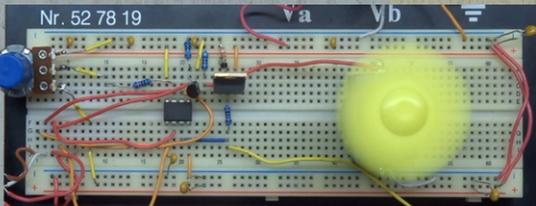


FOCUS SUR

Puissance et énergie

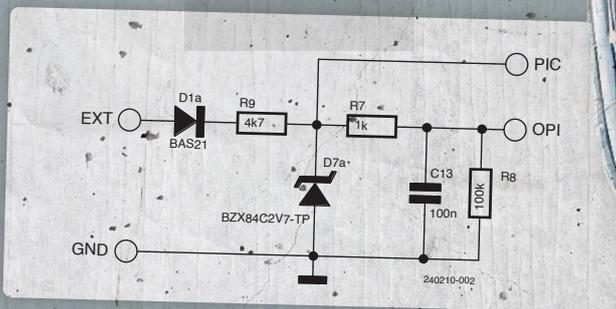


commande de vitesse
d'un moteur CC à balais.
mesure de la FEM au lieu
d'une génératrice tachymétrique



surveillance des
coupures de courant
votre réseau est-il stable ?

un compagnon 8 bits
pour le Raspberry Pi
la gestion de l'énergie
simplifiée



DRÔLES DE

COMPOSANTS

redresseurs au mercure

infographie
puissance et énergie



VOUS AVEZ DE LA CHANCE !



TÉLÉCHARGEZ
GRATUITEMENT

Un abonné à l'e-zine ne manque jamais
le mensuel «reverse project»

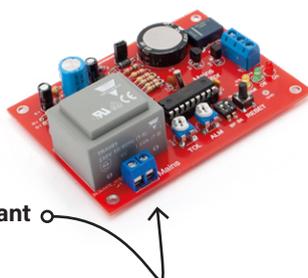
Vous n'êtes pas encore abonné ? Inscrivez-vous à
notre e-zine gratuit à elektormagazine.fr/ezine-24





DANS CE NUMÉRO

- 3 Édito**
- 4 commande de vitesse d'un moteur CC à balais**
Mesure EMF au lieu d'une génératrice tachymétrique
- 10 un compagnon 8 bits pour le Raspberry Pi**
la gestion de l'énergie simplifiée
- 12 sur le vif**
micromanagement
- 14 drôles de composants, la série**
redresseurs au mercure
- 16 infographie : Puissance et énergie**
- 18 surveillance des coupures de courant**
votre réseau est-il stable ?



C. J. Abate

Directeur du contenu, Elektor

Édition bonus

Êtes-vous intéressé par davantage de contenus relatifs à la puissance et à l'énergie ? Cette édition bonus du magazine Elektor vous offre des articles supplémentaires destinés à stimuler votre créativité pour concevoir vos propres solutions. Comme toujours, nous vous proposons également des articles captivants sur divers autres sujets.

Votre réseau électrique est-il instable ? L'article intitulé « surveillance des coupures de courant » décrit un circuit conçu pour surveiller constamment le réseau électrique et signaler toute coupure de courant.

Avant l'avènement des redresseurs à semi-conducteurs de haute puissance, la conversion du courant alternatif en courant continu dans les applications industrielles et de transport posait un défi majeur. Les dispositifs étaient encombrants, fragiles, utilisaient des matériaux polluants et nécessitaient un entretien fréquent. L'article « redresseurs au mercure » vous fera découvrir les redresseurs au mercure et bien plus encore.

Les moteurs à courant continu à balais sont souvent remplacés par des moteurs sans balais (BLDC) et des moteurs pas à pas. Toutefois, leur commande plus simple présente encore des avantages. L'article « commande d'un moteur CC à balais » examine comment maintenir une vitesse constante indépendamment du couple, sans utiliser de générateur tachymétrique.

Nous espérons que vous apprécierez ces articles ainsi que le reste du contenu de cette édition Bonus. Si vous menez vos propres projets, n'oubliez pas de documenter vos progrès sur la plateforme Elektor Labs (www.elektormagazine.fr/labs) !

L'édition de janvier - février 2025 du magazine Elektor est disponible en kiosque et sur l'e-shoppe Elektor.



notre équipe

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

COLOPHON

48^{ème} année n° 511B, ISSN 0181-7450
janvier-février 2025
N° de TVA Intracommunautaire : FR90319937454
Dépôt légal : janvier 2025
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 | www.elektormagazine.fr

Pour toutes vos questions : service@elektor.fr
Devenez membre : www.elektormagazine.fr/abo

Publicité : Ouafae Hassani
Tél. : +31 (0)6 41312932 | ouafae.hassani@elektor.com
www.elektormagazine.fr/publicité

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

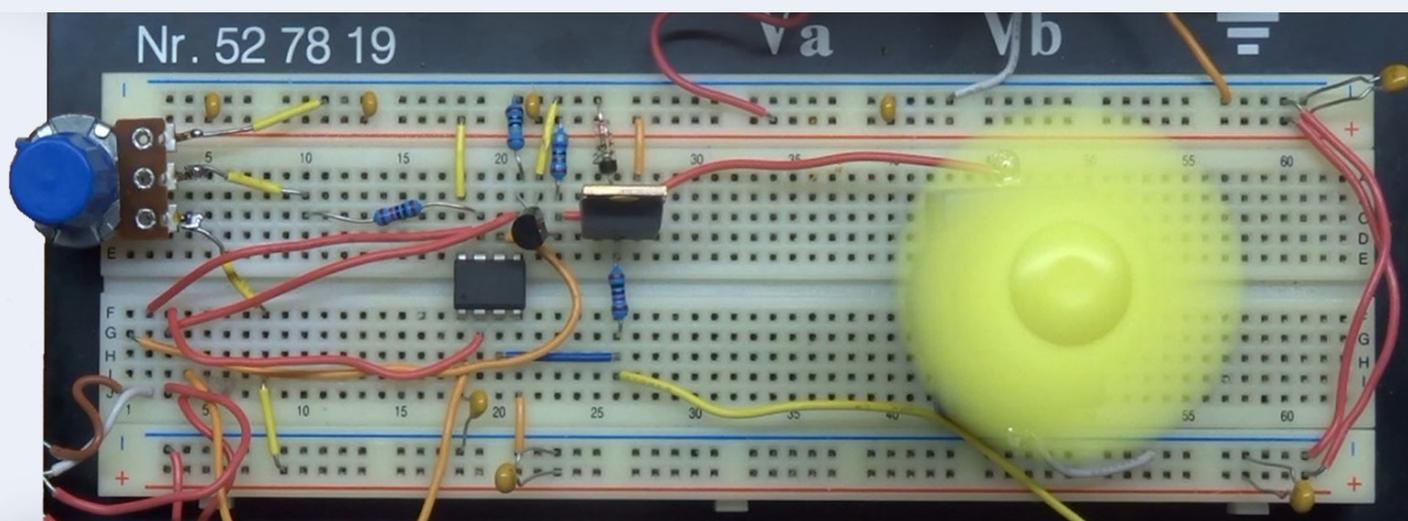
Droits d'auteur
© 2025 Elektor International Media B.V.

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.

commande de vitesse d'un moteur CC à balais

Mesure de la FEM au lieu d'une génératrice tachymétrique



Rainer Schuster (Allemagne)

Les moteurs à courant continu à balais sont de plus en plus remplacés par les moteurs sans balais (BLDC) et les moteurs pas à pas. Cependant, leur utilisation reste pertinente en raison de la simplification significative du contrôle qu'ils permettent. Cet article détaille une méthode permettant de réguler la vitesse d'un moteur CC à balais, indépendamment des variations de couple, et ce sans génératrice tachymétrique.

Dans le cas le plus simple, un moteur CC est connecté à une source d'alimentation à tension variable (voir **figure 1**). Théoriquement, la vitesse est proportionnelle à la tension d'alimentation V_M , mais seulement tant que le couple est constant. Le schéma équivalent du moteur CC ressemble à la **figure 2**. L'enroulement du moteur présente non seulement une inductance L_M , mais aussi une résistance ohmique due au fil de cuivre, désignée par R_M . Plus le couple augmente, plus la chute de tension à travers la résistance R_M s'intensifie, jusqu'à ce que finalement réduisant progressivement la tension appliquée à l'inductance L_M jusqu'à que le moteur s'arrête (**figure 3**).

Commande par génératrice tachymétrique ou mesure de la FEM

Pour compenser ces fluctuations de vitesse liées au couple, on utilisait autrefois un moteur couplé à une génératrice tachymétrique, qui fournissait à son tour une tension proportionnelle à la vitesse

(**figure 4**). Cependant, un ensemble moteur-tachymètre est plus encombrant et plus onéreux qu'une version de moteur sans tachymètre.

Si le moteur est piloté par une tension modulée en largeur d'impulsion (PWM), la vitesse est proportionnelle au rapport cyclique. Par ailleurs, durant la phase de déphasage de la tension PWM, le moteur agit également comme un générateur, permettant ainsi de mesurer sa vitesse durant cette phase. À l'époque de la technologie analogique, la complexité électronique requise pour une telle commande était considérable, comme le démontre le schéma de la **figure 5**.

Il était nécessaire de disposer d'un générateur de signaux rectangulaires, d'un modulateur de largeur d'impulsion piloté par tension, d'un circuit d'échantillonnage et de maintien pour mesurer la vitesse réelle, ainsi que d'un contrôleur PI. Dans le monde actuel du numérique, bien que le principe de base reste inchangé, l'effort nécessaire est considérablement réduit grâce à l'utilisation d'un microcontrôleur.

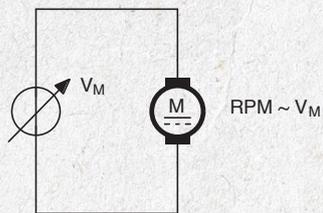


Figure 1. Idéalement, la vitesse est proportionnelle à la tension du moteur.

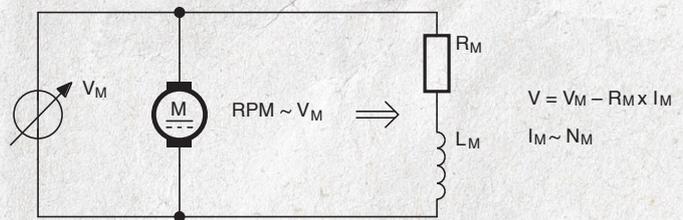


Figure 2. En pratique, la résistance ohmique du bobinage du moteur est associée à son inductance.

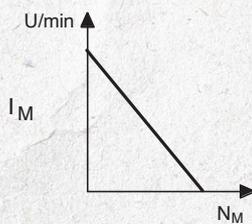


Figure 3. Plus le couple augmente, plus le moteur tourne lentement.

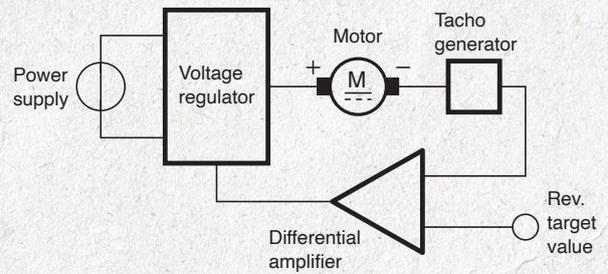


Figure 4. Schéma fonctionnel d'un système de commande de moteur avec génératrice tachymétrique.

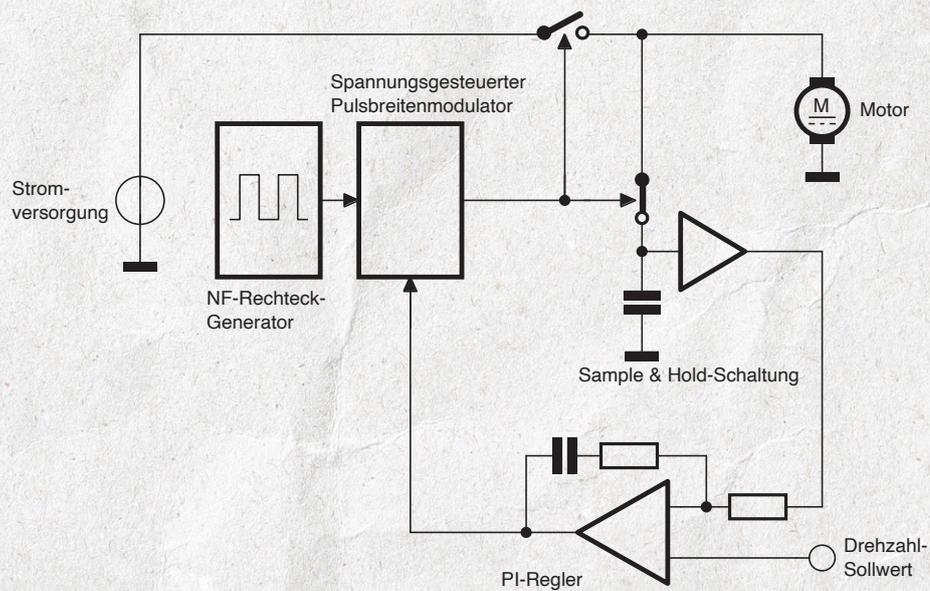


Figure 5. Schéma fonctionnel d'une commande de moteur avec mesure de la FEM.

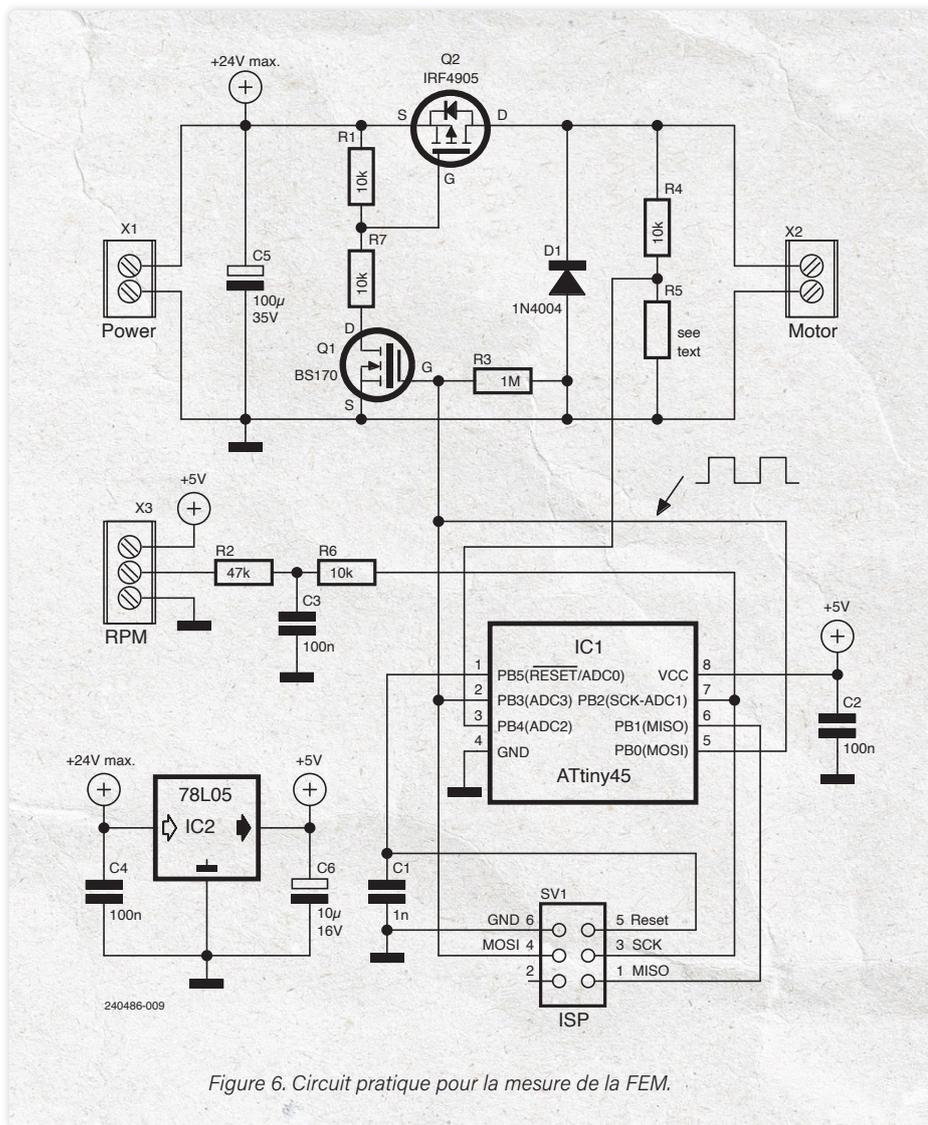


Figure 6. Circuit pratique pour la mesure de la FEM.



Figure 7. La vitesse est mesurée dans la phase d'arrêt après la démagnétisation.

Réalisation pratique : mesure de la FEM

Comme le montre le schéma complet de la **figure 6**, un microcontrôleur ATtiny45 de Microchip avec 4 ko de mémoire flash est utilisé pour la commande. Le contrôleur ne dispose que de huit broches, mais il est parfaitement adapté à cette application. Il peut être programmé « dans le système » via SV2 en utilisant un dispositif de programmation ISP.

Le microcontrôleur est alimenté en 5 V par le régulateur de tension IC2, ce qui implique que la tension d'entrée (et donc la tension du moteur) ne doit pas excéder 24 V. Q1 et Q2 commande le moteur. Q2, un transistor PMOS de type IRF4905, est capable de supporter un courant moteur allant jusqu'à 74 A, à condition que l'on utilise un dissipateur thermique adéquatement dimensionné. La **figure 7** montre les variations aux bornes du moteur pendant les différentes phases du signal PWM : Après la phase active (ON) du signal PWM, une période de démagnétisation survient lors de la phase OFF ; puis le moteur génère une tension EMF proportionnelle à la vitesse. Cette tension est transmise au convertisseur analogique-numérique ADC2 du microcontrôleur via le diviseur de tension R4/R5. Il est crucial que R5 soit dimensionné de manière à limiter la tension à ADC2 à 5 V maximum.

V_B	R5
12 V	4,7 k
24 V	2,2 k

La vitesse de consigne, qui peut être ajustée soit par le potentiomètre RPM, soit par une tension externe de 0 à 5 V appliquée sur la borne X6, est envoyée à l'ADC1 du microcontrôleur. L'utilisation de la diode D1 est cruciale : en cas d'interruption de la tension de commande, l'inductance du moteur provoque une décharge, générant une pointe de tension négative que la diode D1 limite à environ 0,7 V. La **figure 8** montre une proposition de disposition du circuit imprimé pour la commande du moteur et la mesure EMF ; les composants nécessaires sont détaillés dans la **liste des composants**.

Logiciel I

Le logiciel pour l'ATtiny45 a été écrit en

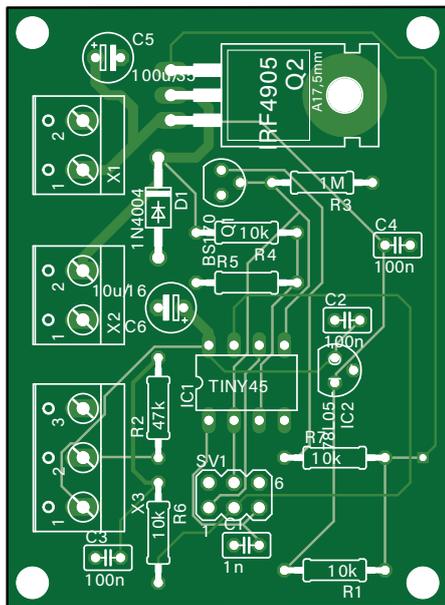


Figure 8. Proposition de disposition d'un circuit imprimé pour la mesure de la FEM.

BASCOM. Le contrôleur fonctionne en interne à 8 MHz. Le timero fonctionne comme un timer PWM en mode *timer PWM à correction de phase*. Avec un prescaler de $N = 64$, la fréquence PWM est :

$$f_{OCn \times PC_{PWM}} = \frac{f_{clk_1/0}}{N \times 510}$$

À 8 MHz, cela donne une fréquence de 245 Hz. La largeur d'impulsion est réglée via le registre `PWM0A` de 0 à 255.

Selon le type de moteur, il peut être nécessaire de régler le prescaler sur 256, par exemple si la phase d'induction est plus longue ou de même longueur que la phase d'arrêt. Il en résulte une fréquence PWM d'environ 60 Hz.

Dans la boucle main du programme, la consigne de vitesse est constamment lue sur `ADC1`. La valeur réelle est lue sur `ADC2` pendant le déphasage (`Pwm_Pin=0`) et additionnée. Lorsque le moteur est remis en marche, la moyenne de la valeur réelle est calculée.

Pour utiliser le contrôleur PI, il faut adapter la constante T_i (temps d'intégration), la constante de temps du `Timer1` et K_p (gain proportionnel) au moteur utilisé. Le temps d'interruption du `Timer1` est défini avec le registre `TCCR1` :

TCCR1	Timer1 Interrupt
4	250 μ s
5	500 μ s
6	1 ms
7	2 ms

Lorsque T_i est écoulé (`Timer1-Interrupt` $\times T_i$), la déviation de la vitesse est calculée, ajoutée à la valeur précédente (en tenant compte du signe) et multipliée par K_p . Le résultat obtenu correspond directement à la nouvelle durée d'enclenchement.

Contrôle par compensation RI

Le contrôle par compensation RI offre une solution pratique à la fluctuation de la vitesse due à la résistance ohmique des enroulements en cuivre d'un moteur à courant continu. En mesurant le courant qui traverse le moteur, il est possible de compenser l'effet de cette résistance. Cette méthode requiert simplement la connaissance de la résistance de la bobine du moteur, qui peut être déterminée sans difficulté.

Le circuit de la **figure 9** est similaire à celui de la figure 6, sauf que le courant du moteur est mesuré sous la forme d'une chute de tension aux bornes de R_5 . R_5 doit être dimensionné de façon à ce qu'un maximum de 0,5 V soit chuté à travers R_5 au courant maximum du moteur. La puissance dissipée en watts doit être égale à $R_5 \times \text{courant moteur au carré}$. La **figure 10** montre une proposition de disposition du circuit pour la commande du moteur par compensation RI.

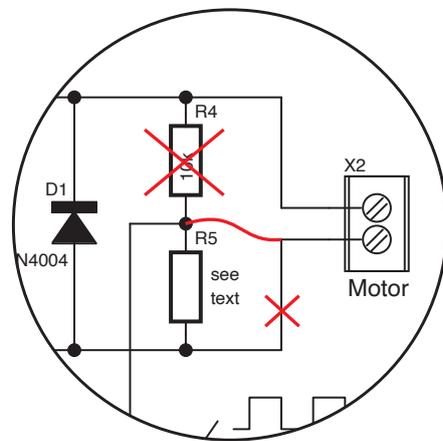


Figure 9. La commande du moteur par compensation RI se distingue uniquement par un détail spécifique.

Logiciel II

Le logiciel pour la compensation RI est également développé en BASCOM. Le timero est configuré comme un timer PWM avec une fréquence de 245 Hz. Contrairement à la commande EMF, la régulation est réalisée via une commande P pure. Pour ce faire, il est essentiel de connaître et de définir dans le programme les valeurs de la résistance de la bobine du moteur et de la tension d'alimentation, qui sont spécifiées comme les constantes `RM` et `U0` dans le programme.

Le courant du moteur est maintenant mesuré pendant la phase d'enclenchement du signal PWM. La valeur effective du courant est calculée à partir de la durée d'enclenchement :

$$I_{RMS} = I_P \times \frac{T_{on}}{T} = \frac{V_{R5}}{R5} \times \frac{PMW0A}{255}$$

Le rapport cyclique est alors augmenté en fonction de la valeur correspondante.

Deux options

Il existe diverses méthodes pour commander un moteur CC sans génératrice tachymétrique, chacune avec ses propres avantages et inconvénients :

- Pour la mesure de la FEM, il faut un régulateur PI dont les paramètres

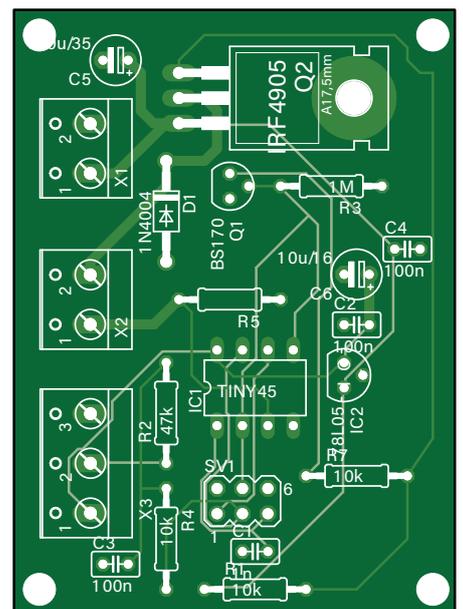


Figure 10. Disposition du circuit imprimé proposée pour la commande par compensation RI.

doivent être adaptés au moteur utilisé afin d'optimiser les dépassements et les sous-dépassements. Pour ce faire, les fluctuations de la tension d'alimentation sont compensées.

- En utilisant la compensation RI, il n'y a pas de dépassement ni de sous-dépassement, mais les fluctuations de la tension d'alimentation ne sont pas compensées.

Les schémas, les dispositions des circuits et le logiciel des deux régulateurs sont téléchargeables sur la page du projet sur Elektor Labs [1]. ◀

200486-04



À propos de l'auteur

La fascination de Rainer Schuster pour l'électronique a pris racine à l'âge de 13 ans, lorsqu'il a reçu le kit d'expérimentation électronique Philips EE1 en cadeau de Noël en 1970. En septembre 1971, il a acheté son premier numéro du magazine Elektor, une publication à laquelle il est resté fidèle jusqu'à aujourd'hui. Après des études d'électrotechnique à l'université des sciences appliquées de Munich, il a consacré 37 ans à sa carrière d'ingénieur en développement électronique chez Agfa à Munich. Depuis 2009, il contribue régulièrement à Elektor par ses articles. Maintenant à la retraite, il anime également sa propre chaîne YouTube (www.youtube.com/@rainerschuster5722), sur laquelle il partage ses projets.

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (rainerschuster@mnet-mail.de), ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



Liste des composants pour la commande par compensation RI

Résistances

R1, R6, R7 = 10 kΩ
R2 = 47 kΩ
R3 = 1 MΩ
R5 = voir texte

Condensateurs

C1 = 1 nF
C2...C4 = 100 nF
C5 = 100 µF/35 V
C6 = 10 µF/16 V

Semi-conducteurs

D1 = 1N4004
Q1 = BS170
Q2 = IRF4905
IC1 = ATtiny45
IC2 = 78L05

Divers

SV1 = connecteur 2 × 3 broches
X1, X2 = bornier pour circuit imprimé à 2 broches, pas de 5 mm
X3 = bornier pour circuit imprimé à 3 broches, pas de 5 mm



Liste des composants pour la mesure de la FEM

Résistances

R1, R4, R6, R7 = 10 kΩ
R2 = 47 kΩ
R3 = 1 MΩ
R5 = voir texte

Condensateurs

C1 = 1 nF
C2...C4 = 100 nF
C5 = 100 µF/35 V
C6 = 10 µF/16 V

Semi-conducteurs

D1 = 1N4004
Q1 = BS170
Q2 = IRF4905
IC1 = ATtiny45
IC2 = 78L05

Divers

SV1 = connecteur 2 × 3 broches
X1, X2 = bornier pour circuit imprimé à 2 broches, au pas de 5 mm
X3 = bornier pour circuit imprimé à 3 broches, pas de 5 mm



Produit

- **Motor Control Development Bundle**
www.elektor.fr/20534

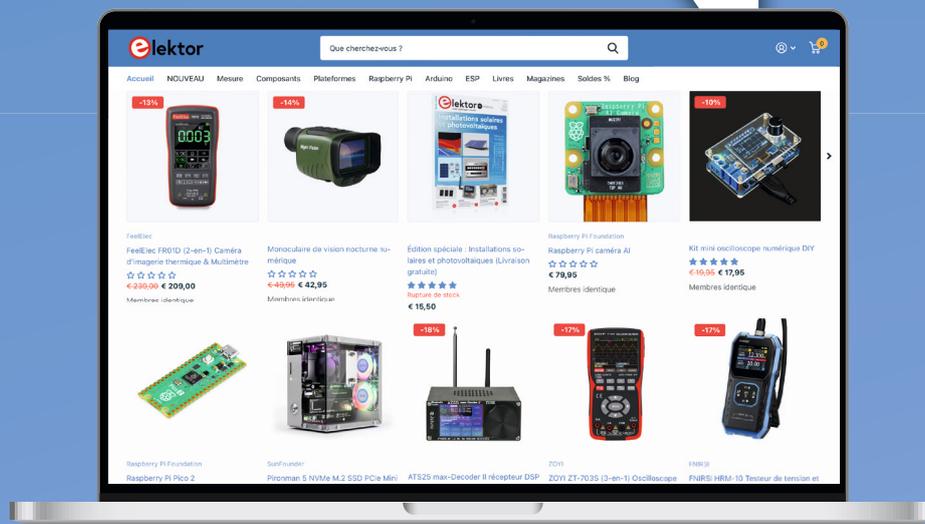


LIENS

[1] Ce projet sur Elektor Labs : <https://tinyurl.com/200486-01>

[2] Vidéo sur YouTube : <https://www.youtube.com/watch?v=6IEVBQyKIF4>

Quel est votre avis ?



Chez Elektor, nous offrons bien plus que de simples produits électroniques – nous créons une expérience avec des produits de qualité et un service client exceptionnel, soutenus par la passion de notre communauté.

Partagez votre avis sur
www.elektor.fr/pages/customer-reviews



★★★★★

Très bonne présentation

Malgré mon anglais technique poussif, la présentation et le développement du sujet aident vraiment le novice que je suis. Les programmes, sur fond bleu, se détachent parfaitement du reste du texte.

★★★★★

Un utilisateur satisfait de son achat

Excellent rapport qualité/prix, regulation en température précise, n'a rien à envier à une marque commençant par un "W", dont les produits équivalent sont beaucoup plus chers. Je conseille cette station de soudage.

★★★★★

Très bon service client Elektor

Malgré un problème de composants oubliés, j'ai reçu un autre exemplaire du kit dans un délai très rapide.

Bravo pour cette efficacité devenue trop rare.

un compagnon 8 bits pour le Raspberry Pi

La gestion de l'énergie simplifiée

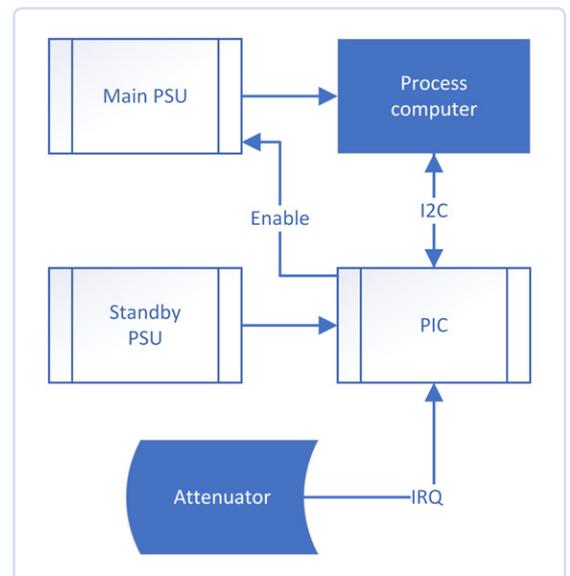
Tam Hanna (Hongrie)

Les Raspberry Pi et autres ordinateurs monocartes (SBS) sont idéaux pour gérer des processus complexes, mais ils consomment davantage d'énergie que les microcontrôleurs. Pourquoi ne pas combiner les avantages des deux ? Dans cet article, nous vous expliquons comment configurer un PIC 8 bits pour qu'il active un Raspberry Pi seulement lorsque cela est nécessaire.

Les ordinateurs monocartes équipés de systèmes Unix simplifient le développement de systèmes de contrôle avancés. Ils surpassent les microcontrôleurs (MCU), surtout pour les tâches nécessitant des interfaces graphiques et un traitement intensif de données. Toutefois, ils présentent des limites en termes de consommation d'énergie et de performances en temps réel. Mais pourquoi ne pas combiner le meilleur des deux mondes ? Pour réduire la consommation d'énergie d'un ordinateur monocarte, vous pouvez l'associer à un microcontrôleur. Par exemple, nous voulons mettre en œuvre un système qui respecte les temps d'arrêt programmés et effectue un « démarrage sur alarme » en réponse à un événement externe spécifique.

Le circuit

En principe, le circuit fonctionne comme indiqué dans l'organigramme (figure 1). Le régulateur de tension qui sert

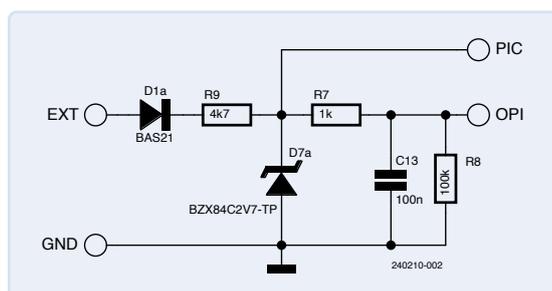


▲ Figure 1. Cette configuration de circuit réduit considérablement la consommation d'énergie en mode veille.

d'alimentation principale pour l'ordinateur de traitement (généralement un régulateur à découpage) est contrôlé par le microcontrôleur via son entrée *Enable* (EN).

Le microcontrôleur nécessite une alimentation séparée, indépendante de l'entrée EN ; en raison de la faible consommation d'énergie, un régulateur linéaire constitue ici une option économique. En général, le circuit est flexible quant au choix des composants ; l'auteur préfère utiliser les versions modernes du PIC16F de Microchip. La figure 2 montre le sous-circuit qui signale au PIC lorsque le SBC (OPI = Orange Pi) est alimenté par le régulateur à découpage externe (EXT). D1a, R9 et D7a forme un atténuateur assez « classique », qui réduit les tensions d'entrée dans jusqu'à 20 V en une valeur supportable pour les entrées de l'ordinateur de traitement et du microcontrôleur.

La séparation de la résistance en série entre les valeurs R7 et R9 est nécessaire car les ordinateurs monocartes peuvent présenter une charge à faible impédance ou conserver une tension résiduelle lorsqu'ils sont éteints. En absence de cette résistance, le microcontrôleur chargé



► Figure 2. La résistance R7 permet de minimiser les coûts et les problèmes techniques

de la gestion de l'alimentation (connecté via la borne PIC) pourrait recevoir des valeurs anormales ou non valides.

R7 est un élément de protection supplémentaire - les entrées de l'ordinateur de traitement sont reliées à la tension d'alimentation et à la masse par des diodes de protection. Lorsque des surtensions se produisent, R7 limite le courant traversant ces diodes, protégeant ainsi l'ordinateur de traitement contre les dommages potentiels, tandis que C13 et R8 ajoutent une fonction de filtrage supplémentaire.

Il est important de souligner que le circuit présenté ici avec son entrée EXT était directement connecté au système électrique du véhicule de divers bus scolaires. Ayant été intégré à plusieurs milliers de systèmes sans aucun incident signalé, son efficacité et sa fiabilité ont été démontrées.

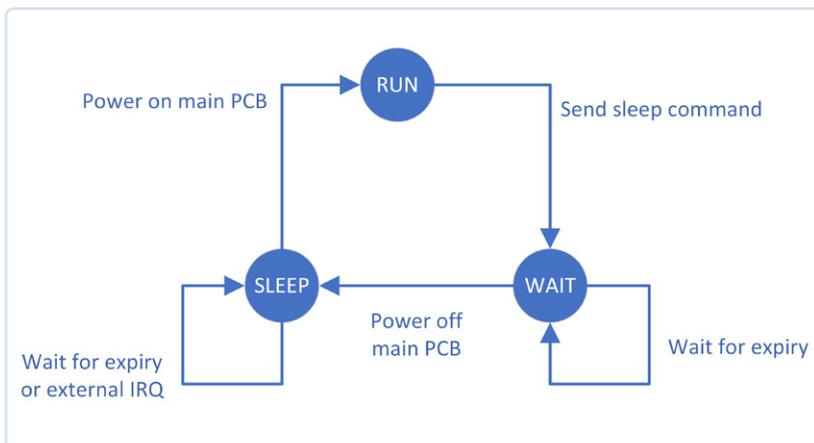
La diode D1a est essentielle pour la protection contre l'inversion de polarité. Comme l'atteste l'auteur, qui possède également une expérience dans le domaine de la logistique, connecter accidentellement des batteries de manière incorrecte est une erreur fréquemment commise par les mécaniciens.

La puissance du logiciel

La communication via I²C est généralement fiable (à condition de ne pas oublier les résistances de tirage vers le haut nécessaires). Le « secret » de ce système réside dans le logiciel. Le PIC met en œuvre une sorte de machine à états qui est basée sur les états montrés dans la **figure 3**.

La gestion du processus d'arrêt est cruciale. Les systèmes d'exploitation Unix ne gèrent pas bien les interruptions brusques de l'alimentation. Une solution efficace est d'utiliser un compte à rebours : la carte SBC active ce compte à rebours et lance ensuite l'arrêt du système d'exploitation. Une fois le délai (délibérément long) écoulé, est sécurisé et peut être déconnecté en toute sécurité de l'alimentation électrique

Bien entendu, le PIC peut également effectuer d'autres tâches. Outre le stockage des numéros de série et d'autres informations (rendant ainsi leur manipulation plus difficile), il est capable d'exécuter des tâches de contrôle de base. Pour des applications plus complexes, l'utilisation d'un microcontrôleur 32 bits comme contrôleur secondaire pourrait être envisagée, permettant par exemple de gérer une tâche de mesure, régulation et contrôle MSR.



Expérience pratique

Les traceurs basés sur le circuit décrit ici sont maintenant utilisés par dizaines de milliers par l'un des clients de l'auteur, témoignant ainsi de l'efficacité pratique de ce design. Alors qu'auparavant, ces dispositifs consommaient environ 200 mA en mode veille, ils ne requièrent désormais que quelques milliampères. L'article AN4121 de l'auteur, publié par Microchip, est disponible à l'adresse [1] et fournit de plus amples informations sur le sujet. ◀

240210-04

▲
Figure 3. Également utile dans l'embarqué : la machine à états.

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (tamhan@tamoggemon.com), ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



À propos de l'auteur

Tam Hanna, fort de plus de vingt ans d'expérience dans les domaines de l'électronique, de l'informatique et des logiciels, exerce en tant que développeur indépendant, auteur et journaliste (www.instagram.com/tam.hanna). Passionné par l'impression 3D, il consacre également son temps libre à la distribution de cigares.

LIEN

[1] Usha Ganesh and Tam Hanna, "Using PIC16F Microcontrollers for System Power Supply Control," Microchip Application Note AN4121, 2021: <https://www.microchip.com/en-us/application-notes/an4121>

zone D

Astuces, bonnes pratiques et autres informations pertinentes



sur le vif

Micromanagement

Ilse Joostens (Belgique)

J'ai lu avec intérêt les articles d'Elektor de 2021 et 2024 sur les centrales solaires sur balcon, écrits par Thomas Scherer [1] [2], et je suis entièrement convaincu par l'idée de couvrir la consommation électrique « de veille » de votre maison avec l'énergie solaire. En Allemagne, on bénéficie même d'une subvention pour cela. Mais malheureusement, je vis en Belgique où ce type d'installation est strictement interdit par la réglementation technique C10/11 de Synergrid, en raison de prétendus dangers d'incendie et d'électrocution

Les Belges ont tendance à éviter les risques, ce qui se reflète également au niveau des politiques et des réglementations. À mon avis, il vaudrait mieux interdire les rallonges avec multiprises, les vélos électriques, les trottinettes électriques et les hoverboards. Ces dispositifs ont déjà été mentionnés à plusieurs reprises dans des affaires d'incendies domestiques, et pour les deux derniers, ils peuvent aussi provoquer de graves accidents. Cela m'a rappelé le scandale de l'été dernier autour d'un célèbre magasin de bricolage belge qui, avec les meilleures intentions, avait proposé des panneaux solaires à brancher soi-même, mais avait dû les retirer de ses rayons, à sa grande honte.

Speed Camera

Alors que dans les pays voisins, les « panneaux solaires à brancher » sont utilisés sans problème depuis des années (figure 1), une organisation belge de consommateurs et la fédération sectorielle pour les énergies renouvelables (ODE) - outre le fait que c'est interdit - semblent particulièrement réticentes à l'égard des installations PV sur balcon [3]. Selon eux, ces installations seraient potentiellement dangereuses, pourraient avoir une durée de vie limitée, et ne seraient guère intéressantes sur le plan financier. Ils ont une nette préférence pour les installations photovoltaïques de plus grande envergure, y compris pour les habitants d'appartements. Ces derniers

devraient se contenter d'une installation collective sur le toit ou partager l'énergie avec le propriétaire d'une installation située à un autre endroit. Pour une installation collective, il faut une majorité des deux tiers des copropriétaires, bonne chance, je dirais ; en tant que locataire, vous devriez éventuellement essayer de convaincre votre propriétaire. Quant au partage de l'énergie, il n'est guère attrayant parce qu'il est complexe, lourd et surtout coûteux. Il est possible d'avoir une petite installation photovoltaïque en Belgique, mais il faut suivre les mêmes procédures que pour les grandes installations traditionnelles. Avec un raccordement fixe à un groupe séparé dans l'armoire de distribution, les inspections et la bureaucratie nécessaires, les coûts augmentent considérablement et vos bénéfices fondent comme neige au soleil. Cependant, il y a une lueur d'espoir : à partir de mai 2025, les panneaux solaires à brancher devraient - enfin - être autorisés en Belgique. La question est bien sûr de savoir à quel point les conditions et les modalités seront strictes. Avec un peu de malchance, vous devrez être en mesure de présenter un rapport d'inspection de votre installation électrique, et vous risquez de vous voir imposer un compteur « intelligent ». Ce compteur intelligent n'a pas cessé de faire parler de lui ces derniers temps, tout d'abord en raison du retour en arrière virtuel ou non pour les propriétaires de panneaux solaires, puis dans le contexte



Figure 1. Centrale photovoltaïque pour balcon - interdite dans un pays, subventionnée dans un autre. Source : Adobe Stock / Ronald Rampsch.



Figure 2. Même les grandes entreprises ont commencé à petite échelle. Source : Adobe Stock / Gorodenkoff.

de l'introduction du tarif de capacité. Avec ce tarif, votre compteur intelligent devient plus un radar qu'un simple outil de mesure, vous facturant impitoyablement chaque fois que vous activez quelques appareils de trop en un moment d'inattention.

Et la réglementation sur le compteur de recul, dont les propriétaires de panneaux solaires pouvaient bénéficier pendant 15 années supplémentaires, a été rejetée par la Cour constitutionnelle en 2021 parce que le gouvernement flamand avait outrepassé ses compétences. Après de vives protestations, ce même gouvernement a été contraint d'indemniser les propriétaires de panneaux solaires dupés.

Flipflop

Vous connaissez sans doute le mathématicien et informaticien Edsger Dijkstra [4] qui s'est insurgé contre l'utilisation excessive des instructions `goto` dans les langages de programmation avancés [5]. Pendant ma formation, l'interdiction des instructions `goto` était imposée pour éviter une « programmation spaghetti » désordonnée. Les politiciens, qui ont généralement une formation juridique, semblent dans leur domaine ne pas voir d'inconvénient à des lois improvisées et mal réfléchies. Ils

agissent souvent sous le coup de l'émotion ou en fonction de politiques éclairés, ce qui donne lieu à des lois floues et incohérentes, que l'on pourrait qualifier de « législation en mode flip-flop ». Les primes pour les voitures électriques, par exemple, ont déjà été introduites puis supprimées à deux reprises, et en raison de revirements législatifs, les utilisateurs de voitures électriques de société qui les rechargent chez eux devront bientôt payer beaucoup plus de taxes. La Belgique n'a pas le monopole des absurdités, et aux Pays-Bas, j'entends des rumeurs selon lesquelles les opérateurs de réseau augmentent secrètement la tension des transformateurs de quartier afin de limiter l'alimentation par les panneaux solaires. En Zélande, une expérience a même été lancée, dans le cadre de laquelle on demande aux propriétaires d'éteindre leurs panneaux solaires les jours ensoleillés, en échange d'une indemnisation. Cela ne pourrait pas devenir plus absurde, surtout après des années à inciter les gens à installer des panneaux solaires coûte que coûte.

Paternalisme

Le gouvernement s'imisce de plus en plus dans tous les aspects de notre vie, et malheureusement cela va au-delà de l'énergie, de

notre maison, des systèmes de chauffage et de la voiture que nous conduisons. De même, la vente de nombreuses substances « dangereuses » aux particuliers a été restreinte. Même la soudure à base de plomb devient de plus en plus difficile à trouver, certains fournisseurs européens ayant déjà cessé de la vendre aux particuliers sous prétexte qu'elle contient du plomb. Imaginez travailler sur de vieux équipements électroniques en tant qu'amateur. Ce genre de micromanagement freine également l'esprit d'entreprise, car de nombreuses entreprises commencent modestement, parfois avec quelques étudiants ayant identifié une opportunité de marché et travaillant sur un produit dans un garage (Figure 2). Même des géants comme Microsoft, Google [6], HP et Amazon ont commencé de cette manière [7].

Le site web « Nanny State Index » [8] dresse un tableau du paternalisme des différents gouvernements en matière d'alimentation, de boisson, de tabagisme et de vapotage et, en ce qui me concerne, il pourrait être élargi à d'autres critères. Je me permets de plaider pour moins d'ingérence, des réglementations moins nombreuses et plus claires et, surtout, une plus grande sécurité juridique. Personne ne peut s'y opposer. ◀

240608-04

LIENS

- [1] Thomas Scherer, « centrale solaire sur balcon », *Elektor* 9-10/2021 : <https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-184/59877>
- [2] Thomas Scherer, « Optimisation des centrales solaires sur balcon », *Elektor* 1-2/2024 : <https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-327/62665>
- [3] VRT nws: Are solar panels on your balcony a good idea? : <https://www.vrt.be/vrtnws/en/2022/10/18/are-solar-panels-on-your-balcony-a-good-idea/>
- [4] Wikipedia: Edsger Dijkstra : https://en.wikipedia.org/wiki/Edsger_W._Dijkstra
- [5] Mathematics & Computer Science Centre: Edsger Dijkstra: Go To Statement Considered Harmful : <https://homepages.cwi.nl/~storm/teaching/reader/Dijkstra68.pdf>
- [6] Inside Google's original garage, 1998-style : <https://blog.google/products/maps/inside-googles-original-garage-1998-style/>
- [7] Business Pundit: 11 famous garage startups that now rule the world : <https://www.businesspundit.com/11-famous-garage-startups-that-rule-the-world/>
- [8] The Nanny State Index : <https://nannystateindex.org/>

DRÔLES DE COMPOSANTS

LA SÉRIE

redresseurs au mercure

David Ashton (Australie)

Avant l'avènement des redresseurs à semi-conducteurs haute puissance, la conversion du courant alternatif en courant continu représentait un véritable défi dans les secteurs industriels et des transports. Les dispositifs utilisés étaient volumineux et délicats, et incorporent également des matériaux hautement polluants et exigeaient une maintenance régulière.

Les redresseurs – ce sont en fait des diodes, n'est-ce pas ? Effectivement, mais il ne s'agit pas des mêmes diodes que celles que vous utiliseriez dans une radio à cristaux, ou même pour alimenter votre Raspberry Pi. Et certainement pas celles que vous avez intégrées dans cet amplificateur ultra-puissant de 200 W par canal que vous avez assemblé. Pensez plutôt aux trains électriques, aux systèmes de métro, aux émetteurs de radiodiffusion. On parle de dispositifs de grande envergure.

Mercure liquide

Les redresseurs au mercure utilisent une propriété particulière où une cuve de mercure liquide avec un peu de vapeur de mercure sert de cathode. Il est possible de générer un arc électrique depuis une anode de carbone située au-dessus, mais le processus ne fonctionne pas dans le sens inverse.

Cela permet le redressement. Ce principe est suffisamment lié à l'électronique pour justifier l'inclusion de ces composants dans cette rubrique, bien qu'ils ne soient pas typiquement utilisés dans des projets Elektor.

Les redresseurs au mercure ont été inventés en 1902 par Peter Cooper Hewitt, un ingénieur électricien américain qui avait inventé les lampes à vapeur de mercure (les ancêtres de nos lampes fluorescentes) en 1901. Ils ont été développés au début des années 1900 et sont rapidement imposés comme la solution préférée pour la rectification de courants à haute tension et à fort ampérage, grâce à une tension d'arc située entre 20 et 30 V et une construction remarquablement simple, ce qui les rendait à la fois efficaces et fiables. Utilisés jusqu'à la fin des années

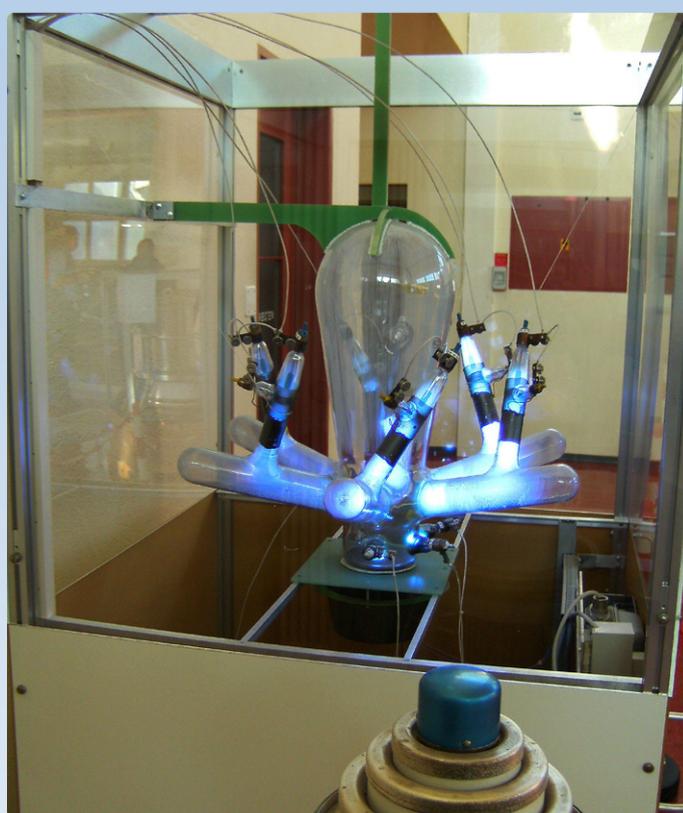


Figure 1. Un redresseur au mercure à 6 phases et à haute puissance en fonctionnement. (Source : Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quecksilberdampfgleichrichter_in_Betrieb.JPG)

1970, ces redresseurs ont été progressivement remplacés par des redresseurs à semi-conducteurs et des thyristors capables d'accomplir les mêmes tâches. Certains ont été utilisés jusqu'en 2012. La **figure 1** illustre un redresseur typique à 6 phases.

Électrode d'allumage

L'allumage doit être déclenché par une électrode d'allumage, qui doit généralement entrer brièvement en contact avec le mercure. Cela peut se faire de différentes manières, notamment par des électro-aimants, des bilames, etc. Une fois que l'arc électrique a été déclenché pour provoquer la formation de vapeur de mercure, le redressement peut commencer.

La plupart des redresseurs au mercure étaient à 3 ou 6 phases, mais

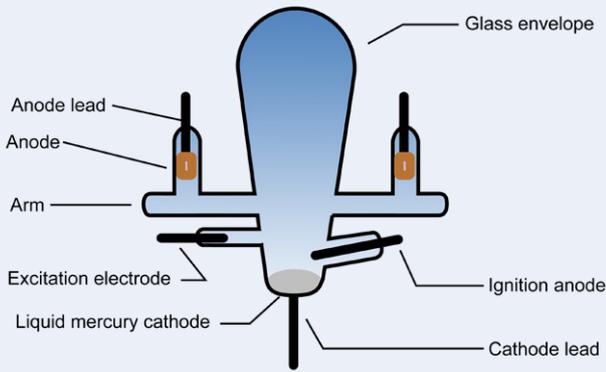


Figure 2. Schéma fonctionnel d'un redresseur au mercure.
(Source : Wikimedia commons, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4577899>)

les redresseurs monophasés nécessitaient l'utilisation d'une électrode d'excitation pour maintenir le processus actif. L'ensemble est construit dans une grande ampoule de verre, facilitant la condensation de la vapeur de mercure qui retombait ensuite vers le bassin cathodique. La construction d'un redresseur typique est détaillée dans la **figure 2**. Un redresseur typique à 6 phases de 150 A, mesurait environ 600 mm de hauteur et environ 300 mm de diamètre. Pour des intensités supérieures à 500 A, des réservoirs en acier étaient utilisés avec des isolateurs en céramique pour les électrodes, et ils pouvaient supporter des courants de plusieurs milliers d'ampères. Des calibres supportant des tensions allant jusqu'à plusieurs kV étaient disponibles, et pouvaient atteindre des valeurs encore plus élevées avec des techniques de

construction spéciales, mais ils nécessitaient une maintenance régulière. Les arcs émettent une quantité significative de lumière ultraviolette, exposant les travailleurs à des risques de brûlures similaires à des coups de soleil lorsqu'ils opèrent à proximité. De plus, le bruit émis par ces arcs et les transformateurs associés est considérable. Le mercure, étant hautement toxique, nécessite souvent des opérations de nettoyage approfondies pour en éliminer les traces lors du démantèlement. ◀

240624-04

Questions ou commentaires?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



À propos de l'auteur

David Ashton est né à Londres, a grandi en Rhodésie (aujourd'hui Zimbabwe), a vécu et travaillé au Zimbabwe et vit aujourd'hui en Australie. Il est passionné d'électronique depuis son plus jeune âge. Évoluant dans un pays peu centré sur l'électronique, il a rapidement développé des compétences en adaptation et en substitution de composants, des aptitudes dont il est toujours fier. David a dirigé un laboratoire d'électronique et a principalement œuvré dans le secteur des télécommunications.

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

elektor.fr

Réactivité d'elektor
Tout va plus vite chez elektor, expédition, suivi des commandes, communications !!!
Un véritable service à la carte !!!
Bravo !!!
Date of experience: June 04, 2024

Prix très compétitifs et livraison...
Prix très compétitifs et livraison rapide
Date of experience: May 11, 2024

Aucun problème
Aucun problème. Délai de livraison court et respecté. Suivi de livraison détaillé. Contenu correspondant à la commande. État et fonctionnement des produits parfait. Aucun défaut. Je recommande.
Date of experience: May 25, 2024

Produits disponibles
Produits disponibles, bonne description, envoi rapide et soigneusement emballé, nickel.
Date of experience: May 10, 2024

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**

Elektor Store
Reviews 365 • Excellent
★★★★★ 4.3
VERIFIED COMPANY

Consultez d'autres avis sur notre page Trustpilot : www.elektor.com/TP/fr



Vous pouvez également vous faire votre propre opinion en visitant notre Elektor Store, www.elektor.fr



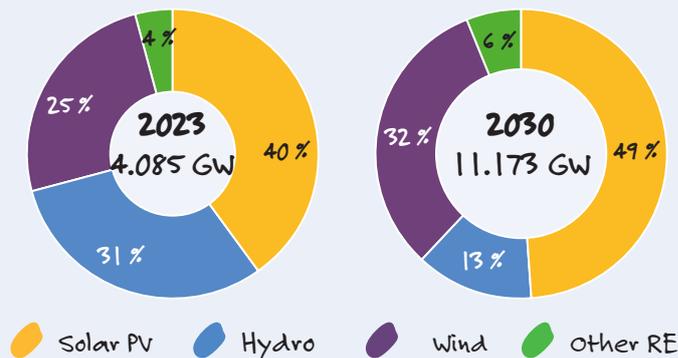
Le marché mondial de l'énergie solaire : un avenir lumineux en perspective pour 2030

Le marché de l'énergie solaire est en plein essor, bénéficiant d'une évolution constante dans le secteur. Selon les projections de l'IRENA, dans le cadre de son scénario 1,5°C, la capacité de production d'énergie renouvelable devrait plus que doubler d'ici 2030 (voir l'encadré de la page suivante). Le photovoltaïque représentera 49 % de la capacité totale, contre 40 % en 2023 [1]. Cela se traduit par une augmentation de 4 085 GW en 2023 à 11 173 GW d'ici 2030, avec une moyenne de 558 GW ajoutés chaque année.

Défis et opportunités

La réalisation des objectifs de 2030 exige des innovations et des investissements importants. Le maintien de la dynamique actuelle du secteur solaire repose sur des avancées continues dans des technologies clés telles que les panneaux solaires bifaciaux, les installations photovoltaïques flottantes et les systèmes énergétiques optimisés par IA. Ces progrès technologiques permettront d'améliorer significativement l'efficacité et l'intégration de l'énergie solaire, assurant ainsi sa place prépondérante dans le futur des énergies propres.

Capacité mondiale de production d'électricité renouvelable installée dans le scénario 1,5°C, 2023 et 2030 [1].

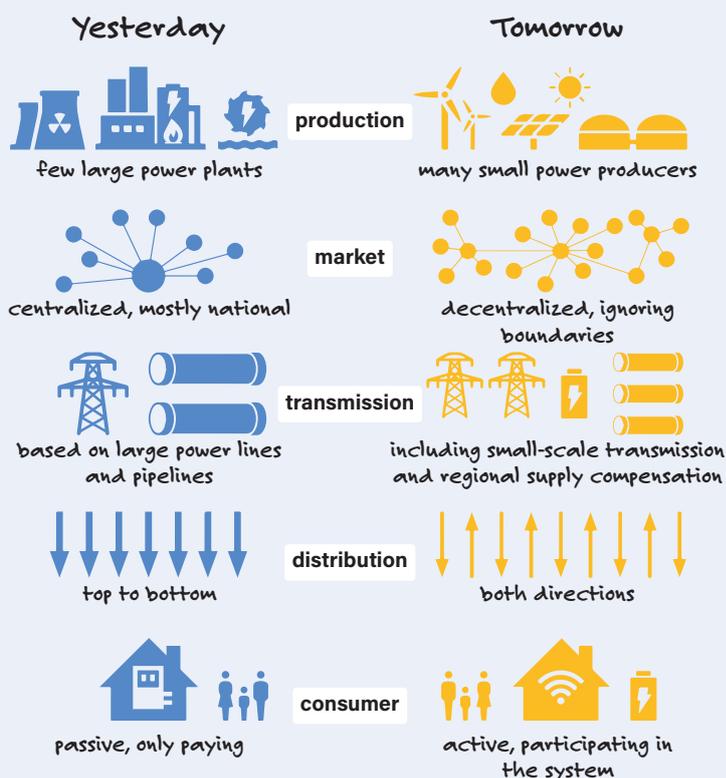


Source : SolarPower Europe (2024), IRENA (2024)

Énergie solaire : les innovations qui façonnent l'avenir

- Cellules solaires en pérovskite : Ces alternatives économiques et efficaces aux cellules en silicium transforment l'accessibilité à l'énergie solaire. Avec des rendements atteignant jusqu'à 25 % en laboratoire, ces cellules sont en passe de devenir les piliers des technologies solaires de demain.
- Panneaux solaires transparents : L'intégration de panneaux photovoltaïques dans les fenêtres offre un moyen révolutionnaire de récolter de l'énergie tout en préservant l'esthétique. Les premiers panneaux transparents atteignent des rendements de autour de 10 %.
- Fermes solaires flottantes : L'exploitation des étendues d'eau pour y installer des fermes solaires flottantes maximise l'usage des territoires tout en profitant d'un refroidissement naturel, ce qui augmente l'efficacité des panneaux.
- Systèmes énergétiques optimisés par l'IA : L'IA révolutionne la gestion des systèmes solaires en améliorant la précision des prévisions énergétiques, l'intégration au réseau et l'optimisation en temps réel.
- Peaux solaires : Offrant des possibilités de personnalisation des panneaux solaires, elles permettent une intégration idéale dans les conceptions résidentielles et commerciales, alliant fonctionnalité et esthétique [5].

Réseaux intelligents : la transition énergétique



Source : Bartz/Stockmar (M), CC BY 4.0

L'hydrogène : un pilier de la décarbonisation

L'hydrogène émerge comme un catalyseur essentiel pour les secteurs difficiles à électrifier, tels que l'industrie lourde et le transport longue distance. Selon l'IRENA, l'hydrogène pourrait répondre à 12 % des besoins énergétiques mondiaux dans le cadre du scénario 1,5°C [3], avec des applications couvrant les transports, la production d'électricité et le chauffage.

Cependant, les méthodes de production de l'hydrogène ont un impact environnemental très variable. L'hydrogène est qualifié de *gris*, *bleu* ou *vert* en fonction des émissions de CO₂ générées. Actuellement, 96 % de l'hydrogène produit mondiale-ment est issu de sources fossiles, (hydrogène *gris*), ce qui souligne la nécessité d'une transition rapide vers des méthodes

plus écologiques [4]. Les coûts de production élevés de l'hydrogène *vert* et les pertes d'énergie substantielles lors de la production, du stockage et de la conversion le rendent moins efficace que d'autres solutions telles que les batteries, tandis que l'augmentation de l'hydrogène *bleu* dépend de technologies coûteuses de capture du carbone.

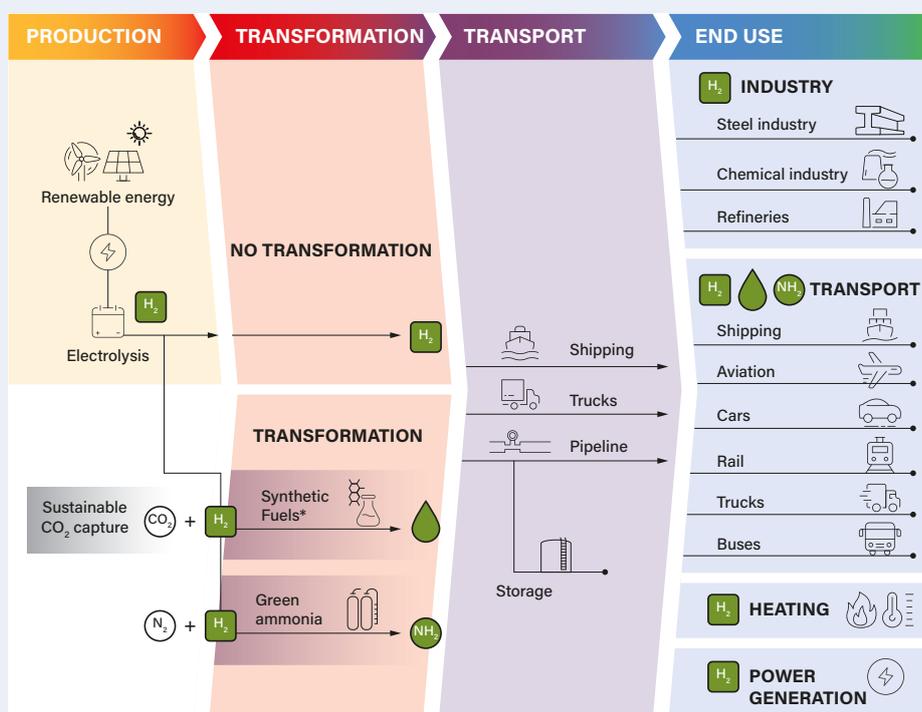
Production, conversion et utilisations finales de l'hydrogène vert. [3]

12 %

de la demande énergétique mondiale pourrait être satisfaite par l'hydrogène dans le cadre du scénario 1,5°C.

96 %

de l'hydrogène est produit à partir de combustibles fossiles (hydrogène gris).



Qu'est-ce que le scénario 1,5°C de l'IRENA ?

L'IRENA, ou Agence internationale des énergies renouvelables, est une organisation intergouvernementale qui promeut l'adoption et l'utilisation durable des énergies renouvelables dans le monde. Dans son rapport « Perspectives de transition énergétique mondiale », l'IRENA détaille le scénario 1,5°C, qui établit un plan d'action pour atteindre l'objectif climatique de maintenir l'augmentation des températures mondiales à 1,5°C d'ici 2050 [2]. Atteindre cet objectif nécessite d'importants investissements dans les technologies d'énergie propre, telles que l'énergie solaire, éolienne et les solutions de stockage, pour décarboner les systèmes énergétiques à l'échelle planétaire.

LIENS

- [1] SolarPower Europe, "Global Market Outlook," June 2024: <https://tinyurl.com/solar-outlook-2024>
- [2] IRENA, "World Energy Transitions Outlook 2024: 1.5°C Pathway," November 2024: <https://www.irena.org/Publications/2024/Nov/World-Energy-Transitions-Outlook-2024>
- [3] IRENA, Hydrogen: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>
- [4] Zurich, "How blue and green hydrogen can help solve the climate crisis," July 2024: <https://www.zurich.com/media/magazine/2022/is-hydrogen-the-fuel-that-can-save-our-planet>
- [5] Tamesol, "The Future of Solar Energy," January 2024: <https://tamesol.com/future-of-solar-energy/>

240640-04

surveillance des coupures de courant

Votre réseau est-il stable ?



Stefano Purchiaroni (Italie)

Dans les régions où le réseau électrique est instable et/ou où des enjeux de sécurité peuvent se poser, il est avantageux de disposer d'un circuit qui surveille continuellement le courant et signale les coupures à un système externe. Dans cet article, nous présentons deux solutions : une version analogique de base et une version numérique à base de microcontrôleur, pour surveiller la tension du réseau électrique domestique et d'enregistrer les interruptions de courant.

Ce circuit est conçu pour répondre à la nécessité de surveiller les interruptions de service électrique, qu'elles résultent des problèmes techniques - tels que la maintenance de l'infrastructure - ou d'actes malveillants comme la manipulation de l'interrupteur du compteur externe. Une telle action pourrait épuiser les batteries de secours du système d'alarme, exposant ainsi la maison à des risques. Le déclenchement d'une alarme dès qu'une déconnexion est détectée renforce la sécurité globale de la maison.

Pour minimiser les déclenchements inutiles, un délai, ou temps de tolérance, de quelques secondes a été intégré. Cela permet d'éviter les fausses alertes dues à des coupures de courant momentanées. Outre les fonctionnalités de base (voir **tableau 1**), la version numérique offre des options améliorées : elle enregistre les événements de chute de tension du secteur, permet de régler les temps d'alarme et de retard,

Tableau 1. Fonctions disponibles en version analogique et numérique.

Function	Analog	Digital
Delay (tolerance time) against short interruptions	×	×
Delay time adjustment	-	×
Alarm stop after a preset time	-	×
Alarm time adjustment	-	×
Counting and display of outages number	-	×
Selectable <i>pulse</i> or <i>permanent</i> activation	×	×
Signaling of mains power return	-	×

et désactive automatiquement le signal une fois le temps prédéfini écoulé. En outre, en intégrant deux commutateurs DIP sur le circuit imprimé, vous pouvez activer une alerte sonore et une notification de rétablissement du courant. Ces fonctions supplémentaires seront examinées en détail dans les sections suivantes.

Différences entre les versions analogique et numérique

Version analogique

Comme illustré dans le schéma de la **figure 1**, la section d'alimentation ne comprend pas de transformateur, contrairement à la version numérique. **Il est donc impératif de faire preuve de prudence lors des tests, étant donné que l'ensemble du circuit est directement connecté à la tension secteur, présentant un risque d'électrocution en cas de contact accidenté.** Pour la version numérique, ce danger est limité à la petite partie du circuit connectée au primaire du transformateur. **Toutefois, cette configuration exige également une vigilance accrue durant les phases de test.**

Après la section de redressement en courant alternatif et de limitation à 24 V DC, composée des diodes D1 à D4 et de la diode Zener D5, on note

la séparation de cette source de tension en deux fils. L'un se dirige vers la série D6-C2, l'autre vers la base de Q1. Le réseau de la série D6-C2 produit une sortie stabilisée de 23,3 V, utilisée pour activer le relais via le chemin 4-6 (*steady mode*) de l'interrupteur DPDT SW1. Lorsque la tension secteur fait défaut, le relais revient en position d'arrêt, fermant ainsi le contact COM-NC. Remarque : sur le schéma électrique, le relais est dessiné dans son état hors tension, ce qui signifie que l'alarme est activée. Ceci n'est valable que lorsque SW1 est en *Steady Mode*, dans la position représentée sur le schéma. Dans l'autre position de l'interrupteur (4-3/5-2/*Pulse mode*), le relais n'est excité que pendant 1 à 2 secondes (ce qui signifie que l'alarme est activée).

En mode continu, lors d'une coupure de la tension secteur, l'alarme s'active après un délai d'environ 3 à 4 secondes, délai nécessaire pour la décharge de l'énergie accumulée dans le grand condensateur électrolytique C2. Au rétablissement du courant, la désactivation de l'alarme prend place après environ 2 secondes, le temps que le condensateur C2 se recharge et atteigne une tension suffisante pour réactiver le relais.

Le condensateur C5, initialement déchargé, permet une activation instantanée du relais à pleine tension. Une fois chargé, le courant nécessaire à maintenir le relais activé est fourni par la résistance R5, légèrement réduite, mais toujours suffisante pour garder les contacts du relais fermés. Cette configuration assure une alimentation en sous-régime du relais la plupart du temps, contribuant ainsi à prolonger significativement sa durée de vie.

Le relais utilisé doit être de type DPDT, équipé d'une bobine de 24 V et d'une résistance interne de 1 600 Ω. Les déconnexions du réseau d'une durée inférieure à celle du délai mentionné précédemment ne déclencheront pas l'alarme, car le condensateur C2 ne se déchargera pas assez pour que la tension fournie au relais tombe en dessous de son seuil de coupure, V_{off} qui a été expérimentalement mesuré à environ 4 V. Ce dispositif de temporisation est essentiel pour prévenir les fausses alarmes causées par de courtes interruptions de courant. Dans cette version analogique, le temps de retard n'est pas ajustable, ce qui constitue une limitation. Un autre désavantage notable concerne

la durée de l'alarme : une fois que le condensateur C2 est complètement déchargé et en l'absence persistante de tension secteur, le relais s'éteint de façon permanente, ce qui maintient l'alarme activée indéfiniment. Il est donc nécessaire d'implémenter une gestion du temps maximum en aval du circuit, soit intégrée dans la sirène, soit par le biais d'un autre dispositif de contrôle adapté.

En plus du mode de signalisation continue, un mode impulsif d'environ 2 secondes peut être activé par la sélection de l'autre position du commutateur SW1 (contacts 5-2 et 4-3 fermés). Lorsque la tension du secteur est interrompue, le condensateur C3 se décharge progressivement, diminuant ainsi la tension à la base du transistor Q1 jusqu'à le rendre conducteur. À ce stade, Q1 permet le passage du courant issu de C2 vers le relais, via C4. Cette configuration alimente le relais, ce qui déclenche alors l'alarme.

Après environ une demi-seconde, C4 est entièrement chargé, ce qui entraîne une diminution du courant traversant la bobine du relais jusqu'à ce que ce dernier soit désactivé, environ 2 secondes plus tard. Les valeurs des condensateurs et des résistances ont été soigneusement calculées pour garantir que la charge de C2 puisse maintenir le cycle complet. Lorsque la tension secteur sera rétablie, Q1 cessera de conduire, le relais restera dans son état initial, et C2 se rechargera, se préparant ainsi pour les cycles suivants.

Notez le rôle important de la diode D6 dans ce mode, qui agit comme un « clapet anti-retour » empêchant la base de Q1 de rester élevée en raison de la charge accumulée dans C2, et le relais de rester éteint.

Version numérique

La version numérique présente une complexité accrue, comme le montre clairement le schéma de la **figure 2**. Le circuit est alimenté par un transformateur délivrant une sortie de 6 V, qui est connectée à deux ponts redresseurs, BR1 et BR2. Le deuxième pont est suivi d'une section de stabilisation comprenant le condensateur C3, un régulateur de tension linéaire de 5 V, U1, et le condensateur C4 en sortie. Cette configuration alimente le microcontrôleur U2, un PIC16F1827 polyvalent de Microchip. En cas de coupure de la tension secteur, le supercondensateur

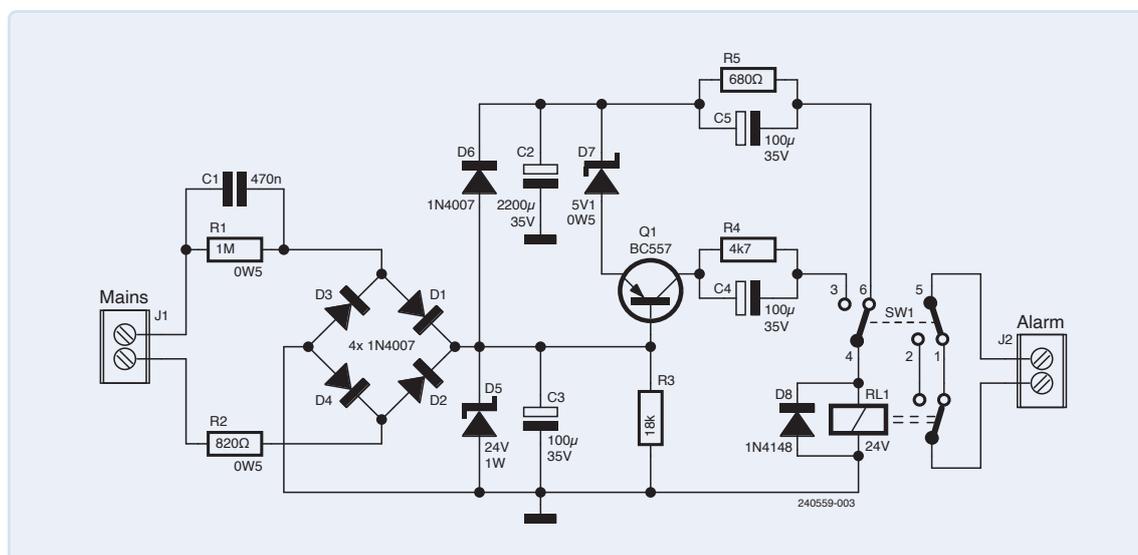


Figure 1. Schémas de la version analogique.

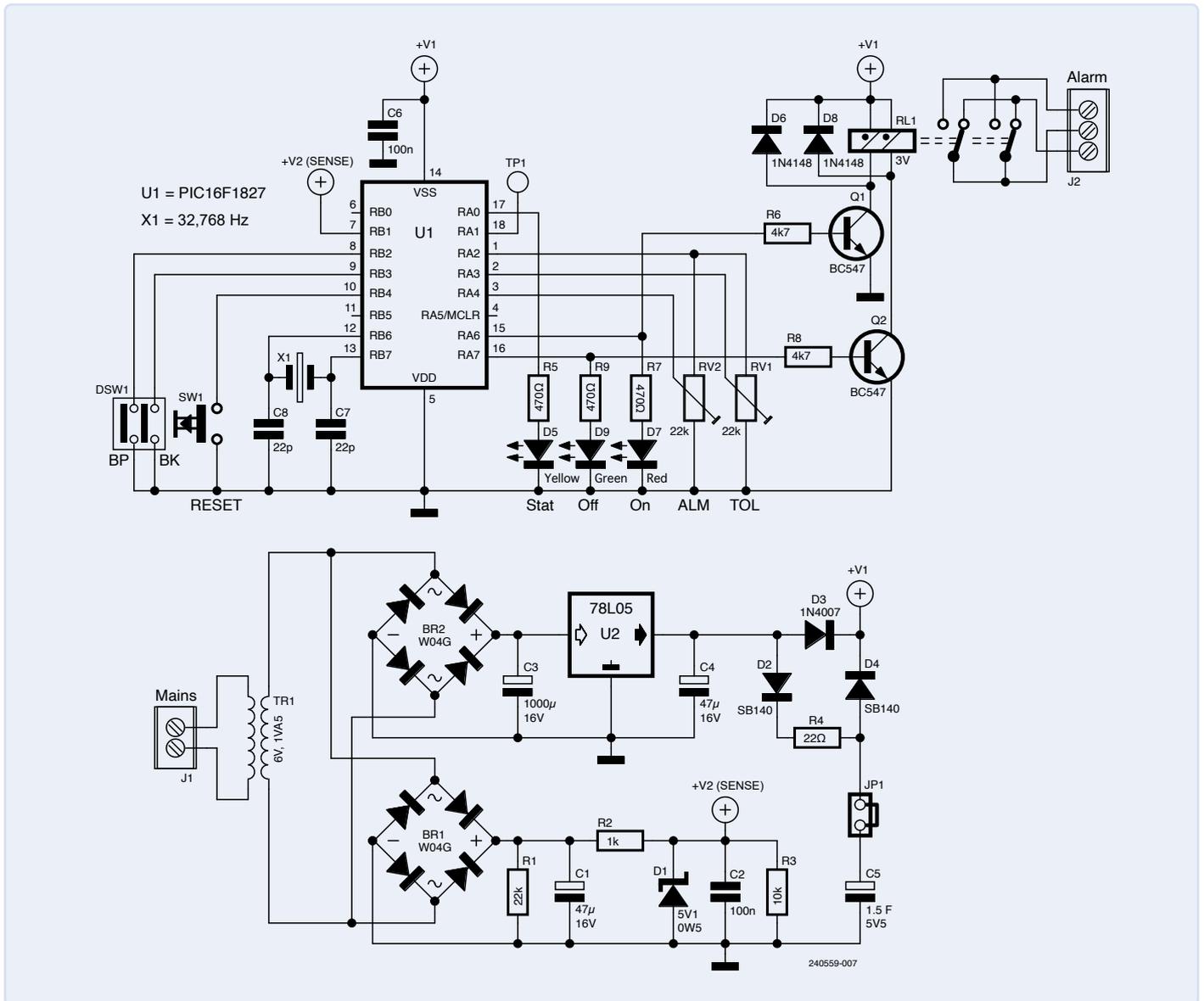


Figure 2. Schéma de la version numérique basée sur un microcontrôleur.

C5, d'une capacité de 1,5 F, continue de fournir l'énergie nécessaire au PIC pour une durée prolongée. La gestion de ce supercondensateur est assurée par les diodes de blocage D2, D3 et D4, qui le protègent en conditions normales tout en permettant sa recharge.

Notez le cavalier JP1, conçu pour permettre le retrait et la reprogrammation du PIC sans qu'il soit alimenté par le supercondensateur. Afin de limiter les chutes de tension, les diodes D2 et D4 sont de type Schottky, caractérisées par une faible tension de seuil directe VDS de seulement 0,2 V. Cette configuration permet de charger le supercondensateur C5 jusqu'à une tension de 4,8 V, offrant ainsi 4,6 V pour l'alimentation de secours du PIC. Il est important de souligner que la tension minimale de fonctionnement de ce modèle de PIC est de 2,8 V. Lorsque le circuit est alimenté par le supercondensateur, la consommation du microcontrôleur est réduite grâce à l'activation du mode « Nanowatt », une fonctionnalité de Microchip présente sur la plupart

de ses microcontrôleurs. Ce mode place le contrôleur dans un état de faible consommation où seul l'oscillateur de 32 768 Hz reste actif, reprenant l'exécution du code uniquement lors des interruptions générées par le timer associé à cet oscillateur.

Les interruptions réveillent le microcontrôleur chaque seconde pour exécuter le programme, principalement afin de compter les secondes écoulées et de déterminer si c'est le moment d'activer le relais. Cette décision est prise en comparant le compteur de secondes avec les valeurs lues sur les deux trimmers résistifs, RV1 et RV2.

Une réduction supplémentaire de la consommation d'énergie est réalisée en connectant le côté positif des deux trimmers non directement à la tension d'alimentation, mais à la broche de sortie numérique RA2. Celle-ci est activée en niveau logique haut uniquement lors de la lecture des trimmers via les entrées analogiques AN3 et AN4 (broches 2 et 3 de U1, RA3 et RA4, respectivement).

La détection de la chute de tension du réseau est assurée par le circuit commençant à BR1, qui, bien qu'il ne dispose pas d'une grande capacité en aval, est muni d'un dispositif produisant 5,1 V en présence d'alimentation secteur. En cas de coupure, la tension à la sortie SENSE diminue rapidement, signalant l'événement à la broche d'entrée numérique RB1 (AN11). Cette dernière interprète une tension inférieure à 0,8 V comme un « 0 » binaire. Avec les valeurs des composants actuels, ce seuil est atteint environ une demi-seconde après la baisse de tension. L'ajout de la résistance optionnelle R3 peut réduire davantage ce délai. En fonction du niveau haut ou bas de la broche RB1, le logiciel de gestion active l'alarme, selon les réglages des deux potentiomètres RV1 et RV2, qui permettent d'ajuster le temps de retard entre 0 et 10 s, et le temps d'alarme de 0 et 2 min.

Comme indiqué précédemment, le comptage des secondes est réalisé par l'oscillateur interne à basse consommation du PIC, qui utilise un petit cristal externe de 32,768 Hz, X1. Pour réduire davantage la consommation d'énergie, le relais sélectionné est un modèle bistable 3 V à double bobine DPDT. Les deux séries de contacts de ce relais sont connectées en parallèle afin d'augmenter la capacité de transport de courant, sans toutefois excéder 5 A.

Les bobines d'allumage et d'extinction du relais sont contrôlées par les transistors Q1 et Q2, dont les bases sont connectées aux broches RA6 et RA7 du PIC. Ainsi, le microcontrôleur peut activer ou désactiver le relais par de brèves impulsions positives sur ces broches. De plus, le circuit intègre un double interrupteur DIP connecté à cette puce, permettant d'activer les fonctions optionnelle *Beep* et *Back*.

La fonction *Beep* limite la durée de l'alarme à environ une seconde, offrant ainsi un avertissement bref mais intense aux occupants de la maison, par exemple pour signaler une baisse de tension sans causer de nuisances aux voisins. La fonction *Back*, quant à elle, émet deux impulsions brèves pour indiquer le rétablissement de la tension secteur. Cependant, l'utilisation de cette fonction est contrainte par la capacité du supercondensateur C5 à fournir de l'énergie, qui est d'environ deux heures.

Enfin, il convient de mentionner le bouton SW1 et la LED D5. Cette dernière a pour fonction d'indiquer, par de brefs clignotements, les chutes de tension survenues. Par exemple, si deux coupures de courant ont eu lieu, la LED D5 effectuera un cycle de deux clignotements, suivi d'une pause d'environ 3 secondes.

Pour remettre le compteur à zéro, il suffit d'appuyer sur le bouton de *Reset* SW1. Ce bouton permet aussi un redémarrage complet du PIC et une désactivation forcée du relais, ce qui s'avère utile en cas de dysfonctionnement. De plus, les deux LED, D7 et D9, signalent respectivement l'activation et la désactivation du relais. Si ces signaux ne sont pas suivis du cliquetis caractéristique du relais, cela peut indiquer une défaillance de ce composant électromécanique.

Logiciel

Concentrons-nous sur les fonctions principales, `SetAlm()`, `interrupt()`, et `main()`. La fonction `SetAlm` détaillée ci-dessous permet d'activer le dispositif d'alarme connecté aux bornes de sortie J2 par des impulsions directes au relais bistable. Le temps de persistance de l'impulsion vers les bobines de commande du relais est défini par la constante `RlyTim`, actuellement fixée à 200 ms. Les impulsions sont transmises aux bobines de commande du relais via les broches

RA6 et RA7 du microcontrôleur, qui les alimente à travers les transistors Q1 et Q2.

```
void SetAlm() {
// Activate the alarm and count the event in EEPROM

// Activate the alarm
  ALMOFF=0;
  ALMON=1;
  delay_ms(RlyTim);
  ALMON=0;
  curs = 0;      // Reset the second counter
}
```

La fonction `interrupt()` suivante constitue le point d'entrée de la routine de service d'interruption du PIC, ISR. Elle est invoquée par l'interruption générée par le Timer1 lorsque la seconde expire, même en mode basse consommation. Une sortie est fournie sur le circuit imprimé au point de test TP1 pour vérifier à l'aide d'un fréquencemètre ou d'un oscilloscope le fonctionnement de l'oscillateur.

Le niveau de TP1 bascule toutes les secondes, produisant un signal de 0,5 Hz. La masse pour la mesure est disponible sur le point de test étiqueté GND respectif. Le but principal de la procédure d'interruption est de compter les secondes écoulées en utilisant la variable 32 bits, `curs`. L'interruption pour le cycle suivant est à nouveau activée en aval de la fonction :

```
void interrupt() {
// Interrupt Service Routine.
// It is called every second by Timer1 overflow.

// ----- TMR1 -----
// Manage Timer1 overflow (each 1s)
// to count seconds
  if (PIR1.TMR1IF == 1) {
    CLKOUT ^= 1; // Provide 0.5 Hz to Pin 1
                // for checks
    curs++;     // Update the current
                // second counter
    TMR1H = TMR1H_INI; // Reload counter high byte
    TMR1L = TMR1L_INI; // Reload counter low byte
    PIR1.TMR1IF = 0; // Clear TMR1 Interrupt flag
  }
}
```

Après la configuration du matériel et l'initialisation des variables, la fonction `main()` gère les événements selon la logique d'un automate à états finis. L'état actuel de l'automate est défini dans la variable `Mode`. Tout d'abord, l'appui sur le bouton SW1 est vérifié, pour remettre à zéro le compteur d'événements et pour redémarrer le microcontrôleur via l'instruction assembleur `reset`.

Lors de la première mise sous tension avec un microcontrôleur vierge, et seulement dans ce cas, il sera nécessaire d'appuyer sur le bouton SW1 pour mettre à zéro le compteur d'alarmes dans l'EEPROM. Lors de l'exécution de `setup()`, suite à l'appui sur le bouton, il sera également

forcé d'éteindre le relais de contrôle d'alarme, au cas où (pour une raison quelconque) il serait resté actif.

Les événements d'activation d'alarme sont comptés dans la variable `AlmCnt`. Notez que - dans le cas où le retour de la tension secteur est très tardif et que la capacité de soutien des opérations fournie par le supercondensateur C5 est dépassée - afin de ne pas perdre le comptage des alarmes, la valeur de `AlmCnt` est sauvegardée dans l'EEPROM. La fonction `setup()` exige qu'elle soit lue à nouveau lors du redémarrage du microcontrôleur :

```
void main() {  
  
    setup();          // Initialization  
  
    while(1) {       // Forever Loop  
  
        if (Button(&PORTB,4,1,0)){  
            // Reset button pressed  
            STSLED = 1;  
            Delay_ms(500);  
            STSLED = 0;  
            AlmCnt = 0;  
            EEPROM_Write(CNTADDR, AlmCnt);  
            // Raz the Alarms counter in EEPROM  
            curms = 0;  
            // Raz the elapsed ms for Blink cycle  
            BlkSts = 0; // Reset the Blink automaton  
            {asm{reset}}; // Reset the MCU  
            // (the program will restart)  
        }  
    }  
}
```

Dans l'extrait suivant, on lit les tensions sur les broches analogiques connectées au curseur des deux trimmers résistifs, dédiées au réglage des temps de retard et d'alarme. La lecture est rendue possible en activant le côté chaud des deux trimmers via la broche de sortie numérique RA2, appelée ici `DIVPOW`.

Le microcontrôleur disposant d'un convertisseur A/N de 10 bits, les deux lectures consisteront en une valeur comprise entre 0 et 1 023, entre des limites définies par des paramètres configurables qui limitent par défaut le temps de retard entre 0 à 10 secondes, et le temps d'alarme entre 0 à 2 minutes.

Dans l'état par défaut `Mode_SBY`, contrôlé par le bloc qui suit, l'automate attend l'événement de chute de tension du secteur, communiqué par la ligne `SENSE` via la broche `RB1 (AN11)` référencée ici en utilisant la définition de `POWER`. Si elle passe au niveau logique 0, alors le comptage des secondes démarre, mettant le PIC en mode basse consommation. Il faut garder à l'esprit qu'à partir de ce moment, l'alimentation est fournie uniquement par le supercondensateur C5.

Le nouvel état est `Mode_TOL` :

```
// Automaton  
switch (Mode) {  
    case Mode_SBY: // Nominal Mode.  
        // Wait for a Power Down event
```

```
if (POWER == 0) { // The Main power gone down,  
    // the MCU is powered just by supercap!  
    curs = 0; // Start seconds count  
    STSLED = 0; // Force Status Led off  
    Mode = Mode_TOL;  
    // Enter the Tolerance Mode  
}  
break;
```

Dans l'état `Mode_TOL` traité dans la section suivante, l'un des deux événements possibles est attendu : le retour de la tension secteur avant l'expiration de la temporisation, pour revenir à l'état `Mode_SBY` ou le dépassement de ce délai.

La condition à remplir pour ce dernier cas est légèrement compliquée par la gestion du mode optionnel `Beep` activé via le premier des deux interrupteurs DIP. Selon l'état de ce commutateur, on sélectionnera soit le temps limite `ttol` défini d'abord par la lecture du trimmer `RV1`, soit le temps `MinTol` fixé par les définitions initiales des codes, correspondant à 2 s. Le dépassement du temps limite fait passer l'automate dans l'état `Mode_ALM`.

La suite du code est toujours liée à l'interruption du `Timer1`, puisqu'il continue à fonctionner en mode basse consommation :

```
case Mode_TOL: // Waiting ttol time  
// before activating the alarm  
  
if (POWER == 1) { // Mains is back  
    // before the alarm activation  
    Mode = Mode_SBY; // Just go  
    // back to Standby Mode  
} else { // Check end  
    // of Tolerance time  
if ( ((BeepMode==FALSE)&&(curs>=ttol))  
||((BeepMode==TRUE)&&(curs>=MinTol)) ) {  
    SetAlm(); // Start the  
    // alarm,  
    IncAlm(); // Increment  
    // the alarms counter,  
    Mode = Mode_ALM; // Enter in  
    // the Alarm Mode  
}  
}  
break;
```

Cette partie gère l'état `Mode_ALM`. Elle attend le retour de la tension secteur pour réinitialiser l'alarme et revenir en Standby en sortant définitivement du mode basse consommation. Soit on attend l'expiration du temps maximum d'alarme, choisi parmi la valeur `talM` fixée par la lecture analogique du trimmer `RV2`, ou parmi la valeur `MinAlm` pré-réglée à 1 s au début du programme. Il reste en basse puissance dans ce cas, pour gérer le retour de la tension de ligne à l'état `Mode_BACK` :

```
case Mode_ALM: // Wait talM seconds before  
// to stop the alarm  
if (POWER == 1) { // Mains is back during Alarm
```



Listage 1. Main Blink Sequence and Mains Monitoring Routine.

```
// On power presence, signal the occurred alarms (one blink per each alarm)
if ((POWER == 1) && (AlmCnt > 0)) {
  switch (BlkSts) {
  case 0:          // Initialize a new Blinks cycle
    n = AlmCnt;
    STSLED=1;
    curms = 0;          // Start ms counting
    BlkSts = 1;        // Go to "Wait to turn off the LED"
    break;
  case 1:          // Wait CNTBLINK ms to turn off the LED
    if (curms >= CNTBLINK) {
      STSLED=0;
      n--;           // Decrement residual Blinks counter
      curms = 0;    // Start ms counting
      if (n > 0) BlkSts = 2; // Go to "Wait to turn on the LED"
      else      BlkSts = 3; // Go to "Wait for next Blinks cycle"
    }
    break;
  case 2:          // Wait CNTBLINK ms to turn on the LED
    if (curms >= CNTBLINK) {
      STSLED=1;
      curms = 0;          // Start ms counting
      BlkSts = 1;        // Go to "Wait to turn off the LED"
    }
    break;
  case 3:          // Wait CNTINTERV for next Blinks cycle
    if (curms >= CNTINTERV) {
      curms = 0;          // Start ms counting
      BlkSts = 0;        // Initialize a new cycle
    }
    break;
  }
  if (BlkSts > 0) curms += TIC; // Increment the elapsed time counter (ms)
}

#ifdef LOWPOW
// If no external power is present, go in Low Power Mode
if (POWER == 0) {asm{sleep};} // Sleep. Awake on Timer1 interrupt.
#endif
Delay_ms(TIC); // Introduce a cycle delay
```

```
ResetAlm(); // Stop the alarm
if (BackMode==TRUE) Signal(); // Signal "Mains is back" if requested
Mode = Mode_SBY; // Manage the Power Up event
} else { // Check end of Alarm time
  if ( ((BeepMode==FALSE)&&(curs>=tal)) || ((BeepMode==TRUE)&&(curs>=MinAlm)) ) {
    ResetAlm(); // Suspend the alarm
    Mode = Mode_BACK; // Wait for the
                    // Power Up event
  }
  break;
}
```

En `Mode_BACK`, il attend le retour de la tension secteur et signale l'événement en déclenchant l'alarme pendant deux brèves impulsions

consécutives si le commutateur DIP *Back le* permet. Jusqu'au retour du réseau, le PIC reste en mode basse consommation :

```
case Mode_BACK: // Waiting for the mains power
                // to come back again

    if (POWER == 1) { // Mains
                        // is back: exit to Standby mode
        ResetAlm(); // Force
                    // alarm off
        if (BackMode==TRUE) Signal();
                    // Signal "Mains is back" if requested
        Mode = Mode_SBY;
    }
    break;
```

Après l'automate principal, un deuxième automate à quatre états a été implémenté uniquement pour gérer D5 connecté à RA0.

Cette LED est destinée à indiquer le nombre actuel d'événements de chute de tension d'une durée supérieure à la temporisation. Le compteur `AlmCnt` peut être remis à zéro en appuyant sur le bouton SW1, géré dans les premières lignes de code du cycle principal, vu ci-dessus. La gestion des clignotements par un automate est dictée par la nécessité de ne pas interrompre le cycle principal avec de simples retards, qui bloqueraient toute autre action pendant leur exécution. Les durées d'éclats sont définies par les constantes `CNTBLINK` fixée à 200 ms, et `CNTINTERV`, qui définit la pause entre deux blocs d'éclats, fixée à 3 s (**Listage 1**).

Circuits imprimés

Pour les versions analogique et numérique, des circuits imprimés à simple face sans pontets ont été conçus, facilitant ainsi leur fabrication par les méthodes traditionnelles de photogravure ou de transfert à chaud. Ces conceptions simplifiées sont idéales pour les amateurs de bricolage électronique. Vous trouverez les fichiers Gerber nécessaires pour réaliser ces circuits vous-même sur la page Elektor Labs associée à cet article [1].

Assemblage

Dans la version analogique décrite dans le plan d'assemblage, le commutateur SW1, utilisé pour la sélection du mode, est connecté à un connecteur à six voies sur le circuit imprimé. Cela permet de brancher soit un interrupteur à levier, soit tout autre type d'interrupteur DPDT selon vos besoins. Quant à la version numérique, visible également sur le plan de montage, elle inclut l'installation d'un microcontrôleur sur socle, de deux trimmers miniatures pour ajuster les paramètres, d'un dip-switch à deux positions et d'un cavalier.

Le supercondensateur de 1,5 F est un composant spécialisé mais facile à trouver. Dans cette version, la sortie d'alarme, accessible via une borne à trois voies, permet à l'utilisateur de choisir entre une activation de type NC ou NO selon ses besoins. Cette option n'est pas disponible dans la version analogique en raison des contraintes du circuit. La version numérique offre une polyvalence accrue et une facilité d'utilisation supérieure à la version analogique, grâce à sa capacité de configurer la sortie d'alarme selon les exigences spécifiques de l'utilisateur. Néanmoins, la version analogique bénéficie d'une simplicité structurelle qui peut s'avérer avantageuse pour certaines applications ciblées. Le choix entre les deux versions dépendra donc des besoins spécifiques de l'utilisateur et des particularités du système de signalisation auquel l'appareil est destiné à être connecté. ◀

240559-04

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (info@purchiaroni.com), ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



À propos de l'auteur

Passionné d'électronique et de programmation, Stefano Purchiaroni partage ses travaux en publiant des projets, et propose également des cours de robotique gratuits pour les jeunes dans une école populaire. Il travaille actuellement pour Telespazio dans un centre satellite près de la capitale italienne.



Produit

> **Multimètre OWON XDM1141**
www.elektor.fr/20671



LIEN

[1] Ce projet sur Elektor Labs : <https://elektormagazine.fr/labs/mains-power-outages-monitor>

Douk Audio P6 mini Préamplificateur à tubes

Améliorez votre expérience audio avec le Douk Audio P6 mini préamplificateur à tubes, un mélange parfait de connectivité moderne, de qualité sonore HiFi et de charme vintage. Que vous soyez audiophile ou que vous commenciez tout juste votre voyage vers l'audio de haute qualité, ce préampli compact mais puissant offre tout ce dont vous avez besoin.



Prix : ~~74,95 €~~

Prix spécial : 59,95 €

www.elektor.fr/21014

Raspberry Pi 500

Le Raspberry Pi 500 (basé sur le Raspberry Pi 5) est doté d'un processeur Arm 64 bits quadricœur, d'un contrôleur d'I/O RPI, de 8 Go de RAM, d'un réseau sans fil, d'une sortie double affichage, d'une lecture vidéo 4K et un connecteur GPIO à 40 broches. C'est un ordinateur tout-en-un puissant et compact intégré dans un clavier portable.



Prix : 104,95 €

www.elektor.fr/21076

FNIRSI GC-02 Détecteur de rayonnement nucléaire (compteur Geiger)



Prix : 49,95 €

Prix (membres) : 44,96 €

www.elektor.fr/21046

M5Stamp Fly Quadcopter (avec M5StampS3)



Prix : 79,95 €

Prix (membres) : 71,96 €

www.elektor.fr/21008

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

