurs et ainsi constituer une moyenne de référence.

Le circuit intégré offre la possibilité de corriger les mesures en fonction de la température ambiante, ce qui est utile

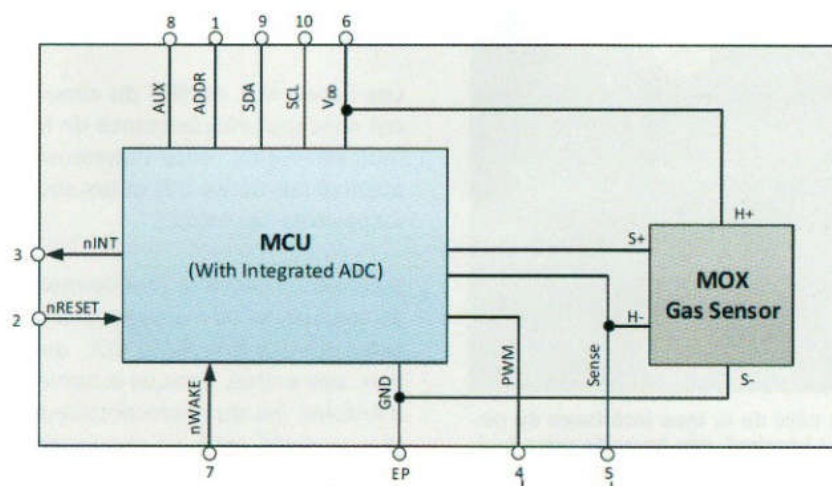


Figure 1 : schéma synoptique du circuit intégré « CCS811 ». Pour que l'élément chauffant du capteur fonctionne, il est nécessaire de relier les broches 4 et 5.

car la détection des polluants par le capteur à oxyde métallique varie en fonction de la température et donc la concentration de polluants détectés par le « CCS811 ».

Dans notre circuit, la température est mesurée par une thermistance CTN connectée entre les broches 8 (AUX) et 4 (PWM) et 5 (SENSE).

Notez que la CTN n'est pas obligatoire, mais elle permet de restituer des données, fournies par le capteur, plus proches de la réalité.

Pour être complet, nous devons mentionner que le circuit intégré « CCS811 » peut également effectuer une correction des valeurs en fonction de l'humidité de l'air ambiant.

Il nécessite à cet effet le raccordement d'un capteur d'humidité en parallèle ou en série (en fonction de la configuration choisie) à la thermistance. Le mieux est d'utiliser le capteur de température et d'humidité référencé « ENS210 », également fabriqué par AMS.

La thermistance se connecte donc entre les broches 8 (AUX) et 5 (SENSE). Ainsi, la CTN provoque une augmentation du courant sur l'entrée « AUX » lorsque la température augmente.

La résistance R3, connectée entre l'entrée « AUX » et la ligne d'alimentation positive, forme avec la thermistance un

diviseur de tension. Sa valeur est calculée pour une température ambiante de 25 °C.

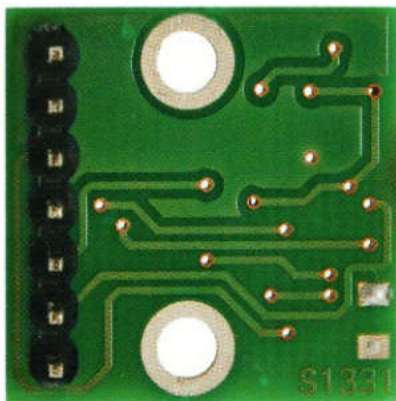
Dans notre cas, nous n'utilisons pas le capteur « ENS210 », ainsi le paramètre d'humidité doit être forcé. Dans l'application, que nous vous proposerons en combinaison avec une carte Arduino, le taux d'humidité est fixé à 50 % afin que, dans tous les cas, le calcul effectué soit correct.

Afin de rendre ce montage compatible avec les différentes cartes Arduino et, en général, avec tous les circuits à microcontrôleurs fonctionnant avec des niveaux logiques TTL, nous avons inclus un adaptateur de niveau afin de pouvoir travailler avec des systèmes logiques fonctionnant à 5 V ou à 3,3 V.

Dans la pratique, le translateur de niveaux permet d'obtenir en sortie des niveaux élevés à 5 V et d'adapter les entrées logiques à des niveaux de 3,3 V. Cet adaptateur est appliqué aux broches SCL et SDA du bus I2C.

Les lignes « INT » et « RST », qui sont disponibles sur les contacts 1 (INT) et 5 (RST) de la carte, ne disposent pas d'adaptateur de niveaux et doivent donc être utilisées avec des systèmes logiques fonctionnant avec des niveaux compatibles à ceux du « CCS811 ».

Arrêtons-nous un instant sur le translateur de niveaux logiques placé sur le



Du côté de la face inférieure du circuit imprimé, une barrette mâle facilite l'intégration de la carte dans un système existant.

bus I2C, afin d'expliquer son fonctionnement. Les deux transistors MOSFET constituent le translateur de niveaux logiques et leur configuration, bien que cela paraisse étrange, permet d'adapter les niveaux logiques TTL (0/5V) à ceux du circuit intégré U1 et inversement.

Pour que le montage fonctionne, les MOSFET (qui sont de type canal N) ont leur grille polarisée avec la tension de 3,3 V provenant de la ligne d'alimentation positive du « CCS811 ». Leur drain est relié à l'alimentation « VIN » au moyen d'une résistance de tirage (pull-up). Le MOSFET Q1 a donc le drain connecté à la ligne SDA (broche 4) du connecteur de la carte, tandis que le drain du MOSFET Q2 est relié à la ligne SCL (broche 3).

Notez que, puisque le circuit U1 est un périphérique esclave du bus I2C, la ligne SCL est donc une entrée, elle est donc unidirectionnelle.

Par contre, la ligne SDA doit fonctionner de manière bidirectionnelle.

Les lignes SCL et SDA du circuit U1 ont chacune une résistance de tirage (pull-up) reliée entre l'alimentation positive (sortie de U2) et les sources respectives des MOSFET.

Pour comprendre le fonctionnement de cette partie du montage, analysons celle relative à la ligne SCL, qui est donc une entrée. Lorsque la sortie SCL d'Arduino (ou du microcontrôleur qui gère la carte) est à un niveau logique bas, le MOSFET Q2 est bloqué car le potentiel de sa grille (gate) est égal à celui de sa source, cependant sa diode de protection est directement polarisée à ce moment et amène la ligne SCL (broche 10) de U1 à un niveau 0 logique (0,6 V).

Lorsque la ligne SCL d'Arduino est à un niveau logique 1, la diode est bloquée et le MOSFET également, mais la résistance R5 permet d'obtenir une tension de 3,3 V sur la ligne SCL.

Donc, avec SCL (du connecteur de la carte) placé à 0 V, SCL (de U1) est à un niveau logique 0, alors qu'à 5 V (SCL de la carte) elle est à un niveau logique 1, SCL (de U1) est à alors à 3,3 V (interprété comme un niveau logique 1).

Compte tenu de ce mode de fonctionnement, nous pourrions penser que la diode et les deux résistances de tirage suffisent.

Mais les MOSFET servent en fait à garantir une communication bidirectionnelle,

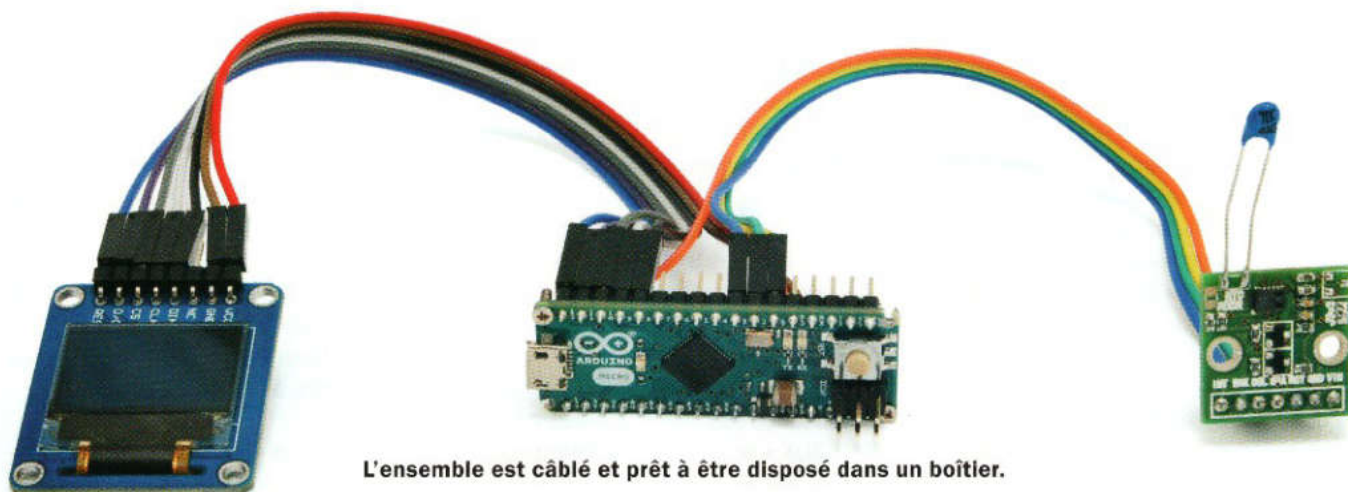
même si dans ce circuit, nous avons besoin d'une communication bidirectionnelle uniquement pour la ligne SDA.

Examinons le fonctionnement dans le cas d'une communication sur la ligne SDA. Lorsque le circuit intégré U1 doit envoyer des données, la ligne SDA passe à un niveau logique 0, ainsi le MOSFET Q1 entre en conduction, puisque ce dernier a sa grille polarisée à 3,3 V. Son drain présente à peu près le même potentiel et donc la ligne SDA du connecteur de la carte passe à un niveau logique 0. Inversement, lorsque la broche 9 de U1 est à un niveau logique haut, le MOSFET Q1 est bloqué et la résistance R8 maintient la ligne SDA à 5 V.

Analysons maintenant ce qui se passe lorsque Arduino ou un autre périphérique connecté à la carte envoie des données à la carte au niveau du bus I2C. Lorsque la ligne SDA est portée à un niveau logique 0, comme pour la ligne SCL, la diode de protection du MOSFET (Q1, dans ce cas ...) porte la broche 9 de U1 à environ 0,6 V, l'amenant ainsi à un niveau logique bas.

Lorsque la ligne SDA est portée à 5 V (par Arduino ou autre), la diode de protection et le MOSFET sont bloqués, ainsi la résistance de tirage R7 maintient la broche 9 de U1 à 3,3 V.

Pour conclure la description du schéma électrique, examinons le cavalier « ADDR » et les lignes « RST » et « WAK ». Le cavalier « ADDR » permet de choisir entre deux valeurs d'adresse du bus I2C attribuée au circuit « CCS811 ».



L'ensemble est câblé et prêt à être disposé dans un boîtier.

Nous avons 2 possibilités pour la broche 1 (ADDR) de U1, donc 2 adresses possibles agissant sur la broche d'adresse. Le cavalier définit le dernier bit des trois qui définissent l'adresse I2C, les deux premiers bits étant fixés en usine dans le circuit intégré.

Lorsque « ADDR » est à un niveau bas, l'adresse vaut 90 en décimale soit « 0x5A » en hexadécimale, tandis que s'il est à 1 l'adresse vaut 91 soit « 0x5B ».

La broche « RST » permet une réinitialisation, lorsqu'elle est mise à 0, U1 est réinitialisé. Elle est normalement désactivée car la résistance R2 maintient « RST » (broche 2) à un niveau logique haut.

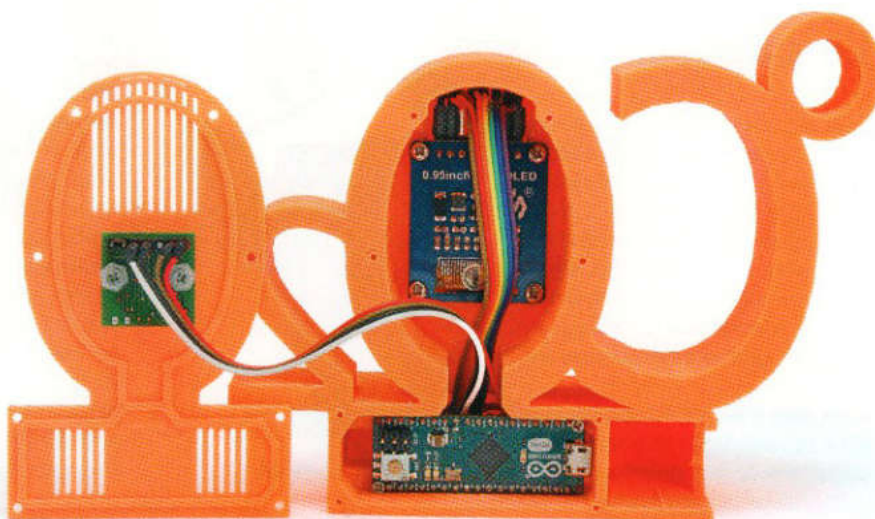
Enfin, la broche « WAK » correspond à l'activation du circuit. Elle se trouve normalement à la masse à travers la résistance R4, mais si elle est portée à un niveau logique 1, le bus I2C du circuit U1 se trouve bloqué. Cette broche est gérée par Arduino ou par le microcontrôleur qui contrôle la carte.

La gestion logicielle

Pour vous montrer le potentiel de la carte et du capteur, nous avons décidé de l'intégrer dans un projet qui affiche les valeurs mesurées sur un petit écran OLED, avec un arrière-plan dont la couleur change en fonction de la qualité de l'air analysée. La couleur varie du vert (bon air) au rouge (air de mauvaise qualité) en passant par le jaune (air acceptable mais pas idéal).

Comme vous pouvez le voir sur le schéma de câblage, pour l'acquisition et le traitement des données de la carte capteur et la visualisation sur l'afficheur, nous utilisons une carte Arduino Micro, l'une des plus simples et des plus petites cartes Arduino.

L'écran OLED mesure 0,95" soit moins de 2.5 cm de diagonale et possède une interface SPI. Il est basé sur un contrôleur graphique de type SSD1331 de SOLOMON SYSTECH avec une résolution de 96 x 64 pixels.



Sur cette image, l'ensemble des composants insérés dans le boîtier que nous avons imprimé en 3D.

Dans notre projet, pour gérer le capteur « CCS811 » afin d'obtenir des données sur la pollution et la température de l'air, nous avons utilisé une librairie fournie par Sparkfun, que nous avons modifiée pour la lecture de la CTN.

Pour le calcul de la température, nous nous sommes basés sur la documentation officielle fournie par AMS et sur la formule indiquée dans la fiche technique correspondante, qui est la suivante :

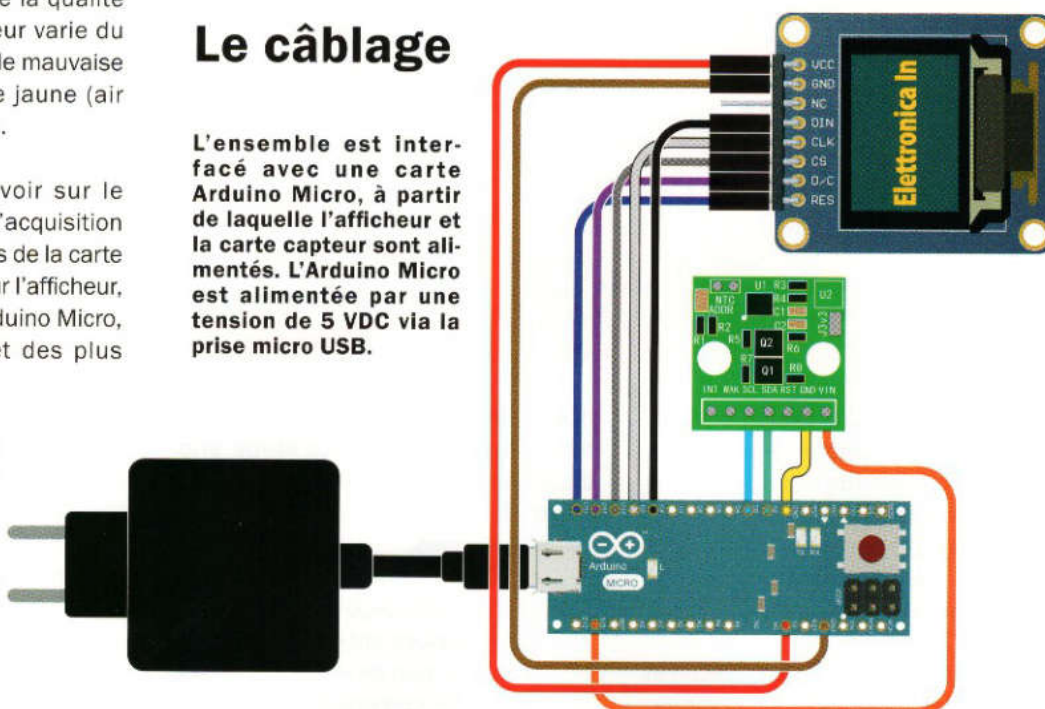
$$R_{NTC} = V_{NTC} * R_{REF} / V_{REF}$$

Cette formule met en corrélation les variations de la résistance de la thermistance en fonction de la tension présente à ses bornes, de la valeur de la résistance du diviseur formé par R3 et de la tension V_{REF} .

La valeur de la température mesurée est exprimée sous une forme numérique et écrite dans le registre à 4 bits « NTC Register » (adresse 0x06). Dans notre exemple, nous avons décidé d'afficher les données disponibles directement sur l'écran.

Le câblage

L'ensemble est interfacé avec une carte Arduino Micro, à partir de laquelle l'afficheur et la carte capteur sont alimentés. L'Arduino Micro est alimentée par une tension de 5 VDC via la prise micro USB.



Le capteur

Pour déterminer la qualité de l'air ambiant, nous utilisons le capteur référencé « CCS811 ». Il est constitué d'un film sensible d'oxyde métallique chauffé par un système à très basse consommation, afin que le composant puisse être intégré dans n'importe quel montage (par exemple, une montre connectée).

Il est doté d'un microcontrôleur qui gère ses fonctions et transforme le signal analogique obtenu de l'élément sensible en données numériques disponibles via le bus I2C.

Ce capteur est capable de déterminer la concentration d'une large gamme de composés organiques volatils (COV) afin d'en déduire la concentration en dioxyde de carbone.

Le capteur est encapsulé dans un boîtier LGA à 11 contacts, plus le point central, qui sert de dissipateur thermique et de masse. L'alimentation requise pour le capteur est une tension continue comprise entre 1,8 VDC et 3,6 VDC avec une très faible consommation, de 30 mA au maximum.

Les figures de cet encadré montrent l'apparence et le schéma synoptique du capteur. Sur l'image du haut, vous apercevez la double fenêtre à travers laquelle l'air atteint la couche sensible d'oxyde métallique. Le capteur analyse la qualité de l'air en détectant la concentration de certains gaz et de particules en suspension introduites par la double fenêtre.

La concentration des gaz modifie la conductivité de l'élément sensible constitué d'oxyde métallique. L'élément sensible est connecté entre la masse et l'entrée du MCU interne, il est chauffé par un transistor piloté par un signal PWM produit par le MCU interne, afin d'obtenir une plus grande sensibilité.

La température de l'élément d'oxyde métallique est stabilisée grâce à un circuit logique dont la référence est la broche « SENSE » (5). Les variations de la résistance induisent une modification du potentiel présent sur la broche « +S » de l'élément sensible par rapport à la masse. Ce potentiel est lu par le MCU interne et est converti en une concentration de polluants. La logique de contrôle intégrée comprend certaines broches de gestion, à savoir :

- la broche « INT » (3) est une sortie active à un niveau haut, elle est portée à un niveau logique 0 par la MCU afin d'indiquer l'achèvement d'un cycle de mesure de la qualité de l'air ou pour indiquer qu'une valeur de seuil prédéterminée a été atteinte ;
- la broche « RST » (2) est active à un niveau logique 0 (bas). Elle doit être normalement maintenue au potentiel VDD à travers une résistance de tirage (pull-up), d'une valeur typique de 4,7 kΩ ;
- la broche « WAK » (7) est une entrée qui permet l'activation de la communication. Lorsqu'elle est mise à un niveau logique 0, elle active la communication du BUS I2C. Le microcontrôleur doit la mettre à 0 avant de commencer toute session de communication sur le BUS I2C et doit la maintenir dans cet état jusqu'à la fin de la session (de communication).

Pour ne pas fournir des indications erronées, le capteur doit s'auto-calibrer, c'est-à-dire qu'il faut le laisser pendant une période relativement longue (presque un jour entier) dans l'environnement dans lequel la qualité de l'air doit être analysée, afin d'accumuler des valeurs pour constituer une moyenne de référence. Le capteur offre la possibilité de corriger les lectures en fonction de la température, la détection de cette dernière est confiée à une thermistance CTN connectée entre les broches 8 (AUX) et 5 (SENSE).

Le « CCS811 » peut également effectuer une correction des valeurs en fonction de l'humidité de l'air. Il nécessite alors le raccordement d'un capteur d'humidité en parallèle ou en série (selon la configuration choisie) avec la thermistance. La thermistance et le capteur d'humidité se connectent entre les broches « AUX » (8) et « SENSE » (5).

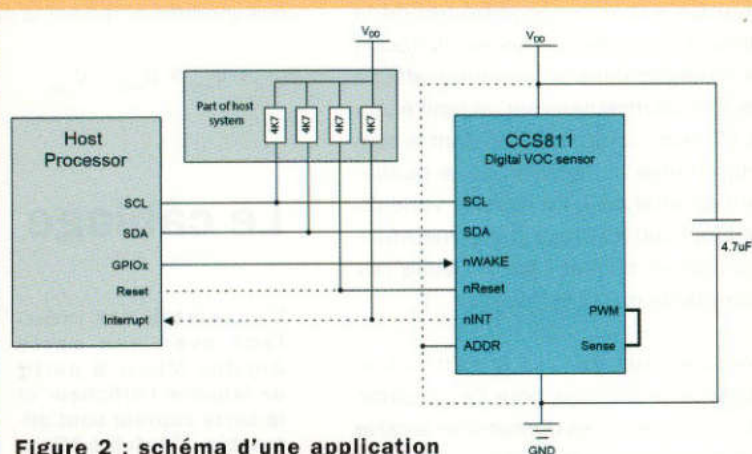


Figure 2 : schéma d'une application typique du circuit intégré « CCS811 ».

Lors du démarrage du sketch Arduino, la présence du capteur est testée en affichant l'indication comme quoi le capteur est correctement détecté, sinon un message d'erreur est indiqué. Si tout est correct, les données provenant du capteur sont visualisées.

Gardez à l'esprit que pour une indication correcte, le capteur doit s'auto-calibrer.

Il est donc important de respecter le temps imparti à cette étape afin d'obtenir des valeurs réelles. Le temps minimal pour avoir des données fiables est de 24 heures.

Pour rendre l'affichage plus intuitif, les valeurs visualisées ont une couleur différente en fonction de la qualité de l'air à laquelle elles correspondent.

Le tableau 1 indique les couleurs utilisées pour afficher la concentration en dioxyde de carbone. Le tableau 2 indique les couleurs correspondantes de l'arrière-plan lorsque l'écran affiche la concentration totale des particules organiques en suspension dans l'air.

Le tableau 3 récapitule les couleurs correspondantes à l'affichage de la

température ambiante mesurée par la CTN pour effectuer la compensation en température des concentrations de « COVT » et de « CO2 ».

Réalisation pratique

Passons maintenant à la construction de notre instrument de mesure, pour lequel nous avons fabriqué un joli boîtier imprimé en PLA avec notre imprimante 3DRAG.

La seule carte électronique à construire est la carte du capteur, car l'Arduino Micro et l'afficheur sont disponibles dans le commerce déjà montés.

Concernant la carte du capteur, vous devez réaliser le circuit imprimé double face en utilisant les typons téléchargeables sur notre site dans le sommaire détaillé de la revue, avec tous les autres fichiers du projet (notamment le programme complet).

Une fois le circuit gravé et percé, vous pouvez commencer l'assemblage des composants.

Le circuit utilise beaucoup de composants CMS dont un est particulièrement délicat à souder. Seule la thermistance et les cavaliers sont de type traversant.

Il est donc nécessaire de disposer d'un équipement de base composé d'un fer à souder de 20 W maximum avec une panne très fine (0,2 mm), de la soudure pour composants CMS de 0,5 mm de diamètre, de la tresse à dessouder, d'un flux de soudure, d'une pince à épiler et d'une bonne loupe pour vérifier les soudures et vous aider à positionner les composants les plus petits.

Pour l'assemblage, commencez par placer les composants à l'aide de la pince à épiler, dans leurs endroits respectifs. Centrez-les correctement, puis soudez-les après avoir déposé du flux de soudure sur leurs empreintes. Le flux facilite la phase de soudage.

Commencez par le circuit intégré « CCS811 », qui doit être centré correctement sur ses emplacements (empreintes) respectifs.

Soudez en commençant par une broche dans l'un des coins, puis soudez la broche diamétralement opposée en laissant refroidir le composant entre chaque soudure.

Ensuite, soudez les résistances (en vérifiant leur valeur à l'aide d'un ohmmètre pour éviter toute erreur), puis les condensateurs, et enfin les MOSFET.

La thermistance CTN doit également être soudée du côté composants (comme un CMS), mais elle doit être positionnée verticalement. Il serait préférable de la positionner sur le capteur « CCS811 ».

Pour les connexions avec l'extérieur, vous devez souder la barrette au pas de 2,54 mm. Deux autres barrettes de 2 pôles chacune feront office de cavaliers.

Une fois les soudures terminées, vérifiez qu'il n'y a pas de courts-circuits.

Votre carte est prête à être connectée comme indiqué sur le plan de câblage (voir la figure intitulée « Le câblage »).

À ce stade, vous devez téléverser le sketch (programme) dans la carte Arduino Micro, après avoir connecté

cette dernière à un PC à l'aide d'un câble USB-A/micro USB. Lancez l'IDE Arduino, sélectionnez le type de carte (Arduino Micro), puis ouvrez le sketch (disponible en téléchargement sur notre site avec les autres fichiers du projet) et effectuez le téléversement du programme vers la carte Arduino.

Une fois l'opération terminée, vous pouvez immédiatement tester le système en alimentant la carte Arduino Micro avec une alimentation dotée d'un câble se terminant par une prise micro USB, qui fournit une tension stabilisée de 5 VDC avec un courant d'au moins 500 mA.

Tableau 1		
CO ₂	Couleur	Qualité de l'air
0 - 600	Vert	Air excellent
601 - 800	Vert	Bon air
801 - 1000	Vert	Air moyen
1001 - 1500	Jaune	Air médiocre
1501 - 2100	Rouge	Mauvais air

Tableau 2	
TVOC	Couleur
0 - 50	Vert
51 - 100	Jaune
101 - 150	Jaune
151 - 200	Rouge
201 - 300	Rouge
301 - 500	Rouge

Tableau 3	
°C	Couleur
Inférieure à 15	Bleue
de 15 à 30	Jaune
Supérieure à 30	Rouge

```
Air Quality
CO2: 778 ppm
TVOC: 57 ppb
Temp: 26.03 C
Good Air
```

```
Air Quality
CO2: 1391 ppm
TVOC: 150 ppb
Temp: 26.27 C
Mediocre Air
```

```
Air Quality
CO2: 1980 ppm
TVOC: 350 ppb
Temp: 26.27 C
Bad Air
```

La couleur des paramètres change selon qu'ils sont bons (vert), acceptables (jaune) ou dangereux (rouge).

Plan de montage de l'analyseur de la qualité de l'air

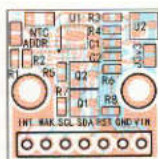


Schéma d'implantation des composants de l'analyseur de la qualité de l'air.

Photo de l'un de nos prototypes de l'analyseur de la qualité de l'air.

Liste des composants de l'analyseur de la qualité de l'air

R1..... 100 kΩ boîtier CMS 0603
 R2..... 4,7 kΩ boîtier CMS 0603
 R3..... 100 kΩ boîtier CMS 0603
 R4..... 100 kΩ boîtier CMS 0603
 R5..... 2,2 kΩ boîtier CMS 0603
 R6..... 2,2 kΩ boîtier CMS 0603
 R7..... 2,2 kΩ boîtier CMS 0603
 R8..... 2,2 kΩ boîtier CMS 0603
 C1..... 100 nF céramique boîtier CMS 0603

C2..... 100 nF céramique boîtier CMS 0603
 U1..... CCS811
 U2..... TS3480CX33 RFG
 Q1..... BSS138W-7-F
 Q2..... BSS138W-7-F
 CTN.... 100 kΩ

Divers

Barrette mâle 6 pôles soudée à 90°
 Barrette mâle 2 pôles (x2)
 Cavaliers (x2)



La pollution de l'air

L'air qui nous entoure n'est pas uniquement constitué d'oxygène qui nous permet de vivre, mais en grande partie d'autres gaz (tout d'abord l'azote). Cependant, lorsque la concentration en oxygène diminue de manière significative, une série de problèmes commence, notamment la nécessité d'accélérer le volume d'air introduit dans les poumons ce qui provoque une accélération du rythme cardiaque pour permettre à l'oxygène de voyager dans les cellules du corps humain.

Le manque d'oxygène devient plus important avec la chaleur, car la teneur en oxygène est plus faible pour le même volume d'air inspiré, en raison de la dilatation thermique que subissent tous les gaz. Le manque d'oxygène dans l'air se produit fréquemment lorsque vous séjournez dans des zones fermées et mal ventilées, cela entraîne des difficultés de concentration, une sensation de fatigue, etc.

Tout aussi importante est la concentration des polluants en suspension dans l'air, parmi lesquels nous rappelons que le monoxyde de carbone (CO) est toxique, car une fois inspiré, il capte un atome d'oxygène empêchant son utilisation dans les cellules. Ce gaz résulte d'une mauvaise combustion d'un appareil ou d'un moteur. Dans ce dernier cas, il s'agit d'une combustion incomplète des hydrocarbures qui génère les fameuses particules fines ou « PM ». Ces particules proviennent non seulement des véhicules à moteur endothermiques (qui contribuent pour un très faible pourcentage), mais également des rejets des centrales thermoélectriques et des entreprises, ainsi que des systèmes de chauffage. Les particules provenant de la combustion des moteurs sont constituées d'hydrocarbures non brûlés (HC).

Les particules fines sont divisées en plusieurs catégories en fonction du danger qu'elles représentent : les « grosses » particules (PM30 et au-delà) provoquent dans la plupart des cas une irritation des voies respiratoires supérieures mais peuvent être expulsées avec le mucus ; les particules très fines (PM10 et inférieures) traversent les membranes des alvéoles pulmonaires et pénètrent dans le sang 20 minutes après leur inhalation, entraînant de graves risques pour la santé.

Connaître le pourcentage des polluants est utile pour évaluer les risques pour la santé. Évaluer la concentration de gaz tels que le CO₂, qui n'est pas directement dangereux mais qui, à volume d'air identique, « capte » de l'oxygène, peut nous aider à déterminer à quel moment il est nécessaire de changer l'air d'une maison ou d'un local.

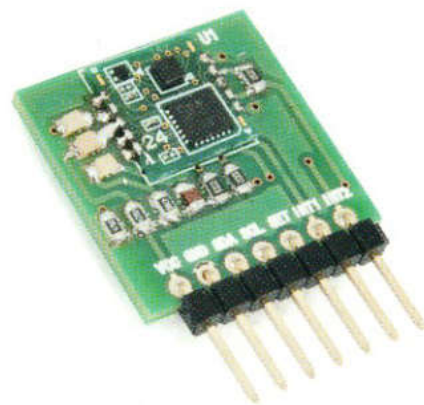
En ce qui concerne les particules organiques en suspension dans l'air ambiant, il peut être intéressant de consulter le tableau 4 (ci-après). Il permet d'évaluer la qualité de l'air et le danger en fonction de la concentration, exprimée en parties par milliard.

Tableau 4		
Valeur VOC	Qualité de l'air	Précautions
0 à 50	bonne	exposition sans risques
51 à 100	acceptable	limiter l'exposition prolongée des personnes très sensibles
101 à 150	pas saine pour les sujets sensibles	limiter l'exposition prolongée des personnes souffrant de maladies respiratoires et des très jeunes enfants
151 à 200	pas saine	éviter l'exposition, même brève, des personnes souffrant de maladies respiratoires ; limiter l'exposition des jeunes enfants
201 à 300	limite du danger	éviter l'exposition des personnes souffrant de pathologies respiratoires et l'exposition des jeunes enfants
301 à 500	dangereuse	éviter toute exposition

Détecteur de séismes

Cette breakout board est basée sur le circuit intégré D7S produit par Omron, il s'agit du plus petit capteur sismique au monde. Le D7S comporte un accéléromètre à trois axes, dont deux seulement sont utilisés lors de la détection d'un séisme et peuvent être sélectionnés par l'utilisateur ou automatiquement en fonction de l'inclinaison du capteur. Les broches SDA, SCL, SET, INT1 et INT2 du D7S sont disponibles sur un connecteur à 6 broches ; 3 LED d'état (alimentation, INT1 et INT2) sont montées sur la carte. Le bus I²C permet de modifier les paramètres du capteur ou de lire les données sismiques à partir de tout microcontrôleur équipé de ce bus, comme par exemple Arduino. La broche SET permet de mettre le capteur dans le mode d'installation initiale, par une simple pression, évitant ainsi d'avoir à utiliser le bus I²C. Les connexions avec Arduino sont très simples, il suffit simplement de connecter les broches d'alimentation du capteur (VCC et GND) aux broches Arduino 5V et GND et les broches SDA et SCL du bus I²C (sur Arduino UNO, les broches utilisées pour le bus I²C sont A4 et A5). Arduino permet la gestion des interruptions, une fonction très utile à associer au capteur car elle permet de réagir instantanément aux événements générés par le D7S. Pour l'utiliser, il suffit de connecter simplement les broches Arduino 2 et 3 aux broches INT1 et INT2 et exécuter le programme ISR (Interrupt Service Routine) sur la broche 2 lorsque l'événement FALLING se produit (c'est-à-dire le passage d'une valeur logique élevée à valeur logique basse), et sur la broche 3 en cas de changement (transitions logiques haut-bas et bas-haut). Alimentation : 3,3 V à 5 V.

La carte est livrée déjà montée, attention cependant **la barrette faisant office de connecteur doit être soudée.**



Réf. : 7100-BREAKOUT019

Prix : 48,00€

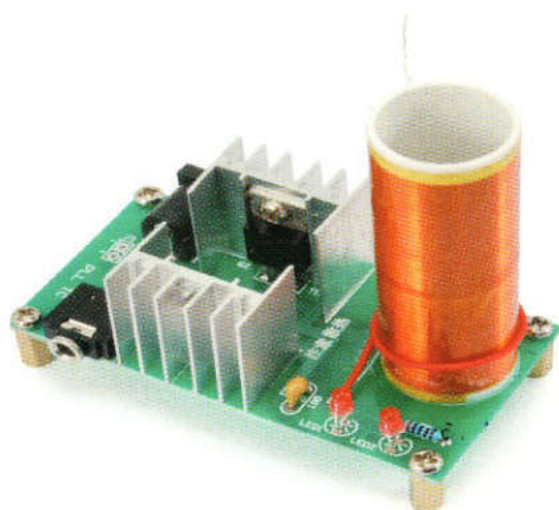
Haut-parleur Tesla

Ce kit original vous permet de créer une bobine Tesla qui, en générant la haute tension, crée un petit éclair qui permet, par exemple, d'allumer une lampe au néon en la rapprochant simplement de la bobine. Ce kit comprend également une entrée audio qui module le générateur en activant et désactivant l'arc électrique au rythme de la musique. Le signal audio appliqué sur l'entrée stimule le plasma de l'arc en le transformant en vibrations de l'air, reproduisant ainsi le son.

Alimentation : 15 à 24 VDC - 2 A (24 VDC recommandée).

Caractéristiques techniques

- Tension d'alimentation : de 12 VDC à 24 VDC ;
- Courant maximal : 2 A ;
- Haute tension générée : 2,1 kV à 13 VDC ;
- Dimensions : 76 * 80 * 40 (en mm) ;
- Entrée audio : jack 3,5 mm ;
- Amplitude maximale du signal audio : 2 Veff



Réf. : 8300-MINITESLAKIT

Prix : 11,00€

Mini récepteur FM 76 – 108 MHz

Basé sur le circuit intégré HEX3653, ce kit vous permet de réaliser une mini radio FM stéréo pouvant être alimentée par deux simples piles de type AA. Il utilise très peu de composants externes. Les boutons permettent le réglage du volume (VOL- et VOL+), la recherche des stations (SEEK- et SEEK+), l'activation ou la mise en veille du récepteur (PWS). L'accord varie de 76 à 108 MHz, généralement par pas de 50 kHz. L'extension de la bande FM accordable a été conçue pour couvrir toutes les bandes radio modulées en fréquence dans le monde. Généralement en Europe, la gamme FM varie de 87,6 et 108 MHz. Ce kit dispose d'une prise stéréo 3,5 mm pour l'écoute au casque et d'un connecteur qui permet la connexion à un amplificateur audio stéréo externe. Le fil du casque peut être utilisé comme antenne (exactement comme avec la radio FM intégrée des smartphones), il est possible aussi d'utiliser antenne externe.

N.B. les piles, le casque et l'antenne ne sont pas non inclus dans le kit.

Caractéristiques techniques

- Tension d'alimentation : 3 VDC ;
- Consommation : 30 mA ;
- Fréquence accordable : 76 à 108 MHz ;
- Sortie casque : 32 Ω ;
- Sortie audio : 200 mVeff ;
- Modulation : FM ;
- Décodage stéréo avec séparation des canaux de 35 dB ;
- Réglage digital par boutons ;
- Contrôle digital du volume.



Réf. : 1606-KITRADIOFM

Prix : 8,00€

Après le cours complet sur le logiciel Open Source KiCad EDA, paru dans les revues 141 à 146, nous vous proposons un guide vous permettant d'évaluer l'offre des logiciels de CAO pour la conception et la fabrication des circuits imprimés. Ainsi, vous pourrez choisir celui qui vous convient le mieux (gratuit ou payant).



LE GUIDE DE LA CAO

de Piero Boccadoro

La conception des cartes électroniques nécessite un travail énorme et varié, à la fois en terme de dessin des cartes, à partir de leurs spécifications fonctionnelles, et en termes de réalisation et de fabrication.

Pour concevoir une carte intégrée, il est nécessaire de définir toutes les fonctions qu'elle va exécuter, de comprendre les limites de son fonctionnement, de sélectionner les composants les plus appropriés, de choisir la topologie du circuit imprimé, puis de commencer par la réalisation du schéma électrique et le routage du circuit imprimé.

Après tout cela, vous pouvez passer aux premières étapes de test et de vérification qui consiste à fabriquer un prototype. Ce processus, aussi simple que cela puisse paraître, est en réalité très complexe. Cela est d'autant plus vrai que la carte est complexe.

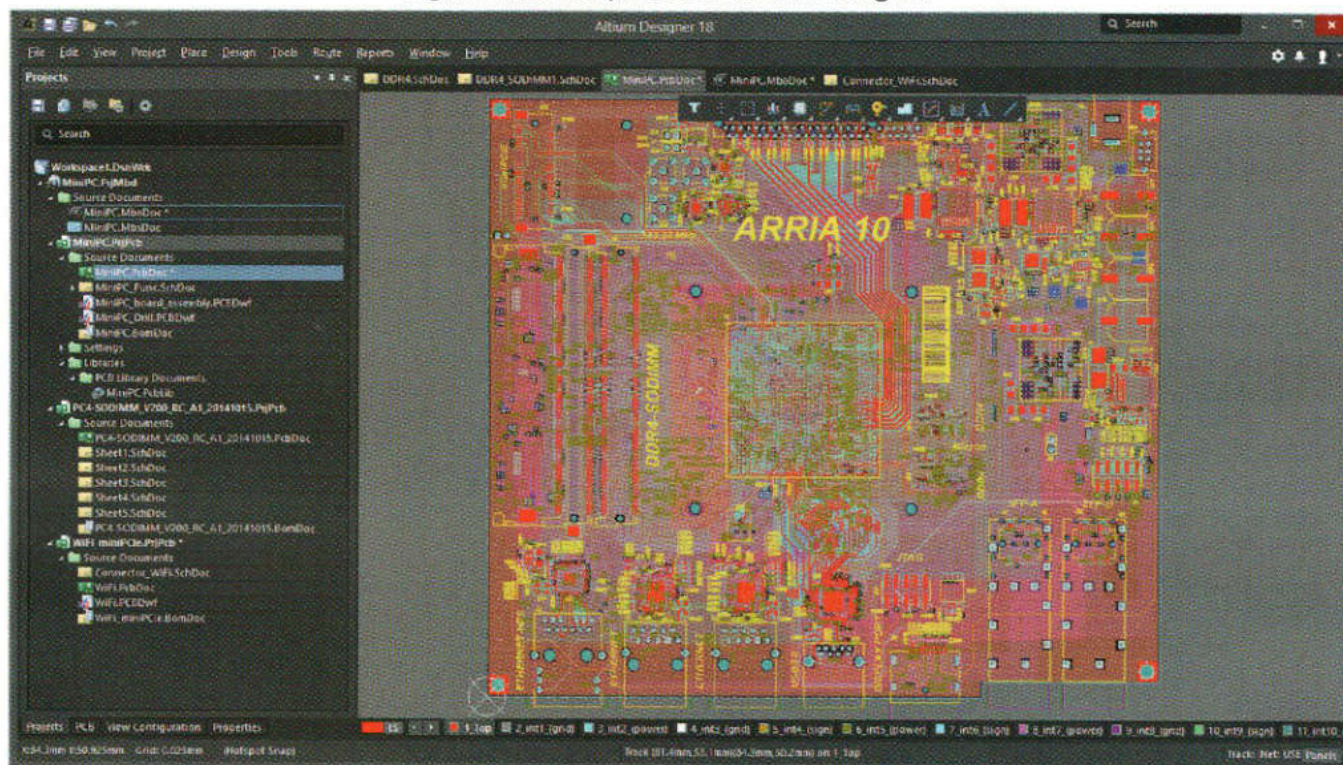
La fabrication de cartes électroniques peut être un processus long, parfois coûteux et nécessitant une grande expérience.

Dans les nombreuses phases de conception, y compris dans le domaine mécanique, il existe des logiciels pouvant aider les concepteurs à créer des prototypes.

Dans cet article, nous allons vous expliquer en détail ce que sont les **outils de CAO pour la conception de cartes électroniques** et comment ils peuvent être utilisés pour la réalisation de circuits imprimés.

Nous allons nous concentrer sur les fonctionnalités et les possibilités les plus intéressantes actuellement disponibles, en tenant compte des différences entre les logiciels Open Source (gratuits) et les logiciels propriétaires dont l'utilisation est payante.

Figure 1 : une recopie d'écran d'Altium Designer.



Pourquoi un logiciel de CAD (Computer Aided Design) ou de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) ?

Tout d'abord, clarifions ce qu'est un logiciel de CAD et son fonctionnement.

Un CAD, ou conception assistée par ordinateur, est un logiciel utilisé pour la conception assistée par ordinateur. Cependant, un CAD est un logiciel générique utilisé pour la conception. En fait, les outils de CAO sont utilisés en architecture et en construction.

La conception par le biais de la CAO intervient non seulement dans l'électronique, mais aussi dans la mécanique (Solid Works et AutoCAD), dans la construction (AutoCAD), dans l'aéronautique (CATIA) ainsi que dans les secteurs nautique et médical.

Ses fonctionnalités sont variées et, pour tous ceux qui connaissent le concept d'IDE, notamment le cours sur MPLAB-X IDE décrit également dans cette revue, il existe des similitudes évidentes.

Quiconque a écrit du code dans différents langages de programmation sait qu'un environnement de développement

intégré ou IDE est un outil logiciel de travail très utile qui peut simplifier la vie du programmeur.

Par exemple, en mettant en évidence les structures et les types de données, en proposant des fonctionnalités avancées avec une aide contextuelle, etc.

De ce point de vue, les outils de CAO sont similaires aux IDE.

En effet, grâce à l'utilisation d'un CAD, il est possible d'utiliser des composants de manière « standardisée ». Dans le cas de la réalisation de circuits électroniques, l'un des éléments de base proposés est bien entendu **la connexion**, c'est-à-dire les fils (**wire**) entre les différentes broches des composants.

Il s'agit donc d'un environnement de développement dans lequel la présence d'éléments de circuits réels peut être émulée. Une fois l'étude topologique terminée, la phase de test et de vérification d'un prototype commence.

Certains des outils de CAO que nous allons décrire sont également capables de mettre en œuvre les premiers tests, en simulant le circuit électrique et même les appareils de laboratoire.

Par conséquent, les différents aspects fonctionnels du logiciel dictent le choix de la CAO à utiliser :

- pas besoin, du moins au début, d'acheter des composants physiques ;
- le projet peut être modifié à tout moment ;
- capacité à simuler le comportement d'un circuit ;
- possibilité de tests préliminaires pour vérifier le fonctionnement ;
- le prix : gratuit ou payant ?

Bien entendu, comme cela se produit souvent lorsque l'offre sur le marché se diversifie, il existe de nombreux outils de ce type. Et parfois, ce ne sont pas les CAO payantes qui sont les meilleures !

Essayons donc de comprendre quelles sont les caractéristiques fondamentales qui doivent vous guider dans votre choix. Nous pouvons identifier cinq caractéristiques fondamentales qui sont les suivantes :

- **Intuitivité** : c'est un aspect important, car l'objectif de la CAO doit être de faciliter l'utilisation d'instruments complexes. L'interface utilisateur doit être simple, les icônes doivent

être facilement reconnaissables, les menus doivent être bien organisés, englobant efficacement les outils mis à disposition ;

- **Fonctionnalités** : nous entendons par là qu'il existe dans le logiciel toutes les fonctionnalités qui le rendent vraiment utile. Par exemple, une interface utilisateur intuitive, facile à apprendre et à mémoriser. Un concepteur n'a guère envie de naviguer parmi les menus pour chercher ce dont il a besoin ;
- **Stabilité** : il est essentiel que le logiciel de CAO le plus récent et le plus innovant soit néanmoins doté des outils fondamentaux dont le concepteur a besoin. Un composant non inclus dans les bibliothèques ou un grand nombre de couches doivent tous être des fonctionnalités bien prises en charge ;
- **Coût raisonnable** : indépendamment des solutions gratuites, il est important de comprendre ce qui rend le coût d'une CAO « raisonnable ». Disons qu'il existe certaines caractéristiques de base, que nous décrirons plus loin dans cet article, qui justifient une partie du prix. Le reste est logiquement lié aux services que les entreprises développent pour se différencier de la concurrence. Par exemple, est-ce que le support et les modules complémentaires de mise à jour inclus dans le contrat d'achat valent le prix ou non du logiciel ? Le choix doit être décidé en fonction de vos propres besoins (et de vos moyens) ;
- **Catalogue complet de bibliothèques de composants** : chaque logiciel de CAO respectable intègre toute une série de bibliothèques de composants. Selon l'étendue de la communauté (dans le cas de l'Open Source) ou la solidité de l'entreprise (pour les CAO payantes), le logiciel pourra enrichir sa dotation en bibliothèque de composants en intégrant les nouveaux composants électroniques qui sont mis sur le marché chaque jour. Mais lorsque cela n'est pas le cas, la création d'un nouveau composant, ou la définition d'un

nouvel élément d'une bibliothèque ou encore la création d'une nouvelle bibliothèque doit être simple, immédiate et intuitive.

N'oubliez pas que chaque outil nécessite un temps d'apprentissage avant de pouvoir exploiter pleinement ses qualités. Par conséquent, même si vous choisissez une CAO qui correspond à vos besoins, vous devez prendre un certain temps pour vous familiariser avec l'environnement de travail.

Indépendamment de ce que vous lisez dans cet article, il est toujours utile d'essayer différentes solutions logicielles pour déterminer celui qui est le plus complet et qui convient le mieux à vos besoins.

Les différents types de CAO

Les logiciels de CAO pour la conception d'un circuit imprimé peuvent être divisés en **deux grandes catégories** : **Open Source** et **propriétaires** (payants).

Dans le premier cas, il s'agit de projets « ouverts » qui vous permettent de modifier tous les aspects du logiciel. Ainsi un utilisateur développeur peut créer sa propre version personnalisée, éventuellement la partager avec la communauté.

Dans le second cas, vous devrez utiliser le logiciel tel qu'il est fourni, mais vous pourrez vous référer à la société qui le commercialise pour les problèmes et les éventuelles fonctions non encore intégrées (mises à jour). Toutefois, la licence d'utilisation aura un coût et une durée limitée dans le temps, elle devra être renouvelée. Vous devez donc l'intégrer dans le coût global de votre projet.

Il est important de souligner qu'il existe différents types de licences. En particulier, il existe des licences d'achat qui consistent à acquérir le logiciel avec une ou plusieurs licence(s) utilisateur, essentiellement sous la forme d'un abonnement mensuel ou annuel.

En outre, dans ce dernier cas, il est possible que l'option licence multiple, c'est-à-dire utiliser une licence sur plusieurs ordinateurs différents soit économiquement avantageuse.

Il existe également des CAO qui fonctionnent « hors ligne » (off line) ou qui doivent être obligatoirement connectées à Internet. L'une des caractéristiques les plus utiles que tous les utilisateurs ont expérimentées ces dernières années de manière de plus en plus répandue est le « Cloud ». Il s'agit de la possibilité de stocker des données qui deviennent accessibles via une seule plate-forme sur plusieurs ordinateurs à la fois.

Cela procure un certain confort d'utilisation dans le cas de projets collaboratifs. En particulier, lorsque vous utilisez des CAO en ligne, vous pouvez conserver un historique de vos projets (dans certains cas, les rendre accessibles à des tiers) et profiter d'un espace « virtuel » vous permettant de garder votre disque dur libre.

Les meilleures CAO payantes

Il existe sur le marché de nombreux logiciels pour la conception de cartes de circuit imprimé, mais les plus populaires, les plus complets et les plus utilisés dans les entreprises et par les professionnels du secteur, sont au nombre de trois jusqu'à présent : **Altium Designer**, **Autodesk Eagle** et **OrCad**.

Ce sont probablement des solutions coûteuses pour un concepteur novice et encore plus pour un amateur. En revanche, les grandes entreprises pourront certainement évaluer sereinement des solutions logicielles de ce type. L'essentiel à comprendre est que, quel que soit le coût d'accès à la licence, les fonctionnalités incluses dans ce type de logiciel sont intéressantes.

Altium Designer est considéré comme l'environnement de développement CAO le plus complet et le plus polyvalent actuellement disponible sur le marché. Il n'est pas possible de vous donner une indication exacte concernant le coût de la licence car Altium propose plusieurs licences différentes en fonction des fonctionnalités. Cependant, pour la version de base, il faut compter plusieurs milliers d'euros.

Cette solution est généralement achetée par de grandes entreprises, avec de

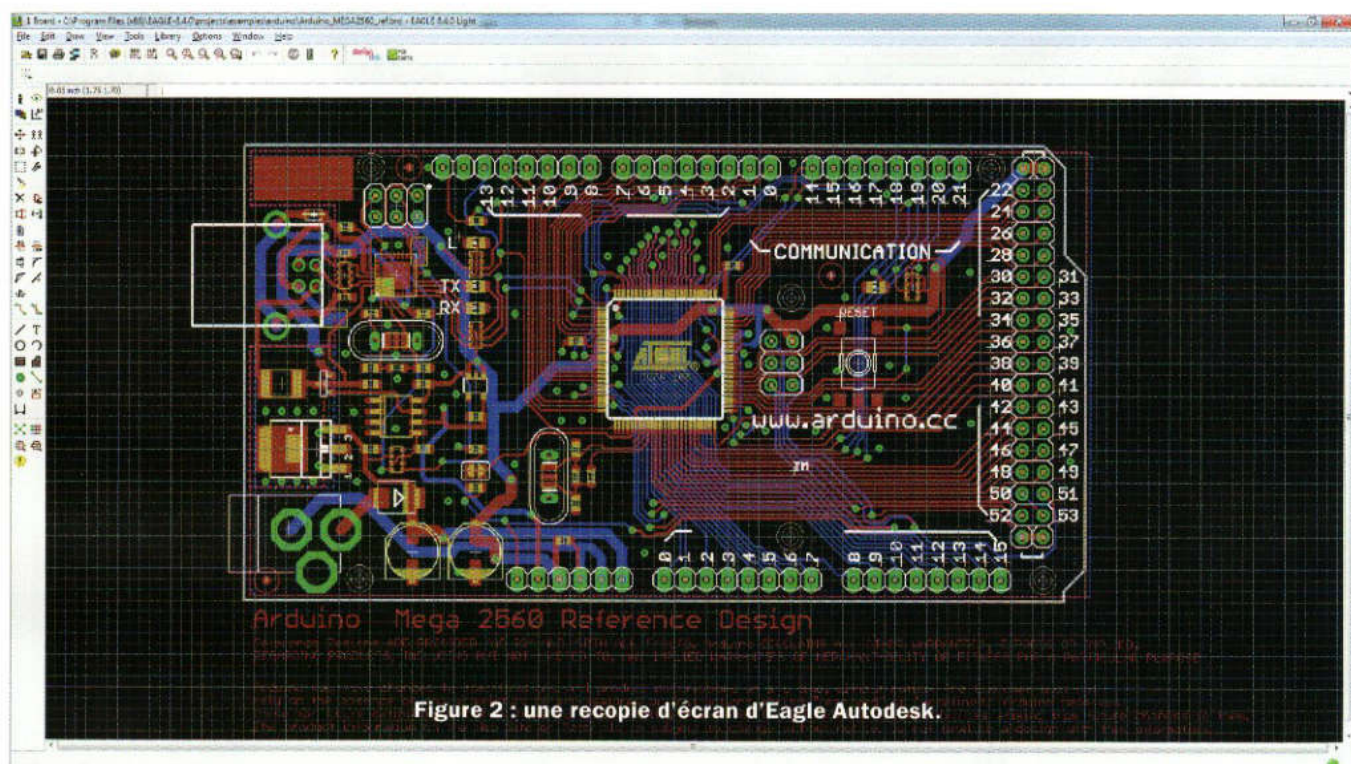


Figure 2 : une recopie d'écran d'Eagle Autodesk.

nombreux projets actifs, ou des concepteurs expérimentés qui ont plusieurs années d'expérience. Cette solution est rarement adoptée par les amateurs ou encore par les freelances.

Ces derniers préféreront choisir généralement des solutions, toujours propriétaires, mais avec un coût de licence nettement inférieur.

En particulier, les logiciels Eagle et OrCAD représentent deux solutions actuellement disponibles sur le marché, dont les coûts sont abordables.

Le premier a récemment été racheté par la firme Autodesk, déjà célèbrement connue pour l'un des logiciels les plus utilisés dans le domaine du bâtiment, il s'agit d'AutoCAD.

Eagle s'est toujours distingué par sa simplicité d'utilisation et sa grande polyvalence. Dès le début, il a été adopté par un public de professionnels. Il a été largement utilisé dans divers projets Open Source, y compris Arduino.

Plusieurs sites de distributeurs de composants électroniques fournissent des librairies à jour afin de prendre en charge les derniers composants disponibles sur le marché.

En termes de licence, Eagle propose un abonnement annuel pour l'équivalent de 100 \$, et même une version gratuite limitée à 2 couches et 80 cm². Le version premium coûte environ 500 \$.

La suite OrCAD est une solution logicielle extrêmement complète, qui comprend non seulement la CAO, mais également des simulateurs et d'autres fonctionnalités, notamment : Capture, PSpice, PCB Designer et PCB SI.

L'éditeur de bibliothèques est configuré en tant que logiciel autonome, toujours inclus dans la suite.

En termes de coûts, OrCAD est supérieur à Eagle, mais propose des solutions similaires à celles d'Altium. De plus, OrCAD est également distribué avec une licence « Educational », une formule extrêmement répandue auprès des étudiants et des personnes en formation.

Il existe des solutions beaucoup plus économiques, telles que **DipTrace**. Il s'agit d'un logiciel dont la licence complète est vendue à un prix d'environ 900 €. Il s'agit en fait d'un excellent outil, en particulier pour ceux qui viennent de commencer avec la conception de cartes de circuits imprimés.

Le système de licence adopté par DipTrace est extrêmement polyvalent, car pour la plupart des projets, en particulier au début, il ne sera pas absolument nécessaire d'avoir une licence « full » (complète).

Les autres solutions payantes intéressantes sont les suivantes :

- **Ultiboard**, qui est une solution de National Instruments, mais qui n'est pas vraiment totalement gratuite. En fait, pour en disposer, vous devez d'abord accéder à une version d'évaluation, mais complète, puis demander un devis pour la licence. Sa puissance réside dans son intégration complète avec Multisim (un outil d'enseignement avancé pour la simulation SPICE), qui fait de la solution combinée de National Instruments un outil très puissant. N'oubliez pas que la société dont il est question est un leader dans le domaine de la mesure et dans les domaines de l'électronique et des télécommunications. Le produit est donc adapté.
- **SolidWorks PCB** est un outil qui interagit parfaitement avec les autres outils de la marque SolidWorks et qui permet de développer,

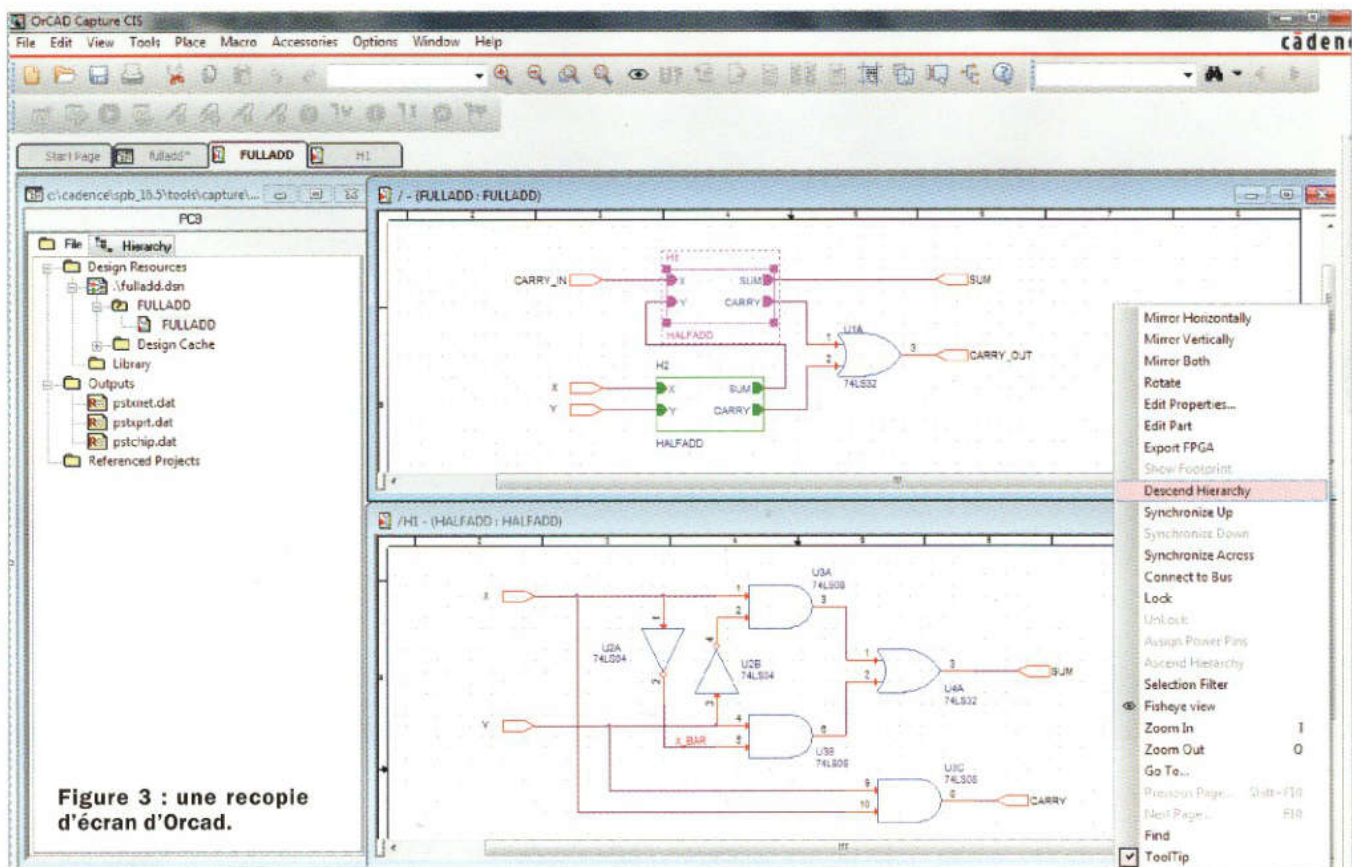


Figure 3 : une recopie d'écran d'Orcad.

de manière brillante, la conception du PCB avec une modélisation 3D. L'utilité de ce type de fonctionnalité

est évidente, puisque nous passons de l'étude des dimensions à la modélisation des boîtiers des composants

et du circuit imprimé lui-même. Dans de nombreux logiciels de CAO pour PCB, ces fonctionnalités doivent



Figure 4 : les règles de conception (Design Rules) dans Eagle Autodesk.

être combinées, car elles ne sont pas prises en charge automatiquement (sauf dans Altium).

- **CircuitStudio** est une solution de CAO émergente qui intègre des outils de modélisation 3D et propose, entre autres, une compatibilité ascendante et une portabilité parfaite avec les projets développés à la fois dans Altium et dans Eagle. Seul bémol, elle ne possède pas de visualiseur de fichiers Gerber contrairement à Altium et Eagle, ce qui est ennuyeux pour une solution prétendue professionnelle.

Parmi les autres solutions payantes figurent notamment : Mentor Graphics Expedition, Tina, Proteus Design Suite, Circuit Wizard, AutoTrax, Zuken CR-8000, Pulsonix, EdWinXP, CADSTAR, OSMOND PCB, COMET CAD, VUTRAX, CIRCAD.

Le système de licence **Upverter**, un peu similaire à celui d'Eagle, est très intéressant. Il permet l'utilisation gratuite d'une version de base et combine un système de licence basé sur les fonctionnalités demandées par l'utilisateur, de manière à personnaliser seulement des besoins spécifiques à un utilisateur mais aussi à la taille d'une entreprise.

Les meilleures CAO gratuites

Malgré la multitude de solutions payantes, il existe des alternatives intéressantes dans le monde Open Source, et qui sont mises à disposition gratuitement. **EasyEDA** est une solution « Open » en ligne qui vous permet de mener à bien votre projet de manière extrêmement complète.

Elle vous permet de travailler sur des schémas électriques, mais aussi de prendre en charge le placement des composants puis d'effectuer le routage des pistes du circuit.

Une fois cette phase terminée, vous pouvez également simuler le comportement du circuit. Il s'agit donc d'une solution logicielle très intuitive qui vous mènera de l'idée jusqu'à la génération des fichiers Gerber pour la fabrication.

Comme d'autres solutions logicielles, telles que DipTrace, elle fournit également des modules qui diffèrent par leur fonction. Vous pouvez l'utiliser uniquement pour créer des schémas électriques, ou utiliser seulement le module dédié au routage du circuit imprimé si vous avez déjà un schéma valide.

L'éditeur de schéma gère plusieurs feuilles, permettant ainsi la création de projets multiniveaux et de schémas hiérarchiques.

En résumé, il est possible d'utiliser des schémas dédiés pour des portions ou des sous-sections individuelles d'un même circuit.

Cette fonctionnalité est pratique, en particulier lorsque vous concevez des cartes intégrant des composants similaires. Imaginez, par exemple, que vous travaillez sur une carte de commande pour une imprimante 3D.

Vous aurez certainement au moins quatre moteurs distincts, mais vous utiliserez certainement le même modèle de moteur, ce qui signifie que vous aurez besoin du même modèle de driver et donc la même portion de schéma électrique pour chaque moteur.

Bien entendu, la réplique du circuit « driver moteur » est commode, surtout lorsque le nombre de composants et de connexions est grand. Ces fonctionnalités sont intégrées dans les logiciels propriétaires tels qu'Altium, mais pas dans toutes les CAO Open.

L'une des solutions les plus intéressantes du monde **Open Source** est certainement **KiCad**, dont nous avons dédié un cours complet dans cette revue.

KICAD est probablement la **solution Open Source la plus célèbre et la plus populaire** actuellement disponible.

Elle dispose d'une communauté de plusieurs milliers d'utilisateurs à travers le monde, et surtout son développement est assuré en partie par le **CERN de Genève**, ce qui est un gage de sérieux et de pérennité du produit.

KiCAD est un projet complet avec tout ce dont un concepteur a réellement besoin,

et même si cela peut parfois être un peu fastidieux, KiCAD permet de synthétiser en quelques étapes des schémas électriques et le routage de circuits extrêmement complexes.

Ensuite nous pouvons citer **PCB Artist**, cette solution est extrêmement complète et dotée d'une bibliothèque de plus de 500000 composants.

Le logiciel **PCBWeb** est très intéressant car il intègre automatiquement le catalogue DigiKey, offrant au concepteur un support utile dans le choix des composants facilement disponibles, et par conséquent un temps de réalisation plus court.

Une autre solution Open Source est **XCircuit**, disponible gratuitement en ligne avec une série de didacticiels permettant l'apprentissage du logiciel. Elle dispose des fonctionnalités de base et peut être considérée comme un outil valable, en particulier pour ceux qui débutent.

La solution **DesignSpark**, un peu analogue à PCBWeb, est reliée à **RS Components**. Elle possède de très bonnes fonctionnalités.

Par exemple, elle permet au concepteur de réaliser des circuits imprimés d'une taille maximale de 1 m x 1 m, tout en assurant une compatibilité avec les formats des fichiers gérés par les principales solutions propriétaires.

Parmi les autres solutions gratuites, il y a également FreePCB, PCB123, CUSPICE, ExpressPCB, tinyCAD.

Très utile pour comprendre les principes de base du routage et aussi l'incidence de chaque piste dans les différentes connexions, l'application « **Microstrip Impedance Calculator** » est extrêmement simple et utile.

Elle permet, à partir des dimensions géométriques d'une connexion et en entrant des paramètres tels que la constante diélectrique du matériau composant la piste, de déterminer la composante résistive introduite.

Une mention particulière doit être accordée à **Fritzing**, qui était initialement un

projet d'émulation de composants physiques, et qui est devenu aujourd'hui un outil pédagogique très complet utilisé par la communauté Arduino et par les fabricants en général.

En disposant des fonctionnalités de bases permettant le routage de circuits imprimés et la génération des fichiers Gerber, Fritzing est désormais également capable de gérer la programmation des microcontrôleurs de la famille Arduino.

La plupart des solutions gratuites disponibles sont valables avant tout parce qu'elles associent la création de circuits imprimés à la CAO, en proposant leurs services de fabrication de circuits imprimés.

Comme toujours, cette possibilité présente un certain nombre d'aspects positifs mais aussi des aspects négatifs.

En principe, la possibilité de relier le routage d'un circuit et les fichiers Gerber au service de production et d'assemblage de PCB offrant le meilleur prix est sans aucun doute pratique. Cependant les délais de livraison peuvent parfois prendre plusieurs semaines.

Comme pour tous les projets de type Open Source, nous devons considérer que ce sont des solutions dites communautaires.

En fait, dans la plupart des cas, le modèle de développement adopté ne ressemble pas à celui de certaines distributions de Linux.

Ce système d'exploitation s'appuie sur une société, Canonical, qui veille au bon déroulement du projet, le développe en permanence, le protège contre les failles éventuelles, en particulier la sécurité, tout en le laissant gratuit pour les utilisateurs.

Tous ceux qui souhaitent créer des packages, des solutions ou même des correctifs contribuent au système d'exploitation.

Dans le cas des solutions de CAO Open Source où il n'y a que la communauté pour soutenir le projet (sauf KiCad qui s'appuie sur le CERN), la durée de vie de

ce dernier est plus incertaine. Cela n'est pas très compatible avec les besoins d'un professionnel et en général des entreprises, qui ont besoin de stabilité, d'un support technique continu, de certitude et de fiabilité.

Cela est difficile pour une entreprise de fonder son travail uniquement sur des solutions ouvertes.

Automatique ou manuel ?

Presque toutes les solutions que nous vous avons présentées ont une caractéristique constante, à savoir certaines fonctionnalités peuvent être exécutées automatiquement ou manuellement.

Nous parlons principalement du **routage** (Autorouter) et de la **vérification des règles de conception** (Design Rule Check).

Tout d'abord, la disposition et l'emplacement des composants est une opération que vous devrez toujours effectuer. Il n'existe pas de routine qui automatise efficacement ce processus.

L'isolation des zones analogiques et numériques, ainsi que l'isolation ou la dissipation thermique, ne sont que quelques-uns des cas qui nécessiteront votre attention.

La suppression, ou la connexion entre broches, est une opération qui peut être effectuée à l'aide d'un moteur (algorithme) qui effectue automatiquement cette tâche.

C'est une fonctionnalité très pratique, mais pas toujours efficace, car trop souvent l'Autorouter ne remplit pas sa fonction de manière optimisée. Il faudra forcément finir certaines pistes du circuit imprimé manuellement.

Parfois, les pistes deviennent plus longues que nécessaire, d'autres fois, elles passent près d'autres pistes qui, pour des raisons fonctionnelles, doivent être distantes.

Il faut donc utiliser la fonctionnalité de routage automatique avec prudence. Il faut beaucoup de patience pour effectuer ce travail.

L'idéal serait d'avoir une CAO qui permette de définir des contraintes lors de l'exécution du routage automatique telles que des limites à la longueur de certaines pistes, par rapport à leur géométrie, en fonction de la distance des pistes adjacentes pour assurer une isolation électrique, etc.

La deuxième fonctionnalité (Rule Check) concerne la vérification des règles de conception du projet.

Certains « moteurs » ne sont pas parfaits et pourraient, par exemple, effectuer le routage d'un filtre analogique avec des pistes ayant des angles de 90 degrés. C'est l'une des principales précautions qu'un concepteur doit prendre.

Chaque piste doit être spécifiée en termes de taille. D'autant plus qu'il y a une différence entre une piste qui distribue l'alimentation au circuit et une autre utilisée pour une connexion numérique.

Les pistes, selon leur fonction, doivent être plus ou moins larges ou plus ou moins éloignées les unes des autres.

Conclusion

Nous avons décrit les caractéristiques fondamentales de la CAO pour la conception de circuits imprimés.

Certaines des solutions proposées satisferont sûrement vos besoins. Cependant, nous vous conseillons de lire attentivement les spécifications techniques de chaque solution que vous déciderez d'évaluer.

Toutes les CAO ne sont pas identiques et toutes les fonctionnalités d'un logiciel ne sont pas forcément utiles pour vos besoins.

Nous sommes convaincus qu'après avoir lu cet article, vous aurez les idées plus claires.

Dans tous les cas, nous espérons vous avoir fait passer le message suivant : la CAO parfaite n'existe pas. Le but est de trouver le meilleur compromis en fonction de vos besoins.

SCANNER 3D AVEC CAMÉRA

Deuxième partie



de Marco Bellan et Boris Landoni

Dans le précédent numéro, nous avons décrit la réalisation d'un scanner 3D dont la réalisation s'effectuait à l'aide d'une caméra et d'un laser. Dans cette seconde et dernière partie, nous allons réaliser un scanner 3D qui réalise en 3 dimensions la surface d'un objet à l'aide d'une caméra et du logiciel de traitement d'image « 123D Catch ».

Il existe différentes techniques pour numériser des objets solides et obtenir des modèles tridimensionnels, comme nous l'avons mentionné dans le dernier numéro 147 d'Electronique et Loisirs Magazine.

En effet, nous vous avons proposé une solution basée sur l'acquisition d'images à l'aide d'un ou deux faisceaux laser pouvant être utilisées individuellement ou en combinaison.

Dans cet article, nous allons maintenant aborder l'alternative basée sur la **reconstruction de la surface de l'objet à travers une série d'images consécutives**. Cela consiste à numériser la surface d'un objet en rotation sur un plateau,

mais cette fois, sans utiliser de faisceau laser. Cette technique, comme nous l'avons mentionné dans la première partie de cet article, est préférable pour analyser des surfaces très détaillées et variées. De plus, elle présente l'avantage de ne pas nécessiter l'utilisation d'un laser, ce qui implique la mise en œuvre d'un matériel plus simple et une installation plus facile avant chaque scannage.

Dans cette application, grâce à l'utilisation d'une caméra pour RaspberryPi (Caméra Pi), un certain nombre d'images sont acquises et enregistrées dans des fichiers qui eux-mêmes sont incorporées dans un fichier compressé que nous transférerons sur le portail d'Autodesk.

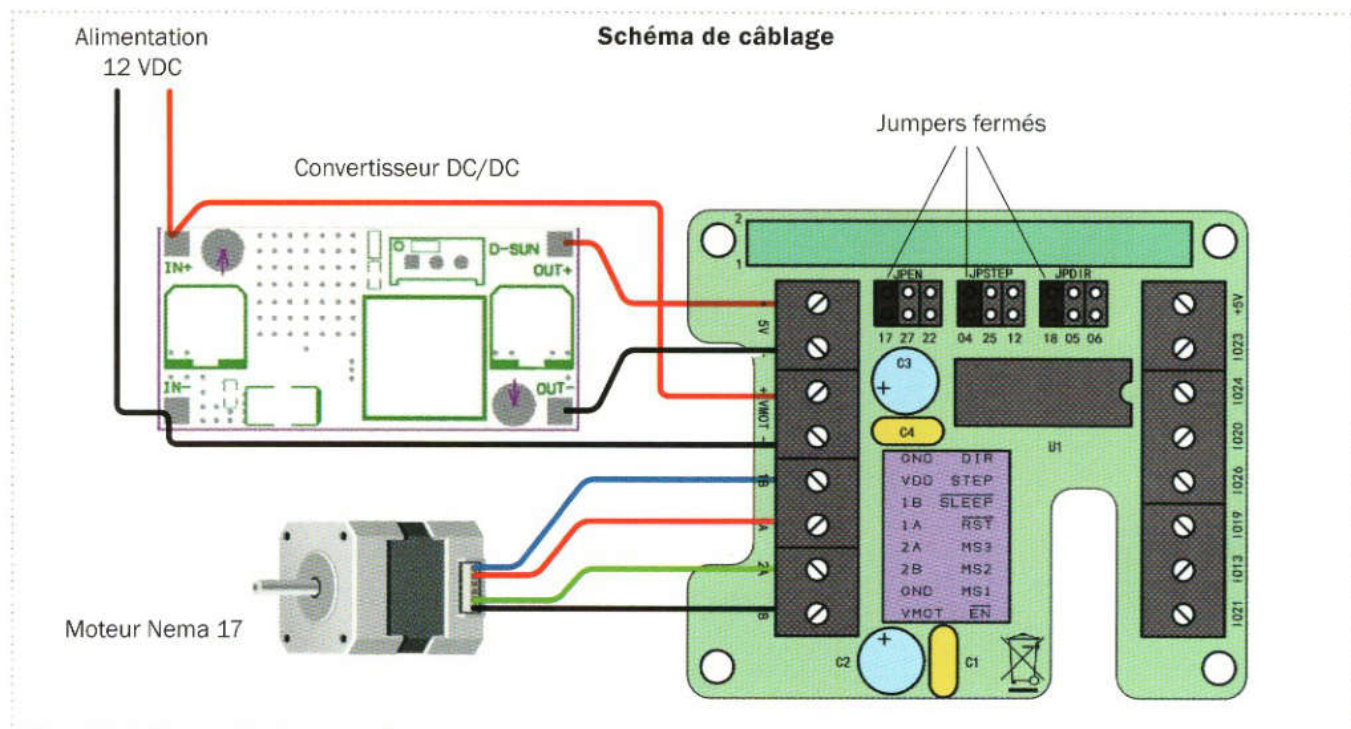


Figure 1 : la caméra du RaspberryPi insérée dans son boîtier avec la base pivotante.



Grâce au logiciel « **123D Catch** », (gratuit si vous vous enregistrez et accordez l'utilisation des images par Autodesk ...), le traitement de la reconstitution de la surface numérisée de l'objet sera effectué.

Le logiciel ne fait rien d'autre (pour ainsi dire...) que l'**analyse des images et l'identification des points communs** entre le précédent et le suivant. Il superpose les parties communes, comme s'il s'agissait de photographies au format papier de l'objet solide qui se

déplaceraient, en cherchant des zones identiques afin de compléter toute la surface de l'objet.

Cette opération, facile à expliquer, est confiée à un service web. Car, si nous devons la faire localement avec notre scanner, il faudrait une puissance de calcul telle que le RaspberryPi ne serait pas capable d'atteindre.

Notre système

Quiconque doit effectuer physiquement le scannage d'un objet doit disposer d'un système composé d'une mécanique et d'une électronique similaires à celles du projet proposé dans le numéro précédent. Cependant, dans ce système, il n'y a pas de laser.

Nous avons le plateau tournant habituel entraîné par un moteur pas à pas commandé par le RaspberryPi à travers la même carte.

Cette fois, la caméra infrarouge est dotée d'une optique fixe (spécifique au RaspberryPi), elle est donc montée sur un support fixé à un bras

pivotant qui permet de la faire monter, de la faire descendre et de l'incliner manuellement d'un certain nombre de degrés.

Le mouvement vertical de la caméra permet de numériser des objets de grande taille en partant de la position la plus basse et en élevant la caméra si nécessaire.

La caméra choisie est une « **Omnivision 5647** » de 5 Mpx, elle est capable de prendre des photos avec une résolution de 2592 * 1944 pixels. Cette caméra se présente sur la forme d'un petit module qui mesure seulement 25 mm * 20 mm * 10 mm et pèse 3 grammes.

Elle peut également enregistrer des vidéos au format HD 1080 p à 30 fps, ce qui permet aux possesseurs de Raspberry Pi Model A et B de réaliser

Caractéristiques techniques

- Appareil photo 5 mégapixels ;
- Numérisation couleur ;
- Jusqu'à 6 400 pas par chaque rotation du plateau ;
- Nombres d'images par rotation : de 30 à 70 ;
- Résolution : 0,25 mm ;
- Volume scannable : 200 mm * 200 * 150 mm ;
- Tension d'alimentation : 12 VDC/700 mA.

des applications vidéo. Le module est connecté au bus du RaspberryPi via un câble plat relié au connecteur CSI.

La figure 1 montre la caméra complète avec son boîtier qui permet de la faire pivoter sur la base afin de prendre des photos de dessous ou de dessus.

La mécanique du scanner

Nous allons maintenant entrer dans les détails de la mécanique, en disant que le châssis de notre scanner est un rectangle composé de profilés en aluminium (mais vous pouvez choisir le matériau de votre choix) d'une section carrée de 37,5 x 37,5 vissés ensemble avec 4 boulons et écrous MA prisonniers (insérés dans les fentes longitudinales des sections), plus des équerres dans chaque coin, comme ceux que vous voyez sur les photographies du prototype dans ces pages.

Pour notre prototype, nous avons choisi un cadre rectangulaire dont les dimensions de base sont 32 cm (largeur) par 37 cm (profondeur), ce qui est plus que suffisant pour loger un plateau adapté à la rotation de nombreux objets courants.

Le plateau tournant est supporté par un moyeu cylindrique comportant des étages plants.

Il est vissé à l'aide d'un support à l'axe d'un moteur pas à pas NEMA17 piloté par une carte montée sur le RaspberryPi.

Le plateau est en aluminium anodisé de 3 mm d'épaisseur, son diamètre est de 20 cm (pour notre prototype). Nous vous conseillons de ne pas dépasser ce diamètre, car les contraintes sur le moyeu et sur le support le fixant à l'axe du moteur pas à pas deviendraient excessives.

Le plateau est vissé au moyeu grâce à un trou central fileté pratiqué dans ce dernier et à un trou évasé de 4 mm situé au centre du plateau.

Le moteur pas à pas est fixé à l'aide d'une bride sur un cadre en aluminium d'une épaisseur de 3 mm, d'une taille d'environ 20 cm par 30 cm, qui coulisse sur deux guides latéraux. Les guides sont constitués de glissières (celles couramment utilisées pour les tiroirs des meubles) vissées sur les côtés du cadre à l'aide de vis 3MA.

Cette solution permet de faire glisser manuellement le plateau tournant jusqu'aux fins de course (voir la figure 4).

Au niveau du plateau, nous devons insérer un dispositif mécanique qui empêche la caméra d'entrer en contact avec la mécanique.

Cela est dû au fait que le plateau doit être uniforme, sinon le logiciel, qui voit un arrière-plan partiellement inchangé, ne reconstruirait pas le modèle.

En effet, le programme « 123D Catch » a été développé spécialement pour la prise de vue autour d'un objet, il attend donc des images distinctes. S'il trouve des parties de l'image qui restent inchangées de la première image jusqu'à la dernière, il s'arrête. Cette condition se produirait si la caméra se déplaçait en dessous du plateau.

Par conséquent, sous le plateau, vous devez disposer une feuille de carton



Figure 3 : le chariot inséré dans le guide sur lequel est vissé le support de la caméra.

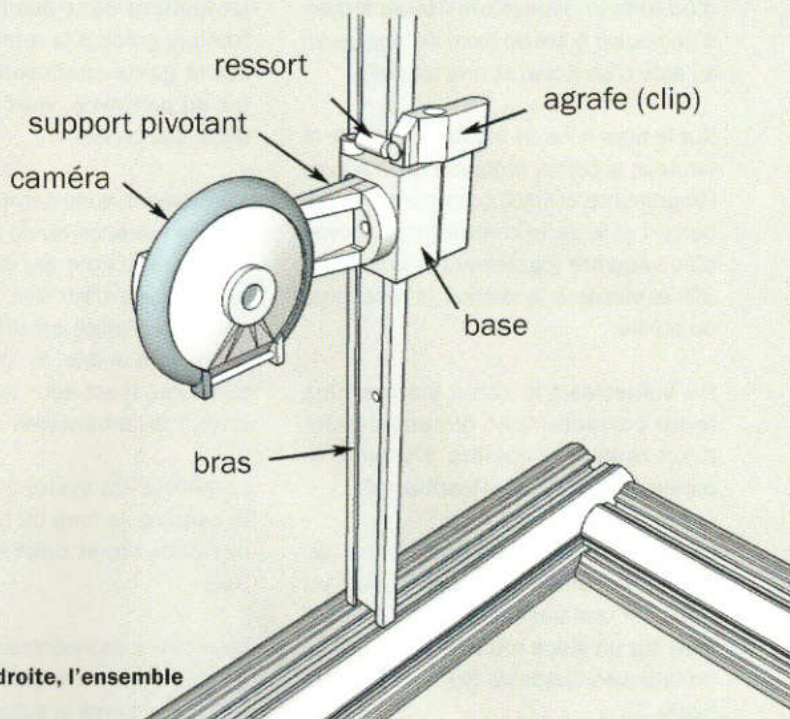


Figure 2 : à gauche, le support couissant de la caméra ; à droite, l'ensemble bras et support de caméra.

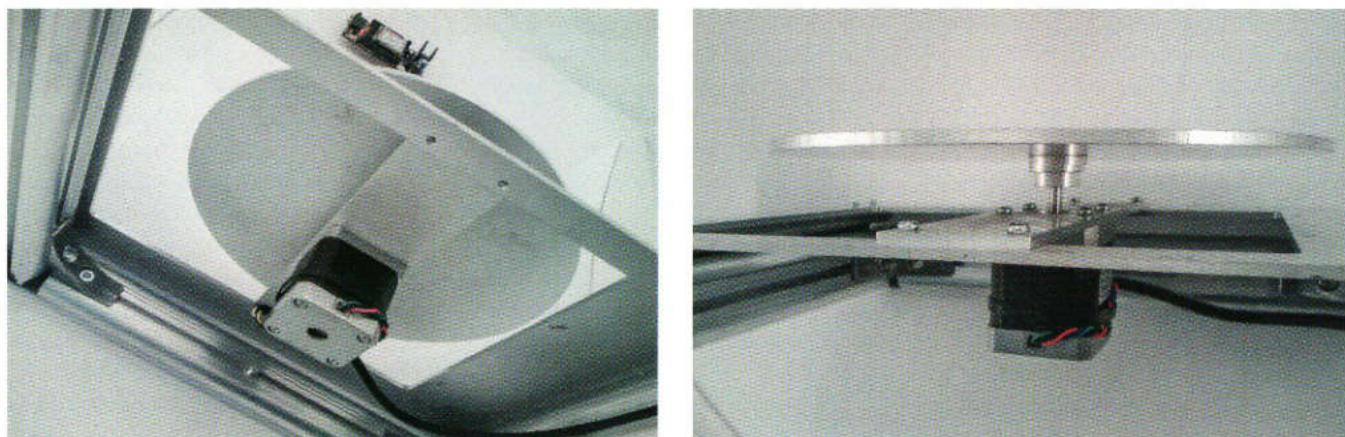


Figure 4 : à gauche, vue de dessous du plateau, le système d'entraînement constitué par le moteur pas à pas fixé à l'aide d'une bride, elle-même vissée sur une traverse du cadre en aluminium. À droite, les vis de fixation du moteur et le moyeu sur lequel est disposé le plateau tournant en aluminium.

blanc ou de matière plastique toujours de la même couleur, cela peut être du polyéthylène expansé. La feuille doit être flexible et coupée à mi-largeur en créant un creux juste assez long pour pouvoir être passée en dessous, en faisant passer l'axe du moteur à l'intérieur du creux sans qu'il la touche pendant la rotation (faites quelques essais manuels pour voir).

Quant au bras pivotant, il s'agit d'un profilé de section creuse (pour être précis, il s'agit d'un guide en aluminium de 17 mm par 5,5 mm) qui pivote vers la base d'un certain angle à l'avant du cadre.

La jonction mécanique est constituée d'un tube en aluminium fixé au moyen d'un boulon 5 MA de 5 cm de long, serré à l'aide d'un écrou et une rondelle.

Sur le bras nous avons fixé, à 1/3 de la hauteur, le boîtier (imprimé en PLA avec l'imprimante 3DRAG) contenant le RaspberryPi et la carte contrôleur au moyen d'une équerre (également imprimée en 3D) et vissée à la section la plus large du profilé.

Du boîtier sort le câble plat par une fente correctement dimensionnée, il est relié à la caméra à travers le connecteur dédié du RaspberryPi.

La caméra est fixée au bras par un système composé d'un support pivotant vissé sur une base qui, elle-même, est fixée sur un guide muni de deux inserts métalliques filetés de type 3MA (voir la figure 3).

Le support ressemble à un petit chariot dont la forme lui permet d'être logé dans la rainure du bras afin de glisser de haut en bas.

La base, qui supporte l'ensemble mécanique de la caméra, est maintenue par un clip vissé sur celle-ci, comme illustré en figure 2, où sont visibles le bras et le support de la caméra. Le clip, au moyen d'un ressort, appuie sur le côté du bras.

La friction, au niveau du clip, est assurée par un insert en caoutchouc positionné vers le bras. Le système de fixation de la caméra est également réalisé à l'aide de l'imprimante 3DRAG.

La caméra peut pivoter de manière frontale grâce à la rotation du support sur le guide coulissant. Sur les photos du prototype, vous pouvez voir les détails du système.

L'inclinaison vous permet des prises de vues au-dessus et/ou au-dessous, ce qui est très utile par exemple si vous devez numériser des zones particulières de l'objet situées vers le haut et/ou vers le bas. En augmentant l'inclinaison, il est ainsi possible de faire pivoter la caméra (voir la figure 6).

La course du système de fixation de la caméra, le long du bras, est limitée par deux vis et deux écrous de type 3MA.

Vous devez les insérer aux hauteurs souhaitées (comme limite) après avoir correctement percé le guide en aluminium.

Notez que le support du boîtier contenant le RaspberryPi et la carte maintient le boîtier à fleur du bord extérieur du bras de support, de sorte que la caméra puisse glisser sans le toucher (voir la figure 7).

En ce qui concerne le câblage, le RaspberryPi doit être alimenté par la carte. Sur le bornier 12 V de cette dernière, vous devez appliquer une tension continue de 12 VDC provenant d'une alimentation stabilisée avec un courant d'au moins 1,5 A.

Pour la tension de 5 V, vous devez fournir 5 VDC stabilisés, obtenus par un régulateur, qui dans notre cas est un convertisseur continu/continu qui accepte en entrée 12 VDC (alimentant la carte) et fournit 5 VDC en sortie. Le régulateur est en fait un convertisseur à commutation, il est réglable.

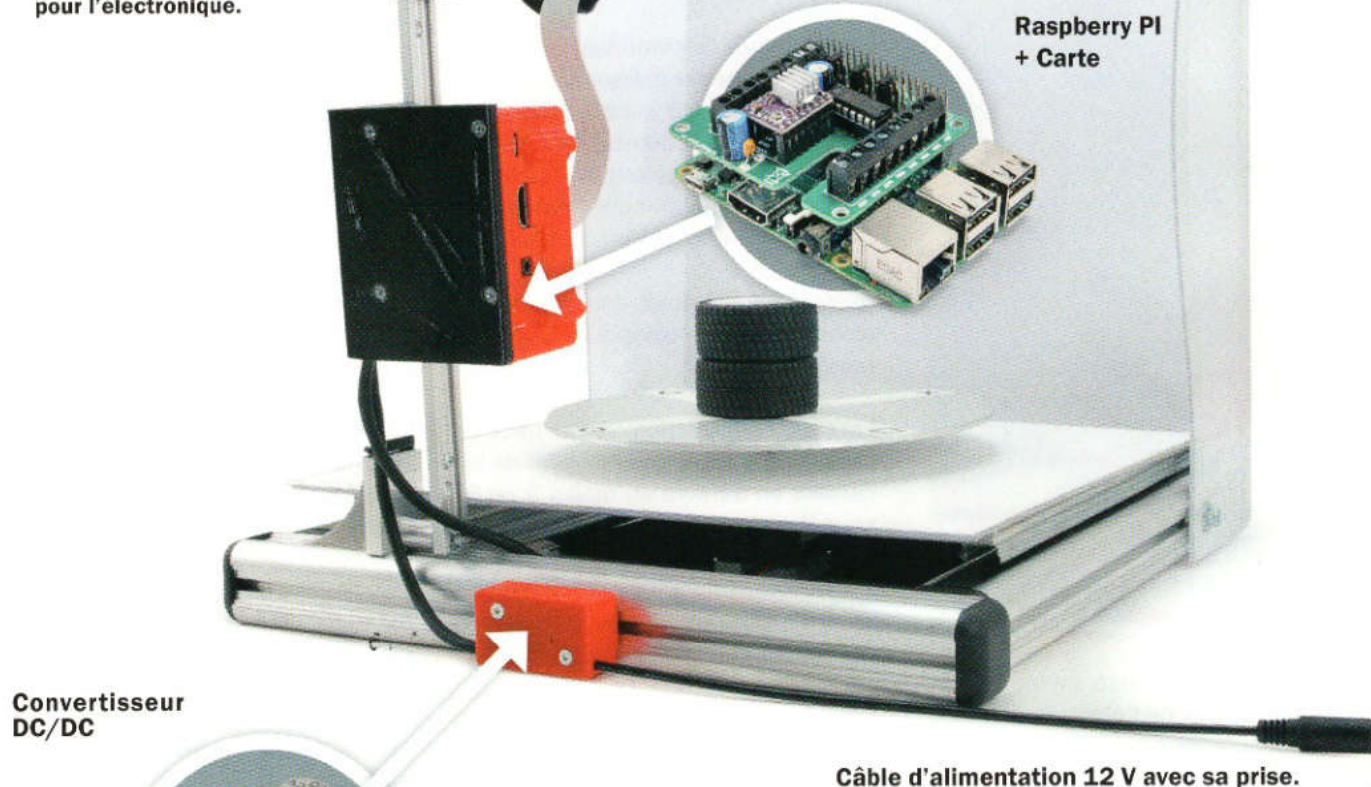
Ainsi, avant d'être connecté à la carte, il doit être étalonné (à l'aide du trimmer approprié avec un petit tournevis) pour fournir 5 VDC. Vérifiez à l'aide d'un multimètre connecté à sa sortie.

Pour le câblage des différents composants, reportez-vous au schéma correspondant, illustré dans ces pages.

En ce qui concerne la numérisation

Sur le RaspberryPi, une application fonctionnant sous le système d'exploitation Raspbian s'exécute.

Figure 5 : l'électronique prend place dans deux boîtiers : celui fixé au bras, contient le Raspberry Pi et la carte ; tandis que celui fixé à la base contient le convertisseur DC/DC qui fournit la tension de 5 VDC pour l'électronique.



Nous allons la décrire succinctement dans ces pages. Ce programme s'occupe de faire tourner l'objet à numériser et génère des fichiers contenant des images, en utilisant un algorithme permettant d'émuler la rotation de la caméra autour de l'objet.

Il s'agit du logiciel « 123D Catch ». Comme de nombreux logiciels de génération de modèles 3D par scan- nage de la surface, il a été écrit pour relever (scanner) la surface d'un objet à l'aide de divers périphériques (des caméras, généralement ...) et même à

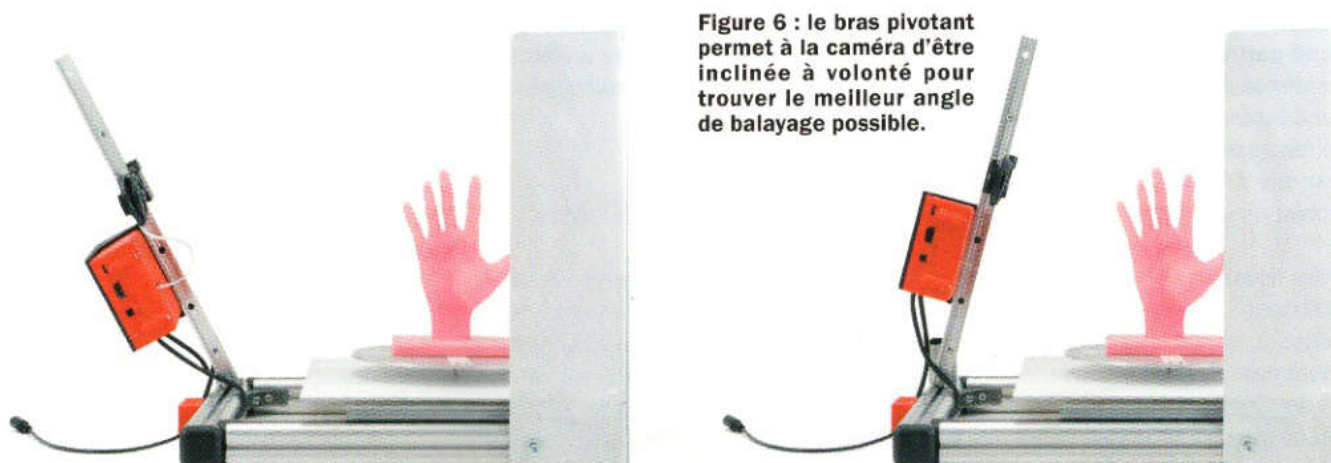


Figure 7 : le support (noir) qui maintient le boîtier du RaspberryPi (rouge) est conçu pour éviter que ce dernier ne gêne la montée et/ou la descente du support de la caméra.



l'aide de smartphones, en les faisant tourner autour de l'objet. Dans notre cas, la caméra est fixe et l'objet est en rotation.

En fait, « 123D Catch », comme de nombreux programmes similaires, **utilise des points de référence pour détecter la position de la caméra par rapport à l'objet**. Pour cela, il faut **éviter que le programme « comprenne » que ce n'est pas la caméra qui tourne autour de l'objet, mais l'inverse**.

Pour effectuer les analyses de l'objet, **il est donc nécessaire d'utiliser un fond particulier** afin que le logiciel ne le prenne pas comme une référence (le fond est fixe). Une couleur blanche pour le fond semble être la plus appropriée car elle diffuse la lumière autour de l'objet à numériser.

Vous devez également recouvrir la face inférieure du plateau par une feuille blanche, comme mentionné précédemment dans l'article.

En ce qui concerne la lumière, il n'est pas nécessaire qu'elle suive l'objet, il faut juste une bonne lumière ambiante

ou une lampe de bureau placée derrière la caméra.

Il faut également éviter que les ombres de l'objet ne soient trop visibles, car elles resteraient fixes et le programme comprendrait que la caméra ne bouge pas.

Pour faciliter la numérisation, nous devons **insérer des marqueurs de couleur sur le plateau** (ou sur l'objet, en couvrant quelques détails), de manière à ce que ceux-ci soient pris comme référence, le programme « pensant » alors que c'est la caméra qui bouge.

Quatre repères, situés dans les points diamétralement opposés du plateau, semblent convenir.

Lors de l'acquisition, il est nécessaire de s'assurer que l'objectif de la caméra en détecte au moins 2 ou 3 pour chaque image. Par conséquent, en cas de numérisation d'objets particulièrement volumineux, il est nécessaire d'insérer un nombre plus grand de marqueurs.

Dans le viseur, l'objet doit être au premier plan, donc si nous devons analyser un petit objet par rapport à la zone visée, il faut rapprocher la caméra.

Rapprocher éventuellement les marqueurs au centre du plateau. Les clichés (images) doivent être pris consécutivement avec un écart angulaire minimal les uns des autres.

D'après les tests effectués, le scanner ne semble pas poser de problème particulier avec des objets complexes, tandis que pour des objets symétriques avec des couleurs uniformes, il semble rencontrer des difficultés pour créer le modèle.

Autodesk 123D Catch

Avant de passer à l'analyse du matériel et des logiciels pour le RaspberryPi, disons quelques mots sur le programme « 123D Catch ».

Vous pouvez le télécharger dans le sommaire détaillé de la revue (version Windows).

Il est utilisable via Internet (dans le Cloud ...), il est gratuit, mais nécessite une inscription sur le site <http://123dapp.com>.

C'est un outil puissant, cependant il n'est pas possible d'en automatiser l'utilisation, en ce sens que pour obtenir des modèles tridimensionnels, vous devez charger manuellement les fichiers contenant les images de la surface analysée.

Cette limitation est imposée à la fois pour éviter la saturation du site et empêcher l'utilisation intensive et professionnelle du produit.

De plus, « 123D Catch » accepte, pour chaque modèle à créer, un nombre relativement limité d'images (jusqu'à 70, mais il en faut au moins 30 pour obtenir un modèle réaliste). Ensuite, le téléchargement et le traitement des images prennent un certain temps.

Nos tests nous ont permis de constater qu'à plusieurs reprises, après avoir chargé et traité les images, au lieu de fournir le résultat, le serveur renvoyait une erreur de connexion qui nous obligeait à répéter la procédure d'envoi et de traitement.

Ces limitations sont atténuées par la qualité obtenue après le téléchargement des images. Nous pouvons voir le résultat (le modèle) directement dans le programme et l'exporter dans de nombreux formats couramment utilisés.

Si le modèle n'est pas rendu correctement, il est possible de sélectionner manuellement les points de référence dans les différentes images, même s'il s'agit d'une procédure un peu longue et fastidieuse qui nécessite une refonte complète.

Comment fonctionne l'interface graphique

L'interface Web qui nous permet d'interagir avec le Raspberry Pi a été créée à l'aide du framework « Materialize CSS » et « jQuery ».

Depuis l'interface, nous effectuons des requêtes asynchrones (nous n'avons

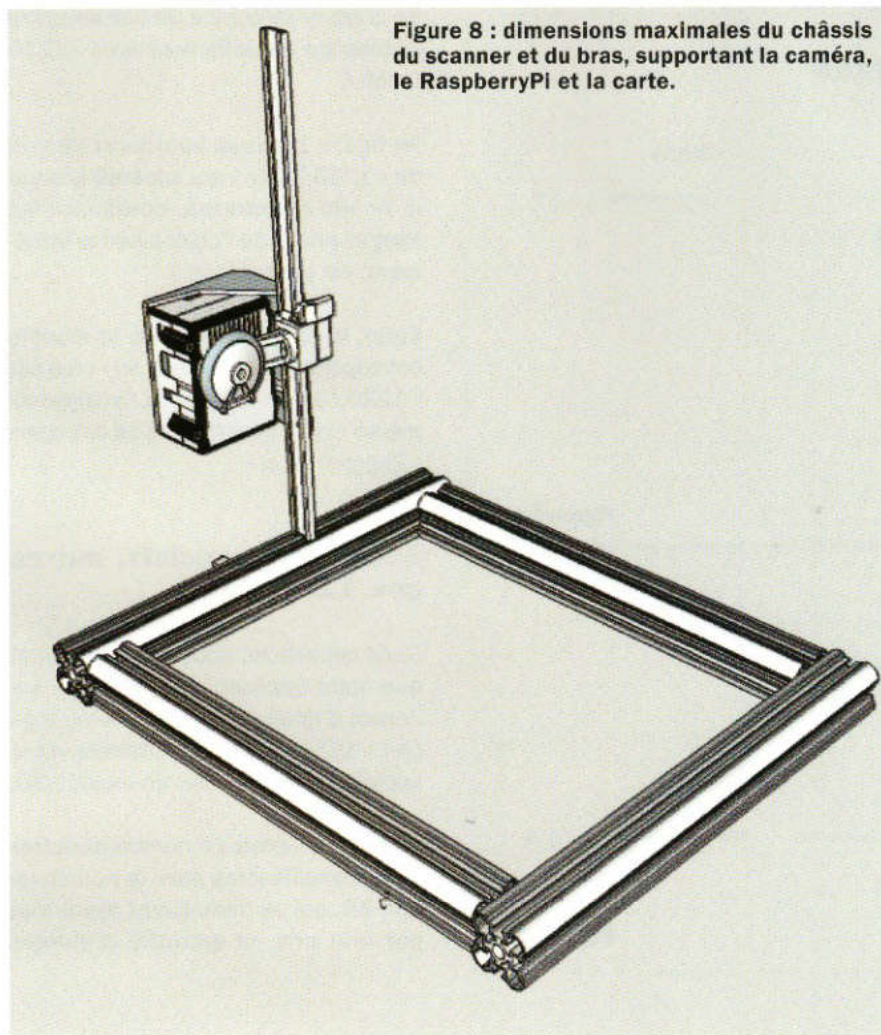


Figure 8 : dimensions maximales du châssis du scanner et du bras, supportant la caméra, le RaspberryPi et la carte.

Notre logiciel

Décrivons maintenant le programme exécuté sur le RaspberryPi, dont l'interface utilisateur est celle illustrée en figure 9. Cet écran apparaît sur l'ordinateur avec lequel, via la connexion Ethernet, nous indiquerons l'adresse IP attribuée au RaspberryPi.

La figure 9 représente l'écran de la page d'accueil et à droite se trouve un champ nous permettant de définir les paramètres suivants du scanner :

- **Images par tour** : il s'agit du nombre d'images acquises par le scanner à chaque rotation complète de l'objet ou du plateau sur lequel il tourne à 360° ;
- **Tours par niveau** : c'est le nombre de fois où l'objet tourne sur le plateau pendant le scan, avant que le système demande un repositionnement de la caméra ;
- **« Level » (Niveaux)** : c'est le nombre de niveaux (différentes positions de la caméra en hauteur) à partir desquels le scanner prendra des photos. Après avoir terminé toutes les photos d'un niveau, le scanner nous demandera de repositionner la caméra avant de continuer.

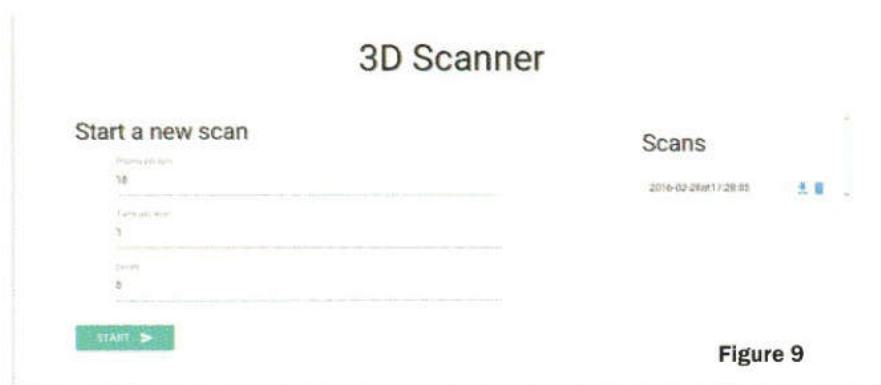


Figure 9

donc jamais à mettre à jour la page) vers un site créé en Python à l'aide du framework « Flask ».

Ce dernier est très pratique pour la mise en œuvre de projets « IoT » simples, car il nous permet de faire correspondre une URL (par exemple « IPraspberry/photo ») à une fonction Python, ce qui nous permet de sauter de nombreuses étapes nécessaires au développement d'un site Web.

Cela nous permet également de piloter le moteur pas à pas du scanner à l'aide de la librairie GPIO pour Python et de prendre des images à l'aide de la Caméra Pi.

Lorsqu'une requête de téléchargement est effectuée, les images correspondant à l'analyse demandée sont compressées dans un fichier au format compressé « zip » et envoyées à notre dispositif.

Les paramètres étant très variés, il est possible d'effectuer de nombreux types d'analyses. Toutefois, il convient de rappeler que « 123D Catch » permet le traitement d'un nombre limité d'images (70 pour la version normale sous Windows, 40 pour les versions Android, acquisitions avec un smartphone).

En cliquant sur le bouton « **Start** » de l'écran d'accueil, l'analyse commence (voir la figure 10).

Lorsque l'analyse démarre, l'interface graphique affiche son état. Pendant que le scanner attend que la caméra soit positionnée, la séquence d'images prise par la caméra est affichée, afin de pouvoir centrer le plateau dans le champ de la caméra.

Le bouton « **Abort** » (Abandonner) permet d'interrompre l'analyse de l'objet à tout moment, tandis que le bouton « **Continue scan** » lance l'analyse du niveau suivant (voir la figure 11).

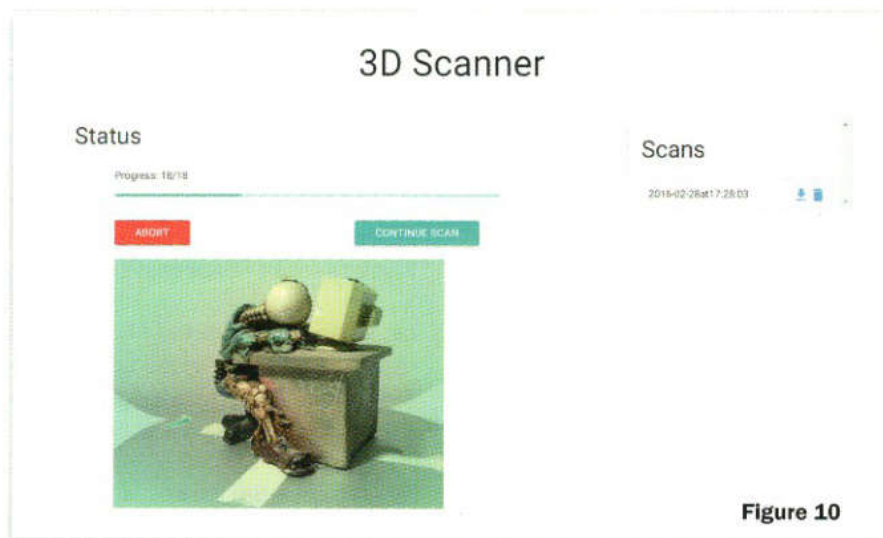


Figure 10

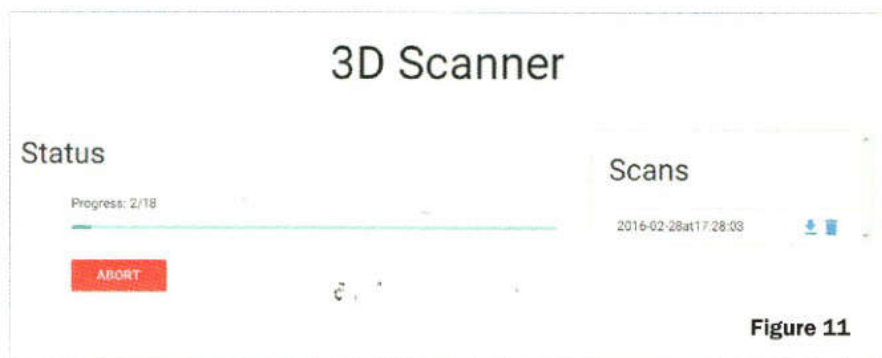


Figure 11

Durant l'analyse d'un niveau, il est possible de l'annuler ou de suivre son évolution.

Sur le côté droit de l'écran, vous pouvez voir la liste des analyses effectuées par ordre chronologique.

Avec le bouton en forme de flèche, il est possible de télécharger toutes les images de l'objet (celui sélectionné) sous la forme d'une archive « zip ». La « corbeille » permet de supprimer le scan sélectionné du RaspberryPi afin de libérer de l'espace.

La figure 12 représente un objet que nous avons scanné et qui, bien que quelque peu grotesque, a été choisi en raison de la variété des formes et des couleurs ainsi que de sa surface complexe contenant des courbes et des cavités.

Notez que, sur le plateau, une croix est tracée à l'aide de morceaux de scotch et l'un des marqueurs en couleur permet

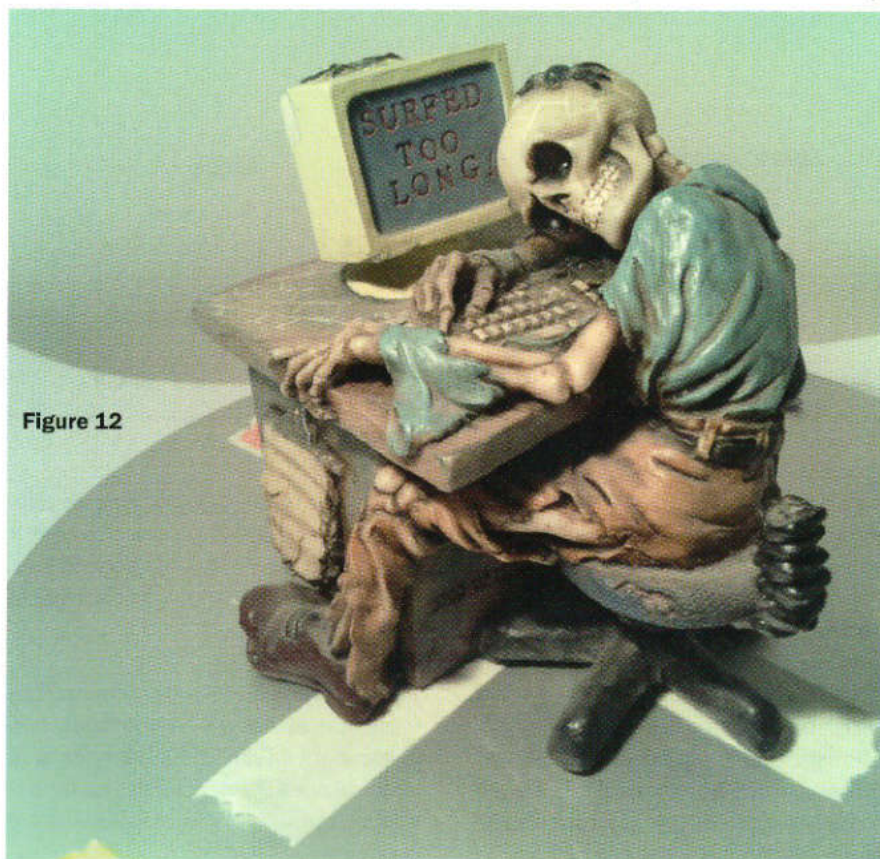


Figure 12

de créer la référence de l'arrière-plan nécessaire au traitement avec « 123D Catch ».

En figure 13, vous apercevez l'écran de « 123D Catch » qui apparaît lorsque le fichier compressé, contenant les images prises de l'objet avant le traitement, est envoyé.

Enfin, la figure 14 montre le modèle correspondant au fichier « .stl » créé par « 123D Catch » à partir de l'analyse du même objet, ouvert dans ce cas dans « Repetier Host ».

Les autres logiciels, autres que 123D Catch

Dans cet article, nous avons expliqué que notre application était basée sur l'envoi d'images numérisées au logiciel « 123D Catch » d'Autodesk dans le Cloud, afin d'obtenir un modèle 3D.

En réalité, il existe de nombreux autres logiciels utilisables pour la numérisation 3D, qui se distinguent avant tout par leur prix, la quantité d'images

qu'ils peuvent traiter et la localisation physique du traitement, qu'il soit local ou dans le Cloud.

À cet égard, il convient de rappeler que le traitement local peut être plus rapide et est immunisé contre d'éventuels problèmes de connexion à Internet. Toutefois, il nécessite des ordinateurs extrêmement puissants.

Un des logiciels alternatifs à « 123D Catch » est « 3DSOM » (www.3dsom.com). Il permet de traiter localement un nombre illimité d'images et de corriger automatiquement les erreurs de numérisation et de traitement.

Cependant, ce programme nécessite un ordinateur très puissant et son coût est très élevé (1000 € environ).

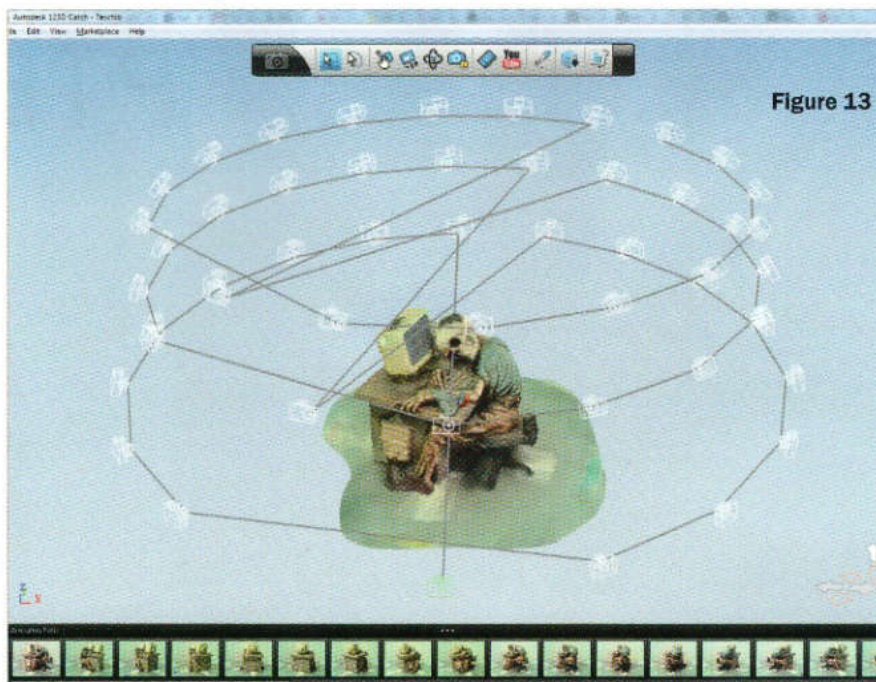


Figure 13

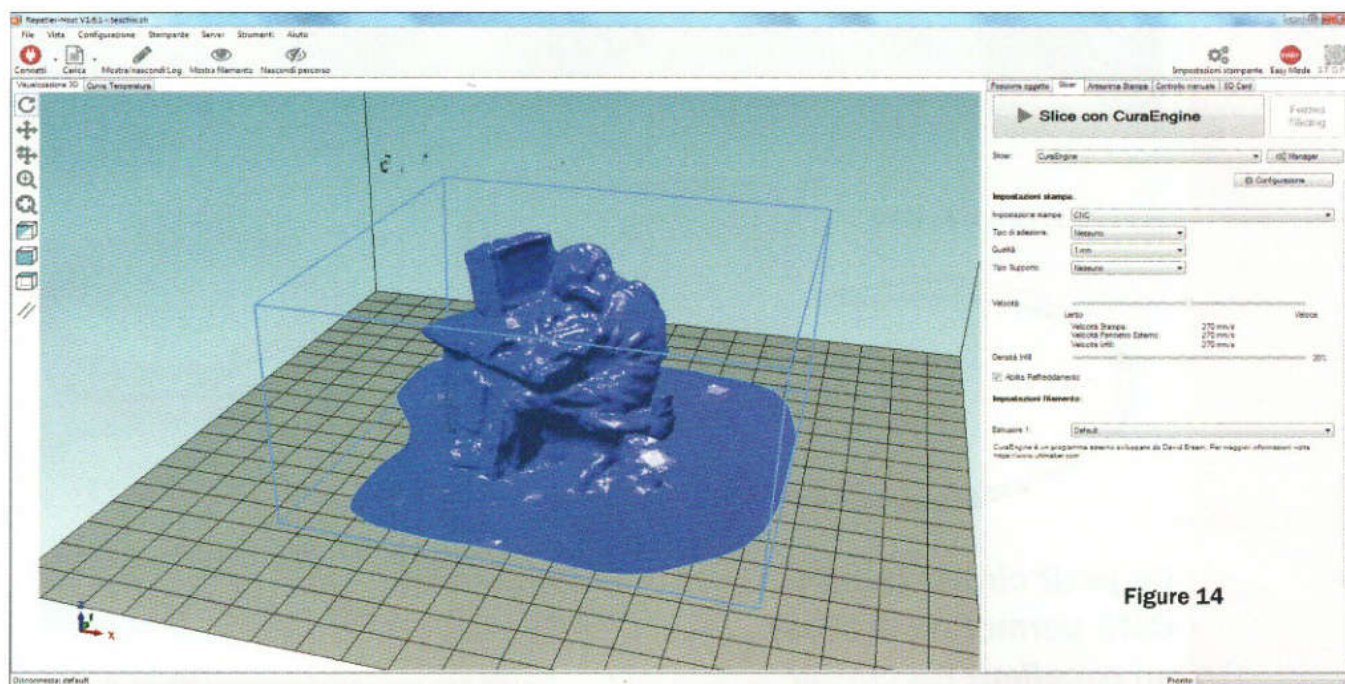


Figure 14

Un autre logiciel intéressant est « Insight3d » (<http://insight3d.sourceforge.net>). Il s'agit d'un logiciel Open Source entièrement gratuit. Il permet également un traitement local pour les systèmes d'exploitation Linux et Windows.

Cependant, il nécessite la sélection manuelle des points de référence et ne propose pas d'outils utiles pour affiner le résultat. Son utilisation n'est pas très conviviale, de plus, comme l'indique l'équipe de développeurs, le

programme ne fonctionne pour l'instant qu'avec certains types de caméras.

Conclusion

Avec cette seconde et dernière partie de l'article, notre analyse sur les scanners 3D se termine. Nous avons abordé succinctement les principales techniques d'acquisition et nous vous avons proposé deux solutions techniques Open Source avec lesquelles vous pouvez réaliser des expériences

d'acquisition 3D à moindre coûts. Chaque solution présente des défauts et des qualités.

La réalisation pratique est relativement simple dans les deux cas, à la fois parce que la mécanique est essentiellement composée d'éléments facilement disponibles, et que l'électronique est disponible sur le marché. Les logiciels, quant à eux, sont Open Source. Vous pouvez maintenant vous amuser en expérimentant le monde de la 3D !

MINI RÉCEPTEUR FM

de Davide Scullino



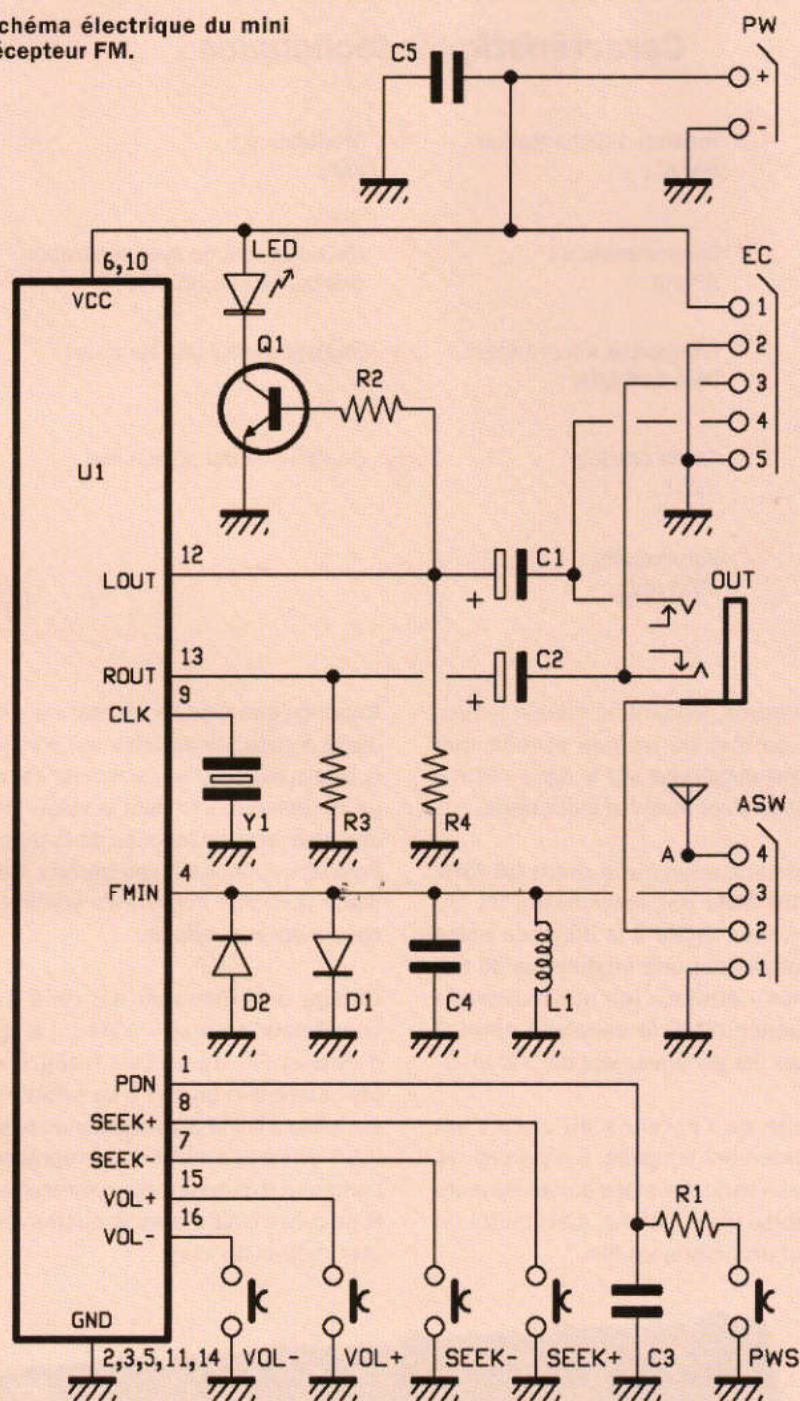
Ce petit circuit intégré CMS permet de réaliser un excellent récepteur de radio FM stéréo portable qui peut être facilement fabriqué, car il ne nécessite ni la confection de bobines ni la mise au point de circuits de synthonisation.

L'industrie des semi-conducteurs crée de nouveaux circuits intégrés en continu pour tous les domaines d'applications, y compris dans le domaine de l'audio.

Parmi ceux-ci, les circuits intégrés capables de réaliser des appareils qui nécessitaient autrefois une intégration poussée avec des étages individuels à une fonction précise et qui contenaient de nombreux composants électroniques.

Par exemple, nous pouvons mesurer les progrès réalisés dans la construction des récepteurs radio. Au début, ils étaient dotés de lampes puis dans les années soixante sont apparus les récepteurs radio de « poche » appelés à l'époque par abus de langage « transistor », car ils contenaient uniquement des composants de type transistors (bien souvent au germanium).

Schéma électrique du mini récepteur FM.



Plus tard, avec l'arrivée de circuits intégrés à haute intégration, tous les étages constituant un récepteur étaient mis en œuvre dans un seul circuit : l'amplificateur d'antenne, l'étage superhétérodyne (oscillateur local et mélangeur AF avec conversion de fréquence comme le célèbre SO-42P de Siemens), l'amplificateur moyenne fréquence et le démodulateur (par exemple, le TDA1200 de Philips ou le LM3089 de National Semiconductors), ou encore le décodeur stéréo FM tel que le MC13010P de

Motorola qui intégrait un amplificateur de sortie audio.

Nous disposons aujourd'hui de circuits intégrés capables de réaliser à eux seuls les tâches de tous ces composants et, en outre, sans nécessiter la fabrication et la mise au point de bobines pour les oscillateurs locaux.

Cela était autrefois un réel obstacle pour l'amateur, à la fois pour la disponibilité des noyaux de ferrite ajustables et pour

les contraintes liées au respect de la forme des bobines à réaliser, avec du fil de cuivre émaillé ou argenté.

En réalité, les récepteur radios FM à circuit intégré unique existent depuis l'arrivée du TDA7000, lancé par Philips il y a une trentaine d'années, mais il nécessitait encore la fabrication de bobines.

Certains composants, disponibles dans le commerce depuis peu, sont capables de tout réaliser en interne, y compris la syntonisation des signaux radio. Ils nécessitent tout au plus un quartz ou un résonateur céramique et une inductance discrète sur le circuit imprimé.

Un exemple est le circuit intégré « HEX3653 », au format CMS encapsulé dans un boîtier SOP de 16 broches. Il est utilisé dans de nombreux récepteurs radio miniatures et dans des kits disponibles dans le commerce.

Dans ces pages, nous vous proposons de concevoir un récepteur stéréo FM à commande numérique, réalisé avec ce circuit intégré et alimenté par deux piles bâtons, il est donc facilement transportable.

Schéma électrique

Examinons le schéma électrique du récepteur FM, qui semble très simple, puisqu'il ne contient qu'un seul circuit U1 qui est le « **HEX3653** ».

En fait, le montage comporte très peu de composants externes (voir la figure 1), qui sont les résistances de charge R3 et R4 des sorties audio, les condensateurs de découplage des sorties audio (les électrolytiques C1 et C2), le quartz Y1 qui génère une base de temps (horloge) pour les étages internes du circuit U1 et le transistor Q1, utilisé pour piloter la LED à travers la résistance R2, afin d'obtenir une sorte d'indicateur de crête indiquant le niveau du signal audio (plus les impulsions de la LED sont intenses, plus le niveau du signal de sortie est élevé).

En réalité, la LED sert à la fois pour indiquer que le montage est sous tension.

car la base du transistor Q1 est polarisée (même en l'absence de signal audio) par la composante continue présente sur la sortie « LOUT » du circuit intégré et pour indiquer le niveau du signal de sortie. La variation du signal audio implique une variation de la polarisation de la base du transistor Q1.

Une série de boutons, normalement ouverts, sont reliés à la masse, leurs états sont lus directement à partir des lignes du circuit U1. Ces entrées possèdent en interne une résistance de tirage (pull-up).

Les touches « VOL- » et « VOL+ » permettent de **régler le volume**, respectivement en abaissant et en augmentant le niveau sonore des sorties stéréo à chaque pression.

Les touches « SEEK- » et « SEEK+ » permettent la **recherche des stations**, la première diminue la fréquence d'un pas à chaque pression, c'est-à-dire typiquement de 50 kHz, tandis que la seconde augmente la fréquence à chaque pression d'un même pas.

La touche « PWS » permet d'**allumer** ou de **mettre en veille** l'appareil. Le scan complet de la bande FM prend moins de 10 secondes.

En veille le circuit intégré « HEX3653 », tout en restant alimenté entre les broches 6 et 10 et la masse (2, 3, 5, 11, 14), consomme un courant de seulement 10 microampères, cela n'affecte pas de manière significative la durée de vie des piles.

Le bouton « PWS » est en fait connecté à la ligne « PDN », qui correspond à la mise hors tension du circuit intégré.

Notez que l'interrupteur marche/arrêt est relié à la ligne « PDN » à travers une résistance et que cette ligne dispose d'un condensateur en parallèle, afin de garantir la fiabilité du signal d'allumage et d'éviter tout rebond lors de la pression sur la touche.

En fait, **R1 et C3 introduisent une constante de temps** ($100\text{ k}\Omega \cdot 100\text{ nF} = 0,01\text{ seconde}$) qui permet de changer l'état de la broche 1 du circuit intégré uniquement si la touche correspondante

Caractéristiques techniques

- ❖ Tension d'alimentation : 3 VDC ;
- ❖ Consommation : 30 mA ;
- ❖ Fréquence accordable : 76 à 108 MHz ;
- ❖ Sortie casque : $32\ \Omega$;
- ❖ Sortie audio : $200\text{ mV}_{\text{eff}}$;
- ❖ Modulation : FM ;
- ❖ Décodage stéréo avec séparation des canaux de 35 dB ;
- ❖ Réglage digital par boutons ;
- ❖ Contrôle digital du volume.

est pressée pendant un certain temps, cela permet de ne pas obtenir des niveaux erratiques sur la ligne « PDN » qui pourraient être mal interprétés.

La syntonisation varie entre **88 MHz** et **108 MHz** par incréments de 50 kHz, valeur égale à la distance entre 2 canaux pour une modulation de fréquence « étroite » (en modulation de fréquence (FM), le décalage entre 2 canaux est généralement de 100 kHz).

L'étage de l'antenne du circuit est extrêmement simplifié, il n'y a pas les diodes « varicap » ni les condensateurs variables traditionnels, mais plutôt un circuit anti-résonant fixe.

Notez qu'une diode « varicap » est une diode à capacité variable qui présente la particularité de se comporter comme un condensateur et dont la valeur de la capacité varie en fonction de la tension inverse appliquée à ses bornes. Cette diode peut être considérée comme un condensateur variable.

L'étage anti-résonant est relié à un connecteur nommé « ASW ». La ligne d'entrée RF du circuit intégré est connectée à la broche 3 de « ASW » qui est reliée à l'aide d'un cavalier au pas de 2,54 mm à la broche 4 qui représente l'antenne (typiquement un morceau de fil de cuivre isolé d'environ quatre-vingts centimètres de long).

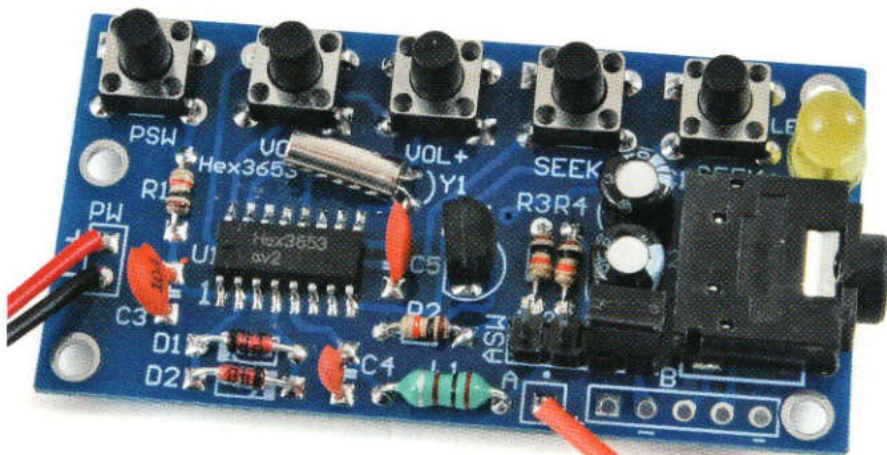


Figure 1 : le circuit est essentiellement constitué par un circuit intégré et quelques composants discrets.

En parallèle sur l'entrée de l'antenne (broche « FMIN » ou 4 du « HEX3653 »), se trouve une paire de diodes connectées en antiparallèle. Elles servent à protéger le circuit intégré U1 des éventuelles décharges électriques captées par l'antenne (cela peut arriver si vous utilisez une antenne externe connectée avec un câble coaxial à la prise murale de votre maison).

Le condensateur C4 et l'inductance L1, en parallèle sur la broche « FMIN », forment un très simple circuit **anti-résonant**. L1 a une valeur de 10 μ H et C4 de 33 pF, la fréquence centrale du filtre (à l'exclusion des composantes parasites) est d'environ 87 MHz.

Le signal syntonisé chute dans une bande assez large, puisqu'en réalité, cette valeur est modifiée par l'entrée du circuit intégré et par le fait que le circuit anti-résonant a un facteur de qualité Q qui est faible, étant donné que l'inductance est faible et que U1 présente une résistance de charge non négligeable.

Le signal qui passe dans la bande est ensuite amplifié à l'intérieur du circuit intégré U1, syntonisé et converti en fréquence par un circuit superhétérodyne synchronisé par le quartz Y1.

Ensuite, il est démodulé en fréquence jusqu'à l'obtention du signal audio. L'étage AGC (contrôle automatique du gain) permet de stabiliser le niveau audio et d'éviter ainsi que celui-ci ne soit affecté par l'intensité du signal radio de l'antenne.

Un étage décodeur stéréo FM extrait les signaux des deux canaux, qui sont ensuite préamplifiés et dirigés vers les sorties « LOUT » et « ROUT » référencées par rapport à la masse.

Les deux sorties passent ensuite à travers les condensateurs de découplage C1 et C2, puis par le connecteur jack stéréo 3,5 mm pour une écoute au casque et sur le connecteur « EC » pour une connexion à un amplificateur audio stéréo externe.

Ce même connecteur « EC » reporte la tension d'alimentation du montage vers l'extérieur, en parallèle par rapport aux contacts « PW+ » et « PW- » auxquels la tension des piles est appliquée.

En ce qui concerne les sorties audio, il est utile d'expliquer le rôle du connecteur « ASW », car, parmi ses connexions, nous pouvons nous demander quelle relation il y a entre le point commun de la prise casque et l'antenne.

Eh bien, le concept est que, le circuit qui est une radio stéréo portable, peut utiliser comme antenne le fil du casque ou des écouteurs (exactement comme cela se produit avec la radio FM des smartphones) ou une antenne séparée, que ce soit un fil ou un autre type d'antenne.

Si vous souhaitez utiliser **le fil du casque comme antenne**, les **contacts 2 et 3 doivent être pontés**, ce qui amène le contact du commun du jack sur l'entrée de l'antenne.

La radio numérique DAB

La transition de la radio FM traditionnelle à la radio numérique DAB (Digital Audio Broadcasting) est en route. Le « DAB » est une technologie de modulation et de transmission numérique de la radio, elle est déployée dans de nombreux pays européens. Contrairement à la TNT, elle présente l'avantage de pouvoir cohabiter avec le mode de diffusion « traditionnel » de la radio, à savoir la bande FM.

La radio numérique terrestre peut ainsi fonctionner de pair avec la diffusion FM, là où la TNT avait remplacé très rapidement la diffusion analogique de la télévision en France.

La radio numérique terrestre offre un son de meilleure qualité et permet une bien meilleure continuité d'écoute en voiture. Cela signifie qu'en situation de mobilité, la qualité de réception sera beaucoup plus stable. Il sera également inutile de changer de fréquence d'une zone géographique à une autre.

À l'instar de la TNT, votre équipement de réception doit être compatible. En effet, si les postes de radio compatibles DAB peuvent capter le signal FM, l'inverse n'est pas vrai. Il est donc nécessaire de s'équiper en conséquence pour recevoir la radio numérique. Il existe des gammes très larges de récepteurs DAB à des coûts très variés, à partir de quelques dizaines d'euros.

À partir de la fin 2019, l'ensemble des récepteurs radio vendus en France, sauf les autoradios, intégreront le DAB. À partir de la mi-2020, tous les autoradios des voitures neuves vendues en France intégreront également le DAB.



Nous pourrions penser que le fait de ne pas relier la masse au point commun du jack empêcherait le fonctionnement en stéréo. Cela n'est pas exact, car l'inductance de 10 μ H se comporte, dans la gamme des fréquences audio, pratiquement comme un court-circuit.

En effet l'impédance de l'inductance à 10 kHz est d'environ 0,6 Ω , contre quelques dizaines d'ohms pour les écouteurs, c'est donc comme si le point commun était réellement mis à la masse.

Si un fil est utilisé comme antenne, le point 3 de « ASW » doit être relié au point 4 (reliant ainsi l'antenne à la broche « FMIN » du circuit intégré), et le point 1 au point 2 (le commun du jack stéréo se trouve alors à la masse).

Si vous envisagez d'utiliser le récepteur radio avec un amplificateur audio stéréo permettant l'écoute dans des enceintes acoustiques, vous ne pouvez pas relier le point 2 de « ASW » à la masse, ni avec l'entrée de l'antenne.

Nous concluons la description du montage avec l'alimentation qui est filtrée par le condensateur C5 et qui peut être alimentée par une paire de piles en série, ou par une batterie lithium-ion de 3,6 V. La consommation est de l'ordre de 30 mA sous 3 VDC avec un casque stéréo connecté en sortie.

Réalisation pratique

La construction du mini récepteur radio FM stéréo est très simple et le fait d'utiliser que des composants traditionnels (à l'exception du circuit intégré) implique que la réalisation sera à la portée de tous, même des débutants.

La première étape consiste à télécharger les typons du circuit imprimé double face sur notre site dans le sommaire détaillé de la revue.

Une fois le circuit imprimé gravé et percé, commencez par souder le circuit intégré U1 en faisant attention à son orientation, le repère détrompeur en forme de « U » est positionné du côté de C3. Pour cela, utilisez un fer à souder de 20 W maximum avec une

Plan de montage du mini récepteur FM

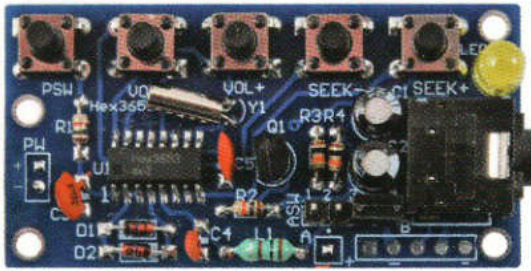
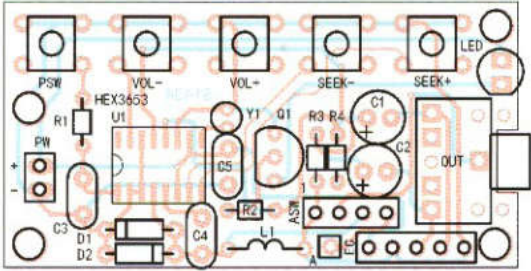


Photo de l'un de nos prototypes du mini récepteur FM.



Plan de câblage des composants du mini récepteur FM.

Liste des composants du mini récepteur FM

R1 10 k Ω
 R2 10 k Ω
 R3 10 k Ω
 R4 10 k Ω
 C1 100 μ F/10 V électrolytique
 C2 100 μ F/10 V électrolytique
 C3 100 nF céramique
 C4 33 pF céramique
 C5 100 nF céramique
 D1 1N4148
 D2 1N4148

Y1 quartz 32,768 KHz
 L1 inductance 10 μ H
 Q1 8050
 U1 HEX3653
 LED LED 5 mm jaune
 VOL+, VOL-, SEEK+, SEEK-, PSW microswitch
 OUT prise jack stéréo 3,5mm pour circuit imprimé

Divers

Barrette mâle 4 pôles
 Cavalier
 Porte piles 2 x AA

pointe fine de 0,2 à 0,5 mm et de la soudure pour composants CMS (de 0,5 mm de $\varnothing$).

Laissez refroidir entre chaque soudure. Une fois U1 correctement soudé, vous pouvez continuer avec les composants ayant un profil bas, les résistances, les diodes en faisant attention à leur orientation. Puis ensuite, soudez les condensateurs non polarisés puis les électrolytiques en respectant la polarité, le transistor Q1 (son méplat est du côté de U1) et le quartz Y1.

Terminez le montage avec les boutons-poussoirs, la LED (sa partie chanfreinée est orientée vers le jack

stéréo), et les barrettes au pas de 2,54 mm.

Une fois l'assemblage terminé, vérifiez que chaque composant est à sa place, en vous aidant du plan de montage visible dans ces pages et en veillant à ne pas laisser d'éventuels courts-circuits entre les soudures (autour de U1 notamment).

Le récepteur radio est alors prêt à l'emploi, en ce sens qu'il ne nécessite pas d'étalonnage. Il vous suffit de connecter un support de pile aux contacts « PW+ » et « PW- » (attention à la polarité, soudez le fil rouge sur le « + » et le fil noir sur le « - »).

Le circuit intégré HEX 3653

Il s'agit d'un récepteur radio FM complet en technologie CMOS encapsulé dans un boîtier en plastique SOP à 16 broches, avec un étage de syntonisation numérique à quartz (32,768 kHz) et une

Sa tension d'alimentation est comprise entre 1,8 VDC et 3,6 VDC, sa consommation est de l'ordre de 20 mA (sans la LED du circuit), avec les sorties connectées sur un étage à haute impédance.



La sortie stéréo est couplée en continu (ce n'est pas un hasard si des condensateurs de découplage sont présents), elle est de type basse impédance et accepte généralement des charges de 32 Ω à 1 kHz, c'est-à-dire qu'elle peut être connectée à des entrées haute impédance telles que celles des amplificateurs audio.

réjection de l'AM à 40 dB. Il dispose d'un décodeur stéréo et d'un contrôle de volume numérique.

En interne, il est doté d'un régulateur LDO qui fournit une tension stabilisée pour tous les étages, à partir de la tension appliquée entre les broches « VCC » et « GND ».

Le décodeur stéréo permet une bonne séparation des canaux, généralement de 35 dB, tandis que les sorties audio garantissent une distorsion harmonique faible, comprise entre 0,05 % et jusqu'à 1 % au volume maximal. Le rapport signal sur bruit atteint environ 60 dB, il est donc tout à fait acceptable.

Insérez les piles, puis connectez un casque stéréo ayant une impédance d'au moins 2 * 32 Ω .

Pour allumer le récepteur, appuyez sur le bouton « PWS » et vous entendrez immédiatement le son d'une station trouvée ou du bruit s'il n'y a pas de station sélectionnée.

À la première mise sous tension, le récepteur commence par syntoniser à partir de la fréquence la plus élevée (107,9 MHz). Avec la touche « SEEK+ », vous pouvez rechercher les stations.

Notez qu'à l'allumage, vous pouvez entendre un « cloc » assez fort dans le

casque ou les haut-parleurs en raison de la charge des condensateurs C1 et C2, mais cela ne pose pas de problèmes particuliers.

Rappelez-vous également que le volume se trouve à un niveau relativement élevé au démarrage (ce « défaut » est typique de nombreux périphériques audio basés sur le contrôle de volume numérique mais peut être toléré), qui généralement correspond à un niveau intermédiaire. Vous pouvez l'ajuster à votre guise avec les touches « VOL+ » et « VOL- ».

Passons maintenant à la réalisation de l'antenne en prenant en considération

que la meilleure sensibilité est obtenue avec une antenne séparée, qu'il s'agisse d'un fil de cuivre ou bien d'une antenne externe connectée avec un câble coaxial.

Si vous utilisez le câble des écouteurs, la réception est de moins bonne qualité, même si elle est acceptable, en particulier en extérieur, où nous pouvons dire que le récepteur fonctionnera dans cette configuration pour un usage portable.

Si vous optez pour une antenne filaire, prenez un fil d'une longueur comprise entre 25 cm et 80 cm.

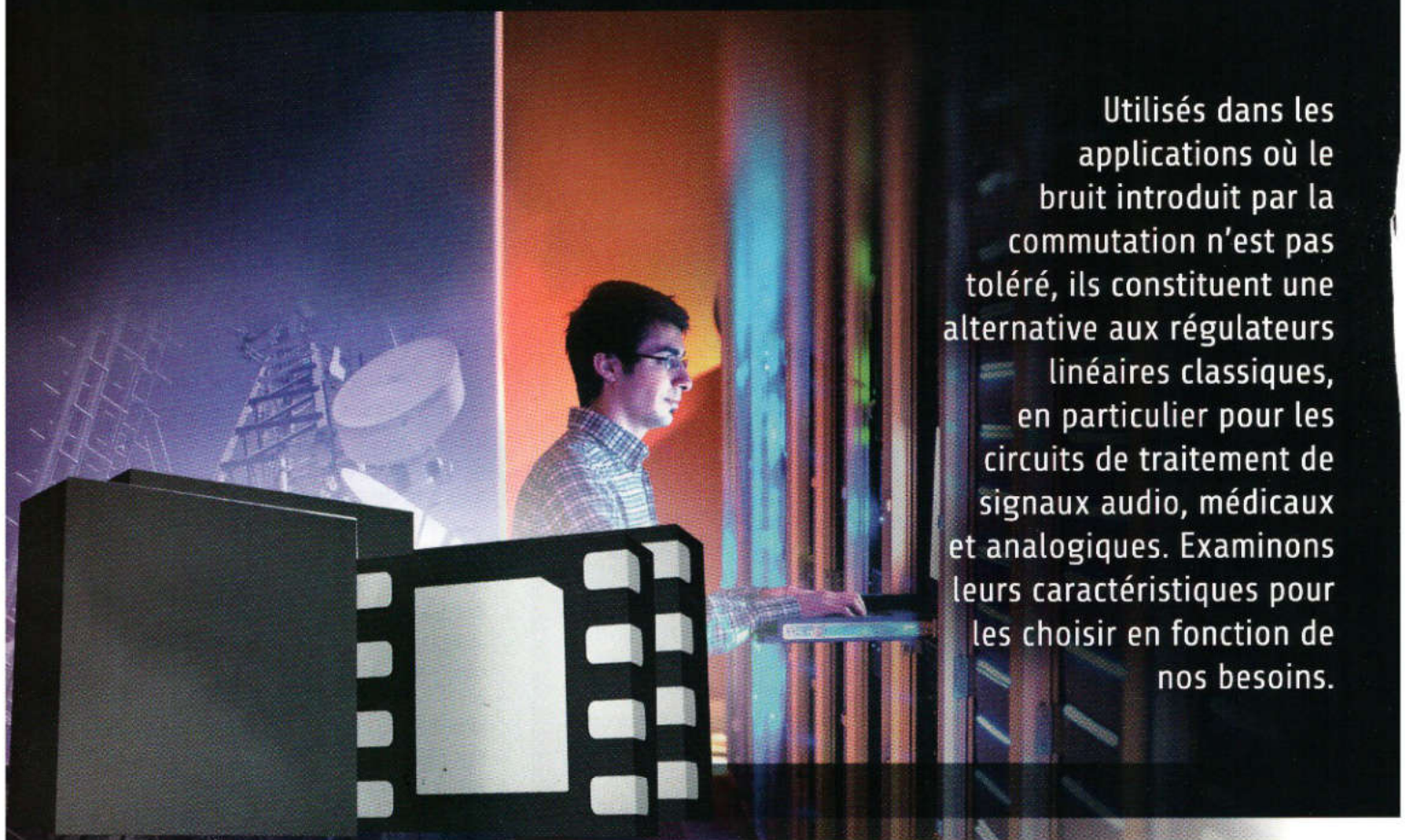
Si vous connectez une antenne télescopique de type radio portable, vous avez l'avantage de pouvoir la rallonger et la raccourcir jusqu'à ce que vous trouviez la réception optimale. Dans ce cas, vous devez la connecter au circuit imprimé à l'aide d'un fil aussi court que possible.

N'oubliez pas que **si vous utilisez le casque comme antenne, vous devez relier les broches 3 et 2 du connecteur « ASW »**, tandis que si vous souhaitez utiliser une **antenne dédiée** (interne ou externe) vous devez **relier les broches 3 avec 4 et 1 avec 2**.

Une fois le récepteur radio terminé et les tests de fonctionnement effectués, vous pouvez penser à le placer dans un boîtier approprié. Dans ce cas, vous devez prendre soin de prévoir un passage pour les boutons ou choisir des modèles plus hauts pour circuit imprimé afin de pouvoir sortir du boîtier. Prévoyez aussi un trou dans le boîtier pour le passage de la LED.

Pour l'alimentation, deux piles de type AA doivent être insérées dans le logement, mais rien n'empêche l'utilisation de piles de type AAA afin de limiter l'espace, l'autonomie sera alors moindre. Vous pouvez aussi faire des tests avec des accumulateurs rechargeables au format AA de 1,2 V.

En effet, ceux-ci présentent une tension d'environ 1,4 V lorsqu'ils sont complètement chargés et devraient donc fonctionner pendant un long moment, surtout si ce sont des modèles 2300 mA.



Utilisés dans les applications où le bruit introduit par la commutation n'est pas toléré, ils constituent une alternative aux régulateurs linéaires classiques, en particulier pour les circuits de traitement de signaux audio, médicaux et analogiques. Examinons leurs caractéristiques pour les choisir en fonction de nos besoins.

CONNAÎTRE LES RÉGULATEURS LDO

de Davide Scullino

Les régulateurs linéaires à faible chute, plus connus sous le nom de LDO pour « **Low DropOut** », sont largement utilisés dans de nombreuses applications électroniques. Ils permettent de mettre en œuvre des solutions simples et peu coûteuses pour réguler une tension dont la valeur d'entrée peut être à peine supérieure à celle de sortie. Ils permettent ainsi d'obtenir des tensions stabilisées dans les convertisseurs DC/DC et dans les alimentations à régulation linéaire.

Pour des puissances importantes, la régulation par commutation est préférable en raison de son rendement élevé, même si elle présente le défaut d'être complexe, en nécessitant davantage de composants et en générant des perturbations.

Les régulateurs linéaires, en revanche, sont idéaux lorsque le bruit de la tension d'alimentation est d'une importance majeure. Cependant, ils présentent le défaut de dissiper une puissance proportionnelle au courant fourni au montage et

donc des pertes dues à la différence entre la tension d'entrée et la tension de sortie (et donc un rendement inférieur).

Les régulateurs LDO constituent une solution intermédiaire, car ils offrent les avantages des régulateurs linéaires et une efficacité (donc un rendement) proche de celui des régulateurs à commutation (découpage) pour de petites puissances.

Pendant des années, les concepteurs ont négligé les régulateurs linéaires, en utilisant massivement ceux à commutation pour tous les niveaux de puissance. Mais cela implique que les concepteurs doivent passer plus de temps à étudier des circuits en évitant l'introduction de bruit dû à la fréquence de commutation. C'est pourquoi, dans certains projets, il est nécessaire d'utiliser des alimentations linéaires.

Dans cet article nous allons vous présenter les caractéristiques techniques et l'utilisation des régulateurs LDO, qui supplantent les régulateurs de tension linéaires traditionnels.

Pour la plupart des applications, les spécifications de base fournies par la documentation technique sont claires et suffisantes.

Malheureusement, cette dernière ne répertorie pas les paramètres pour chaque condition de fonctionnement possible du composant, mais uniquement pour certaines conditions qui sont celle limite et celle optimale.

Par conséquent, pour utiliser au mieux un régulateur LDO, il est nécessaire de comprendre les paramètres importants et leur impact sur une condition de charge donnée.

La tâche du concepteur est de déterminer si un certain type de régulateur LDO convient à une charge spécifique en analysant de près les conditions de fonctionnement du circuit dans lequel il sera utilisé.

Nous allons prendre en compte les paramètres qui déterminent les performances des régulateurs LDO et leur impact sur la capacité à fournir une tension propre et stable aux circuits à alimenter.

Nous analyserons aussi les facteurs que le concepteur doit prendre en compte pour optimiser un circuit, en particulier à des courants de sortie élevés.

Application des LDO

Dans la plupart des applications, les régulateurs LDO permettent d'isoler un circuit sensible aux perturbations provoquées par une source d'alimentation ayant du bruit. Par exemple, ces circuits sensibles sont les filtres.

Contrairement aux régulateurs à découpage (commutation), les régulateurs linéaires dissipent la puissance dans le transistor bipolaire ou MOSFET monté en série avec le circuit à alimenter (montage en ballast).

Ce dernier permet de réguler et de maintenir la tension de sortie avec une grande précision. Cela implique que **la dissipation de puissance d'un régulateur LDO peut compromettre son rendement** et causer des problèmes thermiques.

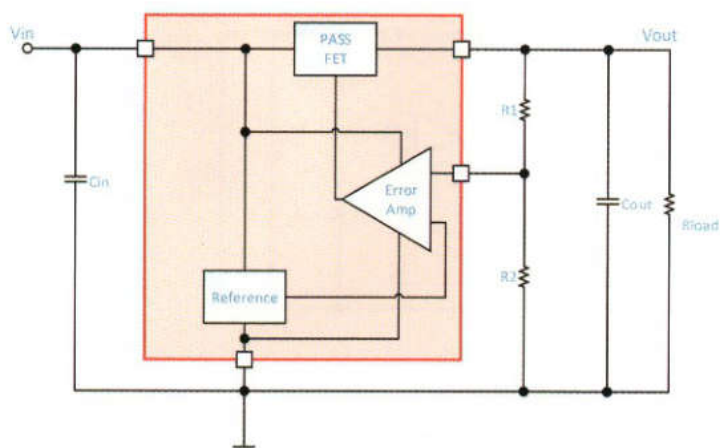


Figure 1 : synoptique d'un régulateur LDO.

Par conséquent, il est important que les concepteurs **diminuent au maximum la dissipation de puissance dans un régulateur LDO afin d'augmenter l'efficacité** (le rendement) du système et d'éviter tout problème résultant de la dissipation thermique.

Il est donc nécessaire de prévoir une bonne convection naturelle (transfert d'énergie thermique) entre le régulateur et le milieu ambiant ou une ventilation forcée pour éviter l'emploi de dissipateurs coûteux et encombrants.

Les régulateurs LDO sont des composants largement utilisés dans la régulation de la tension continue. Cependant, leurs caractéristiques majeures ne sont pas comprises de manière optimale par les concepteurs, ou du moins ne sont pas pleinement exploitées.

Bien que le coût soit un facteur très important, l'utilisation d'un régulateur LDO est principalement déterminée par les exigences de l'alimentation du système et par le niveau de bruit acceptable par le circuit alimenté.

Les régulateurs LDO sont également utilisés pour **réduire le bruit** (ondulation résiduelle) et **résoudre les problèmes causés par les interférences électromagnétiques (EMI)** et le routage (la façon dont les pistes de cuivres sont dessinées) non optimal des circuits imprimés.

Pour les courants très faibles, la dissipation de puissance dans un régulateur LDO est vraiment petite, de sorte que

l'adoption de ce régulateur devient le choix évident pour la simplicité du circuit et donc la fiabilité (les régulateurs linéaires, y compris les LDO, ne nécessitent pas d'oscillateurs, de filtres L/C comme dans le cas des régulateurs à commutation), les coûts et la facilité de conception.

Cependant, pour des courants plus élevés (supérieurs à 500 mA), d'autres facteurs importants, parfois critiques, doivent être considérés. Dans ce type d'applications, il est important que les concepteurs prennent en compte les facteurs qui influent sur les performances à des courants de sortie élevés.

Par ordre d'importance, il s'agit de **la chute de tension entre l'entrée du régulateur et sa sortie**, de **la régulation de la tension de sortie** et des performances en **régime transitoire** lors de **changements brusques du courant de sortie ou de la tension d'entrée**.

Les régulateurs LDO appartiennent à la catégorie des régulateurs linéaires, il est donc naturel de les comparer (notamment en termes de coûts) à ces derniers, qui ont généralement une configuration série (ballast). Cela signifie que le transistor de sortie interne (ou le MOSFET) est connecté en série avec la charge.

L'intérieur d'un régulateur LDO

Un régulateur LDO comprend **trois éléments fonctionnels** de base : une **référence de tension** (générée par un

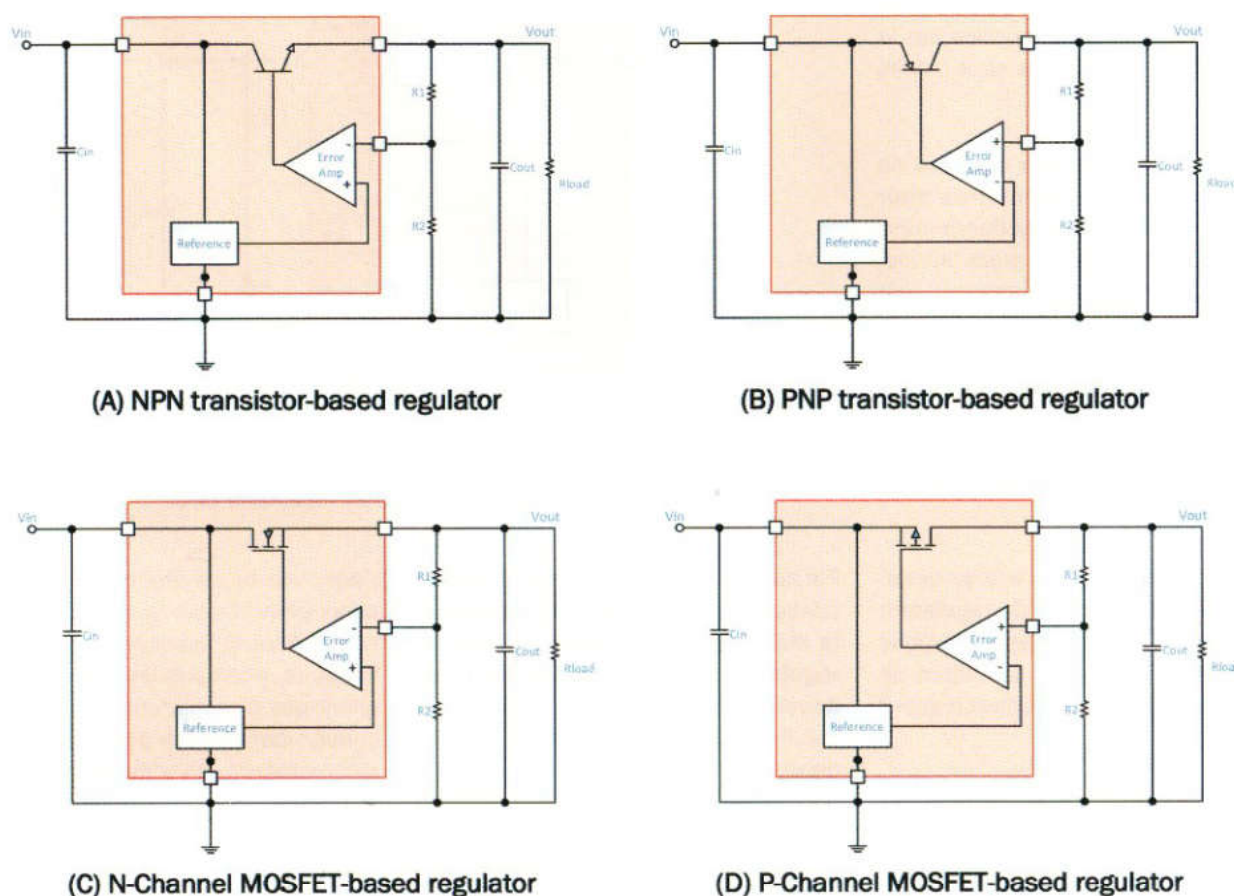


Figure 2 : les quatre types de transistors différents utilisés dans les régulateurs LDO.

régulateur interne ou une simple diode zener), un **composant permettant de faire circuler le courant entre l'entrée et la sortie** (il s'agit généralement soit d'un transistor bipolaire ou d'un MOSFET monté en ballast) et un **amplificateur d'erreur** (différentiel), comme visible en figure 1.

En fonctionnement normal, le transistor ballast fournit le courant nécessaire à la charge (circuit à alimenter) tout en maintenant la tension de sortie à une valeur définie.

Le transistor ballast est piloté par une tension régulée provenant de l'amplificateur d'erreur, c'est-à-dire un amplificateur opérationnel qui mesure la tension de sortie et la compare à la tension de référence générée par le bloc « référence de tension ». Ces blocs fonctionnels influent sur les performances du régulateur LDO.

Dans les documentations techniques, les fabricants indiquent toujours les

performances d'un régulateur LDO en fonction de la précision de la régulation et des conditions de dérive thermique.

Comme le montre la figure 2, dans un régulateur LDO, quatre types de circuit peuvent être adoptés :

- régulateur basé sur un (ou plusieurs) transistor bipolaire NPN ;
- régulateur basé sur un (ou plusieurs) transistor bipolaire PNP ;
- régulateur basé sur un (ou plusieurs) transistor MOS à canal N ;
- régulateur basé sur un (ou plusieurs) transistor MOS à canal P.

En général, **les régulateurs basés sur des transistors bipolaires ont une chute de tension supérieure à celle des régulateurs à base de transistors MOSFET.**

De plus, le courant de base requis par un transistor bipolaire est proportionnel au courant de sortie, cela influe directement sur le courant de repos du régulateur.

L'utilisation d'un transistor MOSFET ne nécessite pratiquement pas de courant de repos, car il est commandé en tension sur sa grille.

Principaux paramètres des régulateurs LDO

Nous allons maintenant aborder les paramètres pertinents qui influent sur les performances d'un régulateur LDO, car ils permettent de comprendre les avantages et les limites de ces régulateurs afin d'optimiser un projet.

Tension de dropout

Comme nous l'avons mentionné, il s'agit de la **chute de tension entre l'entrée et la sortie du régulateur**. Elle correspond à la chute de tension minimale qu'il est possible d'obtenir pour maintenir une bonne régulation de la tension de sortie.

En condition de fonctionnement normal, un régulateur classique fonctionne de

manière linéaire et se comporte donc comme une résistance.

Dans le cas d'un régulateur LDO, le circuit de puissance est composé généralement d'un transistor MOSFET à canal P ou N, dont la chute de tension à ses bornes est de l'ordre de 30 mV à 500 mV.

L'utilisation d'un transistor MOSFET est préférable pour la linéarité qu'il offre et pour la facilité de commande de sa grille (gate). En effet, un MOSFET se commande en tension contrairement à un transistor bipolaire.

Pour comprendre cela, nous devons établir que le « **dropout** » correspond à la **chute de tension** introduite par la jonction « collecteur-émetteur », c'est-à-dire la tension V_{CE} pour un transistor bipolaire.

Dans le cas d'un transistor MOSFET, la chute de tension correspond à la différence de potentiel entre le drain et la source. Il s'agit de la tension V_{DS} .

En nous aidant des diagrammes de la figure 2, examinons ce qui se passe pour les deux types de régulateurs. Les différents schémas électriques visibles en figure 2 se réfèrent tous à des régulateurs de tensions positives par rapport à la masse.

Pour les régulateurs négatifs, le raisonnement est analogue, mais les signes des tensions et des courants sont inversés.

Dans un régulateur dont l'étage de sortie comporte un transistor bipolaire de type NPN, ce dernier est utilisé en configuration « collecteur commun ».

Ainsi, le courant entre par le collecteur pour sortir de l'émetteur qui est relié à la charge. La tension de référence est appliquée sur la base.

Pour un transistor bipolaire, le courant de collecteur et donc le courant de l'émetteur (qui en dérive) dépend du gain h_{FE} qui varie en fonction de la tension V_{CE} . Ainsi, lorsque la chute de tension entre l'entrée et la sortie varie, la régulation se détériore.

Il en résulte que pour obtenir un comportement relativement linéaire avec un

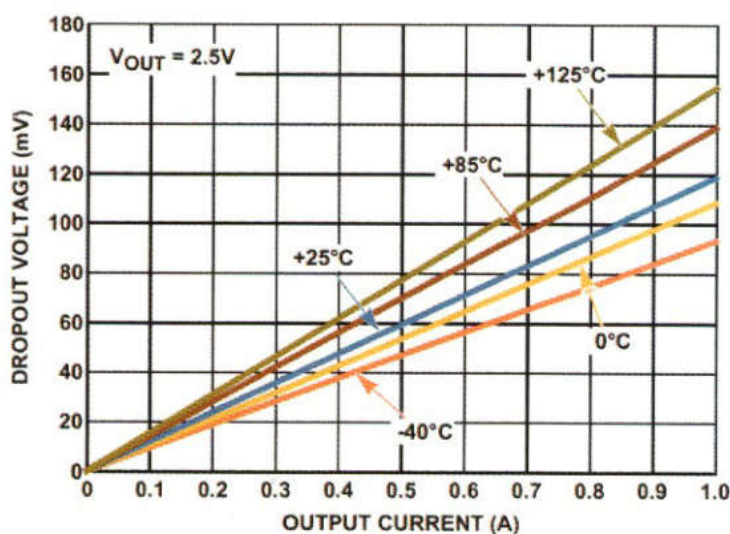


Figure 3 : variations de la tension de dropout du régulateur ISL80510.

courant de sortie élevé et donc proportionnellement un courant de base relativement important, il serait nécessaire de travailler avec des tensions « collecteur émetteur » élevées.

Cela impliquerait une dissipation de puissance considérable, qui provient du produit entre la tension de dropout présente entre l'entrée et la sortie du régulateur et le courant traversant le régulateur.

Par contre, une diminution excessive de la tension V_{CE} et donc celle de dropout, entraînerait une diminution du gain.

Une telle configuration a aussi comme défaut le fait que la tension d'entrée ne peut pas s'approcher de celle de sortie, parce qu'elle coïnciderait avec celle de l'émetteur et, dans une configuration de type « collecteur commun », la base doit être polarisée avec une tension supérieure à celle de l'émetteur.

Il faut $V_{BE} > 0,6$ V au minimum. La tension de polarisation de la base est dérivée de la tension d'entrée, qui doit donc être plus élevée que celle de l'émetteur.

Si nous considérons que nous devons avoir un gain en tension raisonnable, le collecteur doit avoir un potentiel supérieur à quelques volts par rapport à celui de la base, dès lors nous comprenons le problème.

En utilisant un transistor bipolaire de type PNP, les choses s'améliorent, le

schéma est représenté en section (B) de la figure 2.

Dans ce cas, la base peut être amenée à une tension proche de 0 V, (car la tension de référence peut être inférieure à la tension d'entrée). En considérant que la chute de tension entre la base et le collecteur doit être d'environ 2 V, la tension de dropout peut être abaissée.

Ainsi, la résistance dynamique du transistor est réduite, au bénéfice de la régulation. Cependant, la chute de tension obtenue entre l'entrée et la sortie du régulateur n'est pas compatible avec le terme « Low DropOut ».

En utilisant des transistors MOSFET, ces problèmes sont atténués, car un MOSFET entre en conduction lorsqu'une tension entre sa grille et sa source est appliquée. Il s'agit de la tension V_{GS} , à laquelle correspond un courant de sortie, sans influence sur la tension V_{DS} (drain - source).

En fait, le transistor MOSFET se comporte comme une résistance qui augmente lorsque la tension V_{GS} diminue et vice versa.

Dans les MOSFET, le courant de drain, qui est égal au courant de la source, est donné par la formule suivante :

$$I_D = G_{fs} * V_{GS}$$

où G_{fs} est la transconductance.

De plus, la tension V_{DS} ne doit pas être trop élevée car un MOSFET présente une résistance entre son drain et sa source.

Ainsi, le potentiel dans le canal augmente et provoque une diminution de V_{GS} , ce qui réduit la largeur du canal et donc l'augmentation inévitable de la résistance.

Cela se traduit par une diminution du courant délivré en sortie du régulateur.

En se référant au diagramme (C) de la figure 2, nous constatons que le MOSFET de type canal N est configuré en « drain commun ». Ainsi, pour que le MOSFET reste conducteur, il est nécessaire d'appliquer sur sa grille une tension égale à : « $V_{OUT} + V_{GS}$ ».

Etant donné que la tension V_{GS} doit être au moins supérieure de 2 V et qu'elle est dérivée de la tension d'entrée, la tension de dropout reste encore relativement élevée. Il est possible de la réduire en utilisant des MOSFET de dernière génération, fabriqués avec des grilles contenant des oxydes.

Cela permet d'abaisser la tension V_{GS} nécessaire à l'entrée en conduction du MOSFET. Il est possible aussi d'utiliser des circuits capacitifs à pompe de charge afin d'obtenir une tension V_{GS} convenable, même à partir de très basses tensions.

La solution principale consiste à adopter le diagramme (D) de la figure 2.

Ce dernier s'applique aux régulateurs positifs, si vous souhaitez ajuster une tension négative par rapport à la masse, vous devez utiliser un MOSFET de type canal N dans la même configuration.

Une telle configuration permet d'abaisser au maximum la tension de dropout, qui est limitée par la résistance « drain-source » du MOSFET ($R_{DS(on)}$) à l'état passant (conduction).

La grille peut également être mise à la masse et donc la tension d'entrée doit être au minimum égale à la tension V_{GS} afin d'obtenir un courant de sortie convenable en fonction de la tension de sortie requise.

Cela permet d'obtenir une tension de dropout très faible, voire proche de 0 V.

Pour avoir une idée des avantages apportés par la configuration d'un MOSFET à canal P monté en source commune, la figure 3 montre les variations en fonction du courant de sortie et de la température de la puce (T_j) de la tension de dropout d'un régulateur LDO Intersil (ISL80510).

Régulation en charge

La régulation en charge (dans les documentations techniques ce terme est nommé « Load Regulation ») correspond à la **variation de la tension de sortie en fonction du courant traversant la charge**. Nous pouvons ainsi simplifier en émettant l'hypothèse qu'une résistance est placée en série avec la sortie.

Ce paramètre est généralement pris en compte dans la zone de courant allant du fonctionnement à vide jusqu'à l'intensité maximale autorisée par l'étage de sortie du régulateur. Il est donné par la formule suivante :

$$\text{Load regulation} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_{out}} = \frac{V_{out@no\text{load}} - V_{out@full\text{load}}}{0 - I_{out_fullload}}$$

La régulation en charge indique les performances du régulateur et le gain en boucle fermée continue de l'amplificateur d'erreur. Plus le gain est élevé, meilleur est la régulation en charge.

Régulation de ligne

La régulation de ligne (« Line Regulation » dans les documentations techniques) correspond à la **variation de la tension de sortie en fonction d'une variation donnée de la tension d'entrée**.

En théorie, la tension de sortie ne devrait pas varier, mais en réalité, il n'en est rien. Nous pouvons dire que la régulation de ligne est la capacité d'une alimentation à maintenir une tension de

sortie constante malgré les variations de la tension d'entrée, le courant de sortie de l'alimentation restant constant. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\text{Line regulation} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} = \frac{V_{out@V_{in_max}} - V_{out@V_{in_min}}}{V_{in_max} - V_{in_min}}$$

Etant donné que la régulation de ligne dépend également des performances de l'étage de sortie et du gain en continu en boucle fermée de l'amplificateur d'erreur, le fonctionnement à vide n'est souvent pas pris en compte lors de la détermination de la régulation de ligne.

Par conséquent, la tension d'entrée minimale pour obtenir une bonne régulation de ligne doit être supérieure à la tension de dropout.

Taux de réjection de l'alimentation

Ce terme est aussi appelé « PSRR » (Power Supply Rejection Ratio), il s'agit d'un paramètre qui fournit une indication sur la **capacité d'un régulateur LDO à atténuer les fluctuations de la tension de sortie** causées par les variations de la tension d'entrée.

En d'autres termes, il s'agit de la faculté à ne pas propager en sortie l'ondulation et les perturbations présentes au niveau de la tension d'entrée. Le « PSRR » est lié aux valeurs de la tension d'entrée V_{in} et de la sortie V_{out} , il est donné par la formule suivante :

$$\text{PSRR} = 20 \log V_{in}/V_{out}$$

Bien que la régulation de ligne ne soit considérée qu'en courant continu, le taux de réjection de l'alimentation doit être pris en compte dans une large gamme de fréquences.

En considérant un système en boucle fermée conventionnel, la tension de sortie pour les petits signaux V_{outs} peut être exprimée selon la formule :

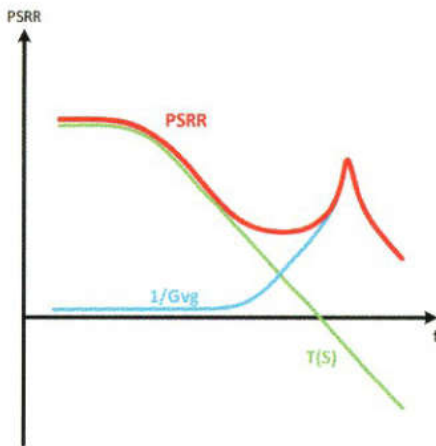


Figure 4 : variations du PSRR en fonction de la fréquence.

$$V_{\text{outs}} = [G_{vg} * V_{\text{ins}} / (1 + k_v * G_c * G_{oc})] + G_c * G_{oc} * V_{\text{ref}} / (1 + k_v * G_c * G_{oc})$$

où V_{ins} est la tension d'entrée pour les petits signaux, G_{vg} est la fonction de transfert en boucle ouverte de l'entrée vers la sortie en tension, k_v est le gain du circuit de contre réaction de la tension de sortie, G_c est la fonction de transfert du correcteur, G_{oc} est la fonction de transfert en boucle de la régulation entre le signal de contrôle et la tension de sortie, et le terme « $k_v * G_c * G_{oc}$ » est la fonction de transfert en boucle fermée du régulateur.

Il ressort des deux formules précédentes, que le taux de réjection « PSRR » est constitué du gain en boucle fermée et de l'inverse de la fonction de transfert en boucle ouverte entre les tensions d'entrée et de sortie ($1 / G_{vg}$), comme indiqué en figure 4.

Ainsi, la fonction de transfert en boucle fermée est prédominante aux basses fréquences, tandis que la fonction de transfert en boucle ouverte entre la tension d'entrée et la tension de sortie est prédominante aux hautes fréquences.

Le bruit

Ce paramètre fait généralement référence au **bruit résiduel** superposé à la tension de sortie produite par le régulateur LDO lui-même. Il constitue une caractéristique intrinsèque de la « bandgap » (barrière de potentiel) du circuit qui génère la référence de tension.

La formule suivante, déjà vue, montre la relation entre la tension de référence qui commande l'étage de sortie du régulateur et la tension de sortie, pour les petits signaux.

$$V_{\text{outs}} = [G_{vg} * V_{\text{ins}} / (1 + k_v * G_c * G_{oc})] + G_c * G_{oc} * V_{\text{ref}} / (1 + k_v * G_c * G_{oc})$$

Malheureusement, la fonction de transfert en boucle fermée est telle que le bruit qui affecte la tension de référence est amplifié par l'étage de sortie et se retrouve en sortie du régulateur.

Par conséquent, la plupart des régulateurs LDO à faible bruit nécessitent un filtre supplémentaire pour empêcher que le bruit affecte la boucle de régulation.

Réponse transitoire

Les régulateurs LDO sont couramment utilisés dans des applications où la régulation de point de charge est importante, telles que l'alimentation des circuits intégrés logiques, des processeurs DSP, des FPGA et des CPU à faible consommation.

La charge, dans ces types d'applications, présente différents modes de fonctionnement, nécessitant des courants d'alimentation différents.

Par conséquent, le régulateur LDO doit réagir rapidement pour maintenir la tension de sortie dans les limites requises.

Cela fait du comportement transitoire d'un régulateur LDO l'un des paramètres les plus critiques pour le fonctionnement d'un circuit donné.

Comme dans tous les systèmes à boucle fermée, la réponse transitoire dépend principalement de la largeur de bande de la fonction de transfert en boucle fermée.

Pour obtenir la meilleure réponse transitoire, la largeur de bande en boucle fermée doit être aussi grande que possible, afin de garantir une marge de phase suffisante pour maintenir la stabilité.

Courant de repos

Il est souvent nommé dans les documentations techniques des régulateurs « **Quiescent Current** ». Il s'agit donc du courant de repos d'un régulateur LDO, il correspond à la somme du courant de polarisation de l'étage de sortie du régulateur et du courant consommé par l'amplificateur d'erreur et le circuit qui génère la tension de référence.

Le courant de repos est normalement maintenu aussi bas que possible afin d'augmenter l'efficacité du régulateur.

À cet égard, si l'étage de sortie du régulateur est constitué par des transistors MOSFET, le courant de repos est relativement insensible au courant de charge.

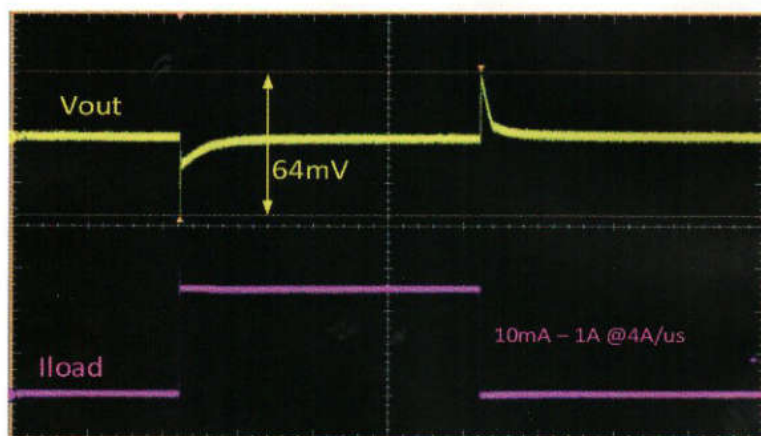


Figure 5 : réponse transitoire du circuit intégré Intersil ISL80510 ($V_{\text{in}} = 2,2 \text{ V}$; $V_{\text{out}} = 1,8 \text{ V}$).

Etant donné que le courant de repos ne circule pas vers la sortie (et donc pas dans la charge), il influe sur le rendement du régulateur LDO. Il peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\eta = (I_{out} * V_{out}) / (I_{out} + I_q) V_{in}$$

où η est le rendement et I_q le courant de repos.

La dissipation de puissance à l'intérieur d'un régulateur LDO est donc définie par la relation suivante :

$$P_d = (I_{out} + I_q) V_{in} - (I_{out} * V_{out})$$

Ainsi, pour optimiser le rendement des régulateurs LDO, le courant de repos et la différence de potentiel entre l'entrée et la sortie doivent être minimisés. La différence de potentiel entre l'entrée et la sortie, c'est-à-dire la tension de dropout, a un impact direct sur le rendement et la dissipation thermique. Il est donc nécessaire d'avoir une tension de dropout la plus faible possible.

Bien qu'il ne puisse pas garantir un rendement élevé par rapport à une alimentation à découpage (SMPS), un régulateur de type LDO est irremplaçable dans de nombreuses applications modernes.

Dans les applications sensibles au bruit, il est très difficile pour une alimentation à découpage d'obtenir une faible ondulation résiduelle en sortie, nécessaire pour répondre aux besoins des périphériques nécessitant une alimentation à faible bruit.

Il n'est donc pas rare qu'un régulateur LDO soit utilisé comme filtre actif en sortie d'une alimentation SMPS. Dans ce cas, le LDO doit avoir un PSRR élevé à la fréquence de fonctionnement.

Les régulateurs **LDO** sont **particulièrement adaptés** pour les applications nécessitant une **tension de sortie régulée légèrement inférieure à la tension d'entrée**. Ils sont, dans ce domaine, meilleurs que les convertisseurs à découpage

de type « buck » et « boost » qui présentent des limitations de fonctionnement lorsque le rapport cyclique est maximal (ou minimal).

Ainsi, la tension de sortie d'un convertisseur à découpage ne peut plus être réglée de manière convenable lorsque sa valeur est proche de celle de la tension d'entrée.

Conclusion

Bien qu'ils soient de conception simple, les régulateurs linéaires LDO sont largement utilisés. Ils jouent un rôle fondamental dans la conception des alimentations.

Dans cet article, nous avons étudié les facteurs à prendre en compte pour optimiser un projet, en particulier à des niveaux de courant élevés : chute de tension, réponse transitoire, précision de la tension régulée et courbe du PSRR pratiquement plate dans une large plage de fréquences. ■

'Scanner 3D' partie électronique du Kit

Ensemble contenant tous les composants électroniques nécessaires à la réalisation du scanner 3D : carte RaspberryPi 2 type B (ou supérieur), deux lasers linéaires, une caméra couleur avec lentille ajustable, un moteur pas à pas et avec un driver, un convertisseur DC / DC, une alimentation 12 VDC / 2 A, une carte micro SD 8 Go, un câble plat à 18 broches et prise d'alimentation. Ce scanner 3D est dérivé du projet Open source PiClop composé d'une mécanique dont les pièces doivent être imprimées à l'aide d'une imprimante 3D. L'ensemble des fichiers correspondant à la mécanique sont téléchargeables dans le sommaire détaillé de cette revue (sur le site www.electroniquemagazine.com).

Par rapport au projet initial, nous avons remplacé la caméra par un modèle avec une lentille ajustable et nous avons utilisé une carte pour la gestion de moteur pas à pas de type NEMA 17, afin de faire tourner le plateau et les lasers. La caméra à objectif réglable permet d'optimiser la mise au point de l'objet. Il sera possible d'obtenir une très grande définition lors de l'étalonnage, avant de commencer l'analyse.

La caméra est de type infrarouge de 5 Mpx avec un objectif ajustable de 3,6 mm.

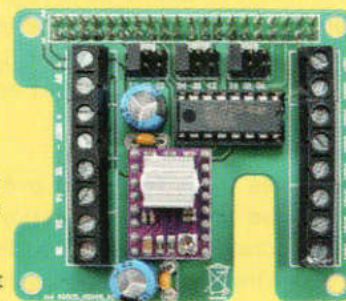
La gestion de toutes les fonctions, ainsi que les réglages des paramètres, se font à travers un réseau LAN. Les réglages peuvent donc être effectués à distance via n'importe quel ordinateur. Le kit comprend une carte SD avec l'image du système d'exploitation équipée du logiciel de gestion et de contrôle (FreeLSS) capable de générer des fichiers 3D dans les formats suivants :

PLY - Colored Point Cloud, XYZ - Comma Delimited 3D Point Cloud, STL - 3D Triangle Mesh.

N.B. le kit n'inclut pas les pièces mécaniques et les pièces en plastique. Vous devez les imprimer avec une imprimante 3D. Les fichiers sont disponibles en téléchargement (voir l'adresse web ci-dessus).

Caractéristiques techniques :

- Caméra 5 mégapixels ;
- Numérisation couleur ;
- Jusqu'à 6 400 pas par rotation du plateau ;
- Résolution : 0,25 mm ;
- Volume scannable : 200 mm x 200 mm x 150 mm ;
- Calibrage assisté
- Tension d'alimentation : 12 VDC/700 mA.



Réf. : **SCANNER3D**

Prix : **190,00€**



COMELEC CD 908 - 13720 BELCODENE

Tél. : 04 42 70 63 90 Fax : 04 42 70 63 95 www.comelec.fr

Photos non contractuelles. Publicité valable pour les mois de parution. Prix exprimés en euros TTC. Sauf erreurs typographiques ou omissions.

Directeur de Publication**Rédacteur en chef**

Jean Marc MOSCATI
CD908
13720 Belcodène

Direction - Administration

JMJ éditions
B.P. 20025
13720 LA BOUILLADISSE
Tél.: +334 427 063 96

Secrétariat - Abonnements**Petites-annonces - Ventes**

À la revue

Vente au numéro

À la revue

Publicité

À la revue

Maquette - Illustration**Composition - Photographie**

JMJ Editions SARL

Impression

Rotimpres

C/ Pla de l'Estany sn
17181 Aiguaviva (Girona)
Espagne

Distribution

MLP

55 Boulevard de la Noirée
38070 Saint-Quentin-Fallavier

Hot Line Technique

+334 427 063 96 non surtaxé
du lundi au vendredi de 15 h à 17 h

Web

www.electroniquemagazine.com

E-mail

support@electroniquemagazine.com

JMJ éditions

Sarl au capital social de 7800 €
RCS MARSEILLE: 421 860 925
APE 221E
Commission paritaire: 1221 K 79056
ISSN: 1295-9693
Dépôt légal à parution

EST RÉALISÉ
EN COLLABORATION AVEC:

ELETRONICA
Electronica In

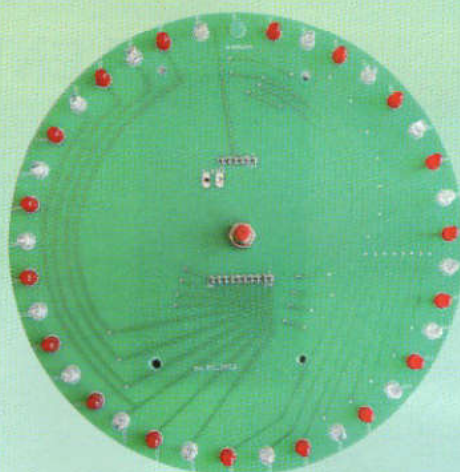
IMPORTANT

Reproduction, totale ou partielle, par tous moyens et sur tous supports, y compris l'internet, interdite sans accord écrit de l'Editeur. Toute utilisation des articles de ce magazine à des fins de notice ou à des fins commerciales est soumise à autorisation écrite de l'Editeur. Toute utilisation non autorisée fera l'objet de poursuites. Les opinions exprimées ainsi que les articles n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas obligatoirement l'opinion de la rédaction. L'Editeur décline toute responsabilité quant à la teneur des annonces de publicités insérées dans le magazine et des transactions qui en découlent. L'Editeur se réserve le droit de refuser les annonces et publicités sans avoir à justifier ce refus. Les noms, prénoms et adresses de nos abonnés ne sont communiqués qu'aux services internes de la société, ainsi qu'aux organismes liés contractuellement pour le routage. Les informations peuvent faire l'objet d'un droit d'accès et de rectification dans le cadre légal.

Roulette électronique à LED

Cette roulette est composée d'une carte électronique de contrôle et d'un panneau d'affichage contenant 37 LED. L'électronique fonctionne avec des circuits intégrés de type HCMOS de la série 74HCXXX. Un signal d'horloge émule correctement le mouvement réel de la roue de la roulette qui commence rapidement pour diminuer jusqu'à s'arrêter. Pour reproduire le son de la bille qui tourne sur la roue, le signal d'horloge est amplifié avec un petit amplificateur en classe D de 2 x 3 W (non inclus, voir les produits connexes). La roulette nécessite une alimentation de 5 VDC pour fonctionner. Un bouton permet le départ de la bille virtuelle qui correspond à l'allumage des LED en séquence et dans le sens des aiguilles d'une montre à une vitesse d'environ un tour complet par seconde. Lorsque le bouton est relâché, la « rotation » des LED se poursuit pendant environ huit à neuf tours complets à une vitesse qui diminuera progressivement et s'arrêtera complètement sur une LED aléatoire. Dimensions : diamètre 18 cm.

Réf.: ET1276K
Prix: 49,50€

**Amplificateur classe D 2 x 3 W**

Basé sur un circuit intégré PAM8403, ce petit amplificateur stéréo en classe D est capable de délivrer une puissance maximale de 3 W sous 4 Ω. Il possède un potentiomètre pour le réglage du volume et un interrupteur M/A. Alimentation : de 2,5 VDC à 5,5 VDC. Puissance de sortie : 2 x 3 W (5 V/4 Ω). Dimensions (mm) : 33 x 19 x 16. Cet amplificateur est particulièrement adapté pour une utilisation avec un lecteur MP3. Attention : ne pas alimenter avec une tension supérieure à 5,5 VDC et ne pas inverser la polarité !

Réf.: PAM8403POT
Prix: 6,50€

**Microcontrôleur programmé pour décodeur universel de télécommande**

Microcontrôleur ATmega328 programmé pour le projet « Décodeur universel pour télécommandes radio » publié dans le numéro 146 d'Electronique et Loisirs Magazine.

Réf.: MF1243
Prix: 9,00€



COMEELEC

CD 908 - 13720 BELCODÈNE Tél. : 04 42 70 63 90 Fax : 04 42 70 63 95 www.comelec.fr

Comelec 09 / 2019

13,58 €* la revue frais de port inclus pour la France Métropolitaine

* Frais d'expédition (CEE, les DOM-TOM et autres pays), contactez-nous pour un devis ou bien à calculer directement sur notre site



Au sommaire : Émetteur FM programmable. Cet émetteur programmable fonctionne dans la gamme des fréquences de 87 MHz à 108 MHz en modulation de fréquence - RASPBERRYPI 2 & 3 Transformez votre oscilloscope en analyseur de spectre - Alimentation de laboratoire à courant constant - Thermomètre chromatique pour liquide - Cours Arduino VIII Cours de programmation sur iPhone 4ème partie, nous allons maintenant approfondir les notions de « autorotatif - Platine de développement pour PIC18F8XX suite - Cartes de prototypage - BREAKOUT BOARD - multifonctions - IV Imprimante 3D VERTEX-5. Interface USB pour le bras robotisé



Au sommaire : Construisons une tondeuse autonome à l'aide de composants de récupérations - Amplificateur 4 W pour guitare qui dispose d'un réglage de volume, de tonalité et un système de distorsion. Notification push avec RaspberryPi - Whiff, le purificateur/ventilateur d'air pour la maison, en plus de l'absence de pale, il faut comprendre que ce n'est pas un ventilateur commun. Transformez votre oscilloscope en analyseur de spectre-2, nous allons aborder la construction et l'utilisation - Imprimante 3D VERTEX - 5. Variateur de vitesse pour moteur à courant continu - Cours Arduino 9ème partie - Cours de programmation sur iPhone 5ème partie, comment utiliser la « Navigation Bar »



Au sommaire : Sustentation magnétique : Suspendre une ampoule sans fil pour la maintenir, l'allumer sans aucune pile ou câble - Compteur d'énergie électrique 220 VAC, doté d'un afficheur LCD qui visualise la consommation instantanée et globale - Générateur de bruit blanc et rose - Vision numérique avec RaspberryPi et Caméra Pi - Chargeur pour smartphone intelligent, idéal pour faire fonctionner et recharger des smartphones ou d'autres dispositifs mobiles - Imprimante 3D VERTEX, le logiciel Repetier-Host - Cours Arduino X-CHIPKIT Pi : comment rendre le RaspberryPi plus polyvalent - Veilleuse à LED universelle - Cours de programmation sur iPhone - VI

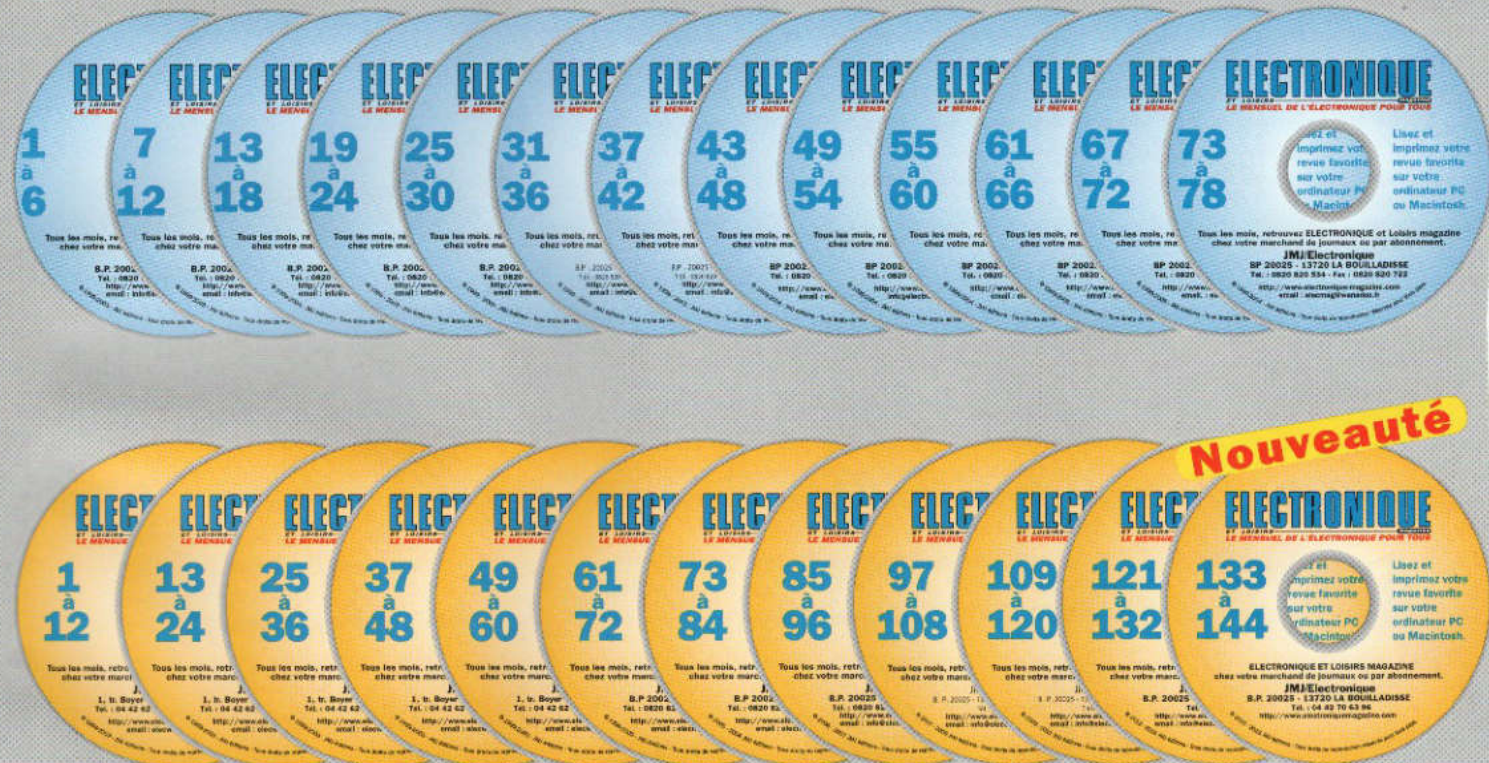


Au sommaire : Reconnaissance faciale avec RaspberryPi, nous allons utiliser les fonctionnalités de la librairie SimpleCV afin de reconnaître les visages et les autres détails du corps humain dans des images - Programmeur hebdomadaire, un temporisateur hebdomadaire avec une sortie relais, un clavier et un afficheur LCD pour les réglages des différentes fonctions - Radio FM & lecteur MP3 USB - Enregistreur vocal avec PIC & EEPROM - 1. Apprenez à maîtriser KiCad EDA-1 - Effet trémolo pour guitare, faire vibrer le son des cordes à travers un système optique original de modulation d'amplitude. Cours MPLAB X IDE-1. Étoile de Noël - Boule de Noël à changement de couleur



Au sommaire : Un amplificateur Hi-Fi 200 W à MOSFET, il pourra sonoriser correctement des pièces volumineuses sans la moindre distorsion - Chambre d'écho digitale - RandA : connecteurs RaspberryPi avec Arduino avec une carte de développement qui permet de créer un environnement de développement intégré de Microchip - Apprenez à maîtriser KiCad EDA - 2 - Comment ponter un amplificateur - Contrôleur pour moteur DC - Télécommande infrarouge 4 canaux.

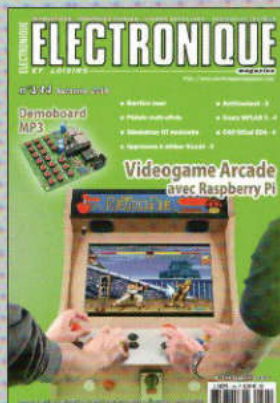
CD-ROM ENTIÈREMENT IMPRIMABLE



*CD - FRAIS DE PORT INCLUS POUR LA FRANCE METROPOLITAINE (DOM-TOM ET AUTRES PAYS : NOUS CONSULTER).



Au sommaire : Apprenons à utiliser RandA, programmation et l'utilisation de la carte - STOP au BLACKOUT I, système de mesure et de limitation automatique de la consommation électrique jusqu'à 6 kW sous 220 VAC - Chauffage par induction 1 kW, la technologie ZVS permet une régulation de la tension à l'aide d'une commutation douce - Détecteur de flamme - Enregistreur vocal avec PIC & EEPROM - 3 - Cours MPLAB X IDE - 3 - le nouvel environnement de développement intégré produit et distribué par Microchip Technology - Récepteur 1 & 2 canaux 433.92 MHz compatible MM53200, UM86409 et UM3759, Chaque récepteur peut être combiné jusqu'à 10 télécommandes



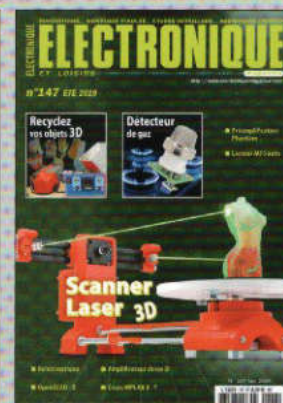
Au sommaire : Jeu vidéo d'arcade avec RaspberryPi - Demoboard MP3, testons l'énorme potentiel du module lecteur audio DFR0299 - Barrière laser, ce montage sert à détecter la présence - Pédale multi-effets proposant deux types de distorsions fuzz - STOP au BLACKOUT I (II), cet électronique permet en cas de dépassement de la puissance maximale, de désactiver un ou plusieurs appareils - Générateur haute tension modulaire - Apprenez à maîtriser KiCad EDA - 4 - commencez par l'analyse de Pcbnew - Apprenons à utiliser RandA - 3 - Cours MPLAB X IDE - 4 - Indicateur d'état de la batterie



Au sommaire : Unité VoIP sur RaspberryPi - 1, nous vous proposons de réaliser un standard téléphonique doté de toutes les fonctionnalités les plus avancées. La 3DRAG+, une version améliorée capable d'imprimer en 3D des pièces de dimensions 400 mm x 400 mm x 400 mm - Cartes de prototypage NE555 - Cours MPLAB X IDE - 5 - Une pêche, avec Arduino - Maîtriser KiCad EDA - 5 - Amplificateur BF 2 x 15 W à TDA7297 - Détecteur de pluie - Thermostat à microcontrôleur, testez ses fonctionnalités Apprenons à utiliser RandA-4 qui sert de passerelle entre les deux mondes d'Arduino et du RaspberryPi-4 - Un sapin de Noël électronique.

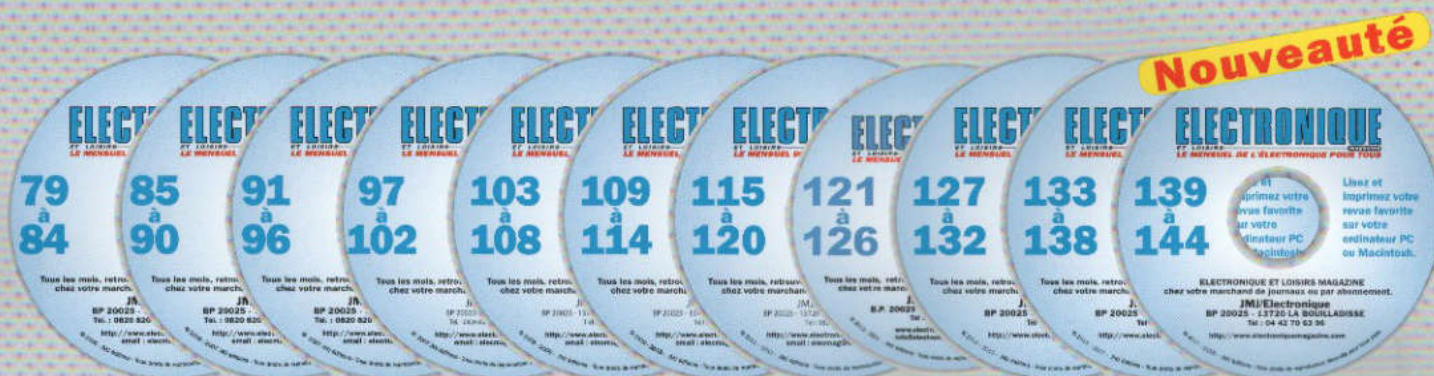


Au sommaire : Découvrir et concevoir un chargeur sans fil, nous vous proposons de concevoir un système d'alimentation sans fil pour vos projets - Roulette électronique à LED, nous mettons au goût du jour une version électronique de l'un des jeux de casino les plus célèbres - La 3DRAG+ : imprimez en grand ! - 2, nous décrivons la configuration logicielle de l'imprimante. Décodeur universel pour télécommandes radio - Analyseur de semi-conducteurs - Cartes de prototypage pour amplificateur opérationnel - Cours MPLAB X IDE - 6 - Tutoriel OpenSCAD - Apprenez à maîtriser KiCad EDA - 6 - Unité VoIP sur RaspberryPi - 2



Au sommaire : Extrudeuse de filaments ou comment recycler vos objets 3D, fabriquez un filament d'impression FDM qui vous permet de donner une nouvelle vie aux restes de PLA, d'ABS, de PET - Scanner laser 3D, en utilisant un RaspberryPi, fabriquez un scanner pour acquérir des modèles d'objets en trois dimensions - Relais de puissance à MOSFET à commande isolée - Détecteur 6 gaz - Préamplificateur micro à alimentation Phantom, idéal pour tous les types de microphones, y compris les types à condensateur nécessitant une tension de polarisation externe - Lecteur MP3 pour automobile - Tutoriel OpenSCAD - 2 - Amplificateur classe D 2,8 W - Cours MPLAB X IDE - 7

CD-ROM ENTIÈREMENT IMPRIMABLE



CD 6 Numéros 25,76 €* / CD 12 Numéros 45,76 €* *

50% de remise pour nos abonnés.

Analyseurs de semi-conducteurs Peak Atlas

DCA55 : L'analyseur de semi-conducteurs DCA55 permet d'identifier les transistors, les thyristors, les triacs, les diodes et les LED. Identification automatique des broches. Mesure du gain et du courant de fuite pour les transistors bipolaires. Mesure de la tension de seuil pour les MOSFET à enrichissement. Mesure de la tension directe pour les diodes, les LED et les jonctions base-émetteur des transistors. Alimentation : 1 pile 12 V GP23A (incluse). Dimensions : 103 x 70 x 20 mm

Transistor :

- plage du gain (hFE): 4 à 65000 - précision du gain: $\pm 5\%$ hfe
- tension maximale collecteur/émetteur: 2,0 V à 3,0 V
- tension base/émetteur VBE pour les Darlington : 0,95 V à 1,80 V

MOSFET :

- plage de la tension grille/source : 0,1 V à 5,0 V
- courant de drain : 2,45 mA à 255 mA
- courant de drain d'appauvrissement : 4,5 mA
- courant drain/source JFET: 0.5 mA à 5, 5mA

Thyristor/Triac :

- courant de gâchette : 4,5 mA - courant de maintien : 5,0 mA

Diode :

- courant de test : 5,0 mA
- tension directe pour identification des LED : 1,50 V à 4,00 V

Réf. : DCA55 Prix : 69,00€

DCA75 Pro : En plus des fonctionnalités du DCA55, le DCA75 pro permet d'identifier une vaste gamme de semi-conducteurs avec leurs brochages et mesurer leurs paramètres. L'instrument peut être utilisé de manière autonome ou branché à un PC pour identifier le type de composant, identifier le brochage et mesurer plusieurs paramètres des composants tels que le gain d'un transistor, les tensions de seuil des MOSFET et IGBT, les caractéristiques des jonctions, etc. Possibilité de mises à jour gratuites en ligne.

Fonctionnalités :

- Identification automatique du type de composant (par exemple, transistor, JFET, IGBT, régulateur, diodes zener, etc.)
- Identification automatique du brochage (connexion dans n'importe quel sens)
- Mesure du gain d'un transistor / Mesure du seuil de la grille d'un MOSFET
- Mesure de la transconductance des MOSFET et JFET / Mesures des caractéristiques des jonctions PN
- Mesure du courant de fuite
- Effectue une analyse du composant plus détaillée avec le logiciel PC inclus sur la clé USB Peak (convient de Windows XP à Windows 10)
- Mise sous tension et hors tension automatique / Conception compacte et ultramince
- Complet avec sondes pinces plaquées or premium / Possibilité de mise à jour en ligne

**Réf. : DCA75
Prix : 138,00€**

ZEN50 : Analyseur de diodes ZEN 50

- analyse les diodes zener, VDR, TVS, LED (max 50 V) ;
- mesure la tension de claquage (de 0,00 V à 50,00 V) avec une résolution de 20 mV ;
- mesure la résistance équivalente (max 1 k Ω à 15 mA) ;
- courants de mesure sélectionnables : 2 mA, 5 mA, 10 mA, 15 mA ;
- augmentation progressive de la tension pour supporter des mesures jusqu'à 50 V à 15 mA ;
- fonction « HOLD » permettant de figer la valeur d'une mesure, même si le composant est retiré / pinces crocodiles à contacts dorés ;
- 1 x pile AAA alcaline.

**Réf. : ZEN50
Prix : 58,00€**

Impédancemètre LCR45 : Le LCR45 de Peak Electronics est un impédancemètre compact. Cet appareil permet de mesurer aussi bien les inductances, les condensateurs et les résistances. Le résultat s'affiche sur un écran alphanumérique. Lorsqu'un composant est connecté et que vous appuyez sur le bouton de test, l'appareil de mesure indique le type de composant concerné ainsi que ses caractéristiques.

- Fréquences de test : continue, 1 kHz, 15 kHz ou 200 kHz
- Plage de mesure de la résistance : 0 - 2 M Ω
- Précision de la résistance : $\pm 1,0\%$
- Plage de mesure de la capacité : à 10 000 pF
- Précision de la capacité : $\pm 1,5\%$
- Plage de mesure de l'inductance : 0 à 10 H
- Précision de l'inductance : $\pm 1,5\%$
- Dimensions : 103 x 70 x 20 mm

Réf. : LCR45 Prix : 139,00€

