



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Σχεδιασμός και Λειτουργία Συστημάτων ΑΠΕ

Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

**ΕΝΟΤΗΤΑ 07:
Φωτοβολταϊκά Συστήματα III**

ΑΣΚΗΣΗ 1

Να εκτιμήσετε την ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μίας οικίας όπου όλες οι συσκευές είναι εναλλασσόμενου ρεύματος. Η οικία έχει ένα ψυγείο 19 ft^3 , έξι συνεπυγμένους λαμπτήρες φθορισμού 30 W που χρησιμοποιούνται 5 h/day , μία τηλεόραση 19 in που είναι σε λειτουργία 3 h/day και είναι συνδεδεμένη σε δορυφορικό δέκτη, ένα ασύρματο τηλέφωνο, ένα φούρνο μικροκυμάτων 1000 W που χρησιμοποιείται 6 min/day , ένα πλυντήριο ρούχων οριζόντιου άξονα που λειτουργεί $0,2 \text{ h/day}$ και μία αντλία 100 W που δουλεύει $1,25 \text{ h/day}$ για να αντλεί νερό από ένα πηγάδι βάθους 100 ft .

ΛΥΣΗ:

Με τη βοήθεια των δεδομένων του Πίνακα 1, μπορούμε να κατασκευάσουμε τον Πίνακα 2, από τον οποίο βλέπουμε ότι η συνολική ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της οικίας είναι 3109 Wh/day . Αξίζει να σημειωθεί ότι το σύστημα τηλεόρασης / δορυφορικού δέκτη την ημέρα καταναλώνει συνολικά 698 Wh από τις οποίες τις 255 Wh καταναλώνει όταν είναι σε λειτουργία και τις υπόλοιπες 443 Wh ($63,5\%$) όταν είναι σε αναμονή, οπότε είναι προφανές ότι, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας, το σύστημα τηλεόρασης/δορυφορικού δέκτη θα πρέπει να κλείνει (να μην τίθεται σε κατάσταση αναμονής) για όσο διάστημα δε λειτουργεί.

Τα δεδομένα (Πίνακας 1 είναι στο αρχείο των Διαλέξεων)

Συσκευή	Ισχύς (W)	h/day	Ενέργεια (Wh/day)	Ενέργεια (%)
Ψυγείο 19 ft ³	300		1140	37
Λαμπτήρες φωτισμού (6 x 30 W)	180	5	900	29
Τηλεόραση, 19 in, ενεργή	68	3	204	7
Τηλεόραση, 19 in, σε αναμονή	5.1	21	107.1	3
Δορυφορικός δέκτης, ενεργός	17	3	51	2
Δορυφορικός δέκτης, σε αναμονή	16	21	336	11
Ασύρματο τηλέφωνο	4	24	96	3
Φούρνος μικροκυμάτων	1000	0.1	100	3
Πλυντήριο ρούχων	250	0.2	50	2
Αντλία	100	1.25	125	4
Σύνολο			3109.1	100

Πίνακας 2

ΑΣΚΗΣΗ 2

Έστω ότι θεωρείται ένα ψυγείο συνεχούς ρεύματος που καταναλώνει 800 Wh/day αντί για το ψυγείο εναλλασσόμενου ρεύματος που καταναλώνει 1140 Wh/day. Να εκτιμηθεί το φορτίο συνεχούς ρεύματος που θα πρέπει να παρέχουν οι μπαταρίες αν χρησιμοποιηθεί αντιστροφείας με απόδοση 85% (α) με όλα τα φορτία να λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα και (β) με όλα τα φορτία εκτός του ψυγείου να λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Λύση

α. Με όλες τις 3109 Wh/day να λειτουργούν με ένα αντιστροφεία απόδοσης 85%, το φορτίο συνεχούς ρεύματος που θα πρέπει να παρέχουν οι μπαταρίες θα είναι:

$$\text{Φορτίο dc μπαταρίας} = \frac{3109 \text{ Wh/day}}{0.85} = 3658 \text{ Wh/day}$$

β. Με την απομάκρυνση του φορτίου των 1140 Wh/day του ψυγείου, το υπόλοιπο φορτίο εναλλασσόμενου ρεύματος είναι:

$$\text{Φορτίο ac} = (3109 - 1140) \text{ Wh/day} = 1969 \text{ Wh/day}$$

Το φορτίο αυτό εναλλασσόμενου ρεύματος, εξαιτίας της απόδοσης του αντιστροφέα κατά 85%, αντιστοιχεί στο ακόλουθο φορτίο συνεχούς ρεύματος:

$$\text{Φορτίο dc} = \frac{1969 \text{ Wh/day}}{0.85} = 2316 \text{ Wh/day}$$

Αν προστεθούν και τα 800 Wh/day του ψυγείου συνεχούς ρεύματος, τότε το συνολικό φορτίο συνεχούς ρεύματος που θα πρέπει να παρέχουν οι μπαταρίες θα είναι:

$$\text{Φορτίο dc μπαταρίας} = (2316 + 800) \text{ Wh/day} = 3116 \text{ Wh/day}$$

Διαπιστώνουμε ότι σε σχέση με την πρώτη περίπτωση υπάρχει 15% μείωση στο φορτίο συνεχούς ρεύματος της μπαταρίας.

Στο προηγούμενο Παράδειγμα 2, να υπολογιστεί η τάση του συστήματος:

Λύση

Στον παρακάτω Πίνακα 5 φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού της μέγιστης ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος μόνιμης κατάστασης της οικίας. Επειδή η μέγιστη ισχύς ac μόνιμης κατάστασης είναι 1919 W, από τον Πίνακα 3 προκύπτει ότι η τάση συστήματος συνεχούς ρεύματος είναι 24 V.

Συσκευή	Ισχύς (W)
Ψυγείο 19 ft ³	300
Λαμπτήρες φθορισμού (6 x 30 W)	180
Τηλεόραση/δορυφορικός δέκτης, ενεργά	85
Ασύρματο τηλέφωνο	4
Φούρνος μικροκυμάτων	1000
Πλυντήριο ρούχων	250
Αντλία	100
Μέγιστη ισχύς ac μόνιμης κατάστασης	1919

Πίνακας 5

ΑΣΚΗΣΗ 3

Η θερμοκρασία των μπαταριών σε ένα τηλεπικοινωνιακό σταθμό πέφτει στους -20°C . Αν πρέπει να παρέχουν δύο ημέρες αποθήκευσης για ένα φορτίο που χρειάζεται 500 Ah/day στα 12 V , να υπολογιστεί η προδιαγεγραμμένη ικανότητα αποθήκευσης αυτής της συστοιχίας μπαταριών.

Λύση

Από το Σχήμα 2, για να αποφευχθεί η ψύξη της μπαταρίας, το μέγιστο βάθος εκφόρτισης στους -20°C είναι περίπου 60%. Για δύο ημέρες αποθήκευσης, ή 48 ώρες αποθήκευση, ο ρυθμός εκφόρτισης είναι $C/48$. Για δύο ημέρες αποθήκευσης, με εκφόρτιση όχι περισσότερο από 60%, οι μπαταρίες πρέπει να αποθηκεύσουν:

$$\text{Ικανότητα}(-20^{\circ}\text{C}, C/48) = \frac{(500 \text{ Ah/day}) \cdot (2 \text{ days})}{0.60} = 1667 \text{ Ah}$$

Επειδή η ονομαστική ικανότητα των μπαταριών προδιαγράφεται συνήθως στους 25°C και σε ρυθμό $C/20$, από το Σχήμα 3 για μπαταρίες με ρυθμό εκφόρτισης $C/48$ και θερμοκρασία -20°C βρίσκουμε ότι:

$$\frac{\text{Ικανότητα}(-20^{\circ}\text{C}, C/48)}{\text{Ικανότητα}(25^{\circ}\text{C}, C/20)} = 80\% \Rightarrow \text{Ικανότητα}(25^{\circ}\text{C}, C/20) = \frac{1667 \text{ Ah}}{0.8} \Rightarrow$$

$$\text{Ικανότητα}(25^{\circ}\text{C}, C/20) = 2083 \text{ Ah}$$

ΑΣΚΗΣΗ 4

Ένα φ/β πλαίσιο αποτελείται από 36 φ/β στοιχεία και το κάθε φ/β στοιχείο έχει ρεύμα κόρου $10\text{-}10 \text{ A}$ και μία παράλληλη αντίσταση 8Ω . Τα φ/β παρέχουν το ισοδύναμο των 5 A για 6 h/day . Το φ/β πλαίσιο συνδέεται χωρίς δίοδο φραγής σε μία μπαταρία τάσης $12,5 \text{ V}$.

1. Να υπολογιστούν τα Ah που εκφορτίζονται από τη μπαταρία κατά τη διάρκεια της νύκτας, όταν η νύκτα διαρκεί 15 ώρες.
2. Να υπολογιστεί πόση ενέργεια θα χαθεί λόγω αυτής της διαρροής.
3. Αν προστεθεί δίοδος φραγής, να υπολογιστεί πόση ενέργεια θα χάνεται στη δίοδο αυτή κατά τη διάρκεια της νύκτας. Να υποθέσετε ότι όταν η δίοδος φραγής άγει, έχει πτώση τάσης $0,6 \text{ V}$.

Λύση

Το φ/β πλαίσιο έχει 36 φ/β στοιχεία. Η τάση στα άκρα κάθε φ/β στοιχείου θα είναι περίπου:

$$V_d = \frac{V_B}{n} = \frac{12.5 V}{36} = 0.347 V$$

το νυκτερινό ρεύμα διαρροής I_B από τη μπαταρία μέσω κάθε ενός από τα n φ/β στοιχεία θα είναι:

$$I_B = I_0 \cdot (e^{38.9 \cdot V_d} - 1) + \frac{V_d}{R_p} = 10^{-10} \cdot (e^{38.9 \cdot 0.347} - 1) + \frac{0.347}{8} = 0.043 A = 43 mA$$

1. Στη διάρκεια των 15 ωρών της νύκτας, η απώλεια σε Ah από τη μπαταρία θα είναι:

$$\text{Loss} = (0,043 A) \cdot (15 h) = 0,65 Ah$$

2. Σε ονομαστική τάση 12,5 V, η απώλεια ενέργειας τη νύκτα θα είναι:

$$\text{EnergyLoss} = (0,65 Ah) \cdot (12,5V) = 8,1 Wh$$

3. Προσθέτοντας τη δίοδο φραγής, η απώλεια ενέργειας τη νύκτα θα είναι μηδέν, επειδή το ρεύμα I_B θα είναι μηδέν. Όμως, η δίοδος φραγής θα άγει κατά τη διάρκεια της μέρας, οπότε θα καταναλώνει ενέργεια κατά τη διάρκεια της μέρας. Κατά τη διάρκεια της μέρας, τα φ/β θα παραδίδουν: $\text{Output} = (5 A) \cdot (6 h) = 30 Ah$. Κατά τη διάρκεια της μέρας, η απώλεια ενέργειας της δίοδου φραγής εξαιτίας της αγωγής της θα είναι: $\text{EnergyLoss} = (30 Ah) \cdot (0,6V) = 18 Wh$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι χωρίς τη δίοδο φραγής, η συνολική απώλεια ενέργειας θα είναι 8,1 Wh. Αν χρησιμοποιήσουμε δίοδο φραγής, η συνολική απώλεια ενέργειας θα είναι 18 Wh, οπότε δε θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε δίοδο φραγής.

ΑΣΚΗΣΗ 5

Μία οικία του έχει ζήτηση 3000 Wh/day σε εναλλασσόμενη τάση 120 V που παραδίδονται από ένα αντιστροφέα με απόδοση 85% και 24 V τάση εισόδου συνεχούς ρεύματος. Για τάση συστήματος 24 V, απόδοση Coulomb 90%, και συντελεστή υποβάθμισης 90%, να διαστασιολογηθεί ένας φ/β συλλέκτης χρησιμοποιώντας φ/β πλαίσια Kyocera KC120.

Λύση

το Kyocera KC120 είναι φ/β πλαίσιο 120 W με σημείο μέγιστης ισχύος σε ρεύμα 7,1 A και σε τάση 16,9 V. Ο χειρότερος ηλιακός μήνας είναι ο Δεκέμβριος, ο οποίος έχει 3,1 ώρες ήλιου αιχμής σε γωνία κλίσης $L+15^\circ$, δηλαδή γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος $+15^\circ$. Με τη βοήθεια της προηγούμενης σχέσης μπορεί να υπολογιστούν οι αμπερ-ώρες Ah_{inverter} που παραδίδονται από μία ομάδα φ/β πλαισίων το Δεκέμβριο;

$$Ah_{\text{string}} = I_R \cdot h_{\text{peak sun}} \cdot n_c \cdot DF = (7.1 A) \cdot (3.1 h / \text{day}) \cdot 0.90 \cdot 0.90 = 17.83 Ah / \text{day} - \text{string}$$

Ο αντιστροφέας στην είσοδο έχει τάση 24 V dc και στην έξοδο έχει τάση 120 V ac, ενώ η απόδοσή του είναι 85%. Ο αντιστροφέας για να παραδίδει 3000 Wh/day σε τάση 120 V ac, χρειάζεται, για τάση εισόδου 24 V dc, τις ακόλουθες αμπέρ-ώρες από το φ/β συλλέκτη:

$$Ah_{collector} = \frac{3000 \text{ Wh/day}}{0.85 \cdot (24 \text{ V})} = 147 \text{ Ah/day}$$

Επειδή αυτά τα φ/β πλαίσια έχουν ονομαστική τάση 16,9 V είναι κανονικά “φ/β πλαίσια των 12 V”. Έτσι, χρειάζονται παράλληλες ομάδες, όπου κάθε ομάδα έχει δύο φ/β πλαίσια των 12 V στη σειρά για να προκύψει τάση συστήματος 24 V. Ο αριθμός των παράλληλων ομάδων φ/β πλαισίων που απαιτούνται είναι:

$$N = \frac{Ah_{collector}}{Ah_{string}} = \frac{147 \text{ Ah/day}}{17.83 \text{ Ah/day-string}} = 8.25 \text{ strings}$$

Ας υποθέσουμε ότι υποδιαστασιολογούμε ελαφρά το συλλέκτη και χρησιμοποιούμε 8 παράλληλες ομάδες με δύο φ/β πλαίσια των 12 V η κάθε ομάδα, δηλαδή χρησιμοποιούμε συνολικά 16 φ/β πλαίσια. Συνυπολογίζοντας το συντελεστή υποβάθμισης 90%, τα φ/β σε τάση 24 V dc θα παραδίδουν:

$$PV_{output} = (8 \text{ strings}) \cdot (7.1 \text{ A/string}) \cdot (3.1 \text{ h/day}) \cdot 0.90 = 158 \text{ Ah/day}$$

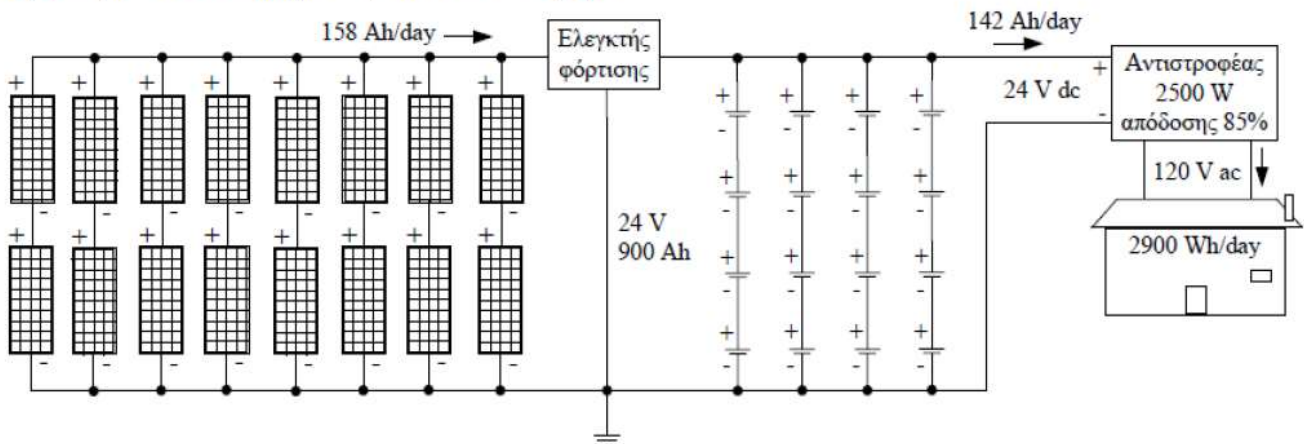
Οι μπαταρίες με 90% απόδοση Coulomb σε τάση 24 V dc θα παραδίδουν:

$$Battery_{output} = (158 \text{ Ah/day}) \cdot 0.90 = 142 \text{ Ah/day}$$

Ο αντιστροφέας με απόδοση 85% σε τάση 120 V ac θα παραδίδει:

$$Inverter_{output} = (142 \text{ Ah/day}) \cdot (24 \text{ V}) \cdot 0.85 = 2900 \text{ Wh/day}$$

Έτσι, η σχεδίαση δίνει παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το Δεκέμβριο λίγο κάτω από τη ζήτηση των 3000 Wh/day. Το διάγραμμα του συστήματος, που περιλαμβάνει και μερικές από τις ροές ενέργειας για το Δεκέμβριο, φαίνεται στο Σχήμα 7

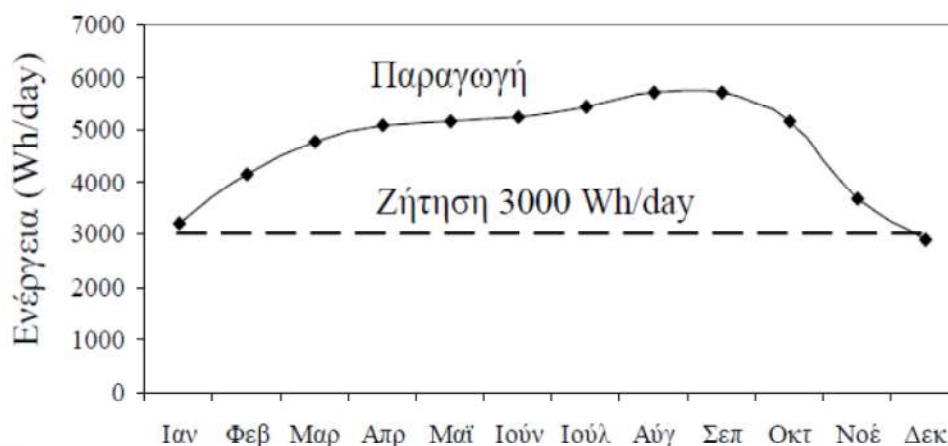


Σχήμα 7 : Σχεδίαση του αυτόνομου συστήματος φ/β-μπαταρίας

Οι ροές ενέργειας είναι για το μήνα σχεδίασης, δηλαδή το Δεκέμβριο. Χρησιμοποιώντας τις ηλιακές εντάσεις κάθε μήνα τις παραμέτρους του συστήματος, καθώς και την προηγούμενη μεθοδολογία, μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που θα παράγει το αυτόνομο σύστημα για κάθε μήνα του έτους. Για παράδειγμα, η παραγόμενη ενέργεια κατά το μήνα Αύγουστο, που έχει 6,1 ώρες ήλιου αιχμής, είναι:

$$Energy = (8 \text{ strings}) \cdot (7.1 \text{ A/string}) \cdot (6.1 \text{ h/day}) \cdot 0.90 \cdot 0.90 \cdot (24 \text{ V}) \cdot 0.85 = 5725 \text{ Wh/day}$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στο Σχήμα 8. Από το Σχήμα αυτό προκύπτει ότι το σύστημα φ/β-μπαταρίας που είναι διαστασιολογημένο να καλύπτει τη ζήτηση του μήνα με τη χειρότερη ηλιοφάνεια (Δεκέμβριος), παράγει πολύ περισσότερη από την απαιτούμενη ενέργεια κατά τους υπόλοιπους μήνες του έτους.



Σχήμα 8 : Το σύστημα φ/β-μπαταρίας που είναι διαστασιολογημένο να καλύπτει τη ζήτηση του μήνα με τη χειρότερη ηλιοφάνεια παράγει πολύ περισσότερη από την απαιτούμενη ενέργεια κατά τους υπόλοιπους μήνες του έτους.