

Source : Freepik/tawatchai07

# régulateur de puissance PV simple

Réalisez votre premier système de gestion de l'énergie photovoltaïque entièrement fonctionnel

**Boris Landoni (Italie)**

Vous souhaitez depuis longtemps vous lancer dans un système complet de gestion de l'énergie, mais comme vous hésitez devant la complexité des conceptions existantes, en voici une pour commencer : simple, mais complète avec tout le nécessaire. On y trouve un contrôleur de charge de batterie et un régulateur de tension du côté de la charge.

Pour réaliser un bon système électrique solaire, il ne suffit pas d'un panneau photovoltaïque (PV) avec ou sans régulateur de tension, il faut aussi une ou plusieurs batteries pour stocker l'énergie pendant les heures de clarté et la restituer lorsqu'il n'y a plus assez de luminosité, voire plus du tout à la tombée de la nuit. La plupart des appareils alimentés par des panneaux PV doivent pouvoir fonctionner de manière stable, indépendamment de la présence de la lumière du soleil et du niveau d'irradiation, de sorte que la batterie (que nous appelons aujourd'hui « accumulateur ») est

évidemment nécessaire pour fournir de l'énergie lorsque le panneau n'en fournit plus. En outre, les batteries sont souvent indispensables pour une raison un peu moins intuitive mais réelle : comme elles peuvent stocker une certaine quantité d'énergie, plus ou moins grande selon leurs caractéristiques, elles peuvent fournir des courants bien plus élevés que ceux demandés aux panneaux solaires, tout en étant chargées par ces derniers. Pour donner un exemple, un panneau solaire capable de fournir un courant de 1 A ne pourra pas, à lui seul, alimenter un appareil

**Elettronica In**  
ELETTRONICA APPLICATA

qui consomme un courant plus élevé, par ex. 2 A. Toutefois, si une batterie de secours capable de fournir des courants plus élevés est connectée à ce circuit, le problème ne se pose pas : le panneau PV fournira toujours un courant de 1 A, tandis que la batterie fournira (pendant la décharge) les 1 A « manquants », si bien que la charge connectée sera alimentée correctement à 2 A. Il est clair que, dans ce cas, on ne peut pas s'attendre à ce que le dispositif alimenté fonctionne indéfiniment, puisque le courant fourni par le panneau solaire est inférieur au courant consommé par la charge. Par conséquent, dans ces conditions, l'autonomie du système dépendra de la capacité de la batterie. Pour revenir à l'exemple précédent, dans les conditions de fonctionnement décrites, une batterie de 13 Ah permettra au système de fonctionner pendant une durée (théorique) de 13 heures. En fin de compte, pour qu'un tel système soit stable et capable d'alimenter une charge en permanence, la taille du panneau PV, la capacité de la batterie et la charge prélevée devront être soigneusement évaluées au stade de la conception.

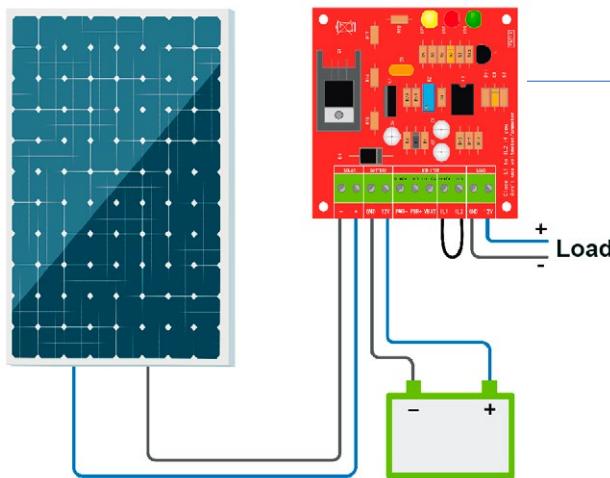


Figure 1. Câblage global du régulateur de puissance PV. Le régulateur arrête la charge lorsque la batterie est complètement chargée.

Ce projet, dont la **figure 1** illustre le schéma de câblage de base, ne se contente pas de réguler la charge de la batterie, en la maintenant lorsqu'elle atteint sa tension limite, mais gère également la charge, en connectant la batterie lorsque sa tension est suffisamment élevée pour faire fonctionner la charge en aval, et en la déconnectant lorsque sa tension devient trop faible. En résumé, notre

régulateur de charge est un gestionnaire de puissance complet pour le fonctionnement d'un système de panneaux solaires PV, et peut fonctionner en commandant des charges dont le courant total ne dépasse pas 5 A, valeur qu'il est possible d'augmenter en remplaçant simplement la diode D4 par un autre type de diode avec des courants nominaux plus élevés.

La conception du circuit, illustrée à la **figure 2**, consiste, en résumé, en un régulateur de courant composé d'un circuit comparateur et d'un MOSFET (Q1) qui absorbe le courant excédentaire ; en complément, un comparateur permet de connecter ou déconnecter le panneau et la batterie lorsque cette dernière a atteint sa pleine charge.

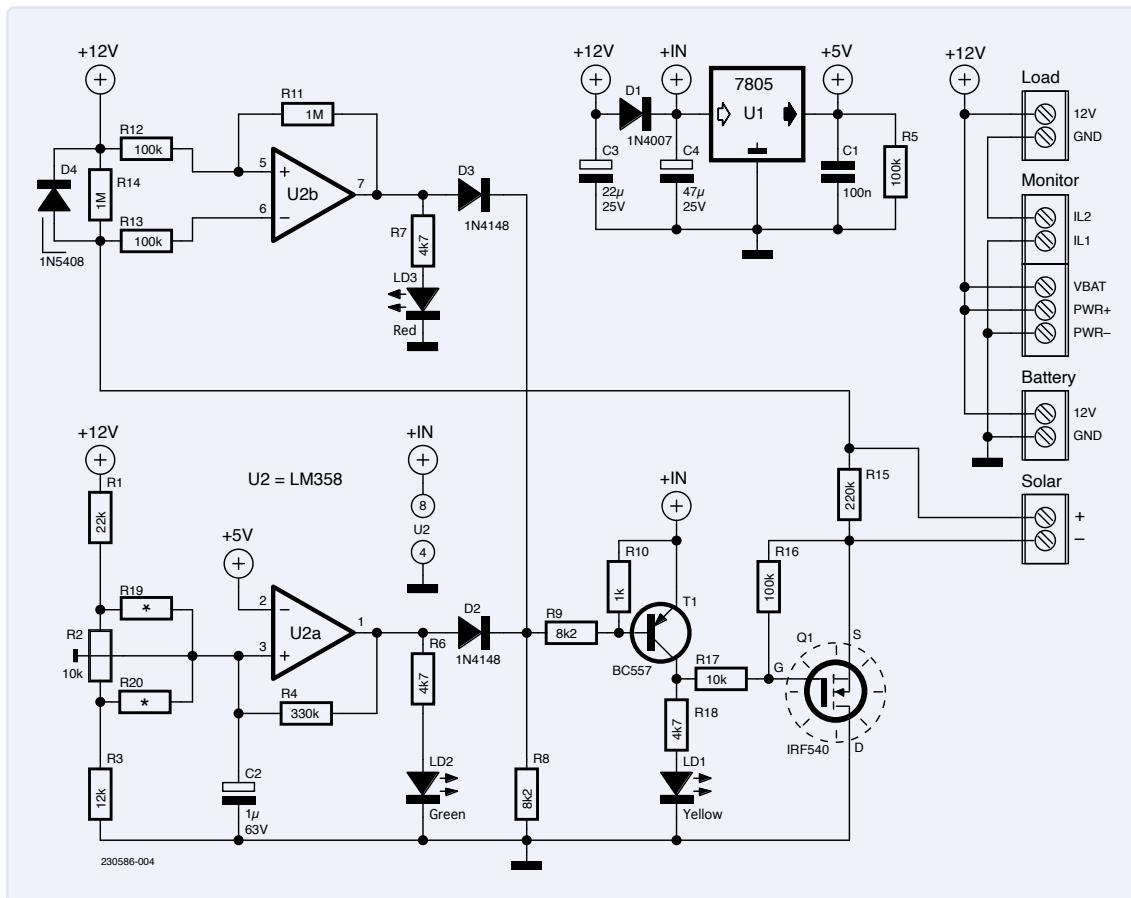


Figure 2.  
Schéma du circuit.

## Schéma du circuit

Pour que le MOSFET conduise, il faut appliquer une tension positive à sa grille, c'est-à-dire faire conduire le transistor T1 qui, à son tour, commande Q1. Lorsque T1 et le MOSFET sont conducteurs, la LED jaune LD1 s'allume, ce qui indique que le panneau solaire charge la batterie. Le transistor T1 (un BC557 de type PNP) est normalement ON car sa base est reliée à la masse via les résistances R8 et R9. Pour arrêter la conduction, il faut que l'une des sorties des deux amplificateurs opérationnels soit au niveau haut, niveau alors appliqué à la base de T1 par l'intermédiaire des diodes D2 et D3. Voyons à quel moment cela se produit en étudiant d'abord le circuit relatif au premier ampli-op (U2a). La tension de 5 V fournie par le régulateur U1 est appliquée à l'entrée inverseuse (broche 2) de cet ampli-op, tandis qu'une partie de la tension présente aux bornes de la batterie est appliquée à l'entrée non inverseuse (broche 3) par l'intermédiaire du trimmer R2. Lorsque cette tension dépasse celle appliquée sur la broche 2, la sortie de l'ampli-op (normalement au niveau bas) passe au niveau haut, amenant T1 à l'état OFF et bloquant le MOSFET, activant en même temps la LED verte LD2. Le trimmer R2 doit bien sûr être réglé de manière à provoquer la commutation lorsque la tension de la batterie atteint un niveau de 14,2...14,4 V (typique d'une batterie au plomb entièrement chargée).

La résistance R4 introduit une légère hystérésis, pour modifier le seuil de commutation et éviter que l'ampli-op ne se mette à osciller. En pratique, pour que l'ampli-op passe du niveau bas au niveau haut, il faut que la batterie atteigne une tension de 14,4 V, alors qu'elle doit redescendre à 13,5 V pour que l'ampli-op repasse du niveau haut au niveau bas. Cet étage arrête donc le flux de courant lorsque la batterie est complètement chargée. Voyons maintenant ce qui se passe du côté de l'autre ampli-op, dont la sortie est haute lorsque la tension du panneau PV est inférieure à celle de la batterie ; dans ce cas, la LED rouge LD3 s'éclaire et le MOSFET se bloque. Inversement, lorsque le panneau PV est touché par la lumière du soleil et que sa tension est suffisamment élevée pour charger la batterie, la LED est éteinte et le MOSFET est activé.

En résumé, la LED jaune (LD1) indique que le panneau PV charge la batterie, la LED rouge (LD3) signale que l'ensoleillement est insuffisant pour activer le circuit de charge, et enfin la LED verte (LD2) signale que la batterie est

entièrement chargée. Ce régulateur de charge peut être utilisé avec des panneaux PV qui délivrent un courant maximum de 3 à 5 A. On peut augmenter la gamme en montant pour D4 une diode de courant direct plus élevé, jusqu'à 10 ou 20 A. Le régulateur à trois bornes U1, assisté par le condensateur de filtrage C1 et la diode de protection D1, permet de fournir une tension stabilisée à la broche d'entrée inverseuse de l'ampli-op U2a ; la partie du circuit qui doit se charger de la détection de l'état de charge de la batterie, en revanche, est alimentée en amont, c'est-à-dire par la tension entre la cathode de la diode D1 et la masse. À ce stade, il convient d'expliquer la fonction du bornier MONITOR que vous voyez sur le côté droit du schéma : il a été prévu pour permettre l'insertion dans le circuit d'un compteur d'énergie du commerce, afin d'afficher sur un écran la tension et le courant fournis par la batterie à la charge. Dans ce cas précis, après plusieurs essais, nous avons opté pour le produit EPT33V3AOLED [1], un petit compteur à panneau avec un écran OLED bleu. Il est capable d'afficher un certain nombre de paramètres électriques, tels que la tension, le courant, la puissance, la consommation électrique, la capacité, la température ambiante et l'heure. Ce module est fourni avec les fils déjà insérés dans les connecteurs de son PCB visibles à l'arrière, et dont l'affectation est détaillée dans le **tableau 1**.

L'ajout de ce dispositif de mesure n'est pas strictement indispensable, mais c'est un accessoire utile. Selon qu'il est branché ou non, les connexions du bornier MONITOR changent. Si vous le branchez dans le circuit, connectez les contacts du bornier MONITOR ainsi :

- 2 : (PWR+) au fil rouge fin (+Vcc) du compteur
- 3 : (VBAT, qui est connecté à PWR+) au fil jaune du compteur

- 4 : (IL1) au fil noir épais du compteur (shunt)
- 5 : (IL2) au fil rouge épais du compteur (shunt)

Le tout selon le schéma de connexion que propose la figure 2. Si, en revanche, vous ne souhaitez pas ajouter ce compteur, il faut utiliser le schéma de connexion de la figure 1, qui représente l'installation de base du système ; vous devez alors ponter les bornes IL1 et IL2 pour fermer le circuit d'alimentation de la charge (sortie LOAD) du côté de la terre. Comme alternative à l'instrument proposé ici, vous pouvez toujours utiliser n'importe quel module de mesure de l'énergie en courant continu disponible dans le commerce.

## Réalisation pratique

Nous passons maintenant à la construction du circuit, pour lequel un PCB particulièrement petit a été conçu et dont les fichiers peuvent être téléchargés à partir de [1]. Lorsque vous l'avez, montez-y les résistances et les diodes. En insérant les diodes, n'oubliez pas que la borne située près de la bande colorée est la cathode. Installez et soudez le support à 8 broches pour le double ampli-op, puis les deux trimmers et le transistor T1, en n'oubliant pas d'orienter ce dernier (son côté plat doit être face à la résistance R10) conformément au plan de montage visible sur ces pages. C'est ensuite au tour des condensateurs, en commençant par les non polarisés et en respectant la polarité indiquée pour les condensateurs électrolytiques. Montez le MOSFET de puissance, dont la face métallique doit s'appuyer sur un petit dissipateur thermique en U assez courant de type ML-026 - après avoir appliqué de la pâte thermique à base de silicium - et en le fixant au dissipateur thermique au moyen d'une vis M3 et de son écrou. Le régulateur U1, quant à lui, doit être monté vertical, avec la face métallique tournée

**Tableau 1. Câblage du module d'affichage du compteur d'énergie.**

Fil	Bornier à vis du circuit imprimé	Fonction
Rouge (fin)	+Vcc	Alimentation positive du module
Noir (fin)	GND	Alimentation négative du module
Jaune	Vin	Entrée de mesure de tension
Rouge (épais)	I+	Entrée de mesure de courant
Noir (épais)	I-	Sortie de mesure de courant

## Dimensionnement du système

Lorsque les panneaux solaires et les batteries doivent être adaptés au circuit, il faut prendre en compte certaines considérations. Tout d'abord, il est nécessaire de connaître la consommation globale de la charge. Pour donner un exemple, supposons que nous éclairons une pièce avec quatre lampes LED de 12 V / 10 W avec un fonctionnement continu de 4 heures, ce qui signifie une puissance instantanée de 40 W et une consommation d'énergie de 0,16 kWh en 4 heures. À ce stade, nous pouvons dimensionner la batterie de 12 V qui, dans ce cas, devrait avoir une capacité d'au moins  $160 \text{ Wh} / 12 \text{ V} = 13,3 \text{ Ah}$ . En pratique, pour disposer d'une réserve de puissance, il est conseillé d'utiliser une batterie d'une capacité au moins deux fois supérieure.

Il faut maintenant choisir le type de panneau nécessaire pour recharger la batterie : c'est là qu'entre en jeu un paramètre appelé ESH (Equivalent Sun Hours). Ce paramètre indique quel est, en moyenne, le nombre d'heures d'ensoleillement au cours desquelles l'irradiation maximale est atteinte, pour chaque zone de notre pays. En général, ce chiffre se réfère à la période hivernale : celui de l'été est obtenu en le doublant. Dans le cas de l'Italie, la valeur ESH se situe entre 1,5 et 3 ; cela signifie que dans le nord de l'Italie, nos panneaux fonctionneront à pleine puissance en moyenne pendant 1,5 heure par jour en hiver et 3 heures en été, tandis que dans le sud, nous aurons 3 heures de fonctionnement à puissance maximale en hiver et 6 heures en été. En considérant une valeur moyenne de 3 heures pour sept jours et en tenant compte du fait que nous aurons besoin d'environ 180 Wh pour chaque week-end, notre panneau devrait pouvoir fournir une puissance maximale d'environ 8,5 W (180 Wh : 7 jours x 3 heures d'ESH). En raison des considérations ci-dessus, il est conseillé d'envisager une puissance maximale au moins deux fois plus élevée. Dans notre cas, nous avons utilisé deux panneaux de 12 W chacun pour un total de 24 W.

Il ne reste plus qu'à choisir le type de panneau PV parmi ceux disponibles dans le commerce : amorphe ou cristallin. Les panneaux du premier type ont un rendement nettement inférieur (environ 5...6 %) mais fonctionnent bien même en cas de faible luminosité, tandis que les panneaux cristallins, s'ils ne sont pas bien éclairés, ne délivrent pas même un seul mA ! Le coût/W étant très similaire, il est conseillé d'utiliser des panneaux du premier type dans le Nord, tandis que dans le Sud, les panneaux monocristallins ou polycristallins donnent de bien meilleurs résultats. Ces derniers, qui présentent un meilleur rendement, sont également indiqués en cas de problèmes d'encombrement.

En mettant en pratique ces concepts simples, nous serons en mesure de modifier les caractéristiques du système à volonté. À ce stade, après les panneaux et la batterie, nous devons consacrer quelques mots à un autre composant indispensable à la réalisation d'un véritable système : le régulateur de charge. Ce circuit surveille le niveau de charge de la batterie et, lorsque celle-ci est complètement chargée, il coupe la connexion avec les panneaux. Cela permet d'éviter la surchauffe de l'accumulateur et la réduction conséquente du nombre de ses cycles de travail. Bien entendu, dès que le niveau de la batterie descend en dessous d'une valeur déterminée, le circuit rétablit la connexion avec les panneaux.

vers le dissipateur de chaleur du MOSFET. Ceci fait, le circuit est prêt ; montez le circuit intégré U2 dans son socle, en prenant soin de l'introduire avec le repère du côté indiqué dans le plan de montage, et vérifiez qu'aucune broche n'a été pliée pendant l'opération, puis jetez un coup d'œil général sur le circuit pour vérifier si tout est en ordre. L'appareil est alors prêt à l'emploi (**figure 3**). La carte comporte un bornier vers lequel convergent toutes les connexions ; vous devrez utiliser des cosses solides qu'il faudra souder aux points marqués SOLAR+ et -, BATTERY+ et -(12 V), et LOAD+ et -. Aux bornes SOLAIRE+ et -, il faut connecter respectivement les bornes positives et négatives du panneau solaire, en utilisant un fil de calibre approprié (en moyenne 1 mm<sup>2</sup> pour 2,5 A) ; l'accumulateur doit être connecté aux contacts BATTERIE + et -, en respectant la polarité indiquée et en utilisant un fil de 1 mm<sup>2</sup> pour chaque 2,5 A de courant. Les mêmes considérations s'appliquent aux fils électriques que vous devez utiliser pour connecter l'appareil souhaité aux points LOAD + et - de la carte électronique. La **figure 4** montre le câblage complet du système.

La vérification du fonctionnement et de l'étalonnage du circuit peut se faire sur le banc. Pour ce faire, sans connecter ni la batterie ni le(s) panneau(x) PV, connectez une alimentation capable de délivrer une tension continue d'exactement 14,4 V, à la place de la batterie. Dans cet état, la LED rouge LD3 doit être allumée, car la tension du panneau (qui n'existe pas) est nulle. L'étage correspondant inhibe le fonctionnement du MOSFET, de sorte que la LED jaune LD1 est forcément éteinte. En revanche, la LED verte peut être allumée ou éteinte, selon le réglage du trimmer R2. Si la LED est allumée, tournez le curseur à vis du trimmer R2 jusqu'à ce que la LED s'éteigne, puis tournez lentement le curseur dans la direction opposée jusqu'à ce qu'elle se rallume. Si en revanche la LED est déjà éteinte, tournez la vis R2 jusqu'à ce qu'elle s'allume.

Branchez maintenant la batterie et utilisez le bloc d'alimentation au lieu du panneau solaire, en connectant le positif et le négatif aux bornes SOLAR + et -, respectivement. Augmentez progressivement la tension jusqu'à ce que la LED rouge s'éteigne et que la LED jaune s'allume. Cette dernière ne s'allumera pas si la LED verte est aussi allumée. L'alimentation utilisée pour ce test doit être équipée d'une protection de courant afin d'éviter un courant de charge excessif (la protection doit

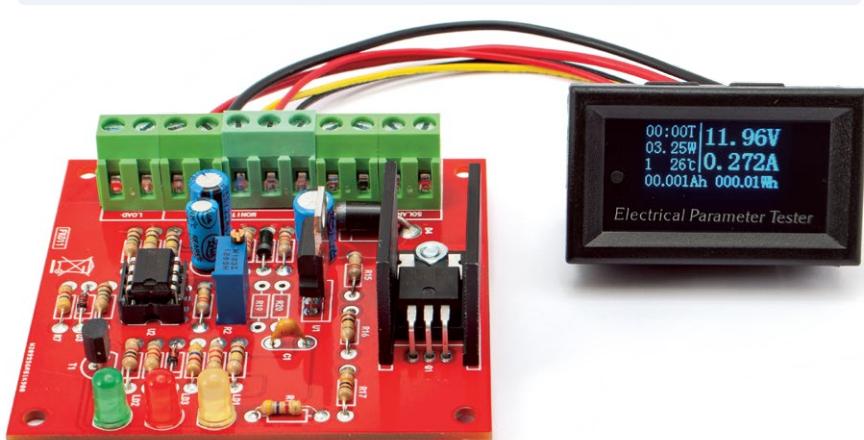


Figure 3. Le prototype équipé du compteur d'énergie.

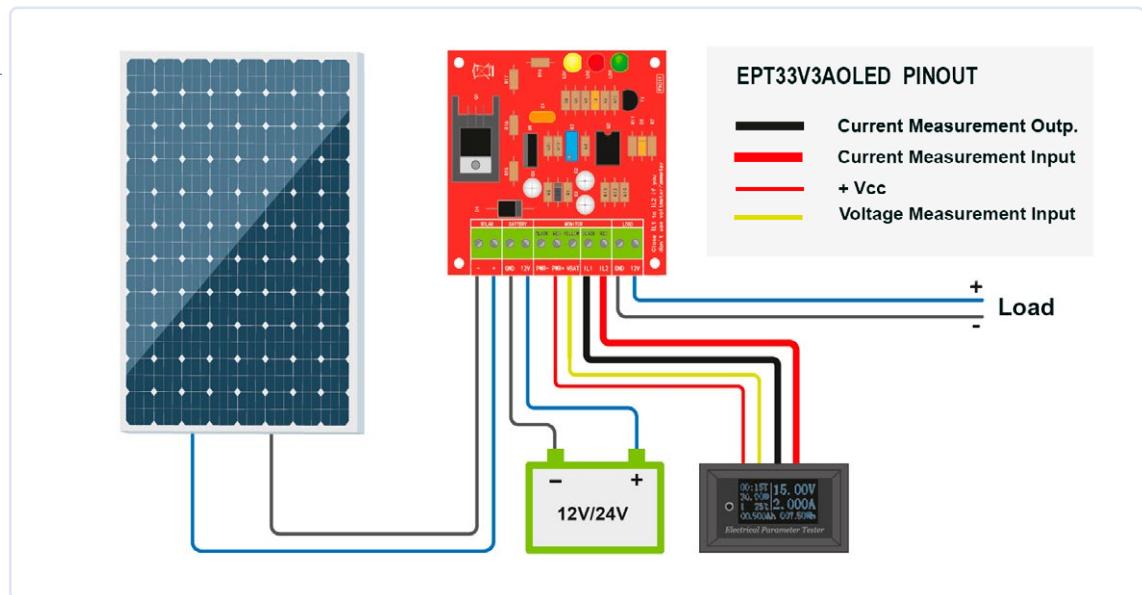
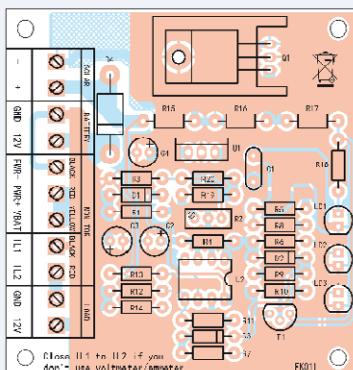
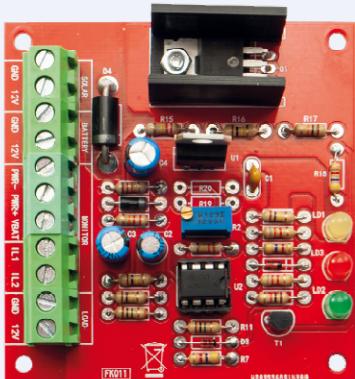


Figure 4.  
Câblage du régulateur de puissance PV avec le compteur d'énergie.



## Liste des composants



### Résistances

R1 = 22 kΩ  
 R2 = 10 kΩ trimmer multitor  
 R3 = 12 kΩ  
 R4 = 330 kΩ  
 R5, R12, R13, R16 = 100 kΩ  
 R6, R7, R18 = 4,7 kΩ  
 R8, R9 = 8,2 kΩ  
 R10 = 1 kΩ  
 R11, R14 = 1 MΩ  
 R15 = 220 kΩ  
 R17 = 10 kΩ  
 R19, R20 = Voir le texte.

### Condensateurs

C1 = 100 nF, céramique  
 C2 = 1 µF, 63 V, électrolytique  
 C3 = 22 µF, 25 V, électrolytique  
 C4 = 47 µF, 25 V, électrolytique

### Semi-conducteurs

D1 = 1N4007  
 D2, D3 = 1N4148  
 D4 = 1N5408  
 LD1 = LED, jaune, 5 mm  
 LD2 = LED, verte, 5 mm  
 LD3 = LED, rouge, 5 mm  
 U1 = 7805  
 U2 = LM358  
 T1 = BC557  
 Q1 = IRF540

### Divers

Support IC DIL à 4+4 broches  
 Dissipateur ML26  
 1x vis M3 x 10 mm  
 1x écrou M3  
 4x Bornier à vis, 2 pôles, pas de 5 mm  
 1x bornier à vis, 3 pôles, pas de 5 mm  
 PCB (69x72 mm)

être réglée sur 1-2 A). Enfin, n'oubliez pas d'utiliser des câbles d'un diamètre adéquat pour les courants en jeu, afin de minimiser les pertes dues au câblage électrique.

Cette conception peut gérer la charge d'un panneau PV et alimenter directement tous les appareils fonctionnant en 12 V CC. Dans le cas d'un équipement fonctionnant en 230 V CA, il faudra utiliser des onduleurs qui fourniront à partir du 12 V CC un courant alternatif propre à alimenter des appareils électriques destinés à fonctionner à partir de la tension du réseau. Si vos appareils sont sensibles à la forme d'onde ou aux interférences radio, nous vous conseillons de choisir des onduleurs à onde sinusoïdale pure, plutôt que les onduleurs traditionnels (et aujourd'hui quelque peu dépassés) à simple onde carrée.

Rappelons que les tensions de la batterie et du panneau solaire doivent être compatibles. En clair, si le panneau fournit 12...20 V (l'excursion typique d'un panneau nominal de 12 V), il faut utiliser une batterie de 12 V ; la capacité doit être en rapport avec le courant que le panneau peut fournir et le temps pendant lequel il pourra le faire, car il ne sert à rien de prendre des batteries de grande capacité si elles ne seront jamais complètement chargées en cours d'utilisation.

### Quelques conseils finaux

Le projet proposé ici est un système complet de gestion de l'énergie pour un petit système PV, avec stockage de l'énergie au moyen d'une batterie de 12 V. Associé à un ou plusieurs panneaux PV et à une batterie, il permet d'assurer l'autonomie énergétique d'un système électrique de petite puissance en

courant continu ou, en ajoutant un onduleur 12 V CC / 230 V CA, en courant alternatif. Quant à la possibilité de connecter deux ou plusieurs panneaux solaires en parallèle, signalons que pour compenser les différences de tension entre eux, il est conseillé de placer une diode de puissance en série avec chaque panneau, capable de supporter une valeur de

courant ( $I_f$ ) supérieure à la valeur maximale pouvant être fournie par chaque panneau. Nous suggérons de connecter la diode sur le fil positif de chaque panneau, avec l'anode vers le fil + et la cathode sur la borne SOLAR +. Les fils négatifs doivent être connectés en parallèle sur la borne SOLAR -. ↗

VF : Denis Lafourcade — 230586-04

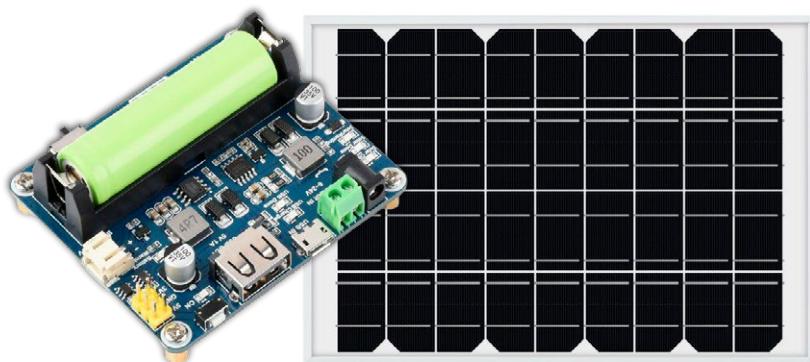
## Questions ou commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

### À propos de l'auteur



Boris Landoni est un expert en électronique et un véritable passionné dans ce domaine. Sa passion l'a conduit à devenir directeur général d'*Elettronica In*, le magazine d'électronique le plus populaire d'Italie. Il est également le commissaire d'open-electronics.org, une plateforme dédiée aux projets open-source qui réunit des passionnés et des professionnels. Il est également directeur technique de Futura Elettronica, une entreprise leader dans la fourniture de composants électroniques pour le monde des makers et des professionnels.



### Produits

➤ Panneau solaire Waveshare en polysilicium (18 V, 10 W) (SKU 20489)  
[www.elektor.fr/20489](http://www.elektor.fr/20489)

➤ Module de gestion de l'énergie solaire Waveshare (SKU 20488)  
[www.elektor.fr/20488](http://www.elektor.fr/20488)

### LIEN

[1] Téléchargements pour cet article : <https://elektormagazine.fr/230586-04>

## YOUR KEY TO CELLULAR TECHNOLOGY



**WÜRTH  
ELEKTRONIK**  
MORE THAN  
YOU EXPECT

### WE are here for you!

Join our free webinars on:  
[www.we-online.com/webinars](http://www.we-online.com/webinars)

**Adrastea-I is a Cellular Module with High Performance, Ultra-Low Power Consumption, Multi-Band LTE-M and NB-IoT Module.**

Despite its compact size, the module has integrated GNSS, integrated ARM Cortex M4 and 1MB Flash reserved for user application development. The module is based on the high-performance Sony Altair ALT1250 chipset. The Adrastea-I module, certified by Deutsche Telekom, enables rapid integration into end products without additional industry-specific certification (GCF) or operator approval. Provided that a Deutsche Telekom IoT connectivity (SIM card) is used. For all other operators the module offers the industry-specific certification (GCF) already.

[www.we-online.com/gocellular](http://www.we-online.com/gocellular)

- Small form factor
- Security and encryption
- Long range/worldwide coverage
- Multi-band support

#GOCELLULAR