



**elektor**  
créer > partager > vendre

ÉDITION  
**508B**  
NUS  
DEPUIS 1978

JUILLET & AOÛT 2024  
ELEKTORMAGAZINE.FR

# VOLET ROULANT INTELLIGENT

contrôlez vos volets du bout des doigts

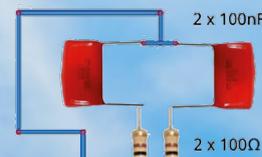
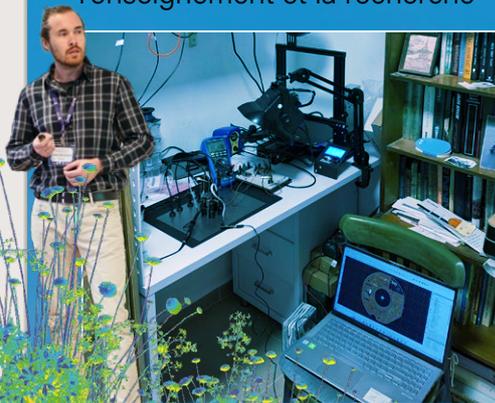
FOCUS SUR

IdO et capteurs

Comment fonctionnent les capteurs tactiles capacitifs ?

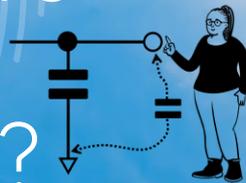
UN ESPACE DE TRAVAIL EN ÉLECTRONIQUE

pour les solutions basées sur les capteurs, l'enseignement et la recherche



Shutter Motor

Blue = Neutral  
Black = Up  
Red = Down  
Green = Ground



Caméra d'imagerie thermique HT-03



Sensor+Test 2024 et PCIM 2024



# Rejoignez la communauté Elektor



Devenez membre maintenant !



- ✓ accès à l'archive numérique depuis 1978 !
- ✓ 8x magazine imprimé Elektor
- ✓ 8x magazine numérique (PDF)
- ✓ 10 % de remise dans l'e-choppe et des offres exclusives pour les membres
- ✓ accès à plus de 5000 fichiers Gerber



Également disponible

abonnement



sans papier !

- ✓ accès à l'archive numérique d'Elektor
- ✓ 10 % de remise dans l'e-choppe
- ✓ 8x magazine Elektor (PDF)
- ✓ accès à plus de 5000 fichiers Gerber



[www.elektormagazine.fr/membres](http://www.elektormagazine.fr/membres)



# DANS CE NUMÉRO

- 3 **Édito**
- 4 **Sensor+Test 2024 et PCIM 2024**
- 6 **volet roulant intelligent**  
contrôlez vos volets du bout des doigts



- 18 **caméra d'imagerie thermique HT-03**
- 20 **comment fonctionnent les capteurs tactiles capacitifs ?**
- 26 **un espace de travail en électronique** pour les solutions basées sur les capteurs, l'enseignement et la recherche

Le numéro de juillet/août 2024 du magazine Elektor est disponible en kiosque et sur l'e-shoppe Elektor.



## C. J. Abate

Directeur du contenu, Elektor

## Bonus : contenu sur l'IdO et les capteurs pour vous !

Chaque année, l'équipe Elektor crée, passe en revue et publie une quantité de contenus sur l'IdO et les capteurs bien trop abondante pour tenir dans un seul numéro. Cette année ne fait pas exception. Dans cette édition bonus, nous vous proposons des articles supplémentaires que vous trouverez enrichissants. Après avoir lu cette édition, n'hésitez pas à partager vos propres projets sur la plateforme Elektor Labs ([www.elektormagazine.fr/labs](http://www.elektormagazine.fr/labs)).

Le rédacteur en chef d'Elektor, Jens Nickel, partage son expérience lors des salons Sensor+Test 2024 et PCIM 2024, qui se sont tenus du 11 au 13 juin 2024 à Nuremberg, en Allemagne. Dans cet article, Jens présente les innovations et démonstrations qui ont attiré son attention de la part d'entreprises telles que S4sensors, MindCet et CAE Software und Systems. Cette édition bonus comprend un projet captivant, un article de fond intéressant, une revue détaillée et un espace de travail en électronique inspirant !

Pour découvrir davantage de projets, de bancs d'essai et d'articles de fond, visitez la page **IdO et capteurs** d'Elektor ([www.elektormagazine.com/iot-sensors](http://www.elektormagazine.com/iot-sensors)). Actuellement, notre site en anglais [www.elektormagazine.com](http://www.elektormagazine.com) couvre des sujets variés tels que : Arduino, Raspberry Pi, Espressif, Puissance et énergie, Embarqué et IA, Test et mesure, Circuits et conception de circuits, Communications sans fil, et Prototypage et production. Dans les semaines à venir, des pages dédiées à ces thématiques seront disponibles en allemand, en néerlandais et en français. Bonne lecture !

### notre équipe

**Rédacteur en chef :** Jens Nickel | **Rédaction :** Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Ouafae Hassani, Hedwig Hennekens, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Jean-Francois Simon, Clemens Valens, Brian Tristram Williams | **Contributeurs réguliers :** David Ashton, Tam Hanna, Ilse Joostens, Prof. Dr. Martin Ossmann, Alfred Rosenkränzer | **Maquette :** Harmen Heida, Sylvia Sopamena, Patrick Wielders | **Des questions techniques :** [redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)

### COLOPHON

47<sup>ème</sup> année n° 508B | ISSN 0181-7450  
Édition BONUS - juillet/août

N° de TVA Intracommunautaire : FR90319937454  
Dépôt légal : août 2024 | CPPAP 1125 T 83713  
Directeur de la publication : Donatus Akkermans

Elektor Magazine est publié 8 fois par an par PUBLITRONIC SARL - c/o Regus Roissy CDG  
1, rue de la Haye - BP 12910  
FR - 95731 Roissy CDG Cedex  
[www.elektor.fr](http://www.elektor.fr) | [www.elektormagazine.fr](http://www.elektormagazine.fr)

**Tarifs Annuels :** France 1 an 129,95 € (8 numéros)

**Publicité :** Ouafae Hassani  
Tél. : +31 (0)6 41312932 | [ouafae.hassani@elektor.com](mailto:ouafae.hassani@elektor.com)  
[www.elektormagazine.fr/publicite](http://www.elektormagazine.fr/publicite)

**Pour toutes vos questions :** [service@elektor.fr](mailto:service@elektor.fr)  
**Devenez membre :** [www.elektormagazine.fr/abo](http://www.elektormagazine.fr/abo)

**Droits d'auteur**  
© 2024 Elektor International Media B.V.

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

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

# Sensor+Test 2024 et PCIM 2024

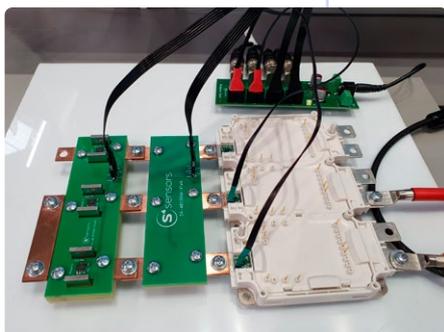
Jens Nickel (Elektor)

Du 11 au 13 juin 2024, trois salons se sont tenus à Nuremberg, en Allemagne : Sensor+Test [1], PCIM Europe [2], dédié à l'électronique de puissance, et SMTconnect (*Surface Mount Technology*). Jens Nickel, rédacteur en chef d'Elektor, était présent pour découvrir de nouveaux produits intéressants. Comme toujours, sa sélection personnelle n'est qu'un petit échantillon des nombreuses innovations présentées lors de ces salons.

## S4sensors

Au salon Sensor+Test, j'ai eu l'occasion de découvrir cette démonstration par S4sensors, une entreprise de semi-conducteurs spécialisée dans les appareils de mesure de position et de courant en 3D. À gauche, on peut voir trois capteurs à effet Hall. Ce qui les distingue est leur haute sensibilité latérale, obtenue grâce à une technique de fabrication spéciale de la zone du capteur à effet Hall au sein du circuit intégré. Chaque puce intègre deux zones de capteurs à effet Hall, permettant ainsi d'effectuer des mesures différentielles et d'améliorer l'immunité aux interférences.

<https://s4sensors.com>



## InfraTec

Les sessions publiques étaient également très enrichissantes. Le spécialiste allemand de la détection IR InfraTec a présenté une session intéressante sur les applications de l'imagerie thermique. L'un des exemples était une analyse sur l'iPhone 6, montrant que le couvercle du capteur Touch ID est transparent aux ondes infrarouges (à gauche). L'imagerie thermique pourrait révéler des détails microscopiques (à droite).

[www.infratec.de/thermografie/waermebildkameras](http://www.infratec.de/thermografie/waermebildkameras)



## CAE Software und Systems

L'une de mes découvertes préférées concerne les caméras acoustiques de la société allemande CAE Software und Systems, qui génèrent une image des sources sonores, où des couleurs indiquent le niveau sonore (grande image). Personnellement, je vois plusieurs applications possibles dans le domaine de l'audio. Mais, l'objectif principal de cette technologie de visualisation est la maintenance des machines

et des installations, pour détecter, par exemple, les fuites dans les conduites de gaz. La « caméra » noire à gauche intègre un réseau de microphones (standard) ; un FPGA réalise le traitement nécessaire pour superposer l'« image » sonore à une image vidéo. Le dernier modèle SoundCam Ultra 3 de cette entreprise (visible sur la petite photo) est un appareil portable qui intègre également une troisième couche d'image thermographique.

[www.cae-systems.de](http://www.cae-systems.de)





### ROHM Semiconductor

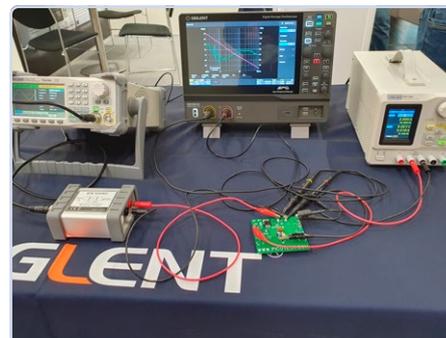
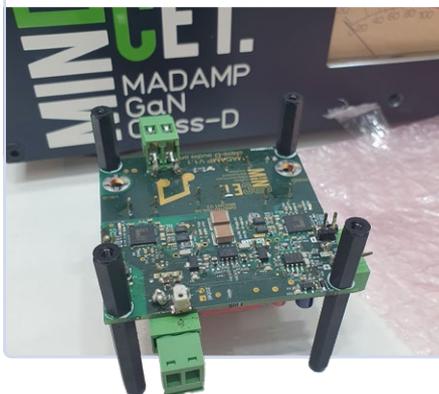
Bien entendu, le GaN était un thème important au PCIM. ROHM a présenté sa gamme EcoGaN de transistors à haute mobilité électronique (HEMT) en GaN disponibles en classe 150 V et 650 V, accompagnés de plusieurs kits d'évaluation. Ces FET sont conçus pour la commutation de puissance et aux applications haute fréquence. Les dispositifs EcoGaN trouvent également leur place dans des produits grand public, comme ce chargeur USB-C de 45 W d'Innergie, une marque de Delta Electronics.

[www.rohm.com/pcim](http://www.rohm.com/pcim)

### MindCet

J'ai également rendu visite à nos amis de MindCet, qui développent actuellement un amplificateur audio en collaboration avec Elektor. La carte d'amplificateur mono Madamp présentera les avantages des transistors de puissance GaN, contrôlés par les circuits intégrés Gate Driver MDC901 de la société belge. Cette technologie permet d'atteindre un meilleur rendement, permettant ainsi d'obtenir un circuit plus compact. Vous trouverez bientôt plus d'informations sur le Madamp dans les pages d'Elektor !

[www.mindcet.com/asic-products](http://www.mindcet.com/asic-products)



### Siglent

Le fabricant d'équipements de mesure Siglent a dévoilé son oscilloscope haute résolution à deux voies, le SDS1202X HD capturant un diagramme de Bode. Au cœur de cette nouvelle gamme d'oscilloscopes SDS1000X HD se trouvent des CAN 12 bits avec 2 Géch/s. Ces appareils sont proposés avec des bandes passantes de 100 MHz et sont disponibles en versions 200 MHz et 2 et 4 voies analogiques.

<https://tinyurl.com/siglent-oscilloscopes>

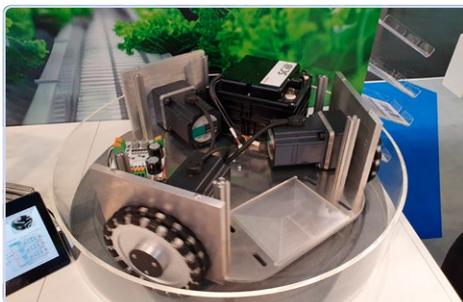
### Qorvo



La tendance dans le domaine des boîtes à fusibles s'oriente également vers l'intégration des composants à semi-conducteurs. Le fabricant de semi-conducteurs Qorvo a introduit un JFET SiC d'une faible résistance de seulement 4 mΩ capable de remplacer les fusibles ordinaires. L'entreprise américaine a consacré une partie de son stand à son programme de simulation QSPICE. Mike Engelhardt, le créateur du simulateur, a personnellement présenté ce puissant outil gratuit basé sur SPICE.

[www.qorvo.com/newsroom/trade-shows/pcim](http://www.qorvo.com/newsroom/trade-shows/pcim)

<https://p.qorvo.com/qspice-simulator.html>



### Toshiba

Un modèle attrayant et peu encombrant : le véhicule rotatif à guidage automatique Omniwheel. Équipé d'une batterie interne SCiB de Toshiba de 24 V et 556 Wh, il se distingue par sa capacité à être rechargée rapidement en seulement 20 minutes (3C).

Un processeur Cortex-M4F à 160 MHz, des pilotes de porte à pont B6 avec optimisation automatique du temps mort et des MOSFET de puissance UMOS-X (tous de Toshiba) contrôlent les trois moteurs.

<https://tinyurl.com/toshiba-pcim>

### LIENS

[1] Sensor+Test - The Measurement Fair: <http://www.sensor-test.de>

[2] PCIM Europe Expo: <https://pcim.mesago.com/nuernberg/en.html>

240333-04

# volet roulant



contrôlez vos volets du bout des doigts

Maurizio Škerlič (Italie)

**Electronica In**  
WWW.ELETRONICA.IN.IT

Aujourd'hui, les applications domotiques sont de plus en plus contrôlées par de puissantes plateformes web à commande vocale telles que Google et Alexa. Ce projet vous permet de contrôler les volets roulants motorisés de votre maison, soit par l'un de ces assistants vocaux, soit par une application dédiée. Grâce à une connexion Wifi, le système est programmé avec un micrologiciel basé sur le serveur Sinric Pro [1].

Dans ce nouveau projet domotique, que nous avons appelé *Smart Roller Shutter* (volet roulant intelligent), nous vous proposons un appareil intelligent permettant de contrôler vos volets roulants électriques via Amazon Alexa, Google Assistant ou une application mobile. Ce système est conçu pour s'intégrer facilement sans nécessiter de modifications du circuit électrique existant, ni de changer le moteur du volet ou de remplacer les boutons ou interrupteurs existants.

Il suffit de câbler ce dispositif pour transformer votre volet roulant en un appareil intelligent en quelques minutes. Grâce à ses dimensions compactes, il peut être installé dans n'importe quelle boîte de jonction électrique ou fixé sur une plaque de support dans les boîtes rectangulaires 503 en utilisant les adaptateurs appropriés, imprimables en 3D, dont vous pouvez télécharger les fichiers sur la page web du projet sur Elektor Labs [2].

## Schéma de câblage

Pour analyser le circuit, nous examinons le schéma de câblage présenté en **figure 1**. Nous commençons par le module ESP03 (U5), basé sur le microprocesseur ESP8266 d'Espressif avec une architecture RISC 32 bits. Ce microprocesseur fonctionne à une fréquence de 80 MHz et possède une mémoire flash de 1 Mo. L'alimentation du circuit est assurée par une alimentation à découpage intégrée (TR1) fournissant 5 V à 1 A. La tension de sortie est abaissée à 3,3 V par le régulateur de tension NPC1117 (U4). La tension 5 V est filtrée par les condensateurs céramiques multicouches C4, C5 et C8, tandis que la tension 3,3 V est filtrée par les condensateurs C6, C7, C9, C11 et C12, indispensables pour prévenir les réinitialisations aléatoires ou les plantages du système. Attention : le processeur Espressif est très sensible aux chutes de tension, aux interférences électromagnétiques (EMI) et à l'ondulation excessive souvent associées aux alimentations à découpage, en particulier celles de bas prix. Ce sont les principales causes de dysfonctionnement dans les projets réalisés par des débutants utilisant des processeurs ESP pour la première fois, surtout lors de la réalisation de prototypes sur plaques d'essai avec des montages imprécis et des connexions chaotiques, ou lorsque, par précipitation ou paresse, l'alimentation n'est pas découplée ou filtrée avec des condensateurs. Les broches 10 (GPIO 12) et 11 (GPIO 13) de l'ESP03 - SDA et SCL, respectivement - sont utilisées pour la communication I<sup>2</sup>C avec le circuit intégré PCA9536 (U3) de Texas Instruments, un circuit d'extension de port d'entrée-sortie 4 bits, et avec le circuit intégré ADC 18 bits MCP3421 (U6) de Microchip. Il est important de noter que le

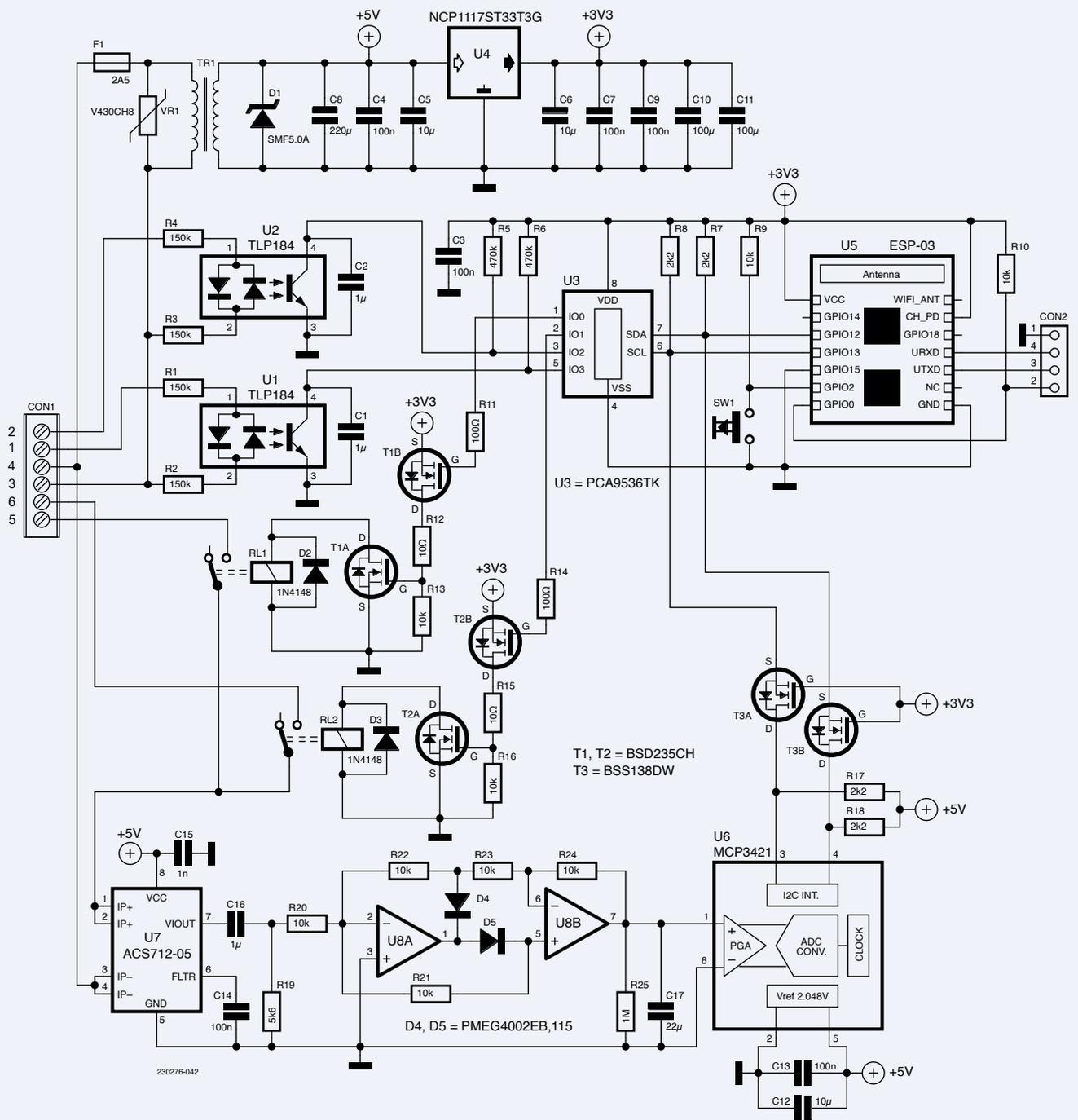


Figure 1. Schéma du projet.

MCP3421 est disponible en sept versions, qui se différencient uniquement par leurs adresses I<sup>2</sup>C. La version utilisée dans notre projet est le MCP3421A1, adressé à 0x69. Si elle n'est pas disponible, vous pouvez en utiliser une autre avec une adresse I<sup>2</sup>C différente à condition de modifier le croquis en conséquence. Par exemple, si vous procurez le MCP3421A2, tel qu'indiqué sur sa fiche technique, dans le nombre binaire 1101xxx, xxx doit être remplacée par les bits spécifiques à l'adresse de la puce (définis par les deux dernières valeurs de l'abréviation de la puce). Dans notre cas, il s'agit de A2, ce qui correspond à l'adresse 2, exprimée en binaire par 010. En effectuant la substitution appropriée, l'adresse I<sup>2</sup>C devient 1101010, soit 0x6A en hexadécimal (**figure 2**).

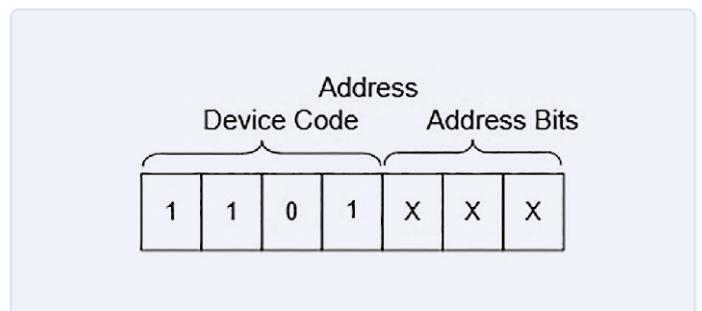


Figure 2. Procédure pour déterminer l'adresse I<sup>2</sup>C du CA/N MCP3421.

## Le circuit intégré ACS712

Source : ACS712 | Fiche technique d'Allegro Microsystem  
L'ACS712 d'Allegro™ fournit des solutions économiques et précises pour la détection de courant alternatif ou continu dans les systèmes industriels, commerciaux et de communication. Le design du boîtier facilite son intégration par les utilisateurs. Parmi les applications typiques on trouve la commande des moteurs, la détection et la gestion des charges, les alimentations à découpage et la protection contre les surintensités. Ce dispositif n'est pas adapté aux applications automobiles.

Le dispositif consiste en un circuit Hall linéaire, précis et à faible décalage, avec une piste de conduction en cuivre proche de la surface de la puce. Le courant appliqué qui traverse cette piste de conduction génère un champ magnétique que le circuit intégré de Hall convertit en une tension proportionnelle. La précision du dispositif est optimisée par la proximité entre le signal magnétique le transducteur de Hall. Une tension proportionnelle précise est fournie par le circuit intégré à effet Hall BiCMOS à faible décalage et stabilisé par un hacheur, qui est programmé pour garantir la précision après l'emballage. La sortie du dispositif présente une pente positive (>V<sub>IOUT</sub>(Q)) lorsqu'un courant croissant circule dans la piste de conduction primaire en cuivre (des broches 1 et 2 aux broches 3 et 4), qui est utilisée pour l'échantillonnage du courant. La résistance interne de cette voie de conduction est de 1,2 mΩ typiquement, ce qui permet une faible perte de puissance. L'épaisseur du conducteur en cuivre permet au dispositif de survivre à des conditions de surintensité allant jusqu'à 5x. Les bornes du chemin conducteur sont électriquement isolées des fils de signal (broches 5 à 8). Ceci permet à l'ACS712 d'être utilisé dans des applications nécessitant une isolation électrique sans l'utilisation d'opto-isolateurs ou d'autres méthodes d'isolation coûteuses. L'ACS712 est fourni dans un petit boîtier SOIC8 pour montage en surface. Le tableau suivant décrit la fonction des 8 broches.

Broche	Nom	Description
1 et 2	IP+	Entrée de détection de courant (+)
3 et 4	IP-	Entrée de détection de courant (-)
5	GND	Broche de référence à la masse
6	Filter	Condensateur externe pour le réglage de la largeur de bande
7	Vout	Sortie analogique
8	Vcc	Entrée d'alimentation

### Caractéristiques et avantages

- › Ligne de signal analogique à faible bruit
- › La bande passante de l'appareil est réglée via la nouvelle broche FILTER
- › Temps de montée de la sortie de 5 µs en réponse à un courant d'entrée progressif
- › Bande passante de 80 kHz
- › Erreur de sortie totale de 1.5% à T<sub>A</sub> = 25°C
- › Empreinte réduite, boîtier SOIC-8 à profil bas
- › Résistance interne du conducteur de 1.2-mΩ
- › Tension d'isolation minimale de 2,1 kV<sub>RMS</sub> entre les broches 1-4 et les broches 5-8
- › 5,0 V, fonctionnement à alimentation unique
- › Sensibilité de sortie de 66 à 185 mV/A

Nous analysons maintenant la partie la plus importante de notre appareil, celle qui permet de régler la position du volet sans nécessiter un capteur de position. Ceci est possible grâce à un capteur de courant à effet Hall ACS712 (U7) d'Allegro Microsystems, qui détecte l'arrêt du moteur une fois que le commutateur de fin de course est activé. Ceci est indispensable, notamment lors de la calibration, pour pouvoir mesurer précisément le temps nécessaire pour la fermeture et l'ouverture du volet. Cette puce est disponible en trois versions selon le courant maximum détectable : 30 A avec une sensibilité de 66 mV/A, 20 A avec une sensibilité de 100 mV/A, et 5 A avec une sensibilité de 185 mV/A.

Pour notre prototype, nous avons opté pour la version 5 A du capteur ACS712 en raison de sa haute sensibilité de 185 mV/A, qui assure une détection plus précise de l'intensité du courant. Bien qu'il existe de nombreux capteurs avec des sensibilités et des caractéristiques variables, nous avons choisi l'ACS712 pour sa disponibilité. Ce capteur mesure le courant alternatif traversant ses broches 1, 2 et 3, 4, et le convertit en une tension proportionnelle à 185 mV/A, mesurée sur la broche 7. La tension de sortie du capteur est ensuite traitée par l'amplificateur opérationnel MCP6402 (U8), configuré comme un redresseur double demi-onde, pour obtenir la valeur efficace du courant alternatif. Le signal redressé de la broche 7 de l'ampli-op MCP6402 (U8) est transmis au CA/N (U6). Comme le capteur ACS712 fonctionne à 5 V, le signal redressé de la broche 7 doit également être traité par des composants fonctionnant sous la même tension. Dans ce montage, l'ampli-op U8, configuré en redresseur double demi-onde, et le CA/N U6 sont tous deux alimentés en 5 V. Cependant, le module ESP03, qui communique avec le CA/N via le bus I<sup>2</sup>C, fonctionne à un niveau logique de 3,3 V au lieu de 5 V. Pour combler cette différence de tension entre les signaux de 5 V du capteur et la logique 3,3 V de l'ESP03, nous avons utilisé un *level-shifter*. Ce dernier est construit avec un MOSFET double canal N (T3) et quatre résistances (R7, R8, R17, et R18), qui servent également de résistances *pull-up* pour le bus I<sup>2</sup>C, assurant une communication stable entre les composants.

Les broches 1 (IO0) et 2 (IO1) du circuit d'extension de port (U3) sont configurées en sortie pour contrôler les mouvements du moteur. Parallèlement, les broches 3 (IO3) et 5 (IO4) sont utilisées comme entrées pour détecter les pressions sur le bouton du volet roulant. Nous utilisons les résistances R5 et R6 pour maintenir ces entrées à un niveau haut. Les signaux provenant des pressions sur les boutons sont générés par les transistors des photocoupleurs (U1 et U2) et sont filtrés à travers les condensateurs C1 et C2 pour assurer la stabilité.

Le courant alternatif de 230 V, qui provient des boutons de volets roulants connectés aux broches 1 et 2 du connecteur CON1 (pour les commandes "Up" et "Down", respectivement), est isolé en toute sécurité grâce aux doubles LED intégrées dans les photocoupleurs (U1 et U2). Des résistances de limitation de courant (R1, R2 pour U1 et R3, R4 pour U2) protègent ces composants contre les surintensités. Les résistances R5 et R6 servent également de résistances de polarisation pour les photocoupleurs, assurant leur bon fonctionnement en maintenant les niveaux de tension nécessaires à leurs bornes.

Le bouton-poussoir SW1 est connecté à la broche 9 (GPIO2) du module ESP03 et est maintenu à un niveau haut par la résistance R9. Ce bouton a une fonction essentielle : en cas d'oubli du mot de passe enregistré dans le système, une pression sur le bouton SW1 réinitialise le mot de passe à la valeur par défaut "123456789".

Les broches 1 et 2 du circuit d'extension de port PCA9536 (U3) sont utilisées pour contrôler une paire de relais électromécaniques avec deux MOSFET à double canal N et canal P, qui sont intégrés dans un même boîtier et désignés T1 et T2 dans le schéma. Ces relais contrôlent la commutation de l'alimentation du moteur. Pour protéger ces MOSFET des pics de tension générés par les bobines de relais lorsqu'elles sont hors tension, les diodes flyback D2 et D3 sont placées en parallèle avec les bobines. Ces diodes absorbent et dissipent les surtensions potentiellement dangereuses induites par le rebond inductif, garantissant que les MOSFET sont protégés contre les dommages causés par ces transitoires à haute tension.

La charge, qui est le moteur à engrenages du volet dans notre cas, est connectée à la broche 5/OUT1 (Up), à la broche 6/OUT2 (Down) et à la broche 3 (neutral/common). Les fils de tension de ligne, neutre et sous tension, sont connectés aux broches 3 et 4 de CON1, respectivement. Pour protéger le circuit, nous utilisons plusieurs composants de protection : une varistance (VR1) et un fusible (F1) assurent la protection contre les surtensions et les surintensités, respectivement. En outre, une diode Transil unidirectionnelle (D1) est utilisée pour protéger le circuit contre les surtensions pouvant survenir en cas de défaut de l'alimentation. Cette combinaison de composants de protection garantit la robustesse et la fiabilité du circuit, même dans des conditions électriques défavorables.

### Assemblage pratique

Avant de nous plonger dans l'assemblage pratique, il est important de noter que la taille compacte de notre circuit imprimé (PCB) était nécessaire pour assurer la compatibilité avec les modules couramment utilisés. Pour loger tous les composants, nous avons dû utiliser des CMS en boîtier minuscule 0201. Malgré cela, l'assemblage du circuit n'exige pas de compétences exceptionnelles ni de précision extrême. Voici nos recommandations pour l'assemblage :

- **Outils de soudure** : Utilisez un fer à souder à pointe fine d'une puissance de 20 à 25 watts et un fil de soudure fin, de préférence pas plus épais que 0,7 mm de diamètre.
- **Flux** : optez pour un flux de haute qualité qui laisse un minimum de résidus. Un flux de densité faible à moyenne est idéal pour ce projet.
- **Brucelles** : Utilisez des pinces fines, de préférence en acier inoxydable non magnétique, en plastique ou en céramique,

pour manipuler les petits composants. Les pinces magnétiques peuvent attirer les composants, ce qui complique la mise en place.

Pour ceux qui préfèrent fabriquer eux-mêmes le circuit imprimé, visitez la page Web d'Elektor Labs consacrée à ce projet [1], où vous trouverez les fichiers Gerber pour le circuit imprimé double-face, adapté à la photogravure, ainsi que le micrologiciel.

Lors de l'assemblage du circuit imprimé :

- Commencez par les semi-conducteurs, en veillant à les orienter correctement comme indiqué dans l'implantation.
- Commencez par les plus petits composants passifs, puis passez aux plus grands.
- Pour gagner de la place, étamer le module ESP03 (U5) sur son circuit imprimé d'adaptation avant de le monter verticalement, comme le montre la **figure 3**.
- Le respect de ces étapes permettra de réussir l'assemblage du projet de volet roulant intelligent.

La dernière étape consiste à monter les traversants, tels que les borniers, les relais et l'alimentation à découpage.

Si vous avez des difficultés pour vous procurer les diodes Schottky PMEG4002EB,115 (D4 et D5), le circuit imprimé permet d'utiliser une alternative : la diode Schottky double BAT54 en boîtier SOT-323. Lors du choix de cette option, il est important de sélectionner la bonne version. Faites attention au suffixe dans l'abréviation de la diode, qui indique la disposition interne des diodes. Pour notre projet, le BAT54SW est recommandé. Pour plus de détails sur les différentes versions de la diode BAT54, veuillez vous référer à l'encadré dédié au BAT54.

Après avoir assemblé tous les composants, il est essentiel de nettoyer les résidus de flux du circuit imprimé avec de l'alcool isopropylique. Ce nettoyage permet d'éviter les courts-circuits et garantit une réalisation propre et fiable. Utilisez une loupe pour inspecter minutieusement les ponts de soudure éventuels entre les broches des composants, en particulier entre les broches de U1 et d'autres composants à faible pas, tels que ceux en boîtier 0201.

Un nettoyage soigneux et une inspection détaillée amélioreront considérablement les performances et la longévité de votre *Smart Roller Shutter*.

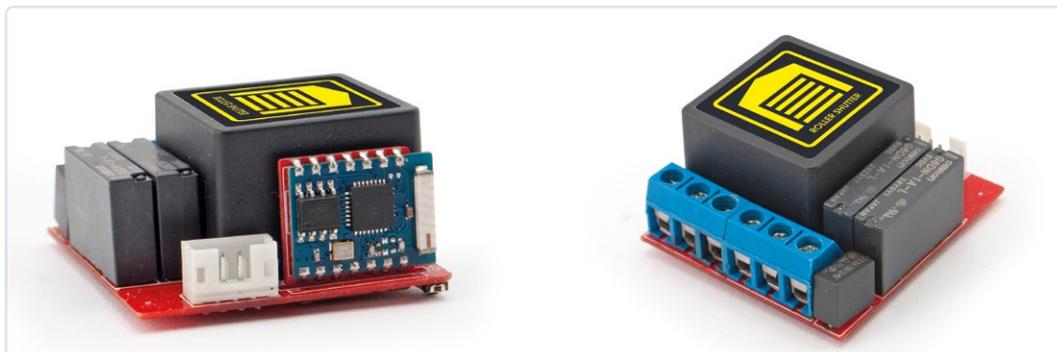


Figure 3. Montage du module ESP03 en position verticale sur le circuit imprimé. L'autre côté montre les borniers à vis pour les connexions.

## La diode Schottky BAT54

La diode Schottky BAT54 que vous pouvez utiliser pour remplacer les paires de diodes D5 et D6 est disponible en plusieurs versions, toutes encapsulées dans des boîtiers SOT-323. Ce qui différencie ces versions est le brochage, offrant au concepteur différentes solutions. Chaque brochage se distingue par un suffixe, c'est-à-dire une paire de lettres qui suit le nom de base. Pour notre projet, nous avons choisi la version SW. Le circuit imprimé a été spécifiquement conçu pour accueillir cette version uniquement. Les différentes versions et leurs brochages associés sont détaillés dans l'illustration présente dans cet encadré.

Pin	Description	Simplified outline	Graphic symbol
<b>BAT54AW</b>			
1	cathode (diode 1)		
2	cathode (diode 2)		
3	common anode		
<b>BAT54CW</b>			
1	anode (diode 1)		
2	anode (diode 2)		
3	common cathode		
<b>BAT54SW</b>			
1	anode (diode 1)		
2	cathode (diode 2)		
3	cathode (diode 1), anode (diode 2)		
<b>BAT54W</b>			
1	anode		
2	not connected		
3	cathode		

À ce stade, vous pouvez mettre le prototype sous tension en suivant le schéma de câblage que nous avons fourni. Notez que ces circuits sont connectés au réseau électrique de 230 V. Ne touchez jamais une partie du circuit à mains nues - si vous le faites, vous vous exposerez à un risque grave d'électrocution ou de choc électrique.

Beaucoup de gens considèrent à tort le disjoncteur différentiel (DDR) comme une protection infaillible contre l'électrocution. Toutefois, il est essentiel de comprendre que le DDR est spécifiquement conçu pour

intervenir en cas de fuite de courant vers la terre. Cela signifie que si vous touchez accidentellement à la fois les fils sous tension et neutre, le disjoncteur différentiel pourrait ne pas se déclencher, exposant ainsi à un risque d'électrocution potentiellement fatal.

Par conséquent, il est impératif d'exercer une extrême prudence lorsque vous travaillez sur ou à proximité de circuits électriques connectés au secteur. Utilisez des outils isolés et veillez à couper le courant avant de procéder à des réglages ou de manipuler les composants. L'importance de la sécurité ne peut être trop soulignée dans de telles situations.

## Programmation et tests

Pour programmer le module ESP03, utilisez un adaptateur USB compatible avec l'ESP8266 ou un convertisseur USB/TTL 3,3 V, similaire à ceux utilisés pour programmer les mini-modules Arduino. Consultez la **figure 4** pour plus de détails sur les connexions : connectez la sortie TX du convertisseur à la broche 4 RX du connecteur CON2 et l'entrée RX du convertisseur à la broche 3 TX de CON2. Pour activer le mode programmation, appuyez et maintenez enfoncé le bouton "Prog" connecté à la broche 2 de CON2 pendant une seconde avant mettre le dispositif sous tension. Relâchez le bouton après une seconde. Cela mettra le volet roulant intelligent en mode programmation, prêt pour le chargement du micrologiciel. La figure 4 fournit des indications supplémentaires pour le câblage correct du bouton *Prog*.

A titre informatif, veuillez noter que le croquis du *Smart Roller Shutter* a été compilé en utilisant le package ESP8266 core version 2.7.4, ainsi que les bibliothèques suivantes : *lotwebconf* version 3.2.1, *SinricPro* version 2.10.0, *SparkFun\_PCA9536\_Arduino\_Library* version 1.2.2, et *ArduinoJson* version 6.19.4. Pour éviter les problèmes avec la bibliothèque *lotwebconf*, assurez-vous que votre package ESP8266 dans l'EDI Arduino est mis à jour au moins à la version 2.7.4. Au moment de la rédaction de cet article, la version la plus récente du package ESP8266 core est 3.0.2 ; cependant, nous avons rencontré des problèmes de connectivité Wifi avec cette version, qui pourraient être résolus dans les futures mises à jour.

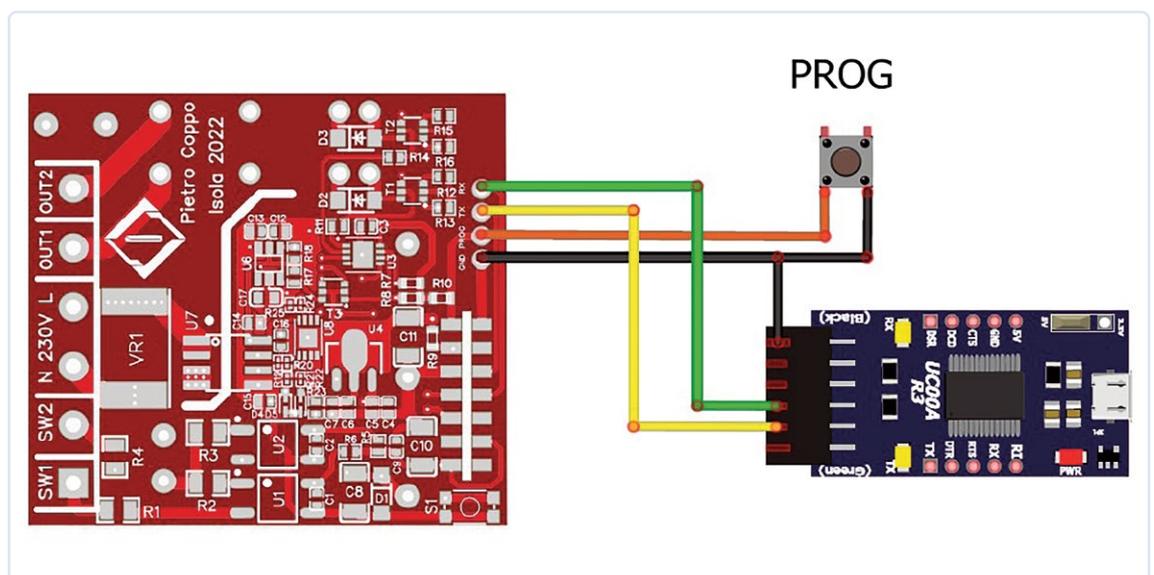


Figure 4. Connexion du programmeur série au Smart Roller Shutter.



Figure 5. Boîtiers, adaptateurs et inserts imprimés en 3D pour les séries Vimar Plana, Vimar Idea, Gewiss Basic et Gewiss Playbus.

Au début du croquis, il y a des lignes commentées qui sont utilisées pour configurer la compilation du code source. Par exemple, si la mémoire flash intégrée au module ESP03 est marquée *Puya*, et que vous souhaitez activer la prise en charge de cette mémoire au moment de la compilation, vous devez supprimer le commentaire `//` devant `#define PUYA_SUPPORT 1`, et si vous souhaitez activer le débogage, supprimez le commentaire devant `#define ENABLE_DEBUG`. Par défaut, la bibliothèque *lotwebconf* affiche les clés de votre compte IoT en série. Pour des raisons de sécurité, nous vous recommandons de désactiver cette option en ajoutant la ligne suivante `#define IOTWEBCONF_DEBUG_DISABLED` au début du fichier *lotWebConfSettings.h*, localisé dans le dossier *src*.

Sur le site d'Elektor, dans le dossier STL, vous trouverez des fichiers pour imprimer en 3D les adaptateurs et embouts adaptés aux séries Vimar Plana, Gewiss System, Gewiss Playbus, et BTicino living (voir **figure 5**), qui faciliteront l'installation du *Smart Roller Shutter* dans votre système électrique domestique. Assurez-vous que le couvercle du boîtier soit correctement orienté, de sorte que le trou latéral soit positionné au-dessus du bouton SW1. Cela vous permettra d'accéder au bouton pour réinitialiser l'appareil en cas d'oubli du mot de passe. Pour ceux qui souhaitent fabriquer eux-mêmes le boîtier avec une imprimante 3D, nous recommandons de régler la hauteur de couche à 0,2 mm maximum. Selon la version du logiciel de tranchage utilisé, il est conseillé d'activer un remplissage par ligne dans le remplissage par grille à haute densité, pour éviter que la paroi du boîtier, qui fait seulement 1,5 mm d'épaisseur, ne soit pas correctement remplie, laissant des espaces creux. Bien que d'excellents résultats soient obtenus avec le filament PLA, nous recommandons toujours d'utiliser le filament ABS qui peut supporter des températures de fusion plus élevées, ou le filament ABS V0 auto-extinguible certifié par la norme UL94 V0.

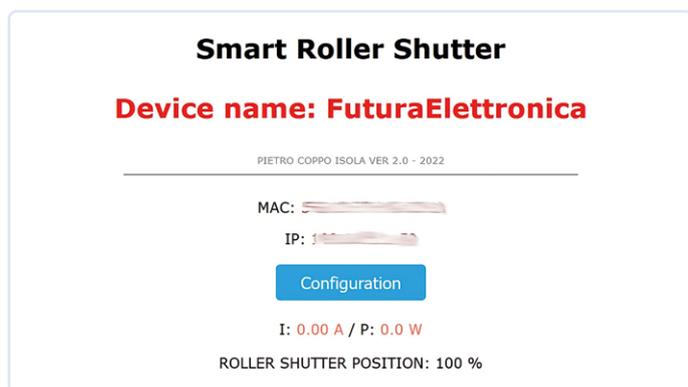
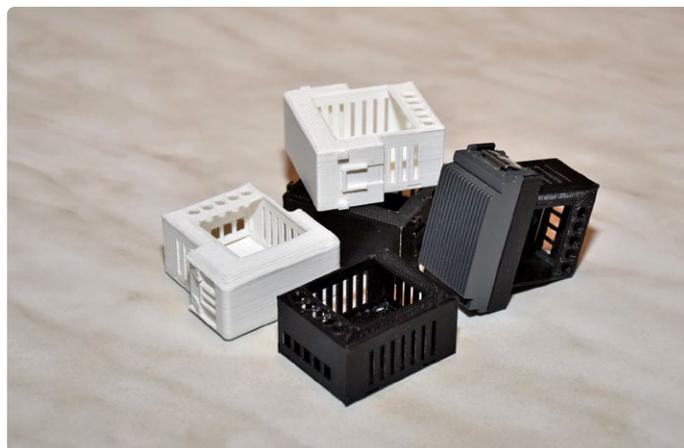


Figure 6. Page d'accueil du projet Smart Roller Shutter.



## Utilisation du volet roulant intelligent

Une fois le volet roulant intelligent activé, vous pouvez accéder à la page web initiale, (voir **figure 6**) qui affiche diverses informations : l'adresse IP de l'appareil, l'adresse MAC (*Media Access Control*), le courant consommé par la charge en A, la consommation exprimée en W, et la position du volet exprimée en %. Pour accéder à la page de configuration, il vous sera demandé de saisir un nom d'utilisateur et un mot de passe. Entrez *admin* comme nom d'utilisateur et *123456789* comme mot de passe. Une fois connecté, vous pouvez accéder à la section *Settings*, où vous pouvez ajuster les paramètres (**figure 7**).

Dans la section *Shutter calibration*, vous trouverez le bouton de calibrage, une étape indispensable à réaliser lors de la première mise en marche. Cette étape permet à l'appareil de déterminer le temps nécessaire pour que le moteur enroule ou déroule complètement le volet, mesurant ainsi le temps écoulé entre la fin de course d'ouverture et la fin de course de fermeture. Pour estimer la position du volet, notre dispositif utilise le temps écoulé plutôt que d'utiliser des capteurs de position montés sur l'axe du moteur, simplifiant ainsi l'installation. Certes, cette méthode de mesure n'est pas précise, mais cela n'affecte pas le bon fonctionnement du dispositif. Après tout, il s'agit d'un volet roulant et non d'une machine à commande numérique.

Même si nous utilisons des capteurs, nous aurions toujours une erreur de positionnement causée par l'augmentation progressive du diamètre de l'enroulement résultant de l'épaisseur du volet enroulé sur le rouleau. Cette erreur augmente en fonction de la longueur du volet et de l'épaisseur de ses lames. Au fur et à mesure que le volet s'enroule, son diamètre augmente, accélérant ainsi la vitesse d'avancement du volet, qui ne sera jamais linéaire mais logarithmique. En effet, lorsque vous réglez la fermeture du volet à 50%, il ne se positionnera pas à mi-hauteur de l'ouverture de la fenêtre. Ce phénomène est particulièrement notable sur les portes-fenêtres, qui sont généralement deux fois plus hautes que les fenêtres standard. Pour résoudre ce problème, vous devez modifier le logiciel en intégrant un algorithme qui ajuste le pourcentage d'ouverture en tenant compte du diamètre de l'enrouleur, de l'épaisseur des lames et de la longueur du volet.

Dans la section *Roller shutter start position*, la case à cocher *Start at last position* active la fonction permettant de restaurer la dernière position mémorisée. Après un redémarrage, comme celui suivant une coupure de courant, l'appareil fermera d'abord le volet pour se resynchroniser avec les butées de fin de course, puis se repositionnera à la dernière position enregistrée. La case à cocher *Start at custom position* permet de régler le volet à un pourcentage spécifique qui peut être défini dans le menu déroulant *Set custom position*. Dans ce cas, après un redémarrage, l'appareil se resynchronisera en fermant le volet, puis le déplacera jusqu'à la position définie. Si aucune de ces

Shutter calibration

CALIBRATION

System configuration

Thing name

AP password

WiFi SSID

WiFi password

Startup delay (seconds)

Device IP

Enable Static IP:

IP address

Subnet mask

Gateway

DNS

Iot Credentials

App Key

App Secret

Device ID

Roller shutter start position

Start at last position:

Start at custom position:

Set custom position (0-100%)

Settings

Enable external switch:

Enable assistant control:

Reboot device on save:

Apply

Firmware config version '2.0 PIETRO COPPO ISOLA 2022'

Figure 7. Captures d'écran de la page de configuration du volet roulant intelligent.

options n'est sélectionnée au démarrage, le volet restera immobile. La synchronisation devra alors être effectuée manuellement, soit par une commande vocale, soit via le bouton, en apportant le volet à l'une des deux positions de fin de course, ouverte ou fermée.

Nous tenons à préciser que pour minimiser les erreurs, l'appareil se resynchronise chaque fois qu'il atteint l'un des limites de fin de course. La case *Enable external pushbutton* permet d'activer ou de désactiver l'utilisation de boutons-poussoirs ou d'interrupteurs externes. La case *Enable assistant control* permet d'activer ou de désactiver le contrôle par un assistant vocal tel qu'Amazon Alexa ou Google Assistant. La case *Reboot Device on save* permet à l'appareil de redémarrer après que les paramètres ont été sauvegardés en appuyant sur le bouton *Apply*. Une fois que vous avez configuré l'appareil, nous vous recommandons de régler le *Startup delay* dans la section *System configuration* sur 1 s. Ainsi, si le volet roulant intelligent redémarre, par exemple suite à une baisse momentanée de la tension électrique, il ne sera pas nécessaire d'attendre le délai pré-réglé de 30 secondes. Il se reconnectera immédiatement au réseau Wifi et sera opérationnel plus rapidement. Le délai de 30 s est uniquement requis lors du premier démarrage lorsque l'appareil fonctionne comme un point d'accès pour faciliter la localisation de son SSID et sa sélection. Dans la **figure 8**, vous trouverez le schéma de connexion du volet roulant intelligent.

Si vous téléchargez l'application Google Home sur votre smartphone, le volet roulant intelligent peut également être contrôlé via l'assistant vocal Google Assistant. Voici quelques commandes reconnues par l'assistant vocal Amazon Alexa. Supposons que vous ayez attribué le nom *Kitchen Window* à notre appareil sur le *site https://sinric.pro*. Pour lever le volet, vous dites "Alexa, open kitchen window" ou "Hey Google, open kitchen window". Pour baisser le volet, vous dites : "Alexa, close kitchen window" ou "Hey Google, close kitchen window". Pour régler le volet à mi-hauteur : "Alexa, set kitchen window to 50%" ou "Hey Google, set kitchen window to 50%". Pour augmenter l'ouverture de 10% : "Alexa, increase kitchen window by 10%" ou "Hey Google, increase kitchen window by 10%". Pour diminuer l'ouverture de 10% : "Alexa, decrease by 10% kitchen window" ou "Hey Google, decrease by 10% kitchen window". Vous pouvez voir les interfaces des applications Sinric Pro et Google Home respectivement dans les **figures 9 et 10**. Nous n'avons pas pu intégrer les amortisseurs de bruit à cette édition de l'article. Si le fonctionnement du moteur du volet perturbe d'autres appareils ménagers ou électroménagers, ou si vous voulez protéger les contacts du relais de la détérioration causée par les courants induits,

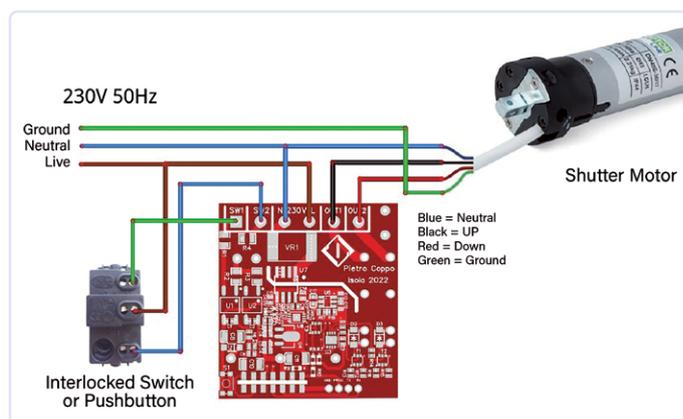


Figure 8. Schéma de câblage du volet roulant intelligent avec le bouton verrouillé et le moteur.

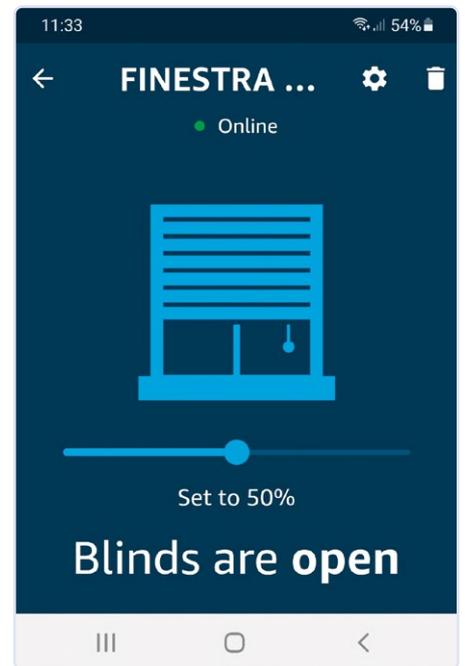
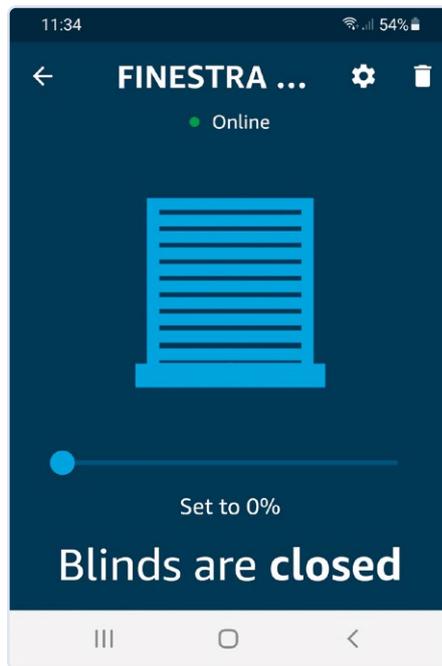
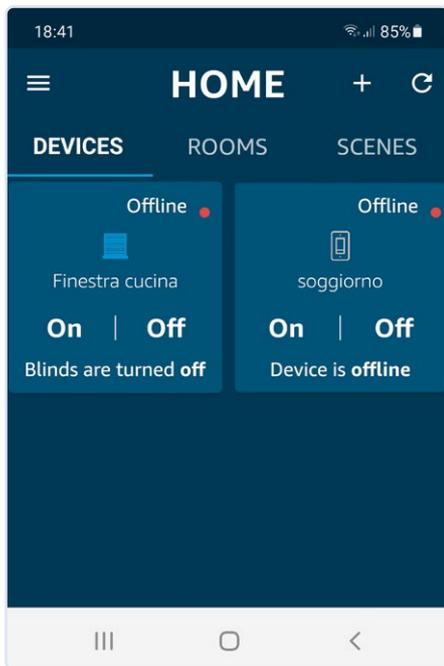


Figure 9. Interface utilisateur de l'application Sinric Pro.

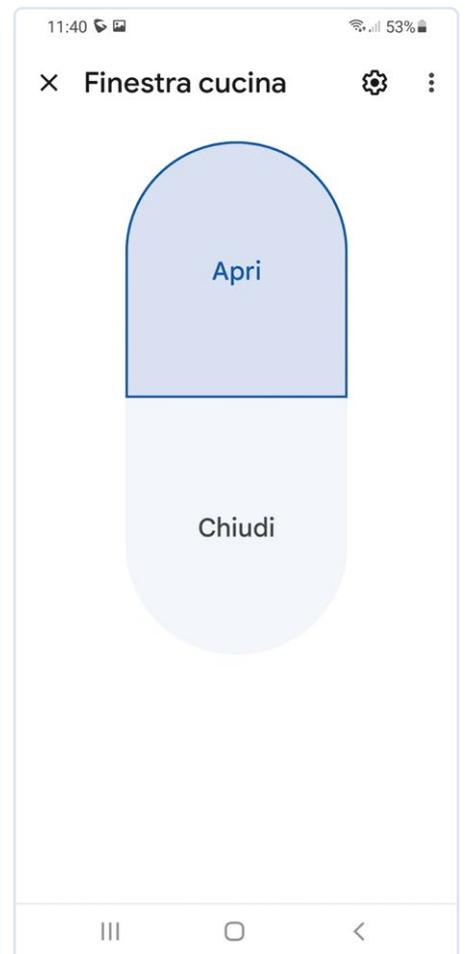
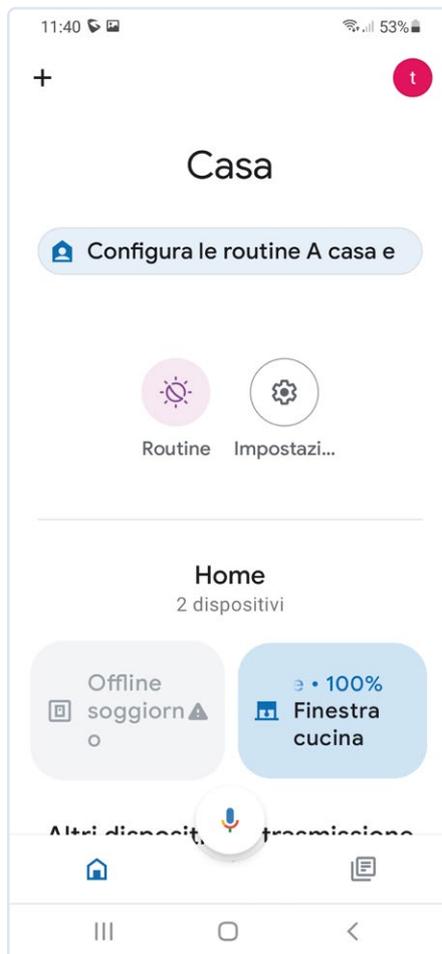
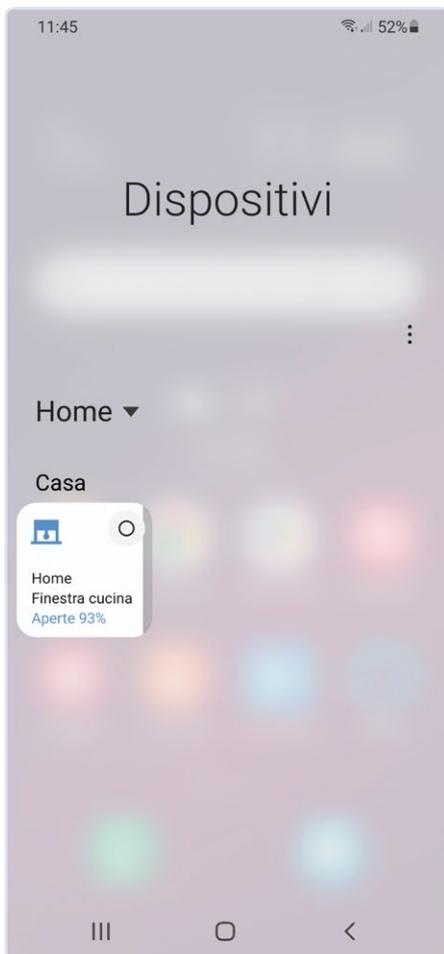


Figure 10. Interface de l'application Google Home.

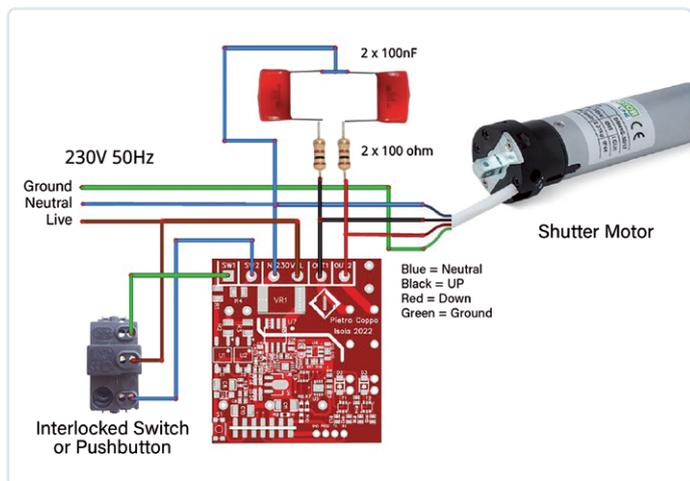


Figure 11. Câblage de snubbers pour limiter les interférences électromagnétiques.

nous recommandons l'installation d'un snubber. Celui-ci est constitué d'un condensateur et d'une résistance de 1 à 2 W, installés en parallèle avec les enroulements du moteur **figure 11**. Le condensateur doit être de classe X2, de préférence MKP, et la résistance doit être à couche métallique, à exclure absolument les modèles à fil. Alternativement, vous pouvez trouver des snubbers assemblés et prêts à l'emploi sur le marché, avec des composants de différentes valeurs et caractéristiques spécifiques (voir l'exemple de la **figure 12**) dont le boîtier ressemble à un condensateur rectangulaire à film polypropylène ou en film de polyester. Vous pouvez le connecter près du motoréducteur dans le boîtier du volet ou, si l'espace le permet, dans la boîte de jonction.

### Suppression des tensions transitoires

Lorsque l'interrupteur s'ouvre, l'énergie stockée dans l'inductance de la charge provoque une surtension. Cette surtension est due à l'inertie des inductances qui tend à maintenir le régime de courant de l'instant précédent. Il est possible de calculer la surtension en utilisant la formule suivante :

$$V = \frac{L \times I}{t}$$

Où  $V$  est la tension à calculer,  $L$  est la valeur de l'inductance de la bobine,  $I$  est le courant nominal de la bobine au moment où l'alimentation est coupée. Cette tension apparaît entre les contacts de l'interrupteur qui, au moment de l'ouverture, sont à une distance minimale l'un de l'autre. Par conséquent, la formation d'un arc entre les contacts peut survenir presque immédiatement, c'est-à-dire à l'instant où ceux-ci se séparent et cessent d'être en contact.

Ce phénomène peut aussi se produire avec des charges résistives, mais il est accentué avec les charges inductives, entraînant un arc électrique intense qui diminue la durée de vie de l'interrupteur. Même si les contacts sont revêtus ou fabriqués en tungstène (également appelé Wolfram), un métal qui fond à une température très élevée (3 410 °C), ils sont susceptibles de s'éroder avec le temps. Dans les circuits à courant continu, pour éliminer le courant haute tension induit, on utilise normalement une diode flyback. Toutefois, cette solution n'est

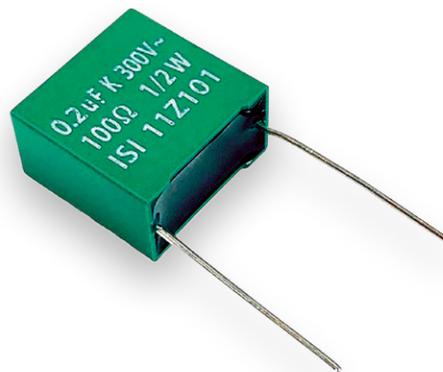


Figure 12. Snubber intégré disponible sur le marché (Source : Elettronica In)

pas envisageable en courant alternatif. Trois solutions sont possibles : utiliser un varistor à oxyde métallique (MOV), une diode de suppression des tensions transitoires bidirectionnelles (*transient voltage suppression* - TVS) ou un réseau de suppression RC, aussi connu sous le nom de "snubber".

Outre ces solutions, il est également possible de ne pas utiliser de suppresseur, mais dans ce cas, la durée de vie des contacts sera affectée. Les diodes MOV et TVS ne conduisent le courant que lorsque la tension de seuil est dépassée. Ces diodes sont généralement connectées en parallèle avec les contacts de l'interrupteur et sont efficaces à la fois à basse et à haute tension. En revanche, le snubber RC a l'avantage de limiter précisément la tension pendant l'ouverture de l'interrupteur, c'est-à-dire lorsque la distance entre les contacts est faible. Il est réalisé par un condensateur et une résistance connectés en série et peut être monté en parallèle avec le contact de l'interrupteur ou avec la charge, comme illustré dans la **figure 13**.

Bien que le montage du snubber en parallèle avec le contact soit la configuration idéale, cela présente un inconvénient : lorsque les contacts sont ouverts, le courant continue de circuler vers la charge. À l'inverse, si le snubber est installé en parallèle avec la charge, l'impédance de la charge peut affecter l'efficacité du circuit RC. Ainsi, lorsque le snubber est installé en parallèle avec les contacts de l'interrupteur, la résistance doit avoir une valeur suffisamment élevée pour limiter le courant de décharge du condensateur lorsque les contacts de l'inter-

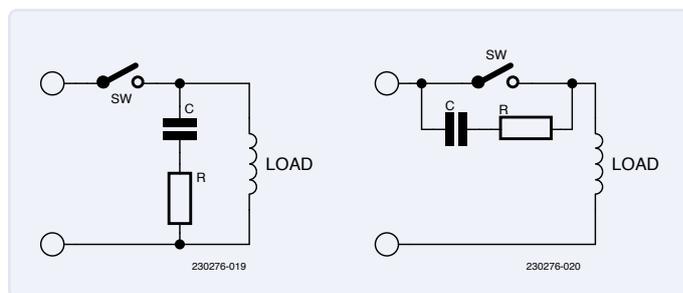


Figure 13. Câblage du snubber parallèle à l'interrupteur (en haut) et parallèle à la charge (en bas).

rupteur se ferme. Cependant, cette résistance doit avoir une valeur suffisamment faible pour limiter la tension induite à l'ouverture des contacts.

Si nous choisissons un condensateur de valeur élevée, il réduira certainement plus les surtensions lors de l'ouverture des contacts de l'interrupteur. Cependant, un tel condensateur peut être plus coûteux, plus volumineux, et risquerait de causer davantage de dommages aux contacts lors de sa décharge au moment de leur fermeture. D'autre part, lorsque le snubber est montée en parallèle avec la charge, pour réduire la dégradation des contacts due à l'arc électrique, il faut s'assurer que la valeur de la résistance soit minimale.

En même temps, pour minimiser l'arc électrique au niveau des contacts, dû au courant d'appel du condensateur, la capacité de ce dernier doit être plus élevée. De nombreux facteurs déterminent le choix de la valeur de R et C. Dans notre cas le snubber est destiné à protéger les contacts d'un interrupteur, et non un MOSFET dans un commutateur en haute fréquence, le choix de la valeur de RC n'est pas aussi critique. En général, nous pourrions choisir des valeurs de résistance R comprises entre 10 Ω et 220 Ω et pour le condensateur C entre 100 nF et 330 nF. Pour des raisons de disponibilité, on choisit souvent une résistance R de 100 Ω et un condensateur C de 100 nF. Outre cette méthode empirique, explorons ensemble comment sélectionner judicieusement les valeurs de ces composants.

## Conception du snubber

En général, pour déterminer les valeurs de RC, on commence par connecter un oscilloscope en parallèle à la charge afin de mesurer la forme d'onde de la tension induite générée lorsqu'on éteint une charge inductive, appelée fréquence de résonance  $F_{RING1}$ . En parallèle avec la charge, nous connectons un condensateur de faible valeur que nous augmentons progressivement jusqu'à réussir à réduire l'amplitude de la fréquence de résonance initiale de moitié. Nous appelons cette fréquence divisée par deux  $F_{RING2}$ . La valeur du condensateur à ce moment-là devient la valeur du condensateur  $C_s$  de notre snubber. Pour estimer l'inductance parasite  $L_p$ , nous utilisons la fréquence de résonance initiale  $F_{RING1}$ , obtenue sans condensateur, et la fréquence obtenue avec le condensateur  $F_{RING2}$ , en appliquant l'équation suivante :

$$L_p = \frac{1}{(2\pi(F_{RING1} - F_{RING2}))^2 \times C_s} = \frac{1}{4\pi^2(F_{RING1} - F_{RING2})^2 \times C_s}$$

Nous estimons la capacité parasite  $C_p$  avec l'équation :

$$C_p = \frac{1}{(2\pi F_{RING1})^2 \times L_p} = \frac{1}{4\pi^2(F_{RING1})^2 \times L_p}$$

Après avoir calculé l'inductance parasite  $L_p$  et la capacité parasite  $C_p$ , nous calculons la valeur de la résistance du snubber  $R_s$  avec l'équation :

$$R_s \geq Z = \sqrt{\frac{L_p}{C_p}}$$

Pour atténuer la fréquence de résonance, il faut choisir pour le snubber une résistance  $R_s$  égale ou supérieure à l'impédance Z, et pour  $C_s$  une valeur de 1 à 4 fois supérieure à celle de la capacité parasite  $C_p$ . Cette procédure nécessite également des précautions importantes lors de

## Caractéristiques techniques

- › Installation dans une boîte d'encastrement ou sur des supports Vimar, Gewiss ou BTicino.
- › Charge maximale de 550 W.
- › Protection thermique contre les surintensités et les surtensions.
- › Compatible avec les assistants vocaux tels que Amazon Alexa et Google Assistant.
- › Configuration via une interface web.
- › Connexion au réseau Wifi domestique.
- › Fonctionnement avec des boutons-poussoirs ou des interrupteurs à verrouillage.
- › Protection par mot de passe.
- › Réinitialisation du mot de passe par bouton-poussoir.
- › Détection de la consommation de courant et d'énergie.

l'utilisation d'un oscilloscope sur une ligne électrique de 230-VAC . Il est essentiel d'utiliser un oscilloscope spécial doté d'entrées isolées galvaniquement ou alimenté par batterie et d'utiliser des sondes différentielles ou des sondes isolées galvaniquement. Une autre option consiste à utiliser un transformateur d'isolement avec un rapport de transformation de 1:1, avec une puissance adaptée pour alimenter le circuit lors des mesures.

Il existe une autre méthode, que nous ne devrions même pas mentionner car elle est dangereuse, et qui consiste à déconnecter la mise à la terre de l'oscilloscope et à effectuer les mesures en connectant toujours la pince crocodile de la sonde au neutre de la ligne électrique (ce qui pourrait mettre la phase en contact avec le boîtier de l'oscilloscope, avec un risque de choc électrique en cas de contact). Nous recommandons l'utilisation d'un transformateur, qui est non seulement la méthode la plus sûre mais aussi la moins coûteuse. Une autre méthode consiste à utiliser l'équation développée par C.C. Bates et publiée dans l'article "Contact protection of electromagnetic relays" dans le journal *Electro-mechanical design* en août 1966 [2].

$$C = \frac{I^2}{10}$$

$$R_s = \frac{V_p}{10 \times I \times \left(1 + \left(\frac{50}{V_p}\right)\right)}$$

- ›  $V_p$  = Tension de crête
- ›  $I$  = Courant de charge (avant l'ouverture du contact)
- ›  $R_s$  = Résistance du snubber RC exprimée en μF
- ›  $C$  = Résistance du snubber RC exprimée en μF
- ›  $R_L$  = Résistance de la charge

$$V_p = V_{rms} \times \sqrt{2}$$

$$V_p = 230 \text{ V} \times 1.414213562373 = \mathbf{325.27 \text{ V}}$$

Pour comprendre comment utiliser l'équation, donnons un exemple de calcul pour la conception d'un snubber RC pour un moteur électrique d'une puissance nominale de 300 W, fonctionnant avec une tension alternative de 230 V. Les paramètres de conception sur lesquels nous nous basons sont  $P = 300 \text{ W}$ ,  $V_{\text{RMS}} = 230 \text{ V}$ ,  $V_p = 325,27 \text{ V}$ .

Nous commençons par le calcul de la tension de crête :

$$V_{pp} = V_{\text{rms}} \times 2 \times \sqrt{2}$$

Nous déterminons ensuite la tension crête à crête :

$$V_{pp} = 230 \text{ V} \times 1.414213562373 = \mathbf{650.54 \text{ V}}$$

Nous calculons ensuite la tension RMS :

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{325.27 \text{ V}}{1.414213562373} = \mathbf{230 \text{ V}}$$

Nous passons à l'équation permettant de calculer le courant absorbé par la charge :

$$P = I \times V_p \Rightarrow I = \frac{P}{V_p}$$

$$I = \frac{300 \text{ W}}{325.27 \text{ V}} = \mathbf{0.922 \text{ A}}$$

Examinons maintenant l'équation permettant de calculer la valeur du condensateur du réseau snubber :

$$C = \frac{I^2}{10} = \frac{(0.922 \text{ A})^2}{10}$$

$$C = \mathbf{85 \text{ nF}}$$

En revanche, pour déterminer la valeur de la résistance du réseau snubber, nous utilisons l'équation suivante en effectuant les calculs :

$$R_s = \frac{V_p}{10 \times I \times \left(1 + \left(\frac{50}{V_p}\right)\right)}$$

$$R_s = \frac{325.27}{10 \times 0.922 \times \left(1 + \left(\frac{50}{325.27}\right)\right)}$$

$$R_s = \frac{325.27}{10 \times 0.922 \times (1 + 0.1537)}$$

$$R_s = \frac{325.27}{9.22 \times 1.1537}$$

$$R_s = \frac{325.27}{10.637}$$

$$R_s = 30.579 \Omega \cong \mathbf{30.58 \Omega}$$

Pour calculer le courant traversant le snubber RC, nous devons tout d'abord calculer la réactance capacitive ( $X_C$ ) du condensateur, en tenant compte de la fréquence du réseau qui est de 50 Hz) et du terme pi qui vaut 3,1415926 :

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times f \times C}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$C = 0.085 \mu\text{F} = 0.000000085 \text{ F}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 50 \text{ Hz} \times 0.000000085 \text{ F}}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3.14159 \times 50 \text{ Hz} \times 0.000000085 \text{ F}}$$

$$X_C = \frac{1}{0.0000267 \text{ F}} = 37313.432 \Omega$$

$$X_C = \mathbf{37313.43 \Omega}$$

À ce stade, nous écrivons l'équation permettant de calculer le courant circulant dans le réseau snubber :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_p}{(X_C + R_s)}$$

$$I = \frac{325.27 \text{ V}}{(37313.43 \Omega + 30.58 \Omega)}$$

$$I = \frac{325.27 \text{ V}}{37344 \Omega}$$

$$I = 0.00871 \text{ A} = \mathbf{8.71 \text{ mA}}$$

Enfin, nous utilisons l'équation nécessaire pour calculer la puissance dissipée par la résistance snubber RC, qui, étant un composant dissipatif, doit être dimensionnée de manière appropriée pour éviter qu'elle ne surchauffe et ne brûle :

$$P = V \times I$$

$$V = R \times I$$

$$P = V \times I = (R \times I) \times I = R \times I^2$$

$$I = 0.00871 \text{ A}$$

$$P_R = I^2 \times R_s$$

$$P_R = (0.00871 \text{ A})^2 \times 30.58 \Omega$$

$$P_R = 0.002319 \text{ W} = \mathbf{2.319 \text{ mW}}$$

### Conçu par des étudiants

Avec ce dispositif, nous espérons répondre aux attentes de nos lecteurs désireux de réaliser un interrupteur pour volet roulant intelligent, facile à gérer et à contrôler à distance via smartphone ou assistant vocal. Sa taille compacte facilite l'installation dans votre habitation. Pour rappel, le Smart roller shutter fait partie d'une série de modules et d'actionneurs domotiques conçus et développés par les étudiants de l'Institut technique Pietro Coppo Isola, en Slovénie. Ces projets s'inscrivent tous dans le cadre de l'IdO et des appareils connectés, visant spécifiquement à automatiser les environnements domestiques grâce à une connexion Wifi et à l'intégration avec des applications et assistants vocaux très populaires de nos jours. 

230276-04



### À propos de l'auteur

Maurizio Škerlič est diplômé en sciences naturelles de l'université de Trieste, en Italie. Il a poursuivi ses études et a obtenu un Master en informatique à l'université de Primorska, en Slovénie. Enfin, il a obtenu un Master de deuxième niveau en robotique à l'université de Trieste, en Italie. En 2017, il a remporté le prix du ruban bleu à l'édition européenne du Maker Faire de Rome. Il enseigne actuellement l'informatique au lycée Pietro Coppo à Isola, en Slovénie.

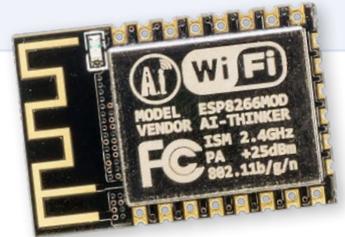
### Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



### Produits

> **ESP-12F - Module Wifi basé sur l'ESP8266**  
[www.elektor.fr/17781](http://www.elektor.fr/17781)



### LIENS

[1] Sinric Pro : <https://sinric.pro>

[2] Ce projet sur Elektor Labs : <https://elektormagazine.fr/labs/smart-roller-shutter>

[3] Arc Suppression Technologies | Livre blanc : <https://tinyurl.com/arcsuppress>

# Rejoignez notre communauté



[www.elektormagazine.fr/community](http://www.elektormagazine.fr/community)

**elektor**  
design > share > earn

# caméra d'imagerie thermique HT-03

Clemens Valens (Elektor)

La caméra thermique HT-03 est un outil abordable et facile à utiliser, avec des fonctionnalités pratiques, capable de capturer des images et d'enregistrer des vidéos. Elle couvre une large gamme de températures allant de  $-20\text{ °C}$  à  $550\text{ °C}$  ( $-4\text{ °F}$  à  $1022\text{ °F}$ ) avec une résolution de  $0,1\text{ °C}$  et une précision de  $\pm 2\%$ . Son émissivité réglable permet d'ajuster la caméra à la visée pour une précision optimale. Essayons-la.

Comme la plupart de ses concurrents, la caméra d'imagerie thermique HT-03 [1] de HTi se présente également sous la forme d'un scanner portable. Pour une raison quelconque, ces caméras ne ressemblent jamais à des appareils photo/vidéo. Ce qui est étrange si vous voulez mon avis, car si c'est si pratique que ça, alors pourquoi les appareils photo et les caméras vidéo ne ressemblent-elles pas à des caméras thermiques ? Les deux prennent des photos et des vidéos, visez et déclenchez ; c'est juste qu'elles présentent les résultats de manière différente. En fait, le HT-03 intègre également une visée normale à lumière visible.



Figure 1. Vues de face et arrière de la caméra d'imagerie thermique HT-03. Appuyez sur la gâchette pendant deux secondes environ pour allumer ou éteindre la LED.

## La caméra d'imagerie thermique HT-03 de HTi

L'appareil est livré dans une jolie boîte en carton que vous pouvez utiliser pour ranger l'appareil lorsque vous n'en avez pas besoin. La boîte contient également un manuel en anglais (la caméra propose pour l'affichage l'anglais, le chinois, l'italien et l'allemand), un câble USB et un adaptateur d'alimentation USB. L'alimentation livrée a une prise américaine, donc, selon l'endroit où vous vivez, vous aurez peut-être besoin d'un adaptateur pour la brancher sur le secteur.

Il est intéressant de noter que la boîte contient une carte rédigée en chinois et en anglais, avec des instructions détaillées sur la manière de trouver des fuites dans les systèmes de chauffage radiants ou de plancher chauffant. Est-ce une indication du public visé par ce produit ?

## Première mise sous tension

Après avoir chargé la batterie (amovible !) de la HT-03 (2 200 mAh, avec une autonomie de 2 à 3 heures), j'ai pu la mettre en route. C'est un peu long, car il faut appuyer sur le bouton On/Off pendant au moins quatre secondes. Il faut ensuite attendre près de 15 secondes avant de pouvoir commencer à l'utiliser. (La mise hors tension est également longue).

## La HT-03 a un écran large

L'écran de 2,1 pouces (240 x 320 pixels ; résolution infrarouge de 120 x 90 pixels, 160 x 120 pour la HT-04D) affiche une image thermique en direct. La température au centre est affichée, ainsi que les valeurs les plus basses et les plus élevées de l'image. Ces deux valeurs ont tendance à varier, ce qui peut être déroutant. Vous pouvez donc les désactiver dans le menu des réglages. Leurs valeurs restent visibles en bas de l'écran.

Le HT-03 dispose de deux plages de températures :  $-20\text{ °C}$  à  $+120\text{ °C}$  et  $+120\text{ °C}$  jusqu'à  $+550\text{ °C}$ . C'est ce qui rend cette caméra thermique intéressante à mes yeux, car j'ai trouvé qu'une limite supérieure de  $120\text{ °C}$  était un peu juste (sans parler des caméras qui plafonnent à  $85\text{ °C}$  environ). Bien entendu, vous pouvez passer aux degrés Fahrenheit si vous préférez (l'utilitaire de traitement d'image permet également d'utiliser le kelvin).

## Caméra à lumière visible

La caméra intégrée à lumière visible (640 x 480) est pratique car elle peut être mélangée à l'image thermique, ce qui vous permet de voir ce que vous visez (**figure 2**). Une image thermique peut être un peu déroutante, et cette option permet d'y remédier. Il existe cinq niveaux de mélange, de la lumière visible seule à l'image thermique uniquement, par paliers de 25%.

En plus de mélanger les deux images, vous pouvez régler la luminosité de l'écran en trois étapes et choisir une correspondance différente entre la température et la couleur. La navigation dans les menus est facile et intuitive.

## L'émissivité est importante

L'option de menu émissivité est importante. Comme pour tout appareil de mesure, si vous ne savez pas ce que vous faites, ne vous attendez pas à des résultats très précis. Pour une caméra infrarouge comme la HT-03, l'émissivité de l'objet visé est importante pour obtenir des températures précises. Toutes les surfaces n'ont pas la même valeur. La HT-03 permet de régler l'émissivité de 0,01 à 1,00 ou de choisir l'un des quatre préréglages. Le manuel contient une liste de valeurs d'émissivité pour les matériaux courants.

## Capture d'images et de vidéos

Les photos sont prises, ou, si vous préférez, les images sont capturées, en appuyant sur la gâchette. Vous devez confirmer si vous souhaitez les conserver (en JPG). Pour enregistrer une vidéo (MP4), appuyez sur la gâchette pendant quelques secondes, puis confirmez (ou non). Les vidéos et les photos enregistrées peuvent être lues sur l'appareil lui-même ou téléchargées sur un ordinateur. L'appareil dispose d'une mémoire eMMC d'environ 3 Go pour vos prises de vues.

## La HT-03 dispose d'un utilitaire PC intégré

Après avoir connecté la HT-03 à un ordinateur, elle est détectée comme un disque externe avec des images dans le dossier IMAGES et des vidéos dans le dossier VIDEOS. Le disque contient également un logiciel de traitement d'images infrarouges (IR), ImageTools. Si vous l'installez, vous pourrez visualiser vos captures d'écran (pas les vidéos). Vous pouvez maintenant prendre des mesures sur des points ou des zones

extraites de l'image. Le curseur de mélange (**figure 3**) est une fonctionnalité intéressante. Il permet d'ajuster le mélange entre l'image thermique et l'image normale. Cela n'est pas possible avec une visionneuse d'images JPG normale.

## En résumé

La caméra thermique HT-03 est un appareil abordable et facile à utiliser, doté de caractéristiques pratiques, capable de capturer des images et d'enregistrer des vidéos. Elle couvre une large gamme de températures allant de -20 °C à 550 °C avec une résolution de 0,1 °C et une précision de  $\pm 2\%$ . Son réglage de l'émissivité permet d'ajuster la caméra à la visée pour une précision optimale. Et, comme pour tout outil de précision, prenez le temps d'apprendre à l'utiliser au mieux. ◀

VF : Laurent Rauber — 240312-04

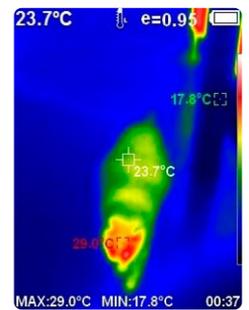


Figure 2. Quelle est la valeur de l'émissivité pour un chat ?



Figure 3. Vous avez capturé un fantôme ? Oh non, c'est juste mon reflet dans la fenêtre. Le curseur de mélange fonctionne également sur les images capturées.

## Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



## Produit

> **Caméra d'imagerie thermique HT-03 (120x90)**  
[www.elektor.fr/20434](http://www.elektor.fr/20434)

## LIEN

[1] T. Beckers, banc d'essai : caméra thermique HT-02, [elektormagazine.fr](http://elektormagazine.fr), octobre 2018 : <https://www.elektormagazine.fr/review/banc-d-essai-camera-thermique-ht-02>

# comment fonctionnent les capteurs tactiles capacitifs ?

Stuart Cording (Allemagne)

Les interfaces tactiles capacitives se sont vraiment imposées après le succès de l'iPod d'Apple avec sa molette rotative. Depuis lors, les surfaces tactiles sont présentes dans presque toutes les applications domestiques, les applications industrielles et même nos voitures. Ici, nous explorons les principes du tactile capacitif et ses défis pour le rendre assez fiable pour son déploiement dans des applications réelles.

Il y a longtemps, nous étions tous très contents avec des boutons mécaniques. Ensuite, en 2003, est apparu un iPod d'Apple [1] avec une interface entièrement tactile. En un instant, les distributeurs de produits mondiaux étaient hors d'eux-mêmes, et tout se devait d'avoir une interface tactile, depuis les machines à laver aux poignées de porte des voitures en passant par les cafetières. Une grande partie du succès de l'iPod peut être attribuée à son interface utilisateur tactile [2]. Derrière son anneau brillant et ses boutons lumineux se trouvaient des capteurs capacitifs. Mesurés plusieurs fois par seconde, tout changement de capacité indiquait la présence d'un doigt pour signaler un appui ou une rotation. Bien sûr, le phénomène physique utilisé n'était pas nouveau. L'influence de la capacité du corps humain sur les circuits électroniques a été découverte en 1919, lorsque Leon Therémine [3] l'utilisa pour

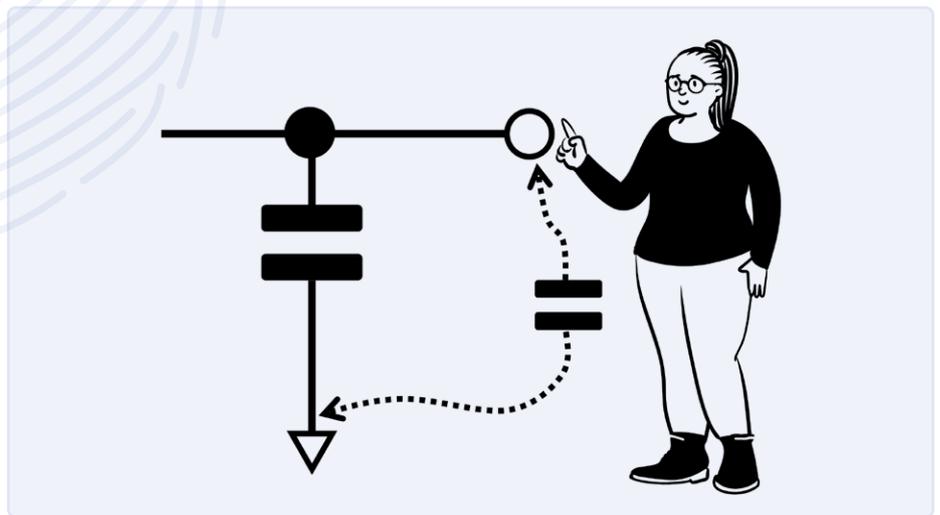


Figure 1. En touchant le circuit, le corps humain fournit une petite capacité parallèle. (Source : Stuart Cording).

contrôler un oscillateur hétérodyne dans son instrument du même nom [4].

## Impact de la capacité sur les circuits

Ceux qui ont de l'expérience en électronique ont certainement vu les effets d'un doigt de la main sur un circuit. Les circuits audio ou radio répondent souvent à la présence d'un doigt en modifiant la hauteur de leur sortie ou en se réglant sur une autre station de radio. J'ai entendu une fois que quelqu'un a vu son récepteur radio fonctionner comme il devrait en plaçant son doigt près de l'un des tubes à vide. Peu enclin à laisser ledit doigt à l'arrière de la radio pour toujours, ils l'ont remplacé avec une saucisse, qui a donné de bons résultats pour un temps et la surprise pour le technicien, qui devait remplacer cette pièce de charcuterie par une réparation réelle.

Les circuits tactiles capacitifs reposent sur le changement de capacité que produit un doigt ou une partie du corps sur la fonction d'un circuit. La valeur d'un condensa-

teur dans un circuit est augmentée par la présence d'un doigt formant une capacité parallèle à la masse (**figure 1**).

Une approche serait d'utiliser des condensateurs dans un oscillateur. Dans cet exemple, nous faisons varier la valeur de C2 entre 1  $\mu\text{F}$  et 7  $\mu\text{F}$  par pas de 1.5  $\mu\text{F}$  pour simuler l'intro-

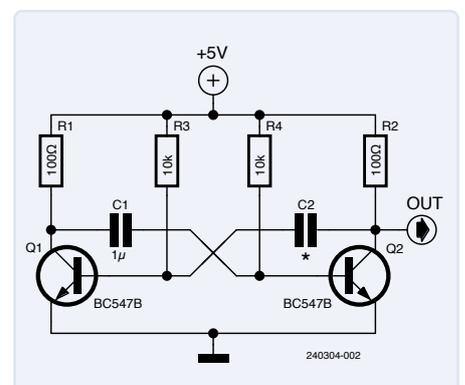


Figure 2. Un circuit astable pourrait utiliser l'un de ses condensateurs comme capteur tactile. Dans cette simulation, C2 est modifié pour en démontrer les effets.

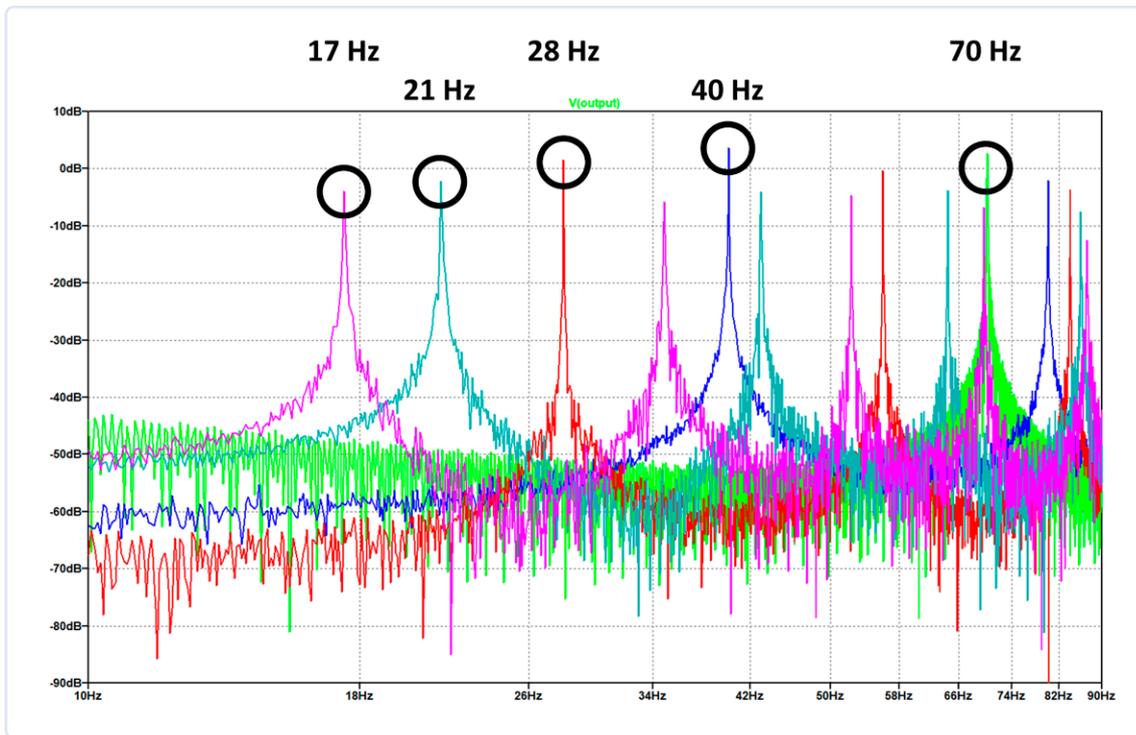


Figure 3. Alors que la capacité augmente, la fréquence chute. Ceci peut être utilisé pour détecter un doigt touchant notre capteur capacitif.

duction d'une capacité parallèle (figure 2). En regardant la transformée de Fourier rapide en sortie (FFT) dans la figure 3, nous pouvons voir que la fréquence commence à 70 Hz, chute à 40 Hz, 28 Hz, 21 Hz et ensuite 17 Hz en réponse à ces changements. Il est à noter que la sortie est une onde carrée, donc beaucoup d'harmoniques brouillent la vue. Nous avons ici les bases d'un circuit de détection tactile. La sortie pourrait être reliée à un compteur. La différence entre

un contact ou l'absence de toucher peut se déterminer en comptant le nombre d'impulsions dans un intervalle de temps donné, disons 100 ms, et en fixant un seuil de comptage. Une autre approche serait de mesurer la variation de largeur des impulsions.

À ce moment, nous entrons dans la vraie vie en essayant d'élaborer de tels circuits. Le corps humain forme une capacité comprise quelque part entre 100 pF et 200 pF. En

remplaçant C1 dans notre circuit par un condensateur de 300 pF et en faisant varier C2 entre 100 pF et 200 pF, la sortie passe de 356 kHz avec aucun contact à 284 kHz en présence de la capacité maximale du corps humain (figure 4). Il est à noter qu'il ne s'agit que d'une simulation et les transistors choisis pourraient ne pas fonctionner à ces fréquences en réalité. Cependant, nous avons là les ingrédients d'un capteur tactile capacitif.

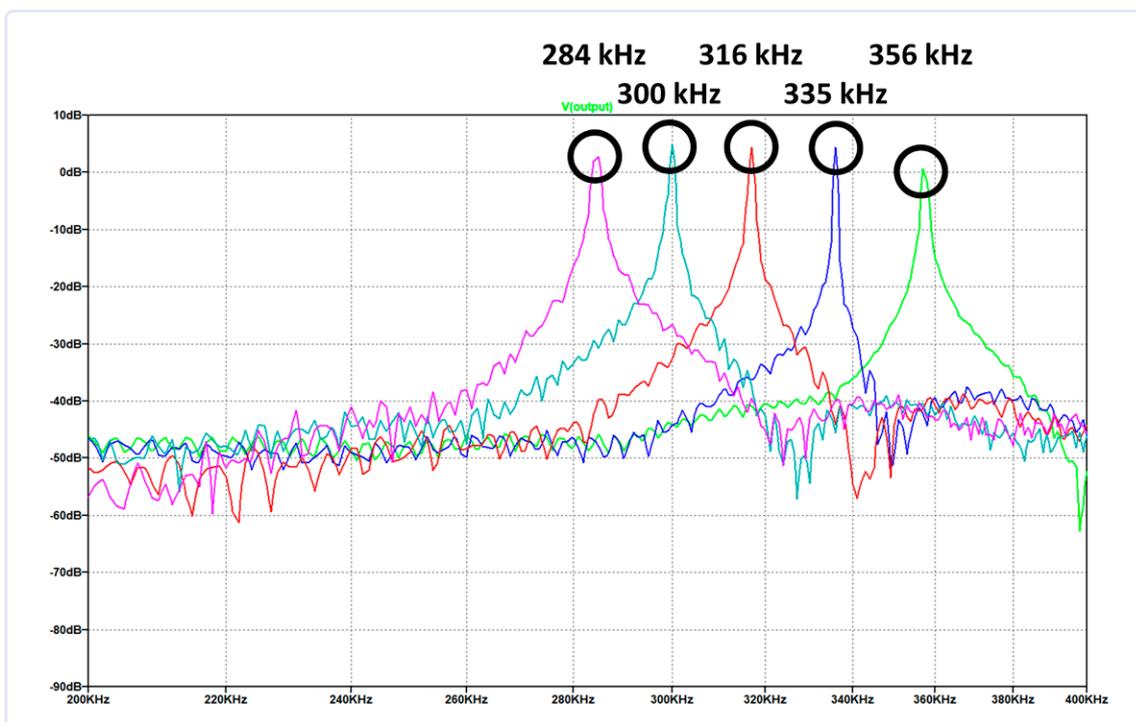


Figure 4. Utilisant les petites capacités du corps humain, notre oscillateur est plus proche des 350 kHz avant d'être touché.

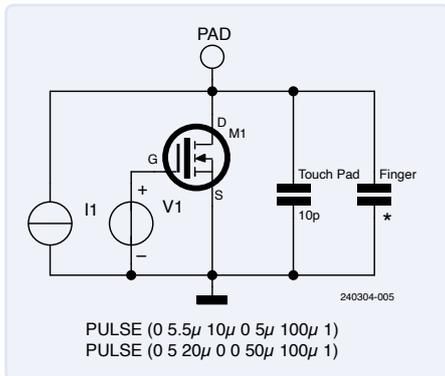


Figure 5. Le CTMU de Microchip est composé d'une source de courant et d'un interrupteur pour décharger le condensateur du capteur.

### Types de capteurs capacitifs : la capacité propre

Il y a deux types de capteurs capacitifs : la capacité propre et la capacité mutuelle. La capacité propre est l'approche énoncée ci-dessus, où le capteur tactile forme un condensateur par rapport à la masse et le circuit mesure ses changements de valeurs lorsqu'un doigt s'en approche. Plutôt que d'utiliser un condensateur intégré à un oscillateur, les circuits tactiles utilisent une approche qui peut plus précisément mesurer la charge appliquée.

Un exemple est l'unité de mesure du temps de charge (CTMU) [5], une fonctionnalité dans certains microcontrôleurs Microchip. Il fonctionne en appliquant une charge constante ( $0.55 \mu\text{A}$ ,  $5.5 \mu\text{A}$ , ou  $55 \mu\text{A}$ ) au capteur pour un temps donné. Dès que ce temps est écoulé, la tension du capteur est mesurée en utilisant un convertisseur analogique-digital (CAD). Lorsque la mesure du CAD est terminée, le capteur est entièrement déchargé pour recommencer le processus. Ceci est à peu près reproduit dans le circuit de la **figure 5**.

Comme toute détection analogique, le signal mesuré sera sensible aux interférences et un certain filtrage sera nécessaire pour détecter précisément le contact d'un doigt. Dans les mesures de la **figure 6**, la proximité d'un doigt réduit la tension de crête atteinte par le capteur.

Les capteurs tactiles à capacité propre sont généralement utilisés quand un nombre limité de boutons sont nécessaires ou pour la détection de proximité. En regroupant les capteurs ensemble, ils peuvent former des interfaces rotatives ou des curseurs. L'entrelacement des pastilles de cuivre sur le circuit imprimé peut produire une transition plus douce entre les capteurs individuels (**figure 7**).

Les interférences sont traitées en appliquant des anneaux de masse autour du capteur ou en plaçant un plan de masse maillé derrière le capteur. Cependant, il faut veiller à ne pas trop réduire la sensibilité. La taille du capteur est également importante. Idéalement, la surface du capteur devrait être celle d'une empreinte digitale humaine, soit entre 8 et 20 mm de diamètre.

Les capteurs capacitifs sont généralement montés derrière une plaque en plastique. Plus l'épaisseur du matériau est grande, plus la sensibilité du capteur est faible. En définitive, beaucoup de surfaces sont incurvées, comme les interfaces utilisateur des machines à laver, alors que les

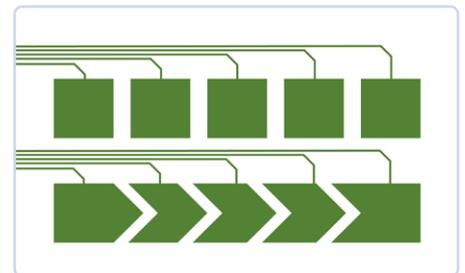


Figure 7. Des capteurs plus complexes comme les curseurs (en-haut) peuvent donner des résultats chaotiques. En entrelaçant les capteurs (en-bas) la transition de la sortie est plus fluide.

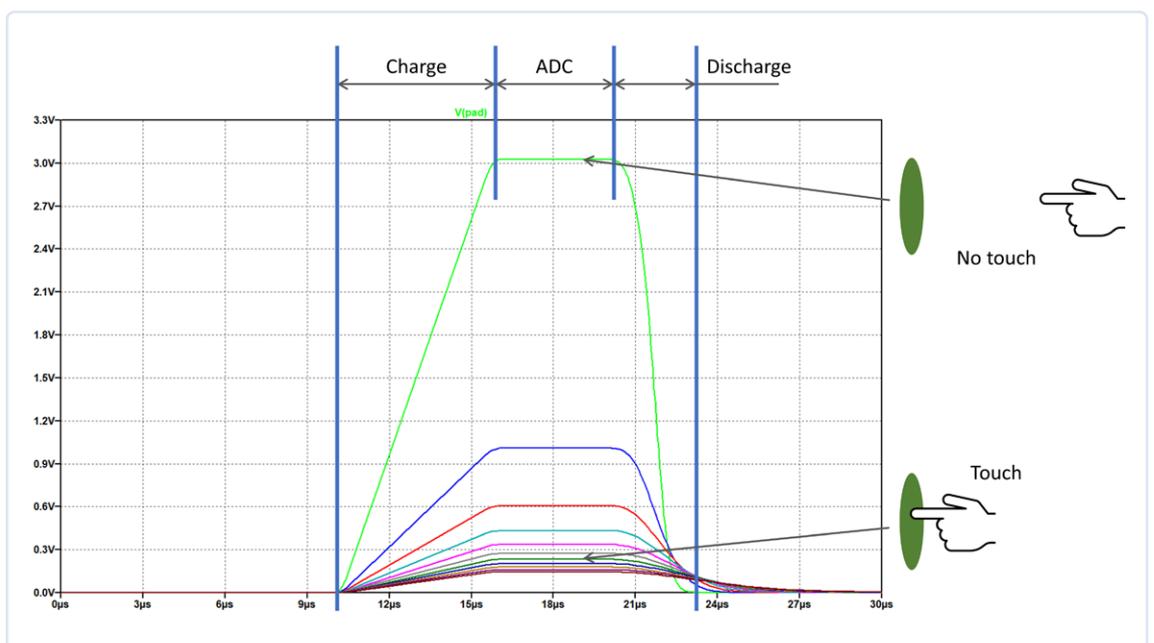


Figure 6. Le CTMU délivre une tension plus faible en présence d'un contact sur son capteur.

circuits imprimés sont plats. Les circuits imprimés flexibles sur polyimide peuvent être utilisés pour résoudre ce problème, mais ces circuits imprimés flexibles sont chers. Une autre solution est de combler la distance entre la surface du capteur et le circuit imprimé avec des ressorts ou de la mousse conductrice. Alors que cela résout les problèmes mécaniques, la fiabilité sera garantie par des tests supplémentaires et un réglage plus poussé du circuit et du logiciel.

### Types de capteurs capacitifs : la capacité mutuelle

L'approche par des capteurs à capacité mutuelle utilise un capteur capacitif connecté entre deux broches d'un circuit intégré tactile dédié ou d'un microcontrôleur, mesurant les variations de la charge en présence ou en l'absence de doigt. Le doigt agit comme s'il était placé entre les deux plaques en prenant la charge du condensateur. De cette façon, un contact apparaît comme une baisse de la capacité. Cette approche permet la création d'une grille de condensateurs sur des surfaces planes pour prendre en charge les écrans tactiles, ce qui est généralement appelé tactile capacitif projeté ou PCAP. Une méthode consiste à charger de manière séquentielle les rangées X du capteur, en évaluant les capacités des rangées Y, chaque cycle se produisant des dizaines de fois par seconde (**figure 8**). Cela est l'approche tactile préférée qui est utilisée pour les écrans des smartphones et les pavés tactiles des ordinateurs portables. Le motif de grille en losange est un bon point de départ et fonctionne bien avec le cuivre. Idéalement, les rangées X et Y devraient être du même côté, ce qui nécessite de nombreuses connexions traversantes pour les rangées X ou Y. D'autres motifs peuvent aussi être utilisés suivant les applications, tant en taille qu'en sensibilité. Dans les smartphones, le motif est appliqué sur la plaque en verre au-dessus de l'écran en utilisant de l'oxyde d'indium-étain (ITO) [6]. Ce matériau a une résistance relativement faible et il est opaque, minimisant l'impact sur la lisibilité de l'écran et la perte de luminosité. D'autres matériaux ont été utilisés, comme des pistes en cuivre ultra-fines sur des feuilles transparentes. Pour éviter de nuire à l'aspect visuel, les pistes de cuivre sont disposées entre les pixels de l'écran.

### Faites-le vous-même : Code LTspic

#### Astable circuit at 70 Hz:

```
Q1 N002 N004 0 0 BC547B
Q2 N003 N005 0 0 BC547B
R1 N001 N002 100R
R2 N001 N003 100R
R3 N001 N004 10K
R4 N001 N005 10K
C1 N005 N002 1µ
C2 N003 N004
V1 N001 0 5V
.model NPN NPN
.model PNP PNP
.lib C:\Users\<USER>\Documents\LTspiceXVII\lib\cmp\standard.bjt
.tran 15s startup
.step param X 1u 2u 0.5u
.backanno
.end
```

#### Astable Circuit @ 350 kHz:

```
Q1 N002 N003 0 0 BC547B
Q2 OUTPUT N004 0 0 BC547B
R1 N001 N002 100R
R2 N001 OUTPUT 100R
R3 N001 N003 10k
R4 N001 N004 10k
C1 N004 N002 300p
C2 OUTPUT N003
V1 N001 0 5V
.model NPN NPN
.model PNP PNP
.lib C:\Users\<USER>\Documents\LTspiceXVII\lib\cmp\standard.bjt
.tran 1ms startup
.step param X 100p 200p 25p
.backanno
.end
```

#### CTMU Model:

```
CTouch_Pad PAD 0 10pF
CFinger PAD 0
I1 0 PAD PULSE(0 5.5u 2u 0 0 5u 100u 1)
M1 PAD N001 0 0 NMOS
V1 N001 0 PULSE(0 5 12u 0 0 50u 100u 1)
.model NMOS NMOS
.model PMOS PMOS
.lib C:\Users\<USER>\Documents\LTspiceXVII\lib\cmp\standard.mos
.tran 30u
.step param X 0p 200p 20p
.backanno
.end
```

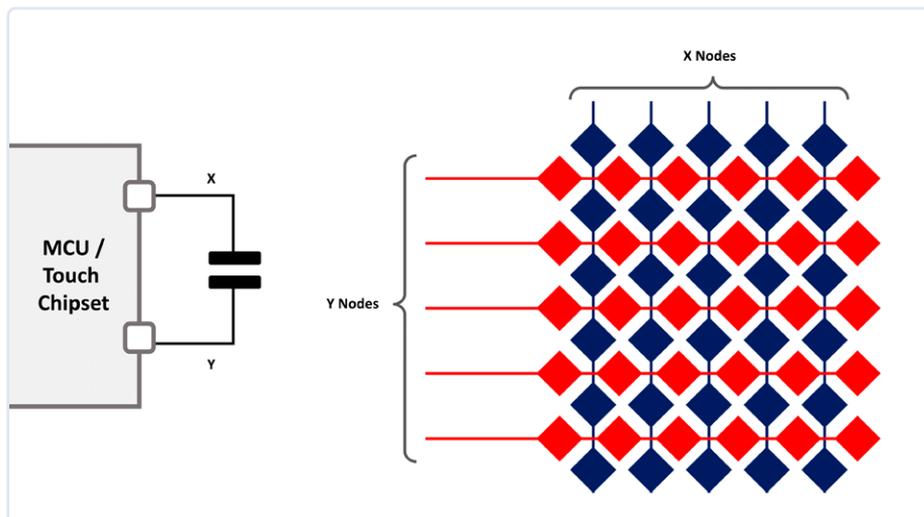


Figure 8. La capacité mutuelle implémente les capteurs capacitifs entre deux broches du microcontrôleur ou du CI tactile (à gauche). Les écrans et les pavés tactiles utilisent une grille de losanges ou un motif similaire pour implémenter une surface tactile (à droite).

Ces applications utilisent des chipsets dédiés, comme maXTouch [7]. Ces solutions complètes sont appréciées par les concepteurs, car elles peuvent évaluer des centaines de capacités par seconde et appliquer les filtrages nécessaires. À leur sortie, elles réduisent l'interaction de l'utilisateur entre les coordonnées X et Y pour chaque doigt, et peuvent même fournir les gestes utilisés (pincer, glisser, tourner). Dans le logiciel d'application, ces données de capteur sont traitées de la même manière que d'autres périphériques, comme une souris, sans se soucier du décodage de la gestuelle et d'enlever le bruit des signaux.

### Ajouter une touche capacitive à un Arduino et un Raspberry Pi

Des circuits intégrés tactiles capacitifs prêts-à-l'emploi sont disponibles auprès de Micro-

chip [8], Azoteq [9], and Texas Instruments [10]. Ils simplifient grandement la construction des circuits, et proposent généralement une sortie digitale ou une interface sérielle qui communique directement avec un Arduino ou un Raspberry Pi. Cependant, il convient de noter qu'un déploiement réussi dans une application réelle nécessite beaucoup de tests avec différentes conceptions et configurations de capteurs pour assurer la fiabilité et la robustesse à long terme. Il existe également des bibliothèques pour Arduino [11] qui permettent la création d'un capteur capacitif avec juste une résistance. C'est plus que suffisant pour permettre aux étudiants et aux fabricants de créer des interfaces tactiles pour en explorer les concepts et tester des idées rapidement. ◀

VF : Laurent Rauber — 240304-04

### Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



### À propos de l'auteur

Stuart Cording est ingénieur et journaliste avec plus de 25 ans d'expérience dans l'industrie électronique. Il se spécialise dans le contenu vidéo et se concentre sur les recherches techniques approfondies. Son intérêt se porte particulièrement sur la technologie elle-même, son intégration dans les applications finales et les perspectives d'évolution future. Vous pouvez consulter de nombreux articles récents de Stuart Cording sur le site Elektor à l'adresse [www.elektormagazine.com/cording](http://www.elektormagazine.com/cording).



### Produits

- > **Kit d'expérimentation Arduino Uno**  
[www.elektor.fr/20339](http://www.elektor.fr/20339)
- > **The Ultimate Compendium of Sensor Projects (E-book en anglais)**  
[www.elektor.fr/19105](http://www.elektor.fr/19105)



### LIENS

- [1] iPod d'Apple : <https://fr.wikipedia.org/wiki/iPod>
- [2] Capteurs capacitifs : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ipod\\_backlight\\_transparent.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ipod_backlight_transparent.png)
- [3] Leon Theremin : [https://fr.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9on\\_Th%C3%A9r%C3%A9mine](https://fr.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9on_Th%C3%A9r%C3%A9mine)
- [4] Le thérémine : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9r%C3%A9mine>
- [5] Unité de mesure du temps de charge : <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/61167B.pdf>
- [6] Oxyde d'indium et d'étain : <https://diamondcoatings.co.uk/ito-coated-glass>
- [7] MaxTouch : <https://tinyurl.com/maxtouch-touchscreen>
- [8] Circuits intégrés tactiles capacitifs chez Microchip : <https://tinyurl.com/microchip-capacitive-touch>
- [9] Circuits intégrés tactiles capacitifs chez Azoteq : <https://azoteq.com/products/proxsense>
- [10] Circuits intégrés tactiles capacitifs chez Texas Instruments : <https://tinyurl.com/ti-capacitive-touch>
- [11] Des bibliothèques sont disponibles pour Arduino : <https://arduino.cc/reference/en/libraries/capacitivesensor>

# REJOIGNEZ NOTRE COMMUNAUTÉ



TÉLÉCHARGEZ GRATUITEMENT

Abonnez-vous maintenant à [elektormagazine.fr/ezine-24](https://elektormagazine.fr/ezine-24)



# UN ESPACE DE TRAVAIL en ÉLECTRONIQUE

pour les solutions basées sur les capteurs,  
l'enseignement et la recherche

Dima Shlenkevitch est un *maker* et un indépendant spécialisé dans le développement de systèmes de détection. Il travaille depuis son bureau à domicile en Israël, qu'il utilise depuis plus d'un an. L'espace de travail de Dima fait partie intégrante de ses activités quotidiennes, et reflète son engagement en faveur de l'innovation et de la formation continue.

## Quelle est votre profession actuellement ?

**Dima Shlenkevitch :** Je suis un *maker*. Je travaille en tant qu'indépendant dans le développement de systèmes de détection. Dans le cadre de mon travail, je conçois de l'électronique, de la mécanique, des logiciels et parfois d'autres disciplines définies par le projet. Je trouve fascinant de travailler sur un nouveau projet avec de nouvelles choses à apprendre, car c'est quelque chose

qui unit les *maker* du monde entier. Dans mon travail quotidien, je réalise des prototypes à l'aide de plaques d'essai, puis je développe l'électronique (schéma et disposition). Généralement, un boîtier mécanique est nécessaire. Grâce à l'imprimante 3D dont je dispose, je peux tester mes conceptions mécaniques. Après la production du circuit imprimé, j'assemble le tout, je programme et je teste.

## Comment se présente votre espace ? Et comment l'utilisez-vous ?

**Dima :** Je peux dire que mon espace est comme un laboratoire à domicile. J'ai décidé de créer un laboratoire à la maison l'année dernière, parce que je voulais créer des choses chez moi. J'utilise mon labo presque quotidiennement pour l'électronique et le prototypage dans le cadre de mes projets professionnels. De plus, j'utilise mon laboratoire pour des projets personnels et pour enseigner à mes enfants l'électronique, l'apprentissage et la recherche.

## Lorsque vous avez dessiné et aménagé votre espace de travail, quels étaient vos besoins et vos objectifs ?

**Dima :** Je disposais d'un espace très limité pour le laboratoire, et les principales contraintes étaient donc les dimensions physiques. Cela a commencé par la recherche d'une table de travail aux mesures adéquates. Je devais également trouver un endroit pour mes outils. Beaucoup d'entre eux se trouvent sur les murs, sur des étagères ou cachés dans des tiroirs, comme vous pouvez le voir sur la photo.



L'espace de travail en électronique de Dima.

**Parlez-nous de vos intérêts techniques. Sur quels types de projets travaillez-vous dans votre atelier ?**

**Pourquoi vous concentrez-vous sur ces projets ?**

**Dima :** J'aime les projets stimulants avec un budget limité. En général, mes projets font appel à l'électronique, à la programmation et à la mécanique. Je suis très intéressé par la technologie, j'aime donc voir de nouvelles choses et trouver de nouvelles solutions. J'aime les projets à budget limité, car ils m'obligent à réfléchir à des solutions uniques qui ne sont pas simples. J'explore différentes technologies dans d'autres domaines, afin de trouver ce qui permettra à mon projet d'atteindre son objectif. Parfois, une solution simple se trouve sous nos yeux, mais nous sommes souvent figés sur la façon dont on nous a appris à faire les choses.

**Quel type d'équipement et d'outils avez-vous dans votre espace de travail ? Pouvez-vous nous dire comment et où vous stockez le matériel et les outils ?**

**Dima :** Il y a dans mon laboratoire une station de soudage, des alimentations, un oscilloscope, des multimètres, une imprimante 3D, un four à refusion, un microscope, une plaque chauffante, un pied à coulisse, du matériel de soudure, des supports de circuits imprimés, une pince à épiler, des composants électroniques et des modules. Je range mon matériel sur des étagères fixées au mur, et une partie dans des tiroirs.

**Quel est, selon vous, l'équipement ou l'outil le plus important ou le plus précieux ? Et pourquoi ?**

**Dima :** Une bonne alimentation de laboratoire. Vous en avez besoin pour chaque projet. J'utilise la Rigol DP832. Elle a de bonnes spécifications, de bonnes critiques d'utilisateurs, et un rapport qualité / prix très intéressant.

**Y a-t-il quelque chose de spécial ou d'unique dans votre laboratoire ? Qu'est-ce qui le rend si spécial ou si important ?**

**Dima :** J'ai un petit four de refusion de paillasse pour le prototypage. Je l'aime beaucoup parce que je l'ai fabriqué moi-même. Il est basé sur le kit Controleo3 que j'ai acheté, mais il a fallu de nombreuses modifications pour l'adapter à mes besoins. Il m'a fallu plusieurs semaines de travail en soirée pour l'assembler, mais finalement, c'est fait, et je suis content du résultat. Cet équipement m'a grandement facilité la vie lors de l'assemblage des circuits imprimés. Auparavant, j'assemblais les PCB avec une plaque chauffante, mais les résultats n'étaient pas satisfaisants, et il y avait systématiquement ensuite beaucoup de travail d'amélioration. Aujourd'hui, les soudures par refusion sont la partie la plus facile de l'assemblage de chaque nouveau prototype. En plus de l'utilité de ce matériel, c'était un projet très agréable à réaliser.

**Prévoyez-vous quelque chose de nouveau pour votre espace de travail ?**

**Dima :** J'envisage d'équiper le laboratoire d'une nouvelle imprimante 3D. Une caméra thermique serait également une grande amélioration pour le contrôle des circuits imprimés.

**Parlez-nous de votre projet préféré dans le domaine de l'électronique. Avez-vous appris quelque chose d'intéressant ?**

**Dima :** Je travaille depuis un certain temps sur un nouveau capteur de gaz. Ce travail est lié à mon travail universitaire dans le cadre de ma maîtrise en électronique. Ce capteur de gaz fonctionne selon un principe physique légèrement différent de celui des capteurs



◀  
*Dima Shlenkevitch fait une présentation.*



► Un projet en cours de réalisation.

commerciaux courants. Il est basé sur un capteur thermique miniature, et utilise une réaction de combustion pour détecter les gaz combustibles dans l'environnement. Ce projet implique la conception de circuits imprimés pour l'évaluation du capteur, à la fois pour les parties analogiques et numériques. J'ai beaucoup appris sur la conception et l'agencement des circuits imprimés. L'autre aspect de ce projet est la programmation et la recherche d'algorithmes pour la détection sélective de gaz. J'aime utiliser l'EDI Arduino pour programmer et évaluer mes projets. Il est facile à apprendre et rend le prototypage accessible. J'aime utiliser le module Artemis MCU de SparkFun dans mes projets, car il est très puissant et supporté par l'EDI Arduino.

#### **Vous travaillez actuellement sur un projet en électronique ou en programmation ?**

**Dima :** Ces dernières années, j'ai travaillé sur le développement de systèmes de détection et j'ai eu l'idée de créer un système de détection modulaire universel. Aujourd'hui, je travaille sur un prototype d'un système de détection semblable, qui devrait ressembler à un « Lego », avec différents blocs qui peuvent configurer l'ensemble du système selon mes besoins en particulier. Avec par exemple un bloc d'affichage, un bloc de connectivité, différents capteurs, etc. La principale exigence que j'ai définie pour le système est la détection automatique de chaque bloc, et cela sans aucune intervention de l'utilisateur. Il s'agit de mon projet de loisir, j'espère donc pouvoir le partager très bientôt.

#### **Avez-vous un projet qui vous fait rêver, ou quelque chose que vous aimeriez entreprendre ?**

**Dima :** Un projet auquel je pense depuis longtemps déjà est celui d'un robot environnemental. J'habite près de la mer, et j'aime passer du temps sur la plage. Le plus ennuyeux et le plus frustrant, c'est la propreté des plages. Certaines plages qui sont sous la responsabilité de la municipalité sont nettoyées de temps en temps, et d'autres ne sont nettoyées que quelques fois par an par des bénévoles. La propreté générale laisse donc à désirer. L'idée est de fabriquer un robot autonome capable de nettoyer sélectivement les plages, dans des zones bien définies, sans recourir à une main-d'œuvre importante. Il sera capable de nettoyer des plages beaucoup plus grandes et d'accéder à des zones mal nettoyées.

#### **Avez-vous des conseils, des astuces ou des encouragements à donner à d'autres ingénieurs ou makers qui envisagent d'aménager un espace de travail ?**

**Dima :** Si vous pensez avoir besoin d'un espace de travail, commencez par en faire un plan et construisez-le. Ne voyez pas trop grand, commencez par quelque chose de petit, et agrandissez-le quand le besoin s'en fait sentir. ◀

VF : Laurent Rauber — 240315-04

### **Montrez-nous votre espace de travail !**

Vous souhaitez partager les détails de votre espace de travail avec la communauté mondiale d'ingénieurs, d'étudiants et de makers d'Elektor ? Prenez quelques minutes pour remplir notre formulaire en ligne ([www.elektormagazine.com/workspaces](http://www.elektormagazine.com/workspaces)) afin que nos rédacteurs puissent vous contacter !

# Ils nous font confiance, n'est-ce pas ?

"Livraison rapide et complète de tous les articles commandés, à l'adresse précisée, parfait, merci à l'équipe d'Elektor."

★★★★★ by Marc Maggioni

Rated 4.6 / 5 | 398 reviews

Trustpilot

"Produit livré rapidement, bien emballé et conforme à la commande"

★★★★★ by Albert Joutet

Rated 4.6 / 5 | 398 reviews

Trustpilot



"Excellente Transaction – RAS ! Sur une dernière commande, d'un montant de 50 euros, tout s'est bien déroulé et plus rapidement que prévu. L'objet est en excellent état et conforme à l'annonce."

★★★★★ by Aldo Aldo

Rated 4.6 / 5 | 400 reviews

Trustpilot

NOUVELLE  
E-CHOPPE

Nous aimons l'électronique et les projets, et nous faisons tout notre possible pour répondre aux besoins de nos clients.

Le magasin Elektor : Jamais cher, toujours surprenant

"Très satisfait – Envoi très rapide, bien emballé. Je recommande vivement !"

★★★★★ by FORTIN GUILLAUME

Rated 4.6 / 5 | 544 reviews

Trustpilot



Consultez d'autres avis sur notre page Trustpilot : [www.elektor.com/TP/fr](http://www.elektor.com/TP/fr)

Vous pouvez également vous faire votre propre opinion en visitant notre Elektor Store, [www.elektor.fr](http://www.elektor.fr)

**elektor**  
design > share > earn

# Rejoignez la communauté Elektor



Devenez membre maintenant !



- ✓ accès à l'archive numérique depuis 1978 !
- ✓ 8x magazine imprimé Elektor
- ✓ 8x magazine numérique (PDF)
- ✓ 10 % de remise dans l'e-choppe et des offres exclusives pour les membres
- ✓ accès à plus de 5000 fichiers Gerber



Également disponible

abonnement



sans papier !

- ✓ accès à l'archive numérique d'Elektor
- ✓ 10 % de remise dans l'e-choppe
- ✓ 8x magazine Elektor (PDF)
- ✓ accès à plus de 5000 fichiers Gerber



[www.elektormagazine.fr/membres](http://www.elektormagazine.fr/membres)