



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Σχεδιασμός και Διαχείριση Συστημάτων ΑΠΕ

ΔΙΑΛΕΞΗ 07: Φωτοβολταϊκά (Φ/Β) Συστήματα III

Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΛΕΞΗΣ

- Αυτόνομα φ/β συστήματα
- Εκτίμηση φορτίου
- Αντιστροφές & τάση συστήματος
- Μπαταρίες –ικανότητα αποθήκευσης
- Δίοδοι φραγής
- Διαστασιολόγηση φ/β συλλέκτη

Θέματα ανταγωνισμού

- Επειδή τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι συνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο χρησιμοποιούν την ηλεκτρική εταιρία (π.χ. ΔΕΗ) για εφεδρεία, δεν υπάρχει ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες, εκτός αν υπάρχουν προβλήματα λόγω διακοπών στην παροχή ισχύος. Όμως, έχοντας επι τόπου διαθέσιμο το ηλεκτρικό δίκτυο, **τα φ/β θα πρέπει να ανταγωνιστούν τη σχετικά φθηνή ηλεκτρική ενέργεια της ηλεκτρικής εταιρίας, το οποίο δυσκολεύει την οικονομική βιωσιμότητα των φ/β, εκτός και αν υπάρχουν σημαντικές επιδοτήσεις.**
- Όταν το ηλεκτρικό δίκτυο δεν είναι κοντά, η ηλεκτρική ενέργεια ξαφνικά γίνεται πολύ πιο χρήσιμη και το επιπλέον κόστος και η πολυπλοκότητα ενός πλήρως αυτοδύναμου, αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παρέχει τεράστια πλεονεκτήματα.
- Αντί να ανταγωνίζεται την ηλεκτρική ενέργεια κόστους €10/kWh που παρέχει η ηλεκτρική εταιρία στην περίπτωση του συνδεδεμένου με το δίκτυο φ/β συστήματος, **ένα αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκού-μπαταρίας ανταγωνίζεται την ηλεκτρική ενέργεια κόστους €50/kWh που παρέχει η ντιζελ-γεννήτρια.**
- Ένα αυτόνομο σύστημα μπορεί επίσης να ανταγωνίζεται με **το κόστος να έρθει το ηλεκτρικό δίκτυο στο σημείο που είναι τα προς εξυπηρέτηση ηλεκτρικά φορτία, που κοστίζει πολλές χιλιάδες ευρώ ανά χιλιόμετρο γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.**

Βασικοί παράμετροι:

Η ισχύς που απαιτείται από ένα φορτίο, καθώς επίσης και η ενέργεια που απαιτείται στη διάρκεια του χρόνου από ένα φορτίο, είναι σημαντικές παράμετροι για τη διαστασιολόγηση του συστήματος. Στην απλούστερη περίπτωση, η ενέργεια είναι απλά το γινόμενο κάποιας ονομαστικής ισχύος της συσκευής επί τις ώρες λειτουργίας της. Όμως τα πράγματα είναι συχνά περισσότερο σύνθετα. Για παράδειγμα, ένας ενισχυτής χρειάζεται περισσότερη ισχύ όταν αυξάνεται η ένταση, και πολλές συσκευές, όπως τα ψυγεία και τα πλυντήρια, χρησιμοποιούν διαφορετικές ποσότητες ισχύος κατά τη διάρκεια του κύκλου λειτουργίας τους. Μία σημαντική θεώρηση για τις οικιακές ηλεκτρονικές συσκευές (τηλεοράσεις, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φορητά τηλέφωνα) είναι η ισχύς που καταναλώνεται όταν η συσκευή είναι σε κατάσταση αναμονής ή φόρτισης. Στις ΗΠΑ, οι οικιακές ηλεκτρονικές συσκευές καταναλώνουν περίπου το 10% της συνολικής οικιακής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και σχεδόν τα 2/3 αυτής της ενέργειας καταναλώνεται όταν οι ηλεκτρονικές συσκευές είναι σε κατάσταση αναμονής.

- Ισχύς φορτίου
- Ετήσια απαιτούμενη ενέργεια
- + + + + +

Εκτίμηση του Φορτίου

Η διαδικασία σχεδίασης ενός αυτόνομου φ/β συστήματος ξεκινάμε την **εκτίμηση των φορτίων που πρέπει να τροφοδοτηθούν**. Όπως με όλες τις διαδικασίες σχεδίασης, έτσι και στην περίπτωση αυτή απαιτείται ένα πλήθος δοκιμαστικών σχεδιάσεων. Σε μία πρώτη προσέγγιση, ο χρήστης ίσως να προσπαθήσει να τροφοδοτήσει όλα τα φορτία. Θα ακολουθήσουν και άλλες σχεδιάσεις, στις οποίες θα γίνει προσπάθεια συνδυασμού μεταξύ περισσότερο ακριβών, όμως περισσότερο αποδοτικών, ηλεκτρικών οικιακών συσκευών και διατάξεων σε αντάλλαγμα με λιγότερα φ/β και μπαταρίες. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο τρόπος και το επίπεδο ζωής όπου κάποια φορτία θεωρούνται απαραίτητα και θα τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια, ενώ κάποια άλλα θεωρούνται πολυτέλεια και θα τροφοδοτούνται όποτε οι συνθήκες το επιτρέπουν. Μία σημαντική απόφαση είναι αν θα τροφοδοτηθούν μόνο όλα τα φορτία συνεχούς ρεύματος για να αποφευχθούν οι απώλειες που σχετίζονται με την απόδοση του αντιστροφέα, ή αν οι ευκολίες ενός πλήρους συστήματος εναλλασσόμενου ρεύματος αξίζουν το επιπλέον κόστος, ή αν ο συνδυασμός των δύο είναι καλύτερος. Μία άλλη σημαντική απόφαση είναι αν θα συμπεριληφθεί σύστημα εφεδρικής γεννήτριας καθώς και πόσο τμήμα του φορτίου θα πρέπει να τροφοδοτεί.

Ο Πίνακας 1 δίνει παραδείγματα κατανάλωσης ισχύος από ένα πλήθος τυπικών οικιακών ηλεκτρικών συσκευών.

Συσκευή	Ισχύς
<i>Συσκευές Κουζίνας</i>	
Ψυγείο: ac EnergyStar 14 ft ³	300 W, 1080 Wh/day
Ψυγείο: ac EnergyStar 19 ft ³	300 W, 1140 Wh/day
Ψυγείο: ac EnergyStar 22 ft ³	300 W, 1250 Wh/day
Ψυγείο: dc Sun Frost 12 ft ³	58 W, 560 Wh/day
Καταψύκτης: ac 7.5 ft ³	300 W, 540 Wh/day
Καταψύκτης: dc Sun Frost 10 ft ³	88 W, 880 Wh/day
Μικρή ηλεκτρική κουζίνα	1250 W
Μεγάλη ηλεκτρική κουζίνα	2100 W
Πλυντήριο πιάτων: κρύο στέγνωμα	700 W
Πλυντήριο πιάτων: ζεστό στέγνωμα	1450 W
Φούρνος μικροκυμάτων	750 - 1100 W
Καφετιέρα (παρασκευή)	1200 W
Καφετιέρα (θέρμανση)	600 W
Φρυγανιέρα	800 - 1400 W

Πίνακας 1

Συνέχεια Πίνακας 1

Γενικές οικιακές συσκευές

Πλυντήριο ρούχων: κατακόρυφος άξονας	500 W
Πλυντήριο ρούχων: οριζόντιος άξονας	250 W
Στεγνωτήρας ρούχων	500 W
Ηλεκτρική σκούπα	1000 - 1400 W
Ανεμιστήρας φούρνου: 1/4 HP	600 W
Ανεμιστήρας φούρνου: 1/3 HP	700 W
Ανεμιστήρας φούρνου: 1/2 HP	875 W
Ανεμιστήρας οροφής	65 - 175 W
Ανεμιστήρας για όλη την οικία	240 - 750 W
Κλιματιστικό μηχάνημα: παραθύρου 10000 Btu	1200 W
Θερμάστρα (φορητή)	1200 - 1875 W
Συνεπυγμένος λαμπτήρας φθορισμού (ισοδύναμος 100 W)	30 W
Συνεπυγμένος λαμπτήρας φθορισμού (ισοδύναμος 60 W)	16 W
Ηλεκτρική κουβέρτα, μονή/διπλή	60/100 W
Ηλεκτρικό σίδερο ρούχων	1000 - 1800 W
Ηλεκτρικό ρολόι	4 W

Οικιακές ηλεκτρονικές συσκευές

Τηλεόραση: > 39 in (ενεργή/σε αναμονή)	142/3.5 W
Τηλεόραση: 25 έως 27 in έγχρωμη (ενεργή/σε αναμονή)	90/4.9 W
Τηλεόραση: 19 έως 20 in έγχρωμη (ενεργή/σε αναμονή)	68/5.1 W
Δορυφορικός δέκτης (ενεργός/σε αναμονή)	17/16 W
Στερεοφωνικό συγκρότητα (ενεργό/σε αναμονή)	44/3 W
Συνεπυγμένο στερεοφωνικό συγκρότητα (ενεργό/σε αναμονή)	22/9.8 W
Ασύρματο τηλέφωνο	4 W
Ραδιόφωνο με ρολόι (ενεργό/σε αναμονή)	2.0/1.7 W
Επιτραπέζιος Η/Υ (ενεργός/αδρανής/σε αναμονή)	125/80/2.2 W
Φορητός Η/Υ	20 W
Εκτυπωτής ψεκασμού μελάνης (ink-jet)	35 W
Εκτυπωτής dot-matrix	200 W
Εκτυπωτής laser	900 W

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Να εκτιμήσετε την ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μίας οικίας όπου όλες οι συσκευές είναι εναλλασσόμενου ρεύματος. Η οικία έχει ένα ψυγείο 19 ft³, 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 h/day και μία αντλία 100 W που δουλεύει 1,25 h/day για να αντλεί νερό από ένα πηγάδι βάθους 100 ft.

Συσκευή	Ισχύς (W)	h/day	Ενέργεια (Wh/day)	Ενέργεια (%)
Ψυγείο 19 ft ³	300		1140	37
Λαμπτήρες φθορισμού (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

Αντιστροφέας & τάση συστήματος

Στο Παράδειγμα 1 έγινε υπολογισμός της μέσης ημερήσιας ζήτησης ενέργειας για συσκευές και φορτία που λειτουργούν στο εναλλασσόμενο ρεύμα. Για να υπολογιστεί πόση ισχύ θα πρέπει να παρέχουν οι μπαταρίες, οι υπολογισμοί θα πρέπει να τροποποιηθούν έτσι ώστε να συνυπολογιστούν οι απώλειες του αντιστροφέα που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό μπορεί να είναι δύσκολο να υπολογιστεί με ακρίβεια επειδή η απόδοση του αντιστροφέα είναι συνάρτηση του φορτίου που συμβαίνει να τροφοδοτείται τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (ποσοστό της ονομαστικής ισχύος του φορτίου). Οι περισσότεροι αντιστροφείς σήμερα λειτουργούν με απόδοση γύρω στο 90% για το μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας τους. Για τους υπολογισμούς, μία συνολική απόδοση αντιστροφέα περίπου 85% θεωρείται ως μία συντηρητική υπόθεση. Όταν δεν υπάρχει φορτίο, ένας καλός αντιστροφέας θα καταναλώνει λιγότερο από 1 W ισχύος σε κατάσταση αναμονής όσο θα περιμένει κάποιο φορτίο να τεθεί σε λειτουργία που να χρειάζεται ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος. Όταν ανιχνεύσει ένα φορτίο, ο αντιστροφέας τίθεται σε λειτουργία και καθώς λειτουργεί καταναλώνει ισχύ της τάξης των 5 έως 20 W. Αυτό σημαίνει ότι οι απώλειες των ηλεκτρονικών συσκευών σε κατάσταση αναμονής ίσως να αναγκάζουν τον αντιστροφέα να λειτουργεί συνεχώς, αν και δεν παραδίδει πραγματική υπηρεσία ισχύος. Στην περίπτωση αυτή, τα 5 έως 20 W της απώλειας ισχύος του αντιστροφέα προστίθενται στις υπόλοιπες απώλειες λόγω κατάστασης αναμονής, κάτι που δείχνει πόσο σημαντικό είναι να σβήνουμε τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό όταν δεν τον χρησιμοποιούμε.

Ο αντιστροφέας προδιαγράφεται από την τάση εισόδου συνεχούς ρεύματος και από την τάση εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος του αντιστροφέα, την ποσότητα ισχύος που μπορεί να χειριστεί συνεχώς, και την ποσότητα μέγιστης ισχύος που μπορεί να τροφοδοτήσει για σύντομα χρονικά διαστήματα. Η τάση εισόδου συνεχούς ρεύματος του αντιστροφέα, η οποία είναι ίδια με την τάση της συστοιχίας μπαταριών και του φ/β συλλέκτη, ονομάζεται τάση συστήματος. Η τάση συστήματος είναι συνήθως 12 V, 24 V, ή 48 V. Μεγαλύτερες τάσεις χρειάζονται μικρότερο ρεύμα, διευκολύνοντας την ελαχιστοποίηση των απωλειών των καλωδίων. Από την άλλη πλευρά, μεγαλύτερη τάση σημαίνει περισσότερες μπαταρίες καλωδιωμένες στη σειρά, το οποίο επιδρά στον αριθμό των μπαταριών που ίσως να χρειάζονται για την τροφοδοσία του φορτίου. Μία οδηγία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιλεγεί η τάση συστήματος βασίζεται στη διατήρηση του μέγιστου ρεύματος μόνιμης κατάστασης κάτω από τα 100 A έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα διαθέσιμος ηλεκτρικός εξοπλισμός και μεγέθη καλωδίων. Η χρήση αυτής της οδηγίας οδηγεί στις προτεινόμενες τάσεις συστήματος του Πίνακα 3

Μέγιστη ισχύς ac μόνιμης κατάστασης	Τάση συστήματος dc
< 1200 W	12 V
1200 - 2400 W	24 V
2400 - 4800 W	48 V

Πίνακας 3

Προτεινόμενες τάσεις συστήματος για μέγιστο ρεύμα έως 100 A.

Σημαντικά τεχν. χαρ/κα αντιστροφέα

- Το πιο σημαντικό τεχνικό χαρακτηριστικό ενός αντιστροφέα είναι **η ποσότητα ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος που μπορεί να παρέχει σε συνεχή βάση.**
- Όμως, είναι επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό και **η ποσότητα μέγιστης ισχύος που μπορεί να τροφοδοτήσει ο αντιστροφέας για σύντομα χρονικά διαστήματα,** κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο κατά την εκκίνηση ηλεκτρικών κινητήρων, όπου το ρεύμα εκκίνησης είναι πολλαπλάσιο του ρεύματος μόνιμης κατάστασης.
- Ο επόμενος Πίνακας παρέχει εκτιμήσεις των απαιτήσεων για **ισχύ μόνιμης κατάστασης** και για **μέγιστη ισχύ για τυπικά οικιακά φορτία.**

Φορτίο	Μόνιμη κατάσταση (W)	Μέγιστη ισχύς (W)
Ψυγείο (ac)	300	1500
Ψυγείο (dc)	58	700
Πλυντήριο πιάτων	700	1400
Πλυντήριο ρούχων: κατακόρυφος άξονας	650	1150
Πλυντήριο ρούχων: οριζόντιος άξονας	250	750
Στεγνωτήρας ρούχων	500	1800
Ανεμιστήρας φούρνου 1/4 HP	600	1000
Ανεμιστήρας φούρνου 1/3 HP	700	1400
Ανεμιστήρας φούρνου 1/2 HP	875	2350
Κλιματιστικό μηχάνημα παραθύρου 10000 Btu	1200	1500

Πίνακας 4

Απαιτήσεις για ισχύ μόνιμης κατάστασης και για μέγιστη ισχύ για τυπικά οικιακά φορτία.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 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 αντιστροφέας με απόδοση 85%.**
- (1α) με όλα τα φορτία να λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα και
- (2β) με όλα τα φορτία εκτός του ψυγείου να λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα.
- (2) να υπολογιστεί η τάση του συστήματος

Μπαταρίες

- Τα αυτόνομα φ/β συστήματα χρειάζονται κάποια μέθοδο για να αποθηκεύουν ενέργεια που συλλέγεται κατά τη διάρκεια των χρονικών περιόδων με ηλιοφάνεια για να μπορούν να την καταναλώνουν όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια.
- Ενώ υπάρχουν διάφορες ασυνήθιστες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας (όπως σφόνδυλοι, πεπιεσμένος αέρας, παραγωγή υδρογόνου), τελικά σήμερα στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούνται μπαταρίες.
- **Ανάμεσα στις διαφορετικές τεχνολογίες μπαταριών, η μπαταρία μολύβδου-οξέως συνεχίζει να είναι η κινητήρια δύναμη των φ/β συστημάτων.**
- Εκτός από την αποθήκευση ενέργειας, οι μπαταρίες προσφέρουν και διάφορες άλλες υπηρεσίες ενέργειας, όπως παροχή υψηλών ρευμάτων (για σύντομα χρονικά διαστήματα) που είναι πολύ υψηλότερα από το στιγμιαίο ρεύμα του φ/β συλλέκτη, **καθώς και την έμφυτη και αυτόματη ιδιότητα του ελέγχου της τάσης εξόδου του συλλέκτη έτσι ώστε τα φορτία να λαμβάνουν τάσεις που να είναι ανάμεσα στα δικά τους όρια αποδοχής.**

Τις συμβατικές μπαταρίες μολύβδου-οξέως ανταγωνίζονται οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου, νικελίου-μεταλλικού υδριδίου, ιόντος-λιθίου, λιθίου-πολυμερούς και νικελίου-ψευδαργύρου. Από αυτές, μόνο οι νικελίου-καδμίου είναι ελάχιστα ανταγωνιστικές με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέως, αλλά αυτό ίσως να αλλάξει στο κοντινό μέλλον εξαιτίας του μεγάλου ενδιαφέροντος και της ανάπτυξης των νέων τεχνολογιών μπαταριών για τα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα. Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τυπικές τιμές μερικών σημαντικών χαρακτηριστικών των διαφορετικών τεχνολογιών μπαταριών. Στον πίνακα αυτό, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως παρουσιάζονται σε τρεις κατηγορίες:

- 1) συμβατικές μπαταρίες αυτοκινήτου για εκκίνηση της μηχανής, φωτισμό του οχήματος και ανάφλεξη του κινητήρα (SLI)**
- 2) μπαταρίες με βαθύ κύκλο και χαμηλό κόστος που χρησιμοποιούνται στα καρτσάκια του γκολφ και**
- 3) μπαταρίες με πραγματικά βαθύ κύκλο και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.**

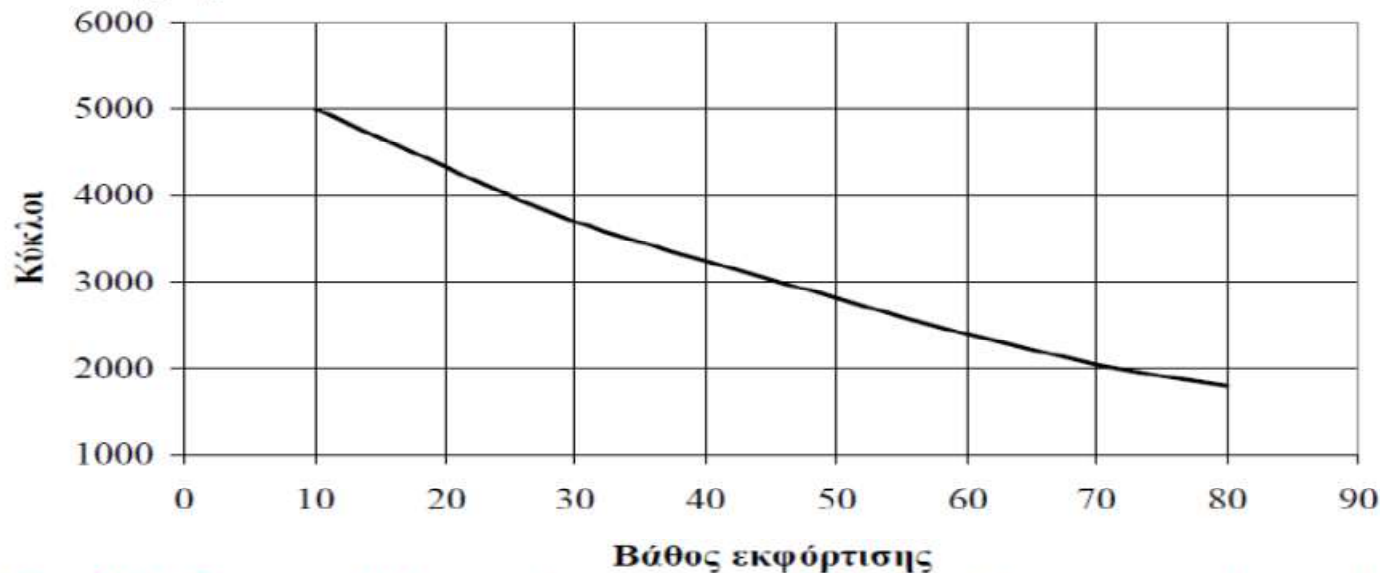
Τα δύο άλλα είδη μπαταριών που φαίνονται στον Πίνακα 6, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου και νικελίου-μεταλλικού υδριδίου, έχουν ξεκινήσει να χρησιμοποιούνται σε μερικά υβριδικά-ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 6, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως είναι μακράν οι πλέον οικονομικές και έχουν τις μεγαλύτερες αποδόσεις. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου είναι πολύ πιο ακριβές, αλλά διαρκούν περισσότερο. Επίσης οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου συμπεριφέρονται καλύτερα από τις άλλες μπαταρίες σε δύσκολες κλιματολογικές συνθήκες. Επειδή οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου μπορούν να εκφορτίζονται σχεδόν στο 100% χωρίς ζημιά, είναι μακράν οι πιο ανθεκτικές όταν χρησιμοποιούνται καταχρηστικά.

Μπαταρία	Μέγιστο βάθος εκφόρτισης	Πυκνότητα έντασης (Wh/kg)	Κύκλος ζωής (κύκλοι)	Διάρκεια ζωής (έτη)	Αποδόσεις		Κόστος (\$/kWh)
					Ah %	Wh %	
Μολύβδου-οξέως, SLI	20%	50	500	1-2	90	75	50
Μολύβδου-οξέως, καροτσάκι γκολφ	80%	45	1000	3-5	90	75	60
Μολύβδου-οξέως, με βαθύ κύκλο	80%	35	2000	7-10	90	75	100
Νικελίου-καδμίου	100%	20	1000-2000	10-15	70	60	1000
Νικελίου-μεταλλικού υδριδίου	100%	50	1000-2000	8-10	70	55	1200

Πίνακας 6: Πρόχειρη σύγκριση των χαρακτηριστικών των μπαταριών.

Μπαταρίες μολύβδου-οξέος

Σε σχέση με τις μπαταρίες αυτοκινήτου, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως βαθιάς εκφόρτισης έχουν πιά παχιές πλάκες, που τοποθετούνται σε μεγαλύτερα περιβλήματα που έχουν μεγαλύτερο χώρο πάνω και κάτω από τις πλάκες, οπότε οι μπαταρίες αυτές είναι μεγάλες και βαριές. Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης είναι σχεδιασμένες να εκφορτίζονται επανειλημμένως κατά 80% της ικανότητάς τους χωρίς ζημιά, αν και τέτοιες βαθιές εκφορτίσεις οδηγούν σε μικρότερο αριθμό κύκλων κατά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Το Σχήμα 1 δείχνει ότι μία τυπική μπαταρία μολύβδου-οξέως βαθιάς εκφόρτισης μπορεί να κάνει 4000 κύκλους όταν εκφορτίζεται κατά 25% της ονομαστικής της ικανότητας, το οποίο μπορεί να δώσει διάρκεια ζωής πάνω από 10 χρόνια. Με ημερήσια εκφόρτιση κατά 80%, αναμένονται περίπου 1800 κύκλοι, οπότε η διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι περίπου 5 χρόνια. Ενώ το Σχήμα 1 παρέχει μία χονδρική ένδειξη της διάρκειας ζωής της μπαταρίας, άλλοι παράγοντες, όπως η ποιότητα της μπαταρίας, η συχνότητα συντήρησης, και οι ρυθμοί φόρτισης, είναι επίσης σημαντικοί.

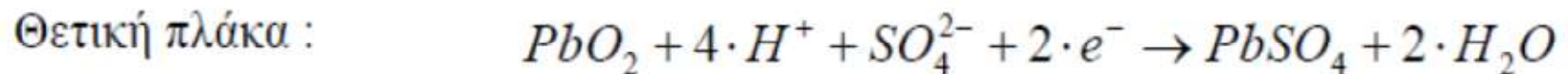


Σχήμα 1: Επίδραση του βάθους εκφόρτισης στον αριθμό των κύκλων που μπορεί να παρέχει μία τυπική μπαταρία μολύβδου-οξέως βαθιάς εκφόρτισης. Μία μπαταρία αυτοκινήτου παραδίδει μόνο περίπου 500 κύκλους σε 20% εκφόρτιση.

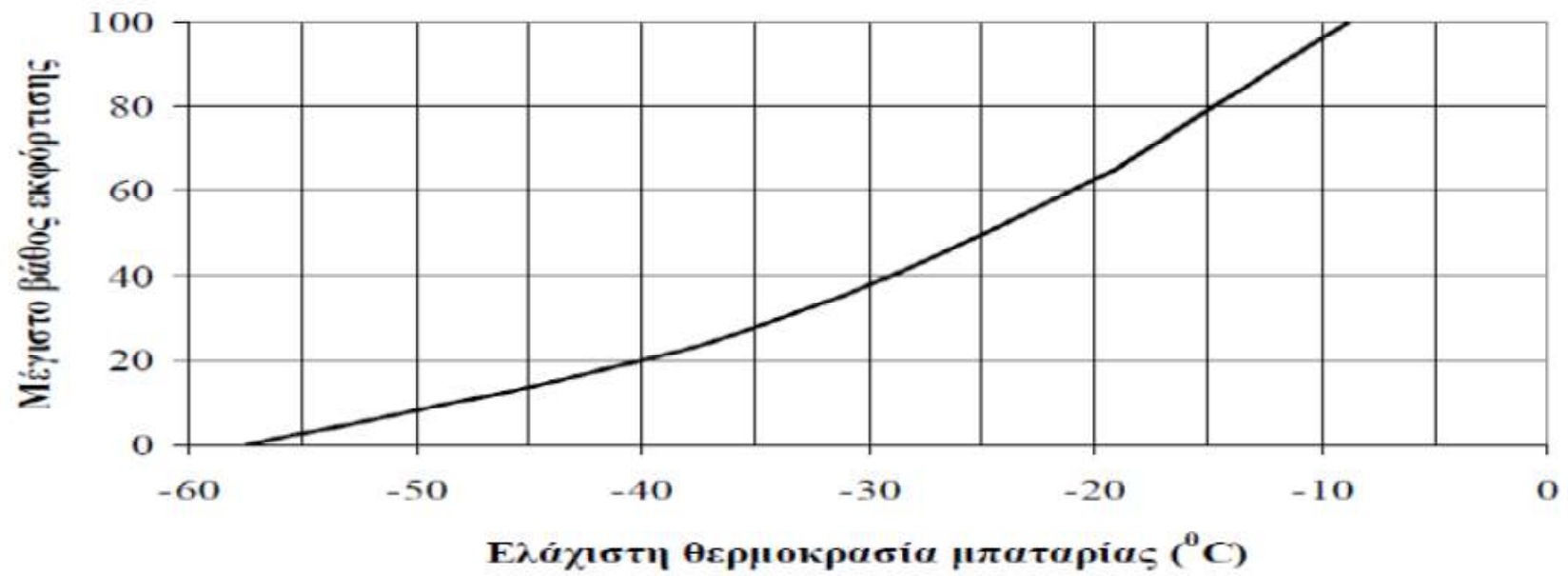
Λίγη εμφάθυνση στις μπαταρίες...

Για να γίνει κατανοητή η διαστασιολόγηση των μπαταριών στα φ/β συστήματα, χρειάζεται να γίνουν αντιληπτές οι βασικές χημικές διεργασίες των μπαταριών. Ένα ατομικό στοιχείο 2 V σε μία μπαταρία μολύβδου-οξέως αποτελείται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο που κατασκευάζεται από διοξείδιο του μολύβδου (PbO_2) και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο που κατασκευάζεται από πολύ πορώδη δομή μετάλλου μολύβδου (Pb), όπου και τα δύο ηλεκτρόδια είναι πλήρως βυθισμένα σε ένα ηλεκτρολύτη που αποτελείται από αραιωμένο θειϊκό οξύ και νερό. Οι λεπτές πλάκες μολύβδου είναι πολύ αδύνατες εκτός και αν σχηματίσουν κράμα με κατάλληλο υλικό ενδυνάμωσης. Οι μπαταρίες αυτοκινήτου χρησιμοποιούν ασβέστιο για ενδυνάμωση, αλλά το ασβέστιο δεν αντέχει εκφορτίσεις περισσότερο από 25%. Αντίθετα, οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης χρησιμοποιούν αντιμόνιο για ενδυνάμωση, για αυτό συχνά ονομάζονται μπαταρίες μολύβδου-αντιμονίου.

Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας είναι οι ακόλουθες:

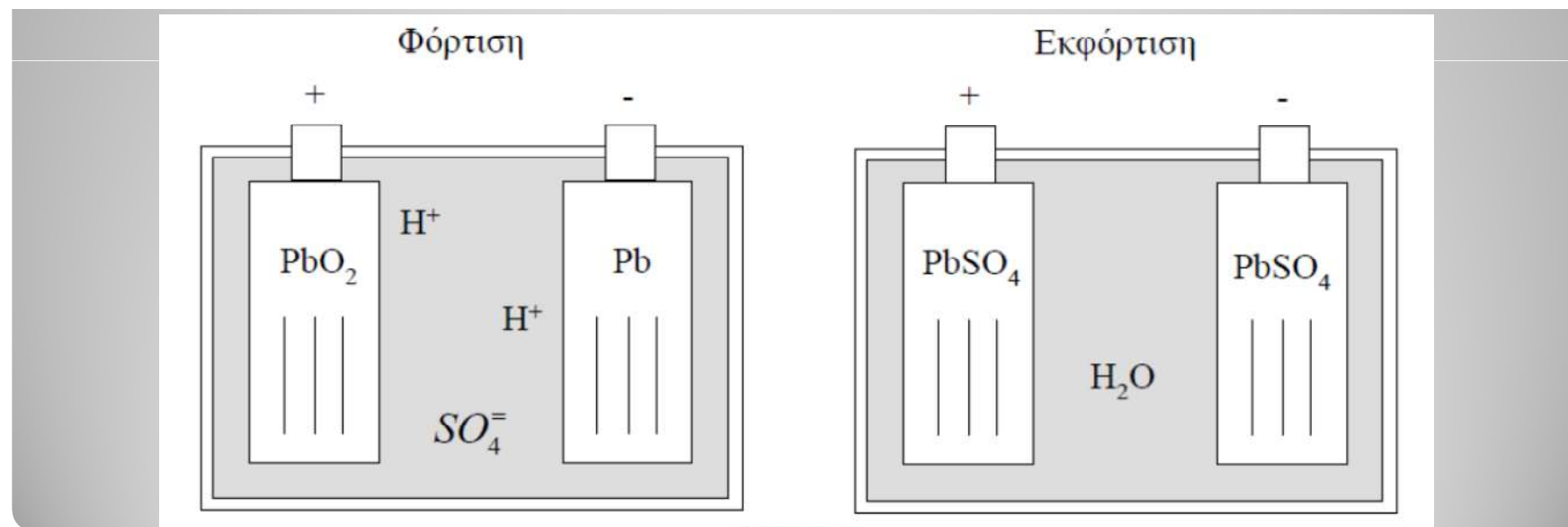


Είναι απλούστερο να αναφερόμαστε στους ακροδέκτες με το φορτίο τους (θετικό ή αρνητικό) παρά ως άνοδο και κάθοδο. Η άνοδος είναι το ηλεκτρόδιο όπου συμβαίνει οξειδωση, το οποίο σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης η άνοδος είναι αρνητικός ακροδέκτης, ενώ κατά τη διάρκεια της φόρτισης η άνοδος είναι θετικός ακροδέκτης. Όπως φαίνεται από τη σχέση (2), κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης τα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, όπου τότε ρέουν μέσω του φορτίου προς τη θετική πλάκα όπου εισέρχονται στη χημική αντίδραση της σχέσης (1). Το βασικό χαρακτηριστικό και των δύο χημικών αντιδράσεων είναι ότι ιόντα θειϊκού άλατος (SO_4^{2-}) που ξεκινούν στον ηλεκτρολύτη όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη αποθέτονται πάνω στα δύο ηλεκτρόδια ως PbSO_4 κατά την εκφόρτιση. Το PbSO_4 , που είναι ηλεκτρικός μονωτής, καλύπτει τα ηλεκτρόδια, αφήνοντας όλο και λιγότερη ενεργό περιοχή για να λάβουν χώρα οι χημικές αντιδράσεις. Καθώς η μπαταρία πλησιάζει στην κατάσταση πλήρους εκφόρτισής της, η τάση του στοιχείου μειώνεται απότομα ενώ η εσωτερική του αντίσταση αυξάνει απότομα. Ενδιάμεσα, κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης το ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη μειώνεται καθώς ιόντα θειϊκού άλατος αφήνουν το διάλυμα, παρέχοντας ένα ακριβή δείκτη της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας. Η μπαταρία είναι περισσότερο ευάλωτη στην ψύξη στην κατάσταση εκφόρτισής της επειδή η αντιψυκτική δράση του θειϊκού οξέως μειώνεται όταν υπάρχει λίγη ποσότητα από αυτό. Μία πλήρως εκφορτισμένη μπαταρία μολύβδου-οξέως ψύχεται περίπου στους -8°C , ενώ μία πλήρως φορτισμένη μπαταρία δεν ψύχεται μέχρι ο ηλεκτρολύτης να πέσει κάτω από τους -57°C . Σε πολύ κρύες συνθήκες, η ανησυχία για ψύξη μπορεί να περιορίσει το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης της μπαταρίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2

Οι αντίθετες αντιδράσεις συμβαίνουν κατά τη διάρκεια φόρτισης. Η τάση της μπαταρίας και το ειδικό βάρος αυξάνουν, ενώ η θερμοκρασία ψύξης και η εσωτερική αντίσταση μειώνονται. Το θειϊκό άλας απομακρύνεται από τις πλάκες και εισέρχεται ξανά στον ηλεκτρολύτη με τη μορφή ιόντων θειϊκού άλατος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Δυστυχώς, δεν επιστρέφουν όλα τα θειϊκά άλατα στο διάλυμα, και ο κύκλος φόρτισης/εκφόρτισης κάθε μπαταρίας αφήνει λίγο περισσότερο θειϊκό άλας μόνιμα προσκολλημένο στις πλάκες. Αυτός είναι ο κύριος λόγος της πεπερασμένης διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Το ποσό του $PbSO_4$ που προσκολλάται στα ηλεκτρόδια εξαρτάται από τη διάρκεια του χρόνου που λαμβάνει χώρα το φαινόμενο αυτό, το οποίο σημαίνει ότι για μία καλή μακροβιότητα της μπαταρίας είναι σημαντικό να κρατάμε τις μπαταρίες όσο το δυνατόν πλήρως φορτισμένες και να τις φορτίζουμε πλήρως σε κανονική βάση. Αυτό δείχνει ότι είναι μία σημαντική θεώρηση η ύπαρξη ενός συστήματος με εφεδρική γεννήτρια προκειμένου να ξαναγεμίζει τις μπαταρίες.



Σχήμα 3

Ικανότητα Αποθήκευσης Μπαταρίας

Η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας μίας μπαταρίας δίνεται σε **αμπέρ-ώρες (Ah)** σε κάποια ονομαστική τάση και σε κάποιο ρυθμό εκφόρτισης. Μία μπαταρία μολύβδου-οξέως, για παράδειγμα, έχει ονομαστική τάση 2 V ανά στοιχείο (πχ 6 στοιχεία για μία μπαταρία των 12 V) και οι κατασκευαστές προσδιορίζουν την ικανότητα σε Ah σε ένα ρυθμό εκφόρτισης που θα εκφορτίσει κάθε στοιχείο της μπαταρίας στα 1,75 V σε ένα προδιαγεγραμμένο χρονικό διάστημα και σε θερμοκρασία 25°C. Για παράδειγμα, μία πλήρως φορτισμένη μπαταρία 12 V που είναι προδιαγεγραμμένη να έχει για 10 h ικανότητα 200 Ah, θα παραδίδει 20 A για 10 h, και μετά την πάροδο αυτών των 10 h η μπαταρία θα έχει τάση 10,5 V (δηλαδή $6 \times 1,75 = 10,5$) οπότε και θεωρείται ότι είναι πλήρως εκφορτισμένη. Ο προσδιορισμός της ποσότητας ενέργειας που παρέδωσε η μπαταρία κατά τη διάρκεια της εκφόρτισής της κρύβει παγίδες. Η ενέργεια είναι το γινόμενο τάσης, ρεύματος και χρονικής διάρκειας, αλλά επειδή η τάση μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια εκφόρτισης, δεν είναι σωστό να πούμε ότι η ενέργεια είναι $12 \text{ V} \times 20 \text{ A} \times 10 \text{ h} = 2400 \text{ Wh}$. Για να αποφευχθεί αυτή η δυσκολία, η ικανότητα της μπαταρίας προσδιορίζεται σε Ah και όχι σε Wh.

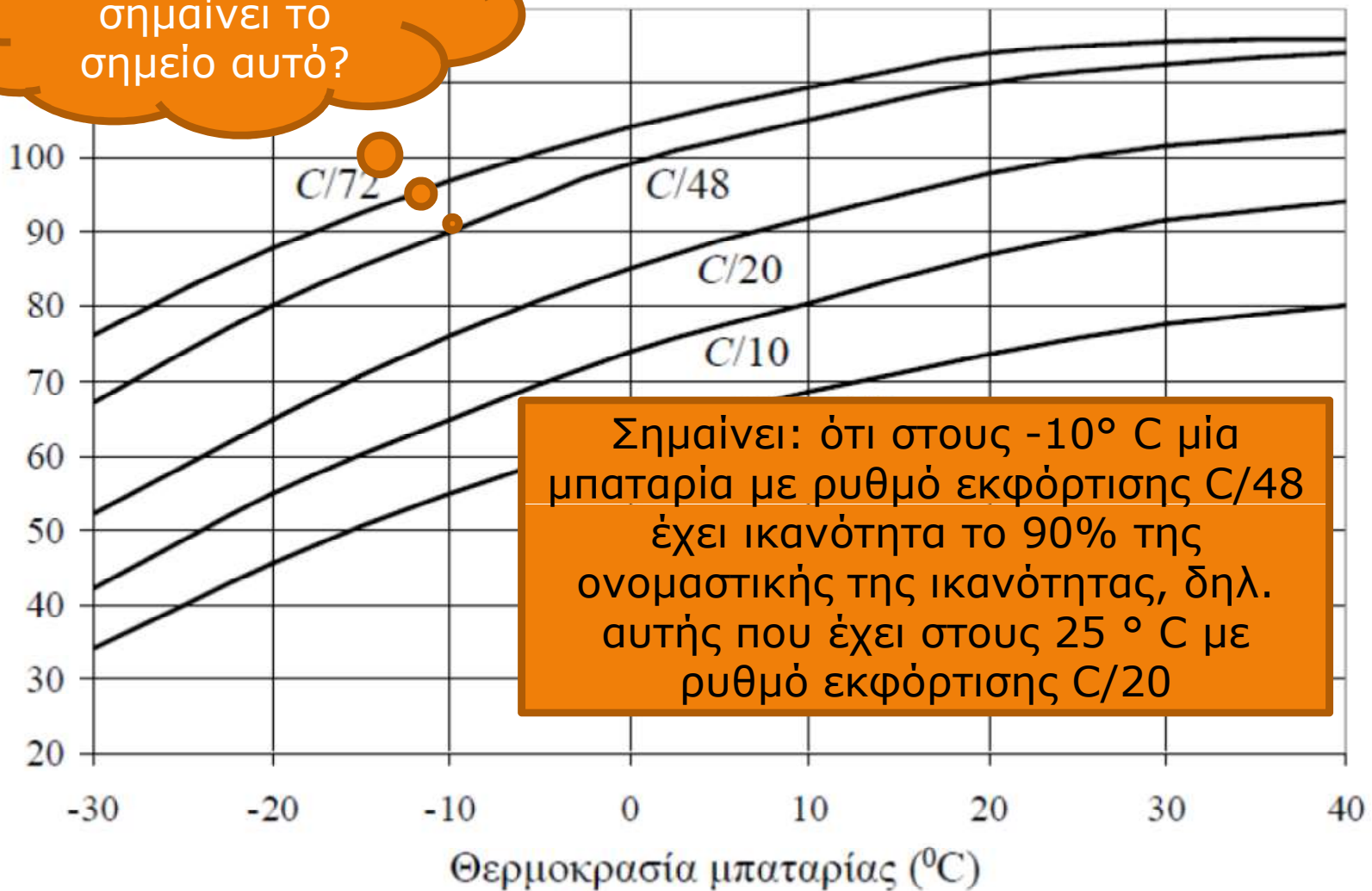
Μία μπαταρία 200 Ah που παραδίδει 20 A λέγεται ότι εκφορτίζεται με ρυθμό C/10, όπου το C αναφέρεται στα Ah και το 10 είναι οι ώρες που χρειάζεται για να εκφορτιστεί

(πράγματι, $C/10 = 200 \text{ Ah}/10 \text{ h} = 20 \text{ A}$). Αυτή η ίδια μπαταρία των 200 Ah δεν θα είναι ικανή να παραδίδει 50 A για 4 πλήρεις ώρες ($C/4$), όμως στην πραγματικότητα θα παραδίδει 10 A για περισσότερες από 20 h ($C/20$). Με άλλα λόγια, η ικανότητα σε Ah εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο το ρεύμα μειώνεται. Η γρήγορη εκφόρτιση μίας μπαταρίας οδηγεί σε μικρότερη ικανότητα σε Ah, ενώ οι μεγάλοι χρόνοι εκφόρτισης οδηγούν σε μεγαλύτερη ικανότητα σε Ah. Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης που προορίζονται για φ/β συστήματα συχνά προδιαγράφονται με βάση το ρυθμό εκφόρτισης 20 h ($C/20$), το οποίο είναι σε γενικές γραμμές ένα πρότυπο, καθώς επίσης και με βάση τον πολύ μεγαλύτερο ρυθμό εκφόρτισης $C/100$ που είναι πίο αντιπροσωπευτικός του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιούνται. Ο Πίνακας 7 δίνει μερικά παραδείγματα τέτοιων μπαταριών, περιλαμβάνοντας τους ρυθμούς εκφόρτισής τους $C/20$ και $C/100$ καθώς και την τάση τους και το βάρος τους.

Μπαταρία	Τάση (V)	Βάρος (lb)	Ah σε $C/20$	Ah σε $C/100$
Concorde PVX 5040T	2	57	495	580
Trojan T-105	6	62	225	250
Trojan L16	6	121	360	400
Concorde PVX 1080	12	70	105	124
Surette 12CS11PS	12	272	357	503

Η ικανότητα σε Ah μίας μπαταρίας δεν εξαρτάται μόνο από το ρυθμό εκφόρτισης, αλλά επίσης εξαρτάται και από τη θερμοκρασία. Το Σχήμα 4 δείχνει και τα δύο αυτά φαινόμενα συγκρίνοντας την ικανότητα της μπαταρίας κάτω από μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες και ρυθμούς εκφόρτισης χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς το ρυθμό C/20 και τη θερμοκρασία των 25°C. Αυτές οι καμπύλες είναι προσεγγιστικές για τυπικές μπαταρίες μολύβδου-οξέως βαθιάς εκφόρτισης, οπότε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τα δεδομένα από τους κατασκευαστές των μπαταριών όταν είναι διαθέσιμα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, η ικανότητα της μπαταρίας μειώνεται δραματικά σε ψυχρότερες συνθήκες. Για παράδειγμα, σε θερμοκρασία -30°C η μπαταρία που εκφορτίζεται με ρυθμό C/20 θα έχει μόνο τη μισή ονομαστική της ικανότητα. Ο συνδυασμός των επιδράσεων της ψυχρής θερμοκρασίας, δηλαδή 1) η μείωση της ικανότητας, 2) η μείωση της τάσης εξόδου, και 3) η αυξημένη ευπάθεια στην ψύξη κατά την εκφόρτιση, σημαίνει ότι οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως πρέπει να προστατεύονται καλά στα ψυχρά κλίματα. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου δεν υποφέρουν στα ψυχρά κλίματα από τις παραπάνω επιδράσεις, και αυτός είναι ο κύριος λόγος που μερικές φορές προτιμούνται στα ψυχρά κλίματα αντί για τις μπαταρίες μολύβδου-οξέως. Επίσης η προφανής αύξηση της ικανότητας της μπαταρίας στις υψηλές θερμοκρασίες δε σημαίνει ότι η θερμότητα κάνει καλό στη μπαταρία. Στην πραγματικότητα, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μειώνεται κατά 50% για κάθε 10°C πάνω από τη βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας των 25°C.

Ικανότητα/(Ονομαστική Ικανότητα) %



Σχήμα 4 : Η ικανότητα της μπαταρίας μολύβδου-οξέως εξαρτάται από το ρυθμό εκφόρτισης και τη θερμοκρασία. Η ονομαστική ικανότητα αναφέρεται σε ρυθμό C/20 και θερμοκρασία 25°C .

Σύνδεση μπαταριών

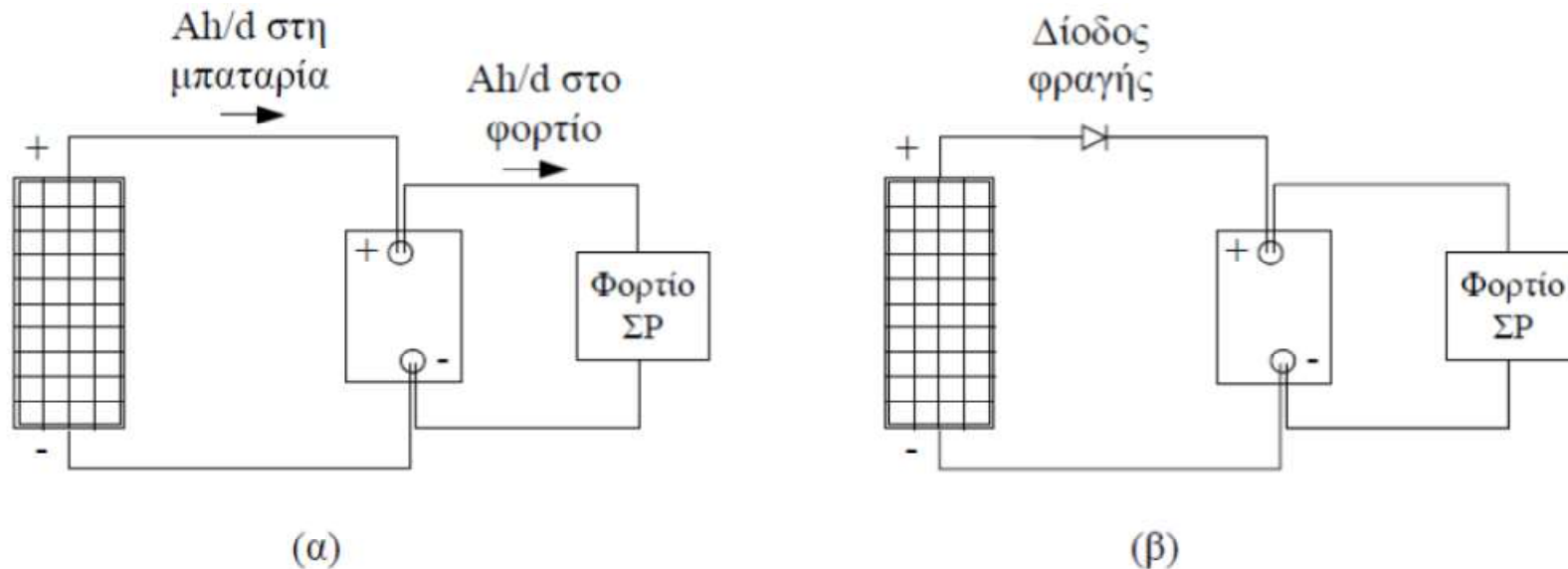
Τα περισσότερα συστήματα φ/β-μπαταριών βασίζονται σε μπαταρίες 6 V ή 12 V, οι οποίες συνδέονται σε σειρά, ή παράλληλα, ή μικτά (σειρά/παράλληλα). Για ίδιες μπαταρίες που συνδέονται σε σειρά, η συνολική τάση είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των ατομικών μπαταριών, και επειδή το ίδιο ρεύμα ρέει μέσα από κάθε μπαταρία, η συνολική ικανότητα των μπαταριών (Ah) είναι ίδια με την ικανότητα κάθε ατομικής μπαταρίας. Για ίδιες μπαταρίες που συνδέονται παράλληλα, η τάση στα άκρα κάθε μπαταρίας είναι ίδια και ίση με τη συνολική τάση, αλλά επειδή το συνολικό ρεύμα είναι ίσο με το άθροισμα των ρευμάτων των ατομικών μπαταριών, η συνολική ικανότητα των μπαταριών (Ah) είναι ίση με το άθροισμα των ικανοτήτων των ατομικών μπαταριών.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

- 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 ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης αυτής της συστοιχίας μπαταριών.

Δίοδοι Φραγής

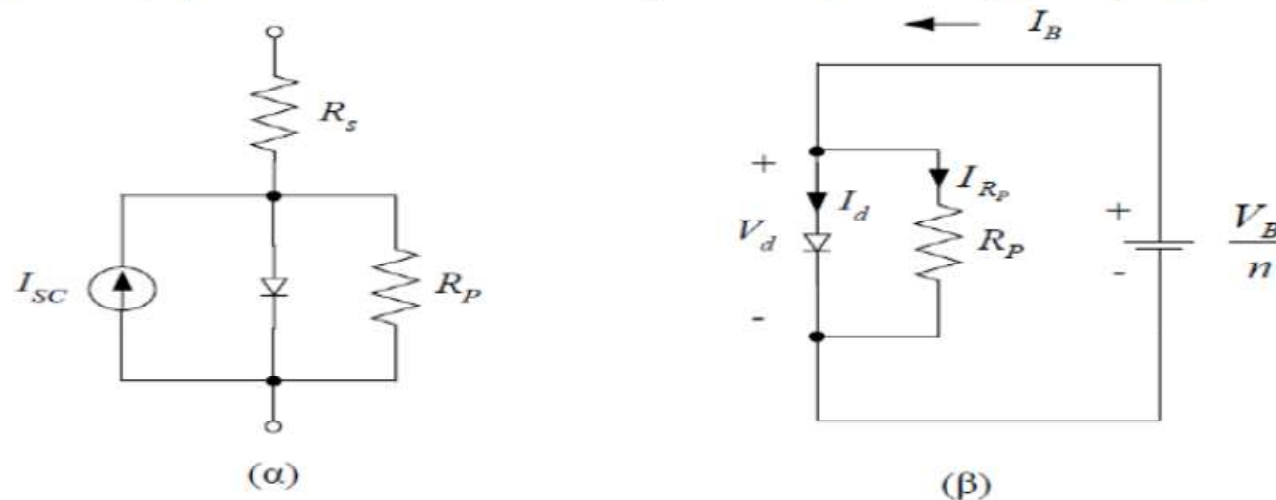
Το απλούστερο σύστημα φωτοβολταϊκού-μπαταρίας του Σχήματος 4(α) αποτελείται από ένα φ/β πλαίσιο συνδεδεμένο με μία μπαταρία και ένα φορτίο συνεχούς ρεύματος (ΣΡ), χωρίς ελεγκτή φόρτισης, αντιστροφέα, ή οτιδήποτε άλλο που να περιπλέκει την ανάλυση του συστήματος. Ένα τέτοιο σύστημα ίσως να παρέχει λίγο φως τη νύκτα και ίσως μερικές άλλες απλές ανέσεις. Όσο ο χρήστης είναι προσεκτικός και δεν αφήνει τις μπαταρίες να εκφορτιστούν πάρα πολύ, ή να υπερφορτιστούν, το σύστημα θα λειτουργεί καλά. Υπάρχει όμως ένα άλλο θέμα. Το σύστημα του Σχήματος 4(α) επιτρέπει στην μπαταρία να διαρρέει το ρεύμα πίσω μέσα από το φ/β πλαίσιο τη νύκτα, το οποίο θέτει το ερώτημα αν αξίζει τον κόπο να προστεθεί μία διάδος φραγής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4(β), για αποτροπή της νυκτερινής εκφόρτισης.



Σχήμα 4 : (α) το απλούστερο σύστημα φωτοβολταϊκού-μπαταρίας.

(β) Προσθήκη διόδου φραγής για την αποτροπή των απωλειών από τη μπαταρία μέσω του φ/β τη νύκτα.

Η ανάλυση του πιθανού προβλήματος των νυκτερινών απωλειών της μπαταρίας θα γίνει με τη βοήθεια του ισοδύναμου κυκλώματος του φ/β στοιχείου που φαίνεται στο Σχήμα 5(α), όπου η διάοδος είναι πραγματική και όχι ιδανική. Αγνοώντας την ασήμαντη επίδραση της πολύ μικρής αντίστασης σειράς και απαλείφοντας την ιδανική πηγή ρεύματος I_{SC} επειδή το φ/β στοιχείο είναι στο σκοτάδι τη νύκτα, προκύπτει το απλό ισοδύναμο κύκλωμα του Σχήματος 5(β).



Σχήμα 5 : Νυκτερινή διαρροή από μία μπαταρία πίσω μέσω ενός φ/β πλαισίου με n φ/β στοιχεία. (α) Ισοδύναμο κύκλωμα ενός φ/β στοιχείου. (β) Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα τη νύκτα για ένα φ/β στοιχείο που έχει τάση V_B/n στα άκρα του.

Το ρεύμα μέσω της διόδου στο ισοδύναμο κύκλωμα για το φ/β στοιχείο (στους 25°C) δίνεται από τη σχέση:

$$I_d = I_0 \cdot (e^{38.9 \cdot V_d} - 1)$$

Από το κύκλωμα του Σχήματος 5(β) έχουμε ότι το νυκτερινό ρεύμα διαρροής I_B από τη μπαταρία μέσω κάθε ενός από τα n φ/β στοιχεία θα είναι:

$$I_B = I_d + I_{R_p} = I_0 \cdot (e^{38.9 \cdot V_d} - 1) + \frac{V_d}{R_p}$$

όπου η τάση V_d στα άκρα της διόδου θα είναι ίση με την τάση V_B της μπαταρίας διαιρεμένη με τον αριθμό n των φωτοβολταϊκών στοιχείων του φ/β πλαισίου:

$$V_d = \frac{V_B}{n}$$

Με αυτό το απλό ισοδύναμο κύκλωμα του Σχήματος 5(β) που περιγράφει τη νυκτερινή λειτουργία του συστήματος μπορούμε να αποφασίσουμε πόση διαρροή θα συμβαίνει από τη μπαταρία μέσω των φ/β. Το ακόλουθο παράδειγμα δείχνει πώς υπολογίζεται το πιθανό πλεονέκτημα της χρήσης διόδου φραγής για αποτροπή της ροής αυτού του ρεύματος διαρροής I_B .

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

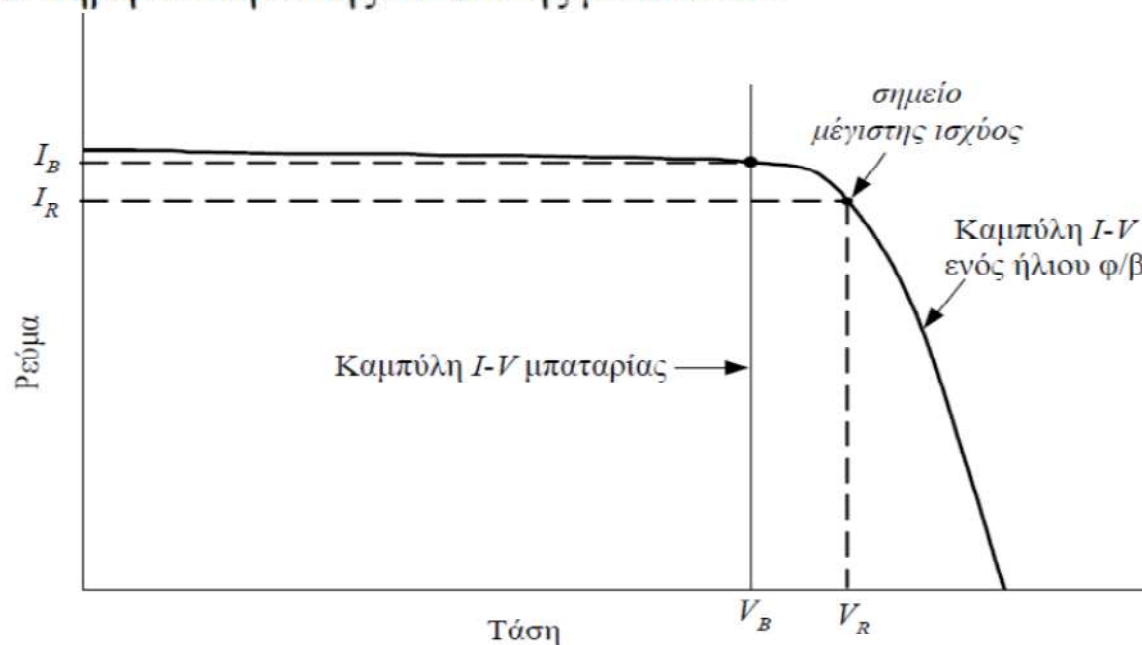
Ένα φ/β πλαίσιο αποτελείται από 36 φ/β στοιχεία και το κάθε φ/β στοιχείο έχει ρεύμα κόρου 10-10 A και μία παράλληλη αντίσταση 8 Ω. Τα φ/β παρέχουν το ισοδύναμο των 5 A για 6 h/day. Το φ/β πλαίσιο συνδέεται χωρίς δίοδο φραγής σε μία μπαταρία τάσης 12,5 V.

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 V.

Διαστασιολόγηση Φωτοβολταϊκού Συλλέκτη

Η σχεδίαση αυτόνομων συστημάτων με φωτοβολταϊκά και μπαταρίες είναι πολύ πιο απαιτητική από τη διαστασιολόγηση φ/β συστημάτων συνδεδεμένων στο ηλεκτρικό δίκτυο. Εκτιμήσεις του φορτίου και υπολογισμοί του ηλιακού δυναμικού για κάθε μήνα του έτους, συμβιβασμοί ανάμεσα στα φορτία συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, επιλογή της τάσης του συστήματος και υπολογισμός της δυνατότητας αποθήκευσης της μπαταρίας με ή χωρίς εφεδρική γεννήτρια είναι θέματα που δεν εφαρμόζονται στα συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο. Έχοντας αντιμετωπίσει αυτά τα θέματα, τώρα μπορούμε να ασχοληθούμε με το πιο σημαντικό μέρος του συστήματος: το φωτοβολταϊκό συλλέκτη.

Στο Σχήμα 6 φαίνεται η καμπύλη I-V ενός ήλιου του φ/β καθώς και η καμπύλη I-V της μπαταρίας. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6, κατά τη διάρκεια της φόρτισης, το λειτουργικό σημείο των φ/β είναι σχεδόν πάντα πάνω από το γόνατο της καμπύλης I-V του φ/β, το οποίο σημαίνει ότι το ρεύμα φόρτισης I_B θα υπερβαίνει το ονομαστικό ρεύμα I_R των φωτοβολταϊκών. Έτσι είναι μία αρκετά συντηρητική εκτίμηση να χρησιμοποιείται απλά το ονομαστικό ρεύμα των φωτοβολταϊκών σαν ένδειξη του ρεύματος φόρτισης της μπαταρίας σε ηλιακή ένταση ενός ήλιου. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες αυτή η υπόθεση πρέπει να ελεγχθεί, όπως, για παράδειγμα, όταν μία μπαταρία 12 V φορτίζεται σε περιβάλλον με υψηλή θερμοκρασία με ένα αυτορρυθμιζόμενο φ/β πλαίσιο που έχει λιγότερα από τα συνηθισμένα 36 φ/β στοιχεία στη σειρά. Λιγότερα φ/β στοιχεία και υψηλότερες θερμοκρασίες μετακινούν το σημείο μέγιστης ισχύος προς την καμπύλη I-V της μπαταρίας, και η συντηρητικότητα της υπόθεσης μειώνεται.



Σχήμα 6: Η εκτίμηση της φόρτισης της μπαταρίας σε ένα ήλιο να είναι το ονομαστικό ρεύμα I_R των φωτοβολταϊκών είναι μία αρκετά συντηρητική υπόθεση.

Διαδικασία διαστασιολόγησης

- Η διαδικασία διαστασιολόγησης θα βασιστεί **στην ίδια προσέγγιση των ωρών ήλιου αιχμής** που χρησιμοποιήθηκε για τα φ/β συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο, **με τη διαφορά ότι θα εφαρμοστεί στο ρεύμα αντί για την ισχύ.**
- Έτσι, για παράδειγμα, μία επιφάνεια με ηλιακή ένταση $6 \text{ kWh/m}^2\text{-day}$ θεωρείται ότι έχει ηλιακή ένταση ενός ήλιου, δηλαδή **1 kW/m^2 , για 6 h/day .**
- Έπειτα, πολλαπλασιάζοντας **το ονομαστικό ρεύμα IR σε ηλιακή ένταση ενός ήλιου με τις ώρες ήλιου αιχμής** προκύπτουν **οι αμπέρ-ώρες (Ah) ρεύματος που παρέχονται στις μπαταρίες.**
- Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το σημείο λειτουργίας για τη φόρτιση της μπαταρίας απέχει συνήθως κάποια απόσταση από το σημείο μέγιστης ισχύος. Αυτό σημαίνει ότι ένα σημαντικό τμήμα της ισχύος που τα φ/β θα μπορούσαν να παρέχουν με βάση την ονομαστική ισχύ PR του φ/β πλαισίου δεν παραδίδεται στις μπαταρίες.
- **(ΠΡΟΣΟΧΗ !!!)** Έτσι, δεν είναι σωστό να πολλαπλασιάσουμε τις ώρες ήλιου αιχμής με την ονομαστική ισχύ του φ/β πλαισίου για να υπολογίσουμε την ενέργεια των μπαταριών.

Το γινόμενο του ονομαστικού ρεύματος I_R επί τις ώρες ήλιου αιχμής δίνει ένα καλό σημείο εκκίνησης για την εκτίμηση των Ah που παραδίδονται στις μπαταρίες. Είναι συνήθης πρακτική να εφαρμόζεται ένας συντελεστής υποβάθμισης περίπου 90% για να συνυπολογιστεί η ρύπανση και η προοδευτική γήρανση των φ/β πλαισίων. Οι συντελεστές θερμοκρασίας και κακού ταιριάσματος των φ/β πλαισίων που ήταν πολύ σημαντικοί για τα φ/β συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο συνήθως αγνοούνται στα αυτόνομα φ/β συστήματα. Αυτό γίνεται επειδή στα αυτόνομα συστήματα το σημείο λειτουργίας απέχει αρκετά από το γόνατο της χαρακτηριστικής I-V και οι μεταβολές εξαιτίας της θερμοκρασίας και του κακού ταιριάσματος των φ/β πλαισίων είναι ελάχιστες και σε κάποιο βαθμό αντισταθμίζονται με τη συντηρητικότητα που σχετίζεται με την υπόθεση ότι το ρεύμα φόρτισης είναι μόνο I_R .

Απόδοση Coulomb

Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό των αυτόνομων φ/β συστημάτων είναι ότι η διαστασιολόγηση θα βασίζεται (α) στις αμπερ-ώρες από τα φ/β προς τις μπαταρίες και (β) στις αμπερ-ώρες από τις μπαταρίες προς το φορτίο. Έτσι, το κατάλληλο μέτρο της απόδοσης της μπαταρίας είναι η απόδοση Coulomb. Το ρεύμα που παραδίδεται στις μπαταρίες θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με την απόδοση Coulomb (Ah_{out}/Ah_{in}) για να υπολογιστούν οι αμπερ-ώρες, Ah_{Load} , που παραδίδονται από τις μπαταρίες στο φορτίο: $Ah_{Load} = I_R \cdot h_{peaksun} \cdot \eta_C \cdot DF$ όπου I_R το ονομαστικό ρεύμα, $h_{peaksun}$ οι ώρες ήλιου αιχμής, η_C η απόδοση Coulomb της μπαταρίας, και DF ο συντελεστής υποβάθμισης. Ένα τελευταίο θέμα είναι η τάση του συστήματος. Για τάση συστήματος 12 V και για φ/β πλαίσια 12 V, προστίθενται παράλληλα φ/β πλαίσια μέχρι να παρέχονται αρκετές Ah στο φορτίο. Για τάση συστήματος 24 V και για φ/β πλαίσια 12 V, δύο φ/β πλαίσια στη σειρά απαιτούνται για να παρέχουν 24 V, και έπειτα προστίθενται παράλληλες ομάδες, όπου κάθε ομάδα έχει δύο φ/β πλαίσια στη σειρά, για να παραδώσουν τις Ah που απαιτούνται από το φορτίο. Εναλλακτικά, αν η τάση συστήματος είναι 24 V, ίσως να έχει περισσότερο νόημα να επιλεγούν φ/β πλαίσια των 24 V, αντί για παράλληλες ομάδες με κάθε ομάδα να έχει δύο φ/β πλαίσια των 12 V στη σειρά.

Τελευταία άσκηση

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6

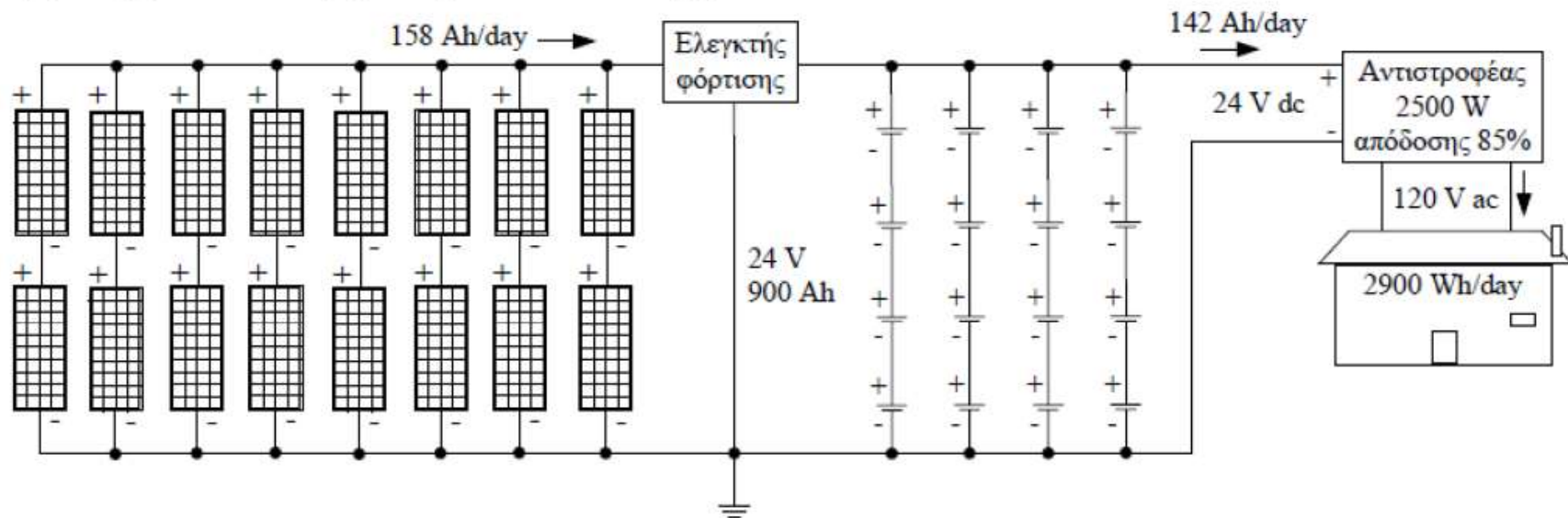
Μία οικία του έχει ζήτηση 3000 Wh/day σε εναλλασσόμενη τάση 120 V που παραδίδονται από ένα αντιστροφέα με απόδοση 85% και 24 V τάση εισόδου συνεχούς ρεύματος. Για τάση συστήματος 24 V, απόδοση Coulomb 90%, και συντελεστή υποβάθμισης 90%, να διαστασιολογηθεί ένας φ/β συλλέκτης χρησιμοποιώντας φ/β πλαίσια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

Φ/Β πλαίσιο	Sharp NE-K125U2	Kyocera KC158G	Shell SP150	Uni-Solar SSR256
Ονομαστική ισχύς $P_{dc(STC)}$ (W)	125	158	150	256
Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	26.0	23.2	34	66.0
Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	4.80	6.82	4.40	3.9
Τάση ανοικτοκύκλωσης V_{OC} (V)	32.3	28.9	43.4	95.2
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SC} (A)	5.46	7.58	4.8	4.8
Μήκος (m)	1.190	1.290	1.619	11.124
Πλάτος (m)	0.792	0.990	0.814	0.420
Απόδοση	13.3%	12.4%	11.4%	5.5%

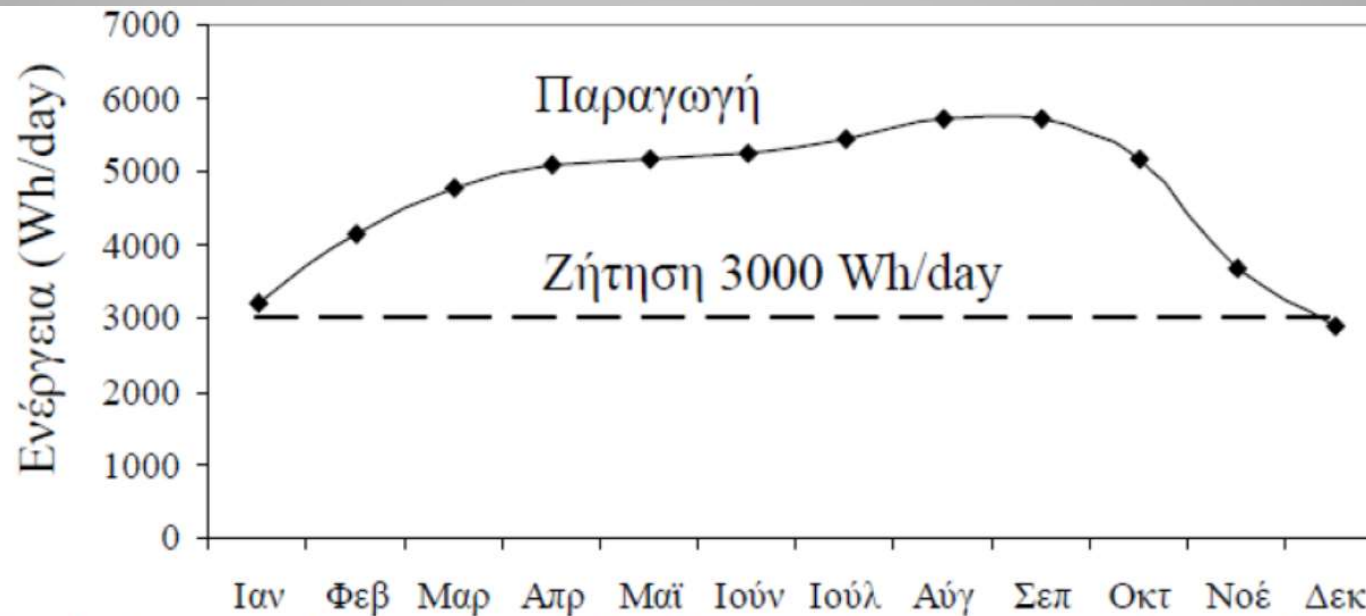
Πίνακας 1: Σημαντικά χαρακτηριστικά διάφορων φ/β πλαισίων μεγάλης ισχύος.

Κατασκευαστής	Xantrex	Xantrex	Xantrex	Sunny Boy	Sunny Boy
Μοντέλο	STXR1500	STXR2500	PV 10	SB2000	SB2500
Ισχύς ΕΡ (W)	1500	2500	10000	2000	2500
Τάση ΕΡ	211-264 V	211-264 V	208 V, 3Φ	198-251 V	198-251 V
Εύρος τάσης για ανίχνευση ΣΜΠ	44-85 V	44-85 V	330-600 V	125-500 V	250-550 V
Μέγιστη τάση εισόδου (V)	120	120	600	500	600
Μέγιστο ρεύμα εισόδου (A)	-	-	31.9	10	11
Μέγιστη απόδοση	92%	94%	95%	96%	95%

Πίνακας 2: σημαντικά χαρακτηριστικά διάφορων αντιστροφών για φ/β συνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο.



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



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.