

Απλά συστήματα ηλιακής ενέργειας

Διαδικασία φόρτισης από τον ήλιο με ή χωρίς ελεγκτή

Από τον Jens Nickel με την συνεργασία του David Gibson

Διάφορες διατάξεις πολύπλοκων φορτιστών και μονάδων αντιστοφένων (inverters) μπορούν να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να εκμεταλλευτούν και την τελευταία 'σταγόνα' ενέργειας από ένα στοιχείο ηλιακού συλλέκτη. Αντίθετα με το τι πιστεύουν οι περισσότεροι, είναι δυνατό να συνδέσουμε μια μπαταρία απευθείας σε έναν ηλιακό συλλέκτη.



Σχήμα 1. Ένα αυτόνομο σύστημα ηλιακού συλλέκτη μας παρέχει έναν μεγάλο βαθμό ανεξαρτησίας από το δίκτυο του ηλεκτρικού ρεύματος (Φωτογραφία: Phocos).

μεταλλικό πλαίσιο από αλουμίνιο ή όχι) και κυμαίνεται από 2 έως 3 χρόνια.

Αυτονομία με χρήση της ηλιακής ενέργειας

Μια ομάδα ηλιακών συλλεκτών μπορεί να τοποθετηθεί στην οροφή ενός κτιρίου ή ακόμη και σε έναν ανοικτό χώρο και να συνδεθεί με το εθνικό δίκτυο, μέσω μονάδας αντιστροφένων (inverters) και στην συνέχεια η ενέργεια που παράγεται να πωλείται στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Σε πολλές χώρες η επιστροφή χρημάτων με τον τρόπο αυτόν υπερβαίνει πολλές φορές ανά μονάδα το ονομαστικό κόστος της αντίστοιχης παροχής. Σε σημεία όπου το ηλεκτρικό δίκτυο δεν είναι διαθέσιμο, όπως για παράδειγμα, σε ένα σκάφος, σε κάποια απομακρυσμένη ξενοδοχειακή μονάδα, σε μια πλωτή σημαδούρα, σε τηλεφωνικούς θαλάμους ανάγκης σε απομακρυσμένα σημεία αυτοκινητοδρόμων καθώς και σε άλλες παρόμοιες περιπτώσεις, οι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται με έναν διαφορετικό τρόπο (Σχήμα 1). Τέτοιου είδους αυτόνομα συστήματα τροφοδοσίας απαιτούν λειτουργικά την ύπαρξη μιας μπαταρίας. Ο βέλτιστος λόγος τιμής προς απόδοση προσφέρεται ακόμη από την χρήση συσσωρευτών μολύβδου, αν και άλλοι τύποι όπως αυτός των μπαταριών Νικελίου-Καδμίου (NiCd) χρησιμοποιού-

Στην Αγγλία κατά την διάρκεια μιας ηλιόλουστης ημέρας (όποτε αυτή υπάρχει) λαμβάνουμε ενέργεια από τον ήλιο με μια παροχή της τάξης των 1000 W/m^2 . Έτσι μοιάζει κάπως ανόητο να αφήνουμε μια τέτοια ενέργεια να πάει εντελώς χαμένη. Τα διάφορα ηλιακά στοιχεία που κυκλοφορούν στην αγορά και τα οποία είναι στην πλειοψηφία τους κατασκευασμένα από κρυσταλλικό πυρίτιο, μετατρέπουν το φως του ήλιου απευθείας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η διαδικασία παραγωγής και καθαρισμού του πυριτίου που είναι κατάλληλο ως πρώτη ύλη για την κατασκευή ηλιακών στοιχείων από διοξειδίο του πυριτίου (χαλαζίας) απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας και για τον

λόγο αυτόν είναι δαπανηρή. Εντούτοις, η επικρατούσα άποψη ότι οι ηλιακοί συλλέκτες (για την κατασκευή των οποίων χρησιμοποιούνται κάποια ευαίσθητα ηλιακά στοιχεία τοποθετημένα και καλωδιωμένα κατάλληλα μεταξύ τους) δεν μπορούν να αναπληρώσουν τα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται από την φάση παραγωγής τους, φαίνεται να είναι μάλλον λανθασμένη. Ο χρόνος αποπληρωμής της παραγόμενης ενέργειας από έναν σχετικά μεγάλου κλίμακας ηλιακό συλλέκτη του εμπορίου που παρέχει 100 έως και 200 Watt ηλεκτρικής ισχύος, εξαρτάται κατά έναν μεγάλο βαθμό από αυτήν την ίδια την κατασκευή του (ανάλογα με το αν φέρει ένα

νται σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν μικρότερες απαιτήσεις ενέργειας όπως για παράδειγμα σε διατάξεις μέτρησης. Κυκλοφορούν ειδικές εκδόσεις μπαταριών μολύβδου κατάλληλες για χρήση σε ηλιακούς συλλέκτες, με καλλίτερα χαρακτηριστικά αξιοπιστίας του κύκλου φόρτισης - εκφόρτισης καθώς και χαμηλότερα επίπεδα αυτόεκφόρτισης σε σχέση με άλλους εμπορικούς τύπους μπαταριών. Ο καλούμενος 'ελεγκτής φόρτισης' - charge controller - συνδέει μαζί τα διάφορα στοιχεία που αποτελούν ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας από τον ήλιο, συγκεκριμένα τον ηλιακό συλλέκτη, τις μπαταρίες και το τροφοδοτούμενο φορτίο. Η σημαντικότερη λειτουργία του ελεγκτή είναι η προστασία των μπαταριών από πιθανή υπερφόρτιση. Αμέσως λιγότερο σημαντικές ενέργειες του ελεγκτή με σειρά σημασίας είναι η προστασία έναντι βαθιάς εκφόρτισης, η υποστήριξη και η ανάκτηση της χωρητικότητας της μπαταρίας καθώς και την ικανότητάς της να δέχεται συγκεκριμένα φορτία, η κατά το δυνατόν αποδοτικότερη χρήση της ηλιακής ενέργειας και τέλος διάφορες λειτουργίες φιλικής χρήσης καθώς και παρακολούθησης ολόκληρου του συστήματος. Όσο υψηλότερες είναι οι απαιτήσεις του συστήματος σε ηλεκτρική ισχύ τόσο περισσότερο απαραίτητη είναι η χρήση ενός πολύπλοκου και συνεπώς ακριβού ελεγκτή φόρτισης πολλαπλών λειτουργιών. Πέρα από το κόστος του συστήματος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η περίσσεια ενέργειας που δαπανάται. Όπως θα δούμε αργότερα, σε περιπτώσεις συστημάτων με πολύ χαμηλές απαιτήσεις η μονάδα ελέγχου μπορεί να παραληφθεί.

Ηλιακά στοιχεία: Βασικές αρχές

Ένα ιδανικό ηλιακό στοιχείο μπορεί να παρασταθεί με μια ισοδύναμη ιδανική πηγή ρεύματος στην οποία συνδέεται παράλληλα μια ιδανική δίοδος (Σχήμα 2). Μέρος του φωτορεύματος που παράγεται στο ηλιακό στοιχείο και η ένταση του οποίου εξαρτάται από το επίπεδο φωτισμού καθώς και την επιφάνεια του στοιχείου, ρέει μέσω της ιδανικής δίοδου και συνεπώς το ωφέλιμο φωτόρροιο εξόδου μπορεί να δοθεί με τον πολύ γνωστό τύπο του ρεύματος μιας δίοδου:

$$I = I_{\text{Phot}} - I_{\text{DIODE}} = I_{\text{Phot}} - I_0 [\exp(eU/kT) - 1]$$

Κατασκευάζοντας το διάγραμμα της τάσης U συναρτήσεως του ρεύματος I λαμβάνουμε τις καμπύλες του Σχήματος 3. Το επίπεδο φωτεινότητας αυξάνεται από το κάτω αριστερό μέρος του γραφήματος με κατεύθυνση προς τα πάνω και δεξιά. Υπό συνθήκες έλλειψης φορτίου (λειτουργία στο κενό) μπορούμε να μετρήσουμε στα άκρα

του ηλιακού στοιχείου την τάση ανοικτού κυκλώματος: στην περίπτωση στοιχείων από πυρίτιο η τάση αυτή βρίσκεται λίγο πιο κάτω από τα 0.6 V (για επίπεδο φωτεινότητας 1000 W/m² και θερμοκρασία 25 °C). Από την άλλη πλευρά, βραχυκυκλώνοντας τα άκρα του στοιχείου θα λάβουμε (θεωρητικά) το ρεύμα βραχυκύκλωσης.

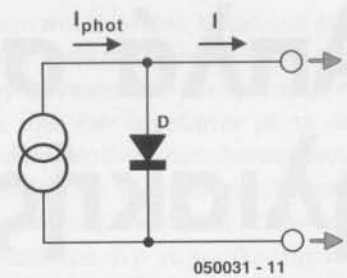
Η μέγιστη ισχύς εξόδου λαμβάνεται στα σημεία όπου εμφανίζεται ο κύκλος, τα λεγόμενα σημεία ΣΜΙ (Σημεία Μέγιστης Ισχύος - MPP: Maximum Power Points). Ένας ηλιακός συλλέκτης αποτελείται γενικά από πολλά ηλιακά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα μεταξύ τους έτσι ώστε η ομάδα των στοιχείων που σχηματίζεται να μπορεί να αποδώσει μια μεγαλύτερη τιμή τάσης εξόδου και μεγαλύτερες τιμές ρεύματος. Ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα στοιχεία καθώς επίσης και τον τύπο του ηλιακού συλλέκτη μπορούμε να λάβουμε απόδοση ισχύος μεταξύ 80 W/m² και 150 W/m², που αντιστοιχεί σε ενεργειακό συντελεστή απόδοσης μεταξύ 8% και 15%. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνει η αποδοτικότητα ισχύος από τον συλλέκτη ελαττώνεται κατά 0.2% έως 0.5% περίπου για κάθε βαθμό °C. Επίσης είναι δυνατό να συνδέσουμε μαζί περισσότερους του ενός συλλέκτες ώστε να σχηματίσουμε μεγαλύτερες πηγές ηλεκτρικής ισχύος.

Ο εύκολος τρόπος φόρτισης

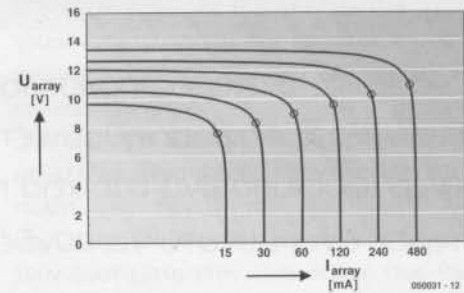
Αν η ονομαστική τάση εξόδου ενός ηλιακού συλλέκτη είναι μεγαλύτερη από αυτήν της μπαταρίας, τότε δεν υπάρχει κάποιος σοβαρός λόγος για τον οποίον να μην μπορούμε να συνδέσουμε την έξοδο του συλλέκτη απευθείας πάνω στην μπαταρία. Αυτό ίσως ακούγεται κάπως ασυνήθιστο αλλά ας προχωρήσουμε σε κάποιες απομυθοποιήσεις:

Αν η ονομαστική τάση της μπαταρίας είναι σημαντικά χαμηλότερη από την ονομαστική τάση εξόδου ενός ηλιακού συλλέκτη, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας διαίρετης τάσης ή κάποια άλλη παρόμοια διάταξη. Στην πράξη ένας ηλιακός συλλέκτης 12 Volt μπορεί να συνδεθεί απευθείας σε μια μπαταρία των 3 Volt χωρίς να προκαλέσει καμία καταστροφή (παρατηρήστε το Σχήμα 3). Ένας ηλιακός συλλέκτης των 12 Volt δεν λειτουργεί ως μια πηγή σταθερής τάσης 12 Volt αλλά ως μια πηγή ρεύματος. Το μόνο που θα συμβεί στην περίπτωση που περιγράφεται εδώ είναι ότι ο συλλέκτης θα λειτουργήσει πολύ πιο κάτω από την χαρακτηριστική του καμπύλη.

Το ρεύμα φόρτισης της μπαταρίας θα πρέπει να υπόκειται σε έλεγχο. Στην πραγματικότητα το μοναδικό κριτήριο που λαμβάνεται υπόψη είναι ότι η ισχύς του ηλια-



Σχήμα 2. Ισοδύναμο κύκλωμα ενός (ιδανικού) ηλιακού στοιχείου: μια (ιδανική) πηγή ρεύματος παράλληλα συνδεδεμένη με μια (ιδανική) δίοδο.



Σχήμα 3. Χαρακτηριστικές καμπύλες ενός ηλιακού συλλέκτη για διάφορες τιμές φωτεινότητας. Στο διάγραμμα φαίνονται τα σημεία μέγιστης ισχύος.

κού συλλέκτη θα πρέπει να ταιριάζει σε ένα λογικό επίπεδο με την χωρητικότητα της μπαταρίας έτσι ώστε να αποφεύγεται το ενδεχόμενο καταστροφής εξαιτίας της υπερφόρτισης (δείτε παρακάτω).

Σε συνθήκες σκότους μια μπαταρία η οποία έχει συνδεθεί απευθείας πάνω στον ηλιακό συλλέκτη θα εκφορτίζεται μερικώς εξαιτίας ενός πολύ μικρού ρεύματος διαρροής προς τον συλλέκτη. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την βοήθεια ενός πολύ απλού κυκλώματος σαν αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 4. Πρακτικά το απλό αυτό κύκλωμα, από το οποίο λείπει οποιαδήποτε λειτουργία ελεγκτή φόρτισης, είναι κατάλληλο για χρήση σε πολύ μικρά συστήματα στα οποία το ρεύμα που παράγεται από τον ηλιακό συλλέκτη είναι μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα βραδείας φόρτισης της μπαταρίας. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου μπορούν να υπερφορτιστούν για περίπου έως και 100 συνεχείς ώρες αν το ρεύμα φόρτισης (μετρούμενο σε A) είναι μικρότερο από το ένα δέκατο της χωρητικότητας (σε αμπερώρια - Ah). Ένας μικρός ηλιακός συλλέκτης ονομαστικού ρεύματος φορτίου 2 A μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί για να φορτίσει μια μπαταρία 20Ah χωρίς την ανάγκη προσθήκης οποιουδήποτε κυκλώματος, για όσο διάστημα το συνδεδεμένο φορτίο εκφορτίζει κατά διαστήματα την μπαταρία. Πρόκειται επί παραδείγματι,

για την περίπτωση μιας μικρής φωτεινής επιγραφής του αριθμού ενός σπιτιού η οποία ενεργοποιείται αυτόματα την νύχτα.

΄Παν μέτρον άριστον΄

Όταν μια μπαταρία μολύβδου με υγρό ηλεκτρολύτη υπερφορτιστεί αναπτύσσει κάποια αέρια, γεγονός που οδηγεί τελικά στην καταστροφή της. Για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιείται μια διάταξη ελεγκτή φόρτισης ώστε να αποσυνδέεται η μπαταρία σε περίπτωση υπερφόρτισης. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται αυτό (Σχήμα 5). Σε μια τοπολογία σταθεροποιητή σειράς ο ελεγκτής διακόπτει το κύκλωμα φόρτισης ενώ σε μια παράλληλη τοπολογία μετάγεται μια μικρή ωμική αντίσταση παράλληλα με τον συλλέκτη έτσι ώστε το ρεύμα του συλλέκτη να διαρρέει την αντίσταση αυτή. Φυσικά η δίοδος που βλέπουμε είναι απαραίτητη στο κύκλωμα αυτό. Η διαδικασία της μεταγωγής επιτυγχάνεται με κάποια διάταξη ημιαγωγού. Στην ιδανική περίπτωση εφόσον η μπαταρία φορτιστεί πλήρως ένα μικρό ρεύμα θα συνεχίζει να ρέει ώστε να διατηρηθεί σταθερή η τάση των ακροδεκτών. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια του ελεγκτή φόρτισης ο οποίος συνδέει για μικρό χρονικό διάστημα κάθε τόσο τον συλλέκτη στην μπαταρία, όπου ο χρονισμός της διεργασίας αυτής καθορίζεται από την τάση της μπαταρίας. Στην πράξη για την παραπάνω υλοποίηση χρησιμοποιούνται κυκλώματα διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) σταθερής συχνότητας.

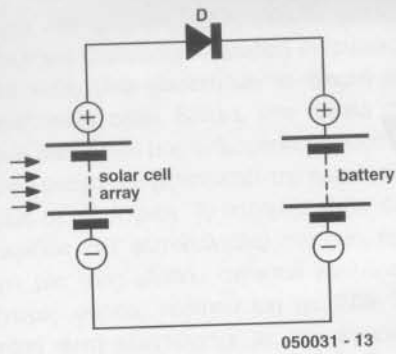
μείου λειτουργίας του συστήματος ώστε να παρακολουθούνται τα σημεία μέγιστης ισχύος καθώς μεταβάλλεται το επίπεδο φωτισμού που φθάνει στην ενεργό επιφάνεια του συλλέκτη, ανά τυπικά διαστήματα του ενός δευτερολέπτου, καλείται διαδικασία παρακολούθησης σημείων μέγιστης ισχύος (MPP Tracking). Η απόδοση που κερδίζουμε με την τεχνική αυτή συνήθως υπερεκτιμάται: σχετικά πειράματα έδειξαν ότι το κέρδος απόδοσης σε συστήματα χωρίς σταθεροποίηση έφθανε περίπου το 5%. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι όλοι σχεδόν οι μετατροπείς συνεχούς σε συνεχές εμφανίζουν κάποιες απώλειες καθώς επίσης και ότι η μονάδα παρακολούθησης σημείων μέγιστης ενέργειας αυξάνει σημαντικά το κόστος του ελεγκτή, η συγκεκριμένη τεχνική προσέγγιση συμφέρει να χρησιμοποιείται μόνον σε συστήματα μέσης έως υψηλής απαίτησης ισχύος (από 200 W και πάνω).

Μια απλή μέθοδος προσδιορισμού των σημείων μέγιστης ισχύος είναι η μέτρηση της τάσης ανοικτού κυκλώματος σε τακτά χρονικά διαστήματα. Από τις σχετικές χαρακτηριστικές καμπύλες (Σχήμα 3) προκύπτει ότι τα σημεία αυτά εμφανίζονται στο 80% περίπου της τάσης ανοικτού κυκλώματος. Για ακόμη πιο αποδοτικές φορτίσεις θα πρέπει να παρακολουθείται διαρκώς και το ρεύμα φόρτισης. Η τάση εξόδου του συλλέκτη ρυθμίζεται τότε κατάλληλα έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί το ρεύμα φόρτισης. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, στους περισσότερους σύγχρονους ελεγκτές φόρτισης παρέχεται και ένα πλήθος πρόσθετων λειτουργιών (Σχήμα 7). Σχεδόν όλες οι μονάδες του τύπου αυτού προσφέρουν προστασία έναντι βραδείας εκφόρτισης και διακόπτουν την σύνδεση του φορτίου όταν η μπαταρία έχει εκφορτιστεί σε επικίνδυνα επίπεδα. Ακριβότερα μοντέλα τέτοιων ελεγκτών περιλαμβάνουν και όργανα μέτρησης για την παρακολούθηση της κατάστασης της φόρτισης, θόνοες καθώς επίσης και δυνατότητα τηλεχειρισμού. (050031-1)

Ελεγκτές φόρτισης υψηλής τεχνολογίας

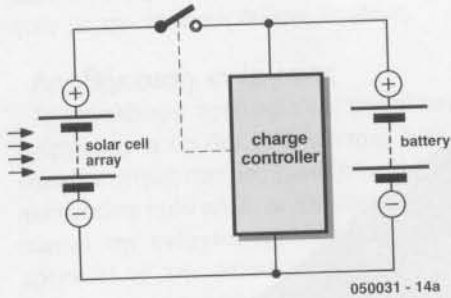
Η μέγιστη δυνατή αποδιδόμενη ισχύς μπορεί να επιτευχθεί από έναν ηλιακό συλλέκτη όταν αυτός λειτουργεί συνεχώς στα σημεία μέγιστης ισχύος. Σε μια τέτοια περίπτωση η τάση του συλλέκτη μεταβάλλεται διαρκώς και είναι ανεξάρτητη από την τάση της μπαταρίας. Για τον λόγο αυτό σε μερικούς ελεγκτές φόρτισης στους οποίους χρησιμοποιείται ένας ρυθμιζόμενος μετατροπέας συνεχούς σε συνεχές - DC/DC - (Σχήμα 6). Η κατάλληλη ρύθμιση του ση-

Σχήμα 7. Δύο συσκευές ελεγκτών φόρτισης, η πρώτη εκ των οποίων κατασκευάζεται από την Steca (αριστερά) και η άλλη από την Phocos (δεξιά). Οι μονάδες αυτές παρέχουν μια πλήρη λύση για σύστημα ελέγχου φόρτισης με δυνατότητες προστασίας υπερφόρτισης και βραδείας εκφόρτισης, παρακολούθηση και καταγραφή σημείων μέγιστης εμφανιζόμενης ισχύος, καθώς και διάφορες άλλες λειτουργίες. (φωτογραφίες: Steca και Phocos)

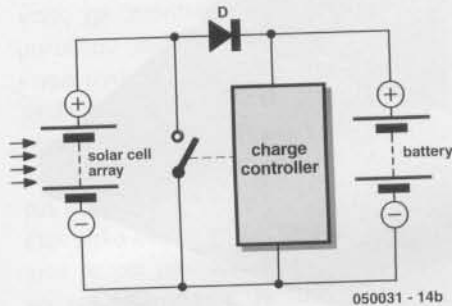


050031 - 13

Σχήμα 4. Το απλό αυτό κύκλωμα επαρκεί στην περίπτωση συλλεκτών πολύ χαμηλής ισχύος.

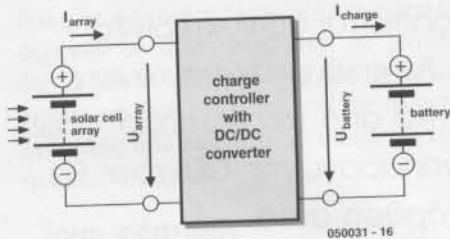


050031 - 14a



050031 - 14b

Σχήμα 5. Ένας ελεγκτής φόρτισης παρέχει προστασία έναντι υπερφόρτισης.



050031 - 16

Σχήμα 6. Αρχή λειτουργίας ενός μεταβλητού μετατροπέα DC-DC για φόρτιση από ηλιακό συλλέκτη. Παρατηρήστε ότι η τάση που μεταβάλλεται δεν είναι η τάση εξόδου αλλά η τάση εισόδου.

