

## Photovoltaïque Alimentation électrique autonome de sites isolés

Réalisez vous-même l'électrification  
d'un abri de jardin,  
d'un garage ou  
d'un mobile home

En téléchargement gratuit :

- Circuits imprimés
- Note technique complémentaire pour le suiveur solaire

Auteur : Gérard GUIHÉNEUF

Éditeur : Elektor

ISBN : 978-2-86661-181-1

Format : 14 × 21 cm

Nbre de pages : 256

Prix : 32,50 €

**Ce fichier contient le sommaire suivi de sept pages représentatives de l'ensemble du livre qui en compte 256.**

### Le sujet

Nous avons tous peu ou prou caressé l'espoir de connaître un jour l'autonomie énergétique grâce à une production électrique photovoltaïque appropriée ! D'abord on en rêve, puis vient l'étape du calcul : comparons le coût du kilowatt-heure d'origine nucléaire (environ huit centimes d'euro) à celui du kilowatt-heure d'origine photovoltaïque (environ 22 centimes d'euro\*), et nous saurons où en sont nos motivations d'écocitoyens.

Gérard Guihéneuf, l'auteur de ce nouveau livre, ne s'est pas contenté d'aligner chiffres et idées, il est allé au bout de sa démarche tout en montrant comment éviter les dépenses excessives. Son nouveau livre constitue une réponse technique et pratique aux nombreuses questions qui se posent lors de l'électrification d'un site isolé !

Il décrit trois projets simples, dans un contexte domestique, et montre comment électrifier soi-même, à partir de l'énergie photovoltaïque, trois sites ordinaires : un abri de jardin, un garage et un mobile-home.

Des économies spectaculaires sont à la portée de l'électronicien qui montera et assemblera lui-même certains constituants essentiels, comme les régulateurs de charge, les onduleurs et autres suiveurs solaires mis en œuvre pour l'alimentation autonome d'un site isolé.

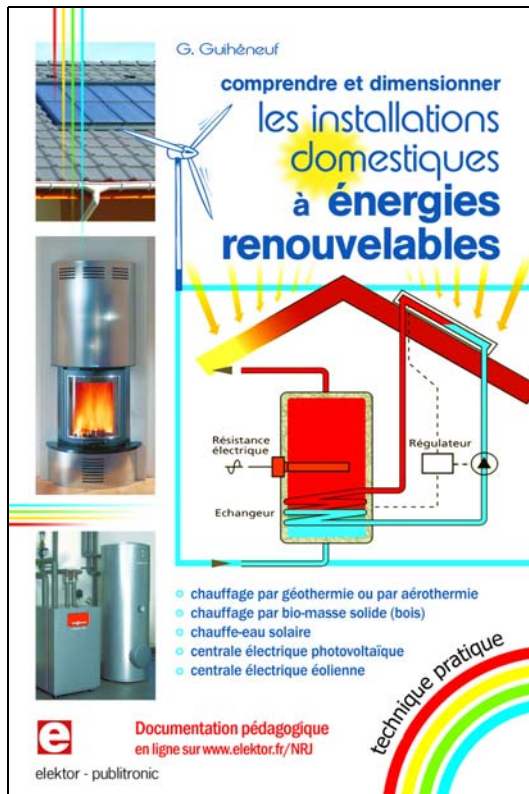
Si vous préférez confier à un professionnel l'électrification de votre site, ce livre explique comment dimensionner les constituants sans sacrifier ni l'efficacité ni vos économies !

\* avec des batteries à renouveler au bout de dix ans et panneaux photovoltaïques qui en tiennent vingt-cinq.

### L'auteur

Titulaire d'un DUT Électrotechnique, l'auteur enseigne dans un lycée professionnel nantais (BEP *Métiers de l'Électrotechnique* et Bac Pro *Électrotechnique Énergie et Équipements Communicants*). Passionné d'électronique et d'informatique appliquées, il a publié des articles dans des revues de vulgarisation.

## Autres titres du même auteur



ISBN 978-2-86661-170-5

## Petit quiz

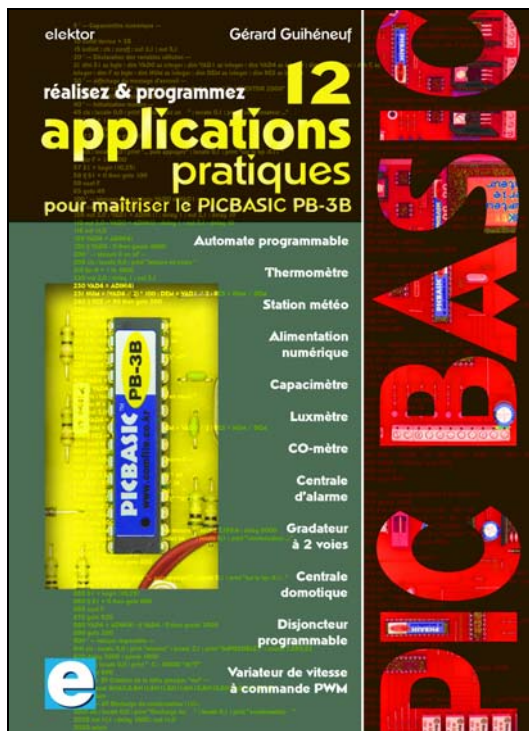
1. De deux panneaux photovoltaïques implantés l'un dans le Nord et l'autre dans le Sud de la France, c'est le second qui présente le meilleur rendement.  
Vrai ou faux ?
2. L'utilisation domestique des énergies renouvelables est difficile.  
Vrai ou faux ?

Dans les deux cas, la réponse est **FAUX**.

Et l'explication se trouve dans le livre *Comprendre et dimensionner les installations domestiques à énergies renouvelables*.

En bref :

1. Le rendement de panneaux photovoltaïques est meilleur quand leur température de fonctionnement est basse ! Ne confondons pas potentiel d'ensoleillement et rendement !
2. Les applications possibles des énergies renouvelables ne manquent pas dans une maison individuelle et leur mise en œuvre est à la portée du particulier soucieux de réduire son empreinte écologique.



ISBN : 978-2-86661-166-8



ISBN : 978-2-86661-176-7

**Photovoltaïque : alimentation électrique autonome de sites isolés**

Sommaire - ISBN 978-2-86661-181-1

Copyright © 2011 - Elektor International Media

## Sommaire

### 1. Production électrique photovoltaïque en site isolé (notions fondamentales)

- 1.1 Structures de base de puissance inférieure à 5 kW
- 1.2 Panneaux photovoltaïques
  - 1.2.1 Effet photovoltaïque
  - 1.2.2 Technologie des panneaux photovoltaïques
  - 1.2.3 Décodage des informations fournies par les constructeurs
- 1.3 Batteries de stockage
  - 1.3.1 Les différentes technologies
  - 1.3.2 Comprendre les informations des constructeurs
  - 1.3.3 Associations et incidences sur les caractéristiques
  - 1.3.4 Précautions d'exploitation
- 1.4 Régulateur de charge des batteries
  - 1.4.1 Fonctions remplies
  - 1.4.2 Séquences de charge des batteries
  - 1.4.3 Critères de choix d'un régulateur de charge
- 1.5 Onduleur ou convertisseur continu / alternatif
  - 1.5.1 Fonctions remplies
  - 1.5.2 Structure et principe de fonctionnement interne d'un onduleur
  - 1.5.3 Critères de choix d'un onduleur
- 1.6 Méthode de dimensionnement des constituants
  - 1.6.1 Choix énergétiques préalables
  - 1.6.2 Étude de cas (cahier des charges)
  - 1.6.3 Puissance maximale demandée et énergie moyenne consommée
  - 1.6.4 Gisement solaire disponible
  - 1.6.5 Dimensionnement de l'onduleur-chargeur
  - 1.6.6 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques
  - 1.6.7 Dimensionnement des batteries
  - 1.6.8 Dimensionnement du groupe électrogène portable de secours
  - 1.6.9 Coût et délai d'amortissement
- 1.7 Protections appliquées

### 2. Électrification d'un abri de jardin (éclairage)

- 2.1 Régulateur de charge 12 V – 8 VA
  - 2.1.1 Performances techniques d'un régulateur de charge commercialisé
  - 2.1.2 Définition du cahier des charges
  - 2.1.3 Analyse fonctionnelle du schéma  
*Sous-ensemble régulation de tension*  
*Module comparateur / fonction de mémoire*
  - 2.1.4 Réalisation pratique
  - 2.1.5 Liste des composants
  - 2.1.6 Essai – Mise au point
- 2.2 Indicateur de taux de charge avec protection contre les décharges profondes
  - 2.2.1 Cahier des charges
  - 2.2.2 Tracé de la courbe de décharge de la batterie
  - 2.2.3 Analyse fonctionnelle du schéma  
*Structure des ponts diviseurs*  
*Sous-ensemble comparateur de tensions*  
*Fonction de mémoire et dispositif de coupure automatique*
- 2.2.4 Réalisation pratique
- 2.2.5 Liste des composants
- 2.2.6 Essai – Mise au point
- 2.3 Électrification réelle d'un abri de jardin
  - 2.3.1 Description d'une installation réelle  
*Implantation des différents constituants*  
*Raccordement des constituants (schéma électrique)*
  - 2.3.2 Exploitation de l'installation  
*Première mise en service*  
*Exploitation normale de l'installation*  
*Recharge de la batterie*  
*Exploitation avec un mauvais ensoleillement*  
*Exploitation avec un faible ensoleillement*  
*Protection contre les décharges profondes*
  - 2.3.3 Autonomie de fonctionnement de l'installation
  - 2.3.4 Coût global du projet

### 3. Électrification d'un garage (éclairage et prise de courant)

- 3.1 Régulateur de charge 12 V – 5 A (avec option de charge d'égalisation)
  - 3.1.1 Prise en compte du fonctionnement d'un onduleur-chargeur commercialisé
  - 3.1.2 Cahier des charges
  - 3.1.3 Analyse du schéma  
*Régulation de la tension de charge*  
*Monostable à commande manuelle*  
*Protection contre les décharges profondes*
  - 3.1.4 Réalisation pratique
  - 3.1.5 Liste des composants
  - 3.1.6 Essai – Mise au point  
*Essai à vide*  
*Essai en charge*

- 3.2 Onduleur 160 VA – 12 V / 230 V – 50 Hz (à tension alternative à trois niveaux de tensions)
  - 3.2.1 Cahier des charges de l'onduleur
  - 3.2.2 Apports théoriques  
*Réversibilité du transformateur*  
*Conversion continu / alternatif (structures de puissance d'un onduleur monophasé)*  
*Obtention d'une tension de valeur efficace 230 V*
  - 3.2.3 Analyse du schéma  
*Générateur astable 500 Hz*  
*Commande des transistors T1 et T3*  
*Étage à transistors de puissance*  
*Particularités techniques*
  - 3.2.4 Réalisation pratique
  - 3.2.5 Liste des composants
  - 3.2.6 Essai – Mise au point
- 3.3 Électrification réelle d'un garage
  - 3.3.1 Description d'une installation réelle  
*Implantation des différents constituants*
  - 3.3.2 Raccordement des constituants (schéma électrique)  
*Structure de la partie avec tension continue*  
*Structure de la partie avec tension alternative*
  - 3.3.3 Exploitation de l'installation  
*Première mise en service*  
*Charge d'égalisation de la batterie*  
*Protection contre les décharges profondes*  
*Comment réduire la puissance consommée par l'installation ?*
  - 3.3.4 Coût de l'installation – Recommandation de certains matériels

#### 4. Électrification d'un mobile-home ou d'une résidence secondaire (éclairage et prise de courant)

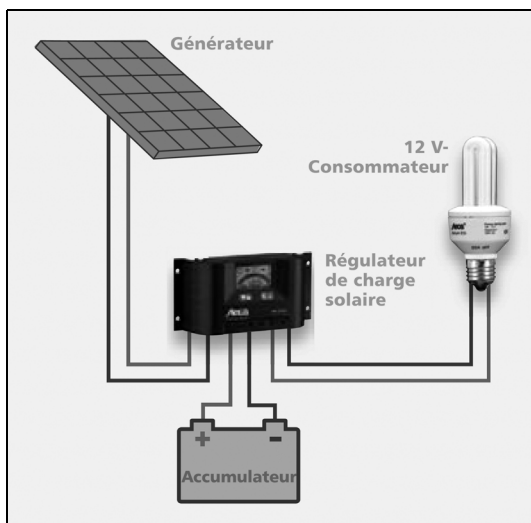
- 4.1 Régulateur de charge 24 V – 7,5 A (avec réglage et affichage du taux de charge minimale autorisé)
  - 4.1.1 Définition du cahier des charges
  - 4.1.2 Analyse du schéma  
*Régulateur de charge à LT1083*  
*Alimentations symétriques +9 V / -9 V*  
*Sous-ensemble « comparateur »*  
*Affichage du taux de charge minimale autorisé*
  - 4.1.3 Réalisation pratique
  - 4.1.4 Essai – Mise au point  
*Mode opératoire*
- 4.2 Adaptateur de tension (limitation de la tension à 30 V en entrée du régulateur de charge)
  - 4.2.1 Cahier des charges
  - 4.2.2 Analyse du schéma
  - 4.2.3 Réalisation pratique
  - 4.2.4 Liste des composants
  - 4.2.5 Essai – Mise au point  
*Mode opératoire*
- 4.3 Onduleur 300 VA – 24 V / 230 V – 50 Hz (à commande MLI)
  - 4.3.1 Les harmoniques et leurs inconvénients  
*Rappels mathématiques*  
*Les sources d'harmoniques en milieu domestique*  
*Inconvénients et élimination des harmoniques*
  - 4.3.2 Cahier des charges de l'onduleur
  - 4.3.3 Analyse du schéma  
*Principe de fonctionnement de l'onduleur (synoptique)*  
*Générateur astable 1600 Hz*  
*Compteur*  
*Multiplexeur 16 vers 1*  
*Commutateur électronique*  
*Obtention d'une tension 230 V*
  - 4.3.4 Réalisation pratique
  - 4.3.5 Liste des composants
- 4.3.6 Essai – Mise au point  
*Mode opératoire*
- 4.4 Suiveur solaire (commande électronique)
  - 4.4.1 Intérêt de l'usage d'un suiveur solaire
  - 4.4.2 Cahier des charges
  - 4.4.3 Analyse du schéma  
*Principe général de fonctionnement du suiveur*  
*Sous ensemble « chargeur – alimentation »*  
*Commande du relais KA1 (rotation du suiveur vers l'ouest)*  
*Commande du relais KA2 (rotation du suiveur vers l'est)*  
*Alimentation du motoréducteur MI*
  - 4.4.4 Réalisation pratique
  - 4.4.5 Liste des composants
  - 4.4.6 Essai – Mise au point  
*Mode opératoire*
- 4.5 Électrification d'un mobile-home (construction réelle d'un suiveur solaire)
  - 4.5.1 Description de l'installation électrique  
*Partie électrique alimentée en courant continu*  
*Organisation du tableau de protection*
  - 4.5.2 Construction d'un suiveur solaire  
*Réalisation du châssis (support du panneau photovoltaïque)*  
*Axe de rotation et guidage du suiveur*  
*Capteurs divers*  
*Implantation du motoréducteur*  
*Raccordement électrique des éléments*  
*Implantation du panneau photovoltaïque*
  - 4.5.3 Essai réel du suiveur solaire  
*Mode opératoire*
  - 4.5.4 Coût du projet

## 1. Production électrique photovoltaïque

### 1.4 Régulateur de charge des batteries

#### 1.4.1 Fonctions remplies

Constituant spécifique d'un système solaire individuel (se reporter à la section 1.1, page 4), le régulateur de charge est intercalé entre le panneau photovoltaïque, la batterie et les récepteurs alimentés en courant continu. De plus, comme le montre la figure 1-25, son raccordement est relativement simple.

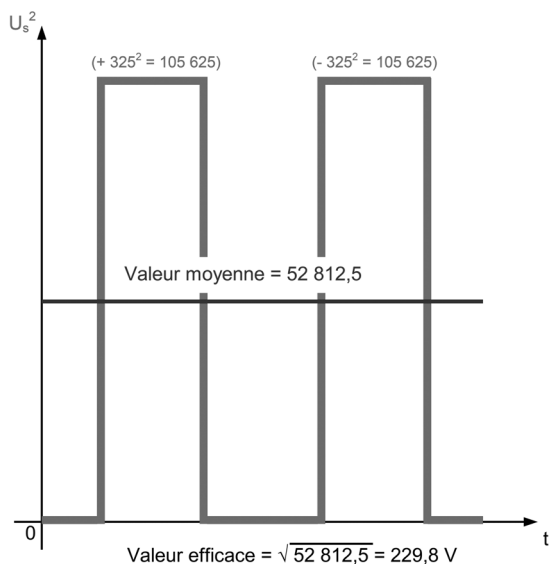


**Figure 1-25** - Pour les systèmes solaires individuels de faible puissance, le raccordement du régulateur de charge se caractérise par une grande simplicité.  
(Source : constructeur STECA)

En dépit de cette simplicité de raccordement, le régulateur de charge assure de nombreuses tâches parfois complexes qui visent à optimiser la charge de la batterie et à en prolonger la durée d'exploitation. Ainsi, outre la gestion des différentes séquences de charge de la batterie, le régulateur remplit également des fonctions liées à la protection des matériels (figure 1-26) :

- ◆ Protection contre les surcharges qui résultent d'une consommation électrique excessive des récepteurs.
- ◆ Déconnexion automatique des récepteurs dès que la tension faible de la batterie traduit un dépassement du taux de décharge profonde configuré (LVD : *Low Voltage Disconnection*).
- ◆ Reconnexion automatique des récepteurs dès que l'état de charge de la batterie le permet (SOC : *State Of Charge*).
- ◆ Protection contre les surtensions (foudre).

## 1. Production électrique photovoltaïque



**Figure 1-32** - Par une méthode empirique et graphique simple, il est possible de vérifier que la valeur efficace de la tension non sinusoïdale fournie par un onduleur à l'électronique de commande sommaire vaut effectivement 230 V.

Cependant, cette tension alternative non sinusoïdale présente une valeur efficace de 230 V. Pour s'en convaincre, il suffit d'appliquer la méthode empirique et graphique suivante (figure 1-32) :

- ♦ On commence par calculer le carré du signal pour obtenir graphiquement deux créneaux dont la valeur maximale vaut  $325^2$  soit 105 625.
- ♦ On calcule ensuite la valeur moyenne de ce nouveau signal. Comme celui-ci vaut la moitié du temps 105 625, sa valeur moyenne n'est autre que la moitié de 105 625 soit 52 812,5.
- ♦ Enfin, on calcule la racine carré de 52 812,5 pour obtenir le résultat 229,8 ; valeur qui correspond à la valeur efficace de la tension du signal à trois niveaux de tensions.

### 1.5.3 Critères de choix d'un onduleur

Ce choix va s'appuyer sur les caractéristiques techniques fournies par le constructeur en réponse aux besoins énergétiques électriques du site isolé considéré. Pour être concret et complet, il importe de décoder toutes les informations concernant un onduleur-chargeur car l'appareil est raccordé à la fois aux panneaux photovoltaïques, aux batteries et à l'installation à alimenter.

va permettre de s'informer rapidement des états des différentes diodes électroluminescentes réparties sur les deux montages électroniques. De plus, un voltmètre numérique à affichage LCD implanté sur le couvercle du coffret va indiquer en permanence la tension disponible aux bornes de la batterie. Le modèle de voltmètre retenu présente la particularité de ne comporter que deux conducteurs ; la tension qu'il mesure contribue également à sa propre alimentation (figure 2-24). Enfin, ce premier coffret va demander le perçage de quelques trous de diamètre 4 mm en partie haute et en partie basse du couvercle pour assurer une aération naturelle nécessaire au refroidissement des régulateurs de tensions et de la batterie.

En ce qui concerne le second coffret, celui-ci comporte uniquement le disjoncteur 2 A de protection de l'installation. Ce calibre garantit un déclenchement du disjoncteur en un temps de 10 ms pour tout courant dont la valeur excède 10 A ; autant dire que l'installation est parfaitement protégée contre les courants de surcharge et les courants de court circuit.

En plus du voltmètre, le couvercle du coffret principal comporte le bouton-poussoir de commande du relais qui autorise l'alimentation de l'installation. Celle-ci met en œuvre un montage « simple allumage » composé d'un interrupteur et de deux lampes fluocompactes. Ces constituants justifient un raccordement par un câble souple H 05 VV-F à deux conducteurs d'une section de 1,5 mm<sup>2</sup> ; câble dont le mode de pose s'appuie sur le « montage métro » (figures 2-21 et 2-25).

### **Raccordement des constituants (schéma électrique)**

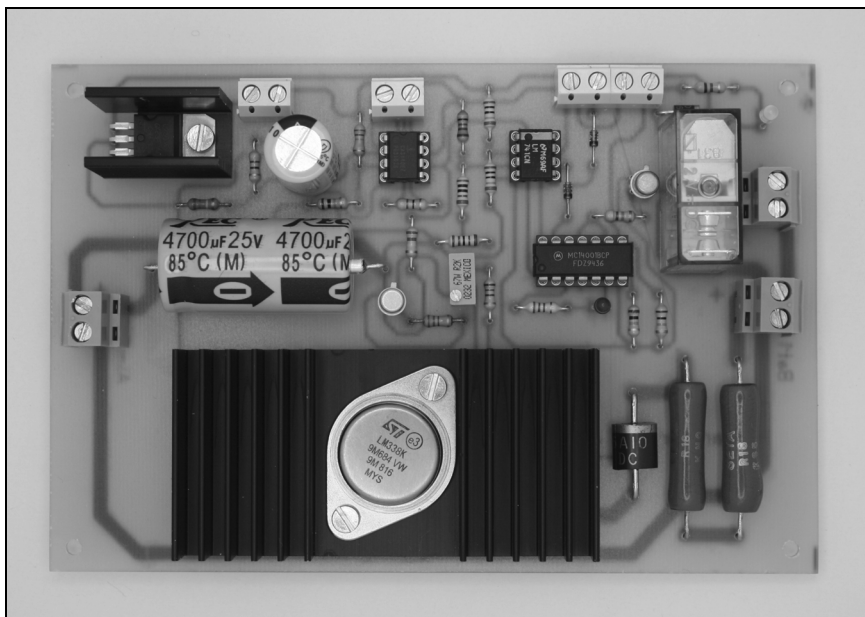
À ce stade de la réalisation du projet, chaque lecteur va devoir s'improviser « électricien ». Dans les faits, il ne va pas s'agir d'une improvisation car le raccordement des constituants va respecter le schéma électrique que montre la figure 2-26.

Ce raccordement obéit à un seul « mot d'ordre » : respecter les polarités. Cependant, en raison de l'emploi de câbles souples H 05 VV-F (deux conducteurs de 1,5 mm<sup>2</sup>) qui imposent leurs propres couleurs de conducteurs, il n'est pas possible d'appliquer la convention d'usage qui veut que la polarité positive soit concrétisée par un conducteur de couleur rouge et que la polarité négative s'identifie à un conducteur de couleur noire. Pour sa part, l'auteur a retenu l'option imposée par les câbles utilisés :

polarité positive : conducteur marron – polarité négative : conducteur bleu.

En matière de conseils et par référence à l'expérience personnelle de l'auteur, il est recommandé d'intercaler une boîte de dérivation entre le panneau photovoltaïque et l'alimentation du premier montage électronique. Par l'intermédiaire de deux

### 3. Électrification d'un garage (éclairage et prise de courant)



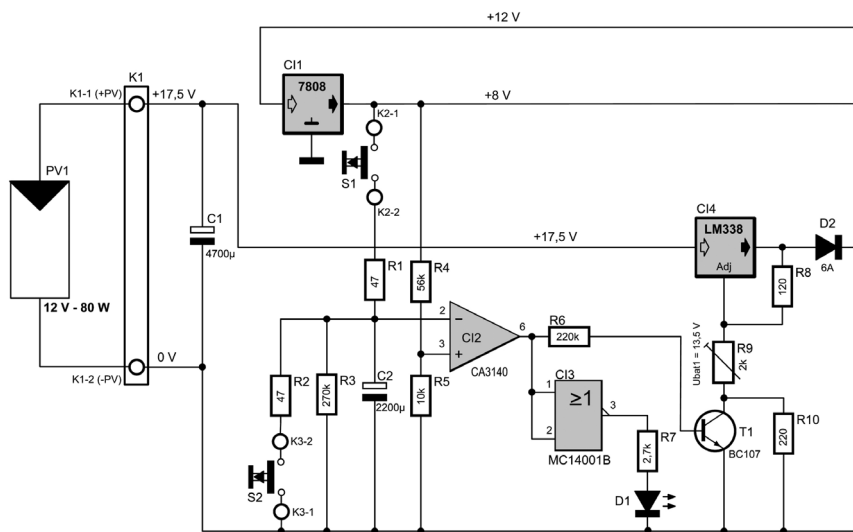
**Figure 3-01** - Implanté sur un dissipateur thermique et entouré de composants discrets, d'amplificateurs opérationnels et de fonctions logiques OU-NON, le régulateur de tension LM338 constitue le composant principal du régulateur de charge.

« détoxication » des plaques par l'application durant une courte période d'une tension de charge supérieure à la tension de charge normale. Ceci permet, dans une certaine mesure, d'atténuer le processus naturel de sulfatation des plaques de la batterie et ainsi, d'en prolonger la durée de vie. Pour sa part, le constructeur STUDER préconise de soumettre la batterie à cette charge d'égalisation tous les 25 cycles de charge-décharge. Dans le cas d'une batterie de 12 V, cette séquence d'une durée de vingt minutes à trois heures consiste à alimenter la batterie sous une tension comprise entre 15 V et 16,2 V. Par défaut, le constructeur STUDER recommande de charger la batterie sous une tension de 15,6 V pendant vingt minutes ; valeurs que nous retiendrons pour notre régulateur de charge.

⇒ **IMPORTANT** : en aucun cas, des batteries à électrolyte gélifiée ne peuvent être soumises à ce type de charge sous peine d'une dégradation par échauffement.



### 3. Électrification d'un garage (éclairage et prise de courant)



**Figure 3-03** - Un monostable, un régulateur de tension, un comparateur de tensions et une fonction de mémoire sont les quatre principaux sous-ensembles qui constituent le régulateur de charge.

- ◆ Protection automatique de la batterie contre les décharges profondes supérieures à 50% par la désactivation du relais interne précité.
- ◆ Signalisation par deux diodes électroluminescentes des deux situations suivantes : séquence de charge d'égalisation en cours et relais interne activé.

#### 3.1.3 Analyse du schéma

Une première lecture du schéma (figure 3-03) met en évidence une structure qui repose sur quatre sous-ensembles :

- ◆ L'amplificateur opérationnel CA3140 (CI2) utilisé en comparateur remplit la fonction de monostable à commande manuelle afin de gérer le temps de la charge d'égalisation de la batterie.
- ◆ Le régulateur de tension LM338 (CI4) dont la tension de sortie est configurée par le transistor T1 produit les tensions qui caractérisent les deux types de charges de la batterie : 13,5 V pour la charge de maintien et 15,6 V pour la charge d'égalisation.
- ◆ L'amplificateur opérationnel LM741 (CI5) exploité également en comparateur de tension fournit, par l'intermédiaire de la fonction de mémoire,

### 3. Électrification d'un garage (éclairage et prise de courant)

- C. Mettre le montage hors tension puis insérer le circuit intégré CI1 (NE555) dans son support. Placer une sonde de mesure ( $\times 1$ ) d'un oscilloscope aux bornes de la résistance R6.
- D. Mettre le montage sous tension puis agir sur la résistance ajustable P1 afin d'obtenir un signal d'une fréquence de 500 Hz conformément à celui décrit par la figure 3-23.
- E. Mettre le montage hors tension puis insérer le circuit intégré CI2 dans son support. Placer une première sonde de mesure ( $\times 1$ ) de l'oscilloscope entre l'entrée de la résistance R7 et le potentiel 0 V (signal qui sera visualisé sur la voie 1). Placer une seconde sonde de mesure ( $\times 1$ ) entre l'entrée de la résistance R8 et le potentiel 0 V (signal qui sera visualisé sur la voie 2).
- F. Mettre le montage sous tension et contrôler l'obtention de signaux qui se caractérisent par un décalage de 10 ms entre le front montant du signal de la voie 1 (commande du transistor T1) et le front montant du signal de la voie 2 (commande du transistor T3) conformément à la recopie d'écran décrite par la figure 3-24.

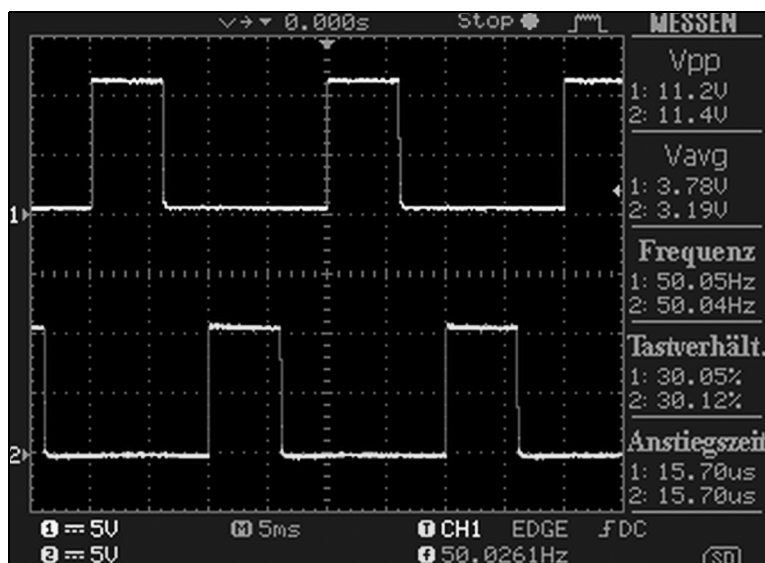


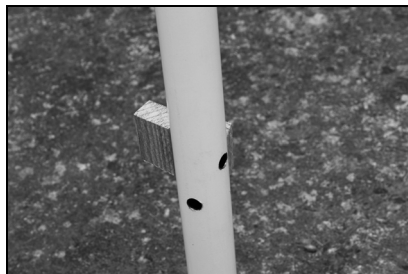
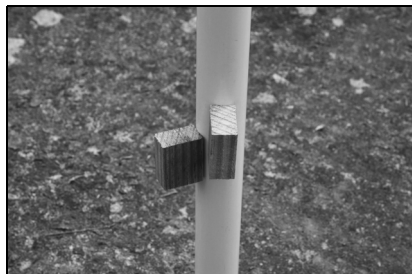
Figure 3-24 - Alternativement, toutes les 10 ms, les transistors T1 et T3 reçoivent un ordre de conduction d'une durée de 6 ms.

## 4. Électrification d'un mobile-home



**Figure 4-59** - Avec le vissage des trois cornières inclinées en aluminium, le châssis du suiveur commence à prendre forme.

Enfin, le guidage du suiveur autour de son axe nécessite de fixer sur le tasseau vertical central du châssis deux cylindres « ouverts » en PVC découpés dans un tuyau que l'on trouve au rayon plomberie d'un magasin de bricolage (diamètre interne du tuyau en PVC : 40 mm – figure 4-61). Ce dispositif technique permet « d'emboîter » le châssis autour de son axe fixe dont la base est noyée dans du béton. De cette manière, une liberté d'exploitation est laissée à l'utilisateur car celui-ci peut ranger le châssis équipé du panneau photovoltaïque quand le mobile-home ou la résidence secondaire n'est plus occupée.



**Figure 4-60** - Un simple pied métallique pour boîtes à lettres constituera l'axe de rotation du suiveur solaire.