

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΡΚΩΝ.
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.

Π. Πληγορόπουλος (Ηλεκτρονικός Μηχανικός)
Ε. Καλαγκιά (Ηλεκτρολόγος Μηχανικός)
Γ. Βέργος (Ηλεκτρολόγος Μηχανικός)
Α. Ανδρούτσος (Μηχανολόγος Μηχανικός)

Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
Διεύθυνση Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας
Τομέας Μορφών Ηλιακής Ενέργειας
Ναυαρίνου 10 - 106 80 Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της ανάπτυξης της Ηλιακής Ενέργειας στην Ελλάδα η ΔΕΗ σε συνεργασία με την ΕΟΚ εγκατέστησε Φωτοβολταϊκούς Σταθμούς σε διάφορα νησιά του Αιγαίου. Οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν είτε διασυνδεδεμένοι με το ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού (Φ/Β σταθμός Κύθνου), είτε αυτόνομα σε μικρά νησιά (Φ/Β σταθμοί Αντικυθήρων, Αρκών). Μετά από τετράχρονη λειτουργία του σταθμού των Αρκών μπορούν να εξαχθούν πολλά χρήσιμα συμπεράσματα από τη συμπεριφορά της λειτουργίας των Φ/Β, τα οποία θα ληφθούν υπόψη στην εξέταση της δυνατότητας ηλεκτροδότησης νησιών που παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τους Αρκούς. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται επίσης οι προοπτικές που υπάρχουν για μια μελλοντική επέκταση του σταθμού και την πιθανή διασύνδεσή του με Α/Γ για τη δημιουργία ενός υβριδικού συστήματος (Φ/Β-Α/Γ-Συσσωρευτές-Diesel).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ΔΕΗ στα πλαίσια της ανάπτυξης της Ηλιακής Ενέργειας στην Ελλάδα σε συνεργασία με διάφορες ξένες και Ελληνικές εταιρίες και με τη συγχρηματοδότηση της ΕΟΚ ξεκίνησε από το 1982 την εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Σταθμών σε διάφορα νησιά του Αιγαίου. Σήμερα βρίσκονται σε λειτουργία οι παρακάτω Φ/Β σταθμοί:

Φ/Β Σταθμός Κύθνου

Το έργο κατασκευάστηκε το 1983 σε συνεργασία ΔΕΗ-ΕΟΚ-SIEMENS. Ο σταθμός είναι διασυνδεδεμένος στο δίκτυο του νησιού. Η ισχύς του είναι 100 kWp, ενώ περιλαμβάνει Φ/Β γεννήτριες SIEMENS και αντιστροφέα DC/AC ABB.

Φ/Β Σταθμός Γαύδου

Ο Φ/Β σταθμός Γαύδου κατασκευάστηκε το 1986 σε συνεργασία ΔΕΗ-ΕΟΚ-SIEMENS SOLAR. Είναι αυτόνομος σταθμός. Έχει ισχύ 20 kWp και περιλαμβάνει Φ/Β γεννήτριες, μετατροπέα DC/DC και αντιστροφέα DC/AC SIEMENS. Περιλαμβάνει επίσης 250 στοιχεία συσσωρευτών TUDOR, 2 V/468 Ah, συνδεδεμένα σε δύο παράλληλες ομάδες των 125 στοιχείων η κάθε μία (250 V, 936 Ah).

Φ/Β Σταθμός Αντικυθήρων

Κατασκευάστηκε το 1987 σε συνεργασία ΔΕΗ-ΕΟΚ-AEG. Είναι αυτόνομος σταθμός, ισχύος 25 kWp και περιλαμβάνει Φ/Β γεννήτριες AEG, αντιστροφέα DC/AC AEG και συσσωρευτές 216V/1092 Ah TUDOR.

Φ/Β Σταθμός Αρκών

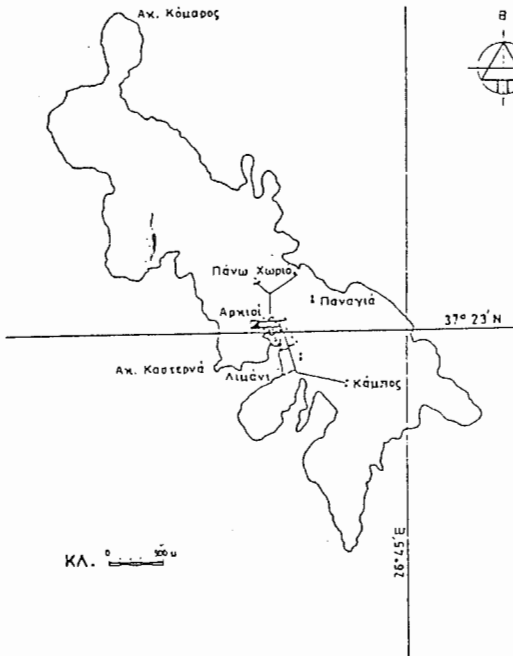
Το έργο κατασκευάστηκε το 1988 σε συνεργασία ΔΕΗ-ΕΟΚ-ΤΕΙ PHOTON. Είναι αυτόνομος σταθμός με ισχύ 25 kWp. Περιλαμβάνει Φ/Β γεννήτριες PHOTON, φορτιστή-ρυθμιστή συσσωρευτών, αντιστροφέα DC/AC AEG και 105 στοιχεία συσσωρευτών 2 V/1430 Ah TUDOR.

2. Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΡΚΩΝ

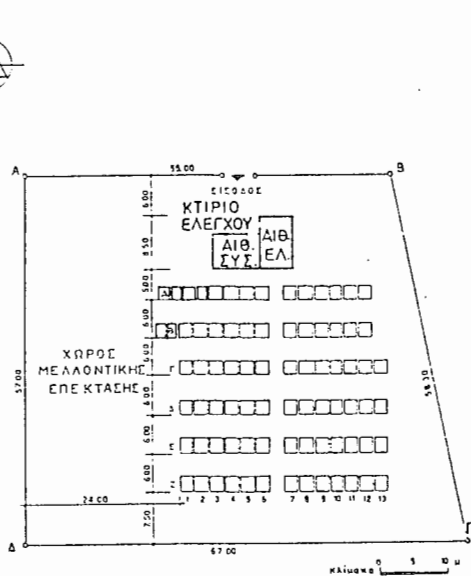
Ο σταθμός λειτουργεί από το 1988 και τα βασικά στοιχεία του είναι τα ακόλουθα [1,2]:

Τοποθεσία

Οι Αρκοί είναι ένα μικρό απομονωμένο νησί του Αιγαίου που βρίσκεται ανατολικά από την Πάτμο. Ο πληθυσμός του κυμαίνεται μεταξύ των 60 κατοίκων το χειμώνα και των 100 το καλοκαίρι. Το νησί πριν την εγκατάσταση του Φ/Β σταθμού δέν ηλεκτροδοτείτο από τη ΔΕΗ. Η θέση του Φ/Β σταθμού είναι κοντά στο λιμάνι, περίπου 200 μέτρα από τη θάλασσα (Σχ. 1).



Σχ.1: Νήσος Αρκοί

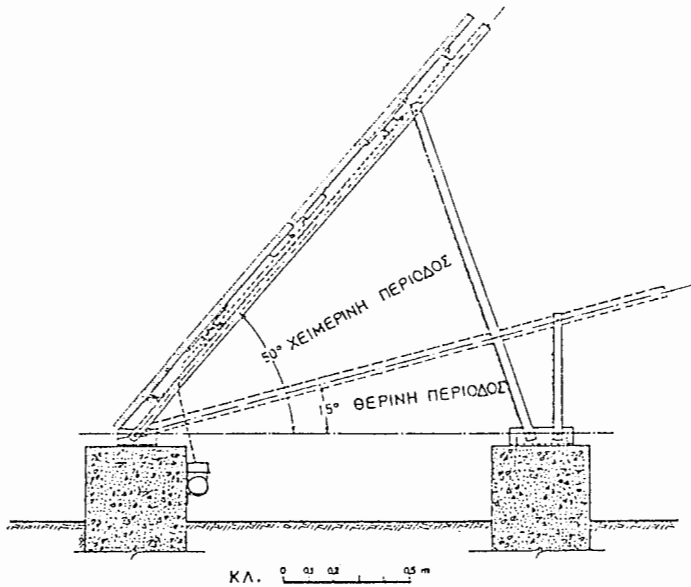


Σχ.2: Γενική Διάταξη Φ/Β σταθμού

Ηλιακή Γεννήτρια

Η εγκατεστημένη ισχύς της ηλιακής γεννήτριας είναι 25 kWp. Οι Φ/Β κυψέλες που είναι από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο κατασκευάστηκαν από την Photon Technology (Βελγίου). Κάθε πλαίσιο αποτελείται από 40 Φ/Β κυψέλες συνδεδεμένες σε σειρά και έχει ονομαστική ισχύ εξόδου 40 Wp. Η ηλιακή γεννήτρια αποτελείται συνολικά από 43 συστοιχίες των 16 πλαισίων η κάθε ομάδα (δηλαδή συνολικά υπάρχουν 688 πλαίσια). Κάθε συστοιχία συνδέεται με υπόγεια καλώδια στον κοινό ζυγό του συνεχούς (DC). Η γενική διάταξη του Σταθμού απεικονίζεται στο Σχ.2.

Η βάση στήριξης των πλαισίων είναι μια μεταλλική κατασκευή γαλβανισμένη εν θερμώ. Η γωνία κλίσης των πλαισίων ως προς το οριζόντιο επίπεδο ρυθμίζεται ανάλογα με την εποχή και είναι 15° για το καλοκαίρι και 50° για το χειμώνα (Σχ.3). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αύξηση της ενεργειακής απόδοσης της ηλιακής γεννήτριας.



Σχ.3: Ρύθμιση Γωνίας Κλίσης Φ/Β Πλασιών

Σύστημα Αποθήκευσης

Ο Φ/Β σταθμός περιλαμβάνει μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για την σπόδοσή της στους καταναλωτές σε περιόδους περιορισμένης ηλιοφάνειας. Η μονάδα αυτή αποτελείται από 105 συσσωρευτές μολύβδου, που κατασκευάστηκαν από την TUDOR HELLAS και έχουν συνολική χωρητικότητα 1440 Ah και ονομαστική τάση 210 V DC.

Αντιστροφέας DC/AC

Η μετατροπή του DC σε AC γίνεται με τη βοήθεια ενός τριφασικού αυτοδιεγχειρόμενου αντιστροφέα (self-commutated inverter), που είναι κατασκευής AEG, έχει ισχύ 30 kVA, βαθμό απόδοσης 73%-91% (για φορτία 10%-100% αντίστοιχα) και είναι κατάλληλος για αυτόνομη χρήση.

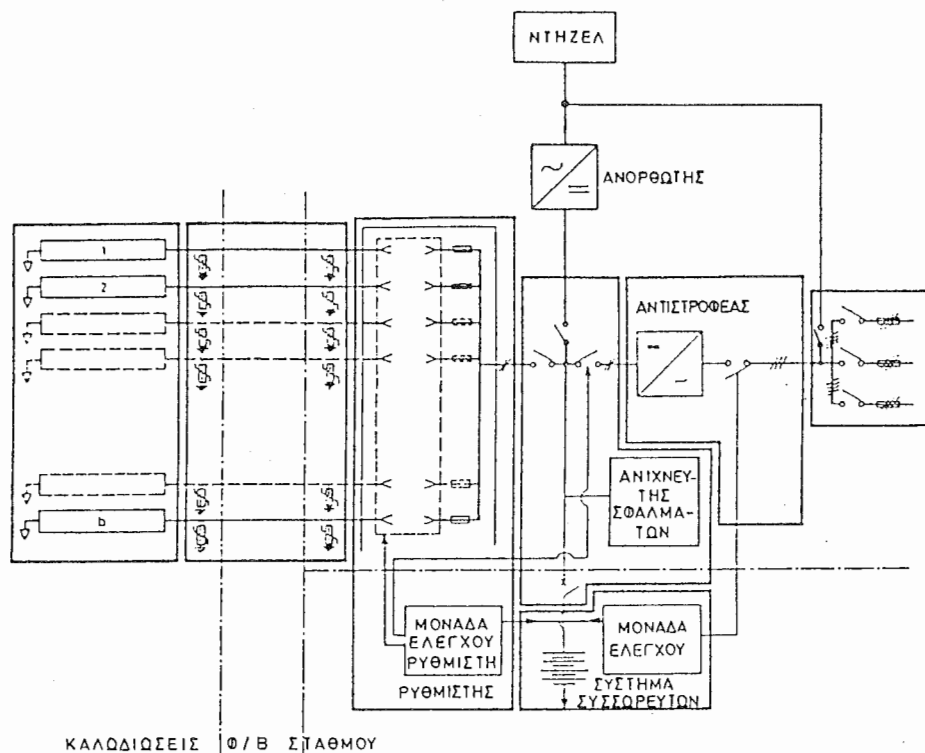
Ανορθωτής AC/DC

Στον σταθμό περιλαμβάνεται επίσης ανορθωτής AC/DC που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διατήρηση ενός επιπέδου φόρτισης των συσσωρευτών με την χρήση μίας ανεξάρτητης εφεδρικής πηγής AC (πχ. νηζελογεννήτρια ή Α/Γ).

Μονάδα Ελέγχου Ισχύος

Το κύριο αντικείμενο της μονάδας ελέγχου ισχύος και του συστήματος φόρτισης είναι να εκμεταλλευθεί στο μέγιστο τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία χωρίς την υπερφόρτιση των συσσωρευτών. Οι 43 συστοιχίες της ηλιακής γεννήτριας θεωρούνται πηγές ρεύματος που με τη βοήθεια ελεγχόμενων διακοπών μπορούν να συνδέονται και να αποσυνδέονται από το δίκτυο, ανάλογα με την κατάσταση των συσσωρευτών και τη ζήτηση του φορτίου. Αν οι συσσωρευτές έχουν φορτιστεί πλήρως, ο ρυθμιστής συνδέει μόνο τις συστοιχίες που επαρκούν για την τροφοδότηση με ρεύμα του αντιστροφέα προκειμένου να κολυφθούν οι ανάγκες του φορτίου. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η υπερφόρτιση ή η εκφόρτιση των συσσωρευτών ενώ διατηρείται η ισορροπία μεταξύ παραγόμενης και καταναλισκόμενης ισχύος στο σύστημα.

Το μονογραμμικό διάγραμμα του Φ/Β των Αρκών εμφανίζεται στο Σχ. 4.



Σχ. 4: Μονογραμμικό Διάγραμμα Φ/Β Αρκών

3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

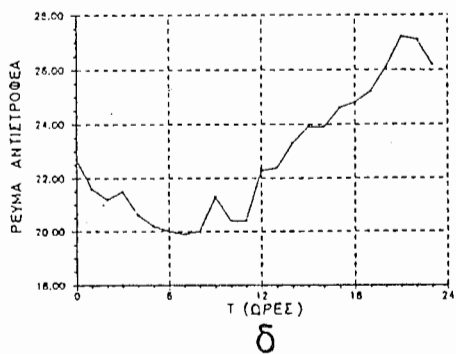
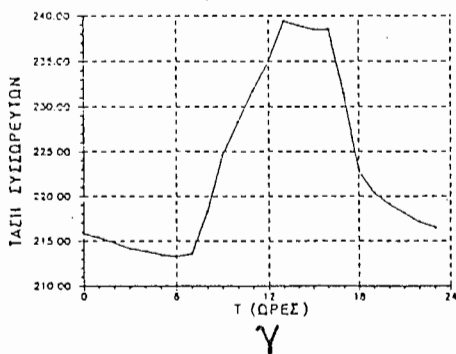
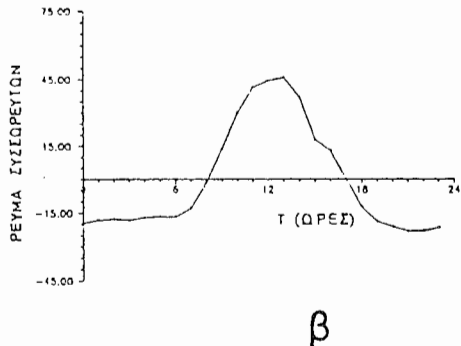
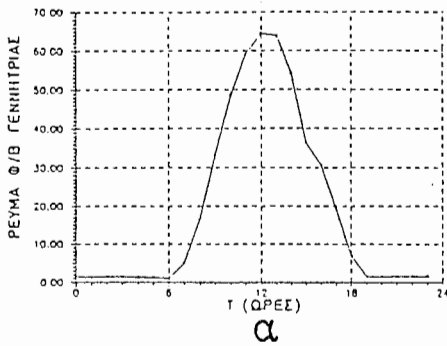
Το σύστημα μετρήσεων σχεδιάσθηκε σύμφωνα με τις οδηγίες του Ευρωπαϊκού Κέντρου ISPRA [3] που βρίσκεται στην Ιταλία. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν της Hewlett - Packard.

Η μονάδα συλλογής μετρήσεων HP 3421A έχει δυνατότητα συλλογής μέχρι και 30 αναλογικών μετρήσεων και/ή ψηφιακών ενδείξεων καθώς και τη δυνατότητα χειρισμών (άνοιγμα-κλείσιμο επαφών). Η μονάδα διαθέτει κοινό πολυπλέκτη για 30 κανάλια μετρήσεων, ψηφιακό πολύμετρο και αθροιστή για μέτρηση παλμών (ή συχνότητας). Το ψηφιακό πολύμετρο επιτρέπει τη μέτρηση τάσεων DC και AC.

Η μονάδα συλλογής μετρήσεων ελέγχεται από το μικροϋπολογιστή HP71B μέσω σειριακού συνδέσμου που συνδέει τις τρεις συσκευές σε κλειστό βρόγχο. Κατάλληλο πρόγραμμα επιλέγει περιοδικά το κανάλι στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση, καθορίζει το είδος της μέτρησης (V-DC, V-AC) και την επιθυμητή ακρίβεια. Ο κύκλος αάρωσης των μετρήσεων είναι της τάξης των 20 sec. Κάθε μία ώρα υπολογίζονται οι μέσες τιμές των μετρούμενων μεγεθών και αποθηκεύονται στον εύκαμπτο δίσκο. Τα στοιχεία αυτά μεταφέρονται στα γραφεία της ΔΕΜΕ όπου επεξεργάζονται και αξιολογούνται. Αναλυτική παρουσίαση του συστήματος μετρήσεων έχει γίνει στο [4] ενώ τα πρώτα αποτελέσματα δόθηκαν στο [5].

4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

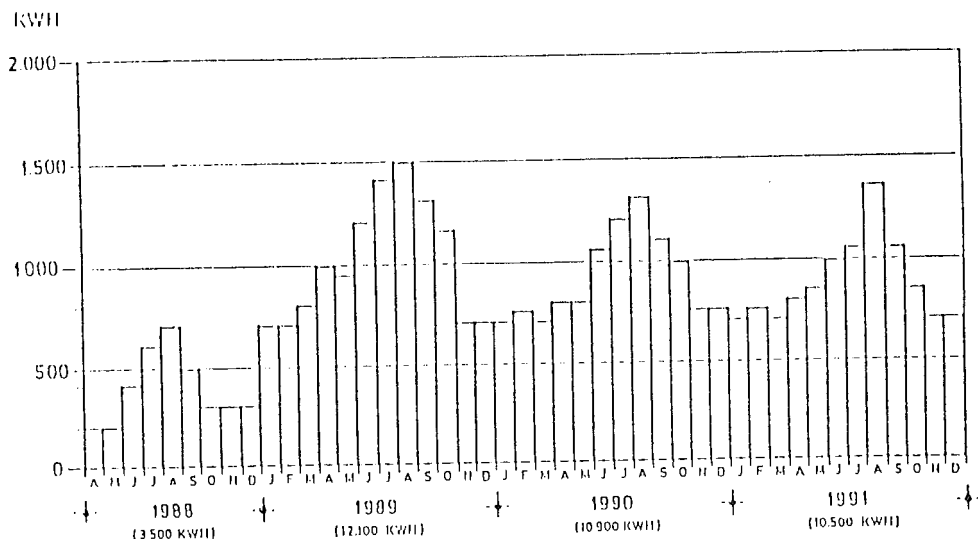
Στα διαγράμματα α, β, γ και δ του σχήματος 5 παρουσιάζεται η λειτουργία του σταθμού για μια τυπική ημέρα του Αυγούστου 1989. Όπως φαίνεται σε μια μέρα με συνεχή ηλιοφάνεια οι Φ/Β συστοιχίες αποδίδουν ρεύμα από τις 7 το πρωί μέχρι και τις 7 το βράδυ ακολουθώντας μια σχεδόν ημιτονοειδή καμπύλη με το μέγιστο ρεύμα να εμφανίζεται λίγο μετά από τις 12 το μεσημέρι. Κατά τις πρωινές ώρες, η τάση των συσσωρευτών αυξάνεται συνεχώς καθώς αυτοί φορτίζονται. Τις μεσημβρινές ώρες η τάση σταθεροποιείται ενώ από το απόγευμα η τάση αρχίζει να μειώνεται. Αντίστοιχα το ρεύμα των συσσωρευτών αποκτά θετικές τιμές (φόρτιση) στο μεγαλύτερο διάστημα της ημέρας (08.00-17.00) και αρνητικές (εκφόρτιση) τις υπόλοιπες (00.00-08.00 και 17.00-24.00). Τέλος η εικόνα της λειτουργίας του Φ/Β σταθμού για μία μέρα συμπληρώνεται με τη διακύμανση του ρεύματος του αντιστροφέα που αντιπροσωπεύει τη ζήτηση φορτίου του νησιού κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου. Πρόκειται για τυπική περίπτωση οικιακού φορτίου σε δίκτυο όπου απουσιάζουν τα στοιχεία θέρμανσης και τα μόνα ουσιαστικά φορτία είναι φωτισμός, ψυγεία, τηλεοράσεις και ραδιόφωνα.



Σχ. 5: Διαγράμματα Τυπικής 24ωρης Λειτουργίας Φ/Β Σταθμού Αρκών
 α) Ρεύμα Φ/Β Γεννήτριας
 β) Ρεύμα Συσσωρευτών
 γ) Τάση Συσσωρευτών
 δ) Ρεύμα Αντιστροφέα

Η ανά μήνα ενέργεια που παρήγαγε ο Φ/Β σταθμός Αρκών παρουσιάζεται στο Σχ. 6. Χαρακτηριστική είναι η εποχιακότητα της και η συσχέτιση που

εμφανίζει με την ηλιακή ακτινοβολία (μέγιστη το καλοκαίρι και ελάχιστη τον χειμώνα). Οι χαμηλότερες τιμές της παραγωγής του πρώτου χρόνου οφείλονται στο γεγονός ότι στο διάστημα αυτό δεν είχαν συνδεθεί όλοι καταναλωτές στο δίκτυο του νησιού.



Σχ. 6: Μηνιαία Παραγωγή Ενέργειας Φ/Β Σταθμού Αρκών

Κατά την τετράχρονη λειτουργία του σταθμού των Αρκών παρουσιάστηκαν τα παρακάτω προβλήματα:

- Βλάβη του ρυθμιστή φόρτισης των συσσωρευτών, που τελικά αντικαταστάθηκε με άλλον, του Φ/Β σταθμού Αγίας Ρουμέλης (ο σταθμός αυτός αποξηλώθηκε όταν η περιοχή που ηλεκτροδοτούσε συνδέθηκε με το υπόλοιπο δίκτυο της Κρήτης).
- Βραχυκύκλωμα σε Φ/Β πλαίσια από εισχώρηση υγρασίας. Τα πλαίσια αντικαταστάθηκαν με καινούργια ίδιου τύπου.
- Ανεπαρκής χρόνος αυτονομίας του σταθμού τις χειμερινές μέρες εξαιτίας παρατεταμένης συννεφιάς. Αυτό προβλέπεται να αντιμετωπισθεί με την προσθήκη επιπλέον Φ/Β πλαισίων.

Με εξαίρεση των παραπάνω, η λειτουργία του σταθμού θεωρείται ικανοποιητική.

5. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΡΚΩΝ

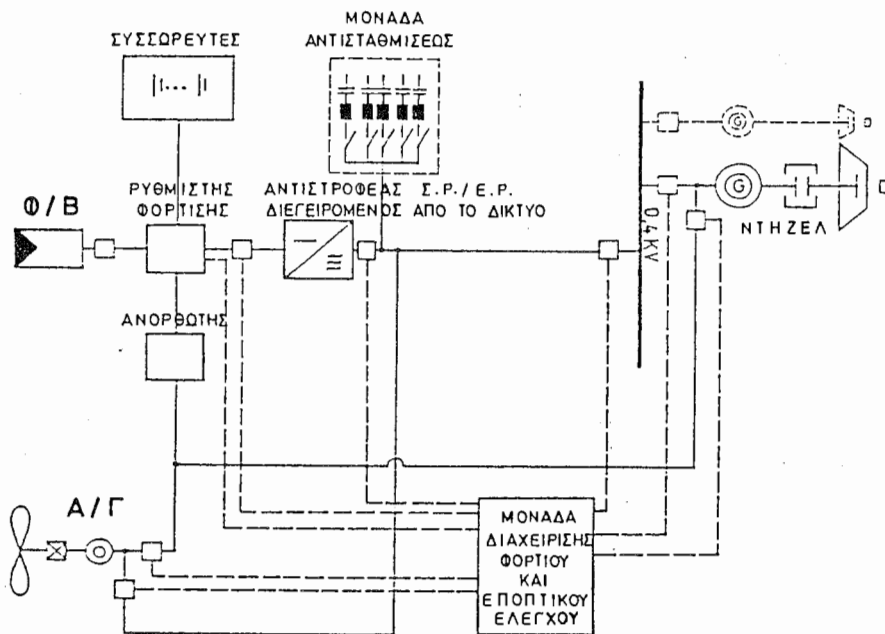
Η μελλοντική επέκταση του Φ/Β σταθμού των Αρκών προβλέπει δύο πιθανές λύσεις.

Πρώτη Λύση

Η πρώτη λύση περιορίζεται στην επέκταση του σταθμού με την προσθήκη επιπλέον Φ/Β πλαισίων, συνολικής ισχύος 25 kWp, έτσι ώστε η ισχύς του σταθμού από 25 kWp να γίνει 50 kWp. Η λύση αυτή δεν απαιτεί αλλαγές στον υπόλοιπο εξοπλισμό του σταθμού όπως ανορθωτής, μετατροπέας, συσσωρευτές κ.α., ενώ θα δώσει την δυνατότητα στους συσσωρευτές να φορτίζονται πλήρως και σε μικρό χρονικό διάστημα, από τα Φ/Β πάνελ, αυξάνοντας έτσι την αυτονομία του σταθμού.

Δεύτερη Λύση

Η δεύτερη λύση προβλέπει την παράλληλη εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας της τάξεως των 20 kW περίπου, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα υβριδικό σύστημα Α/Γ-Φ/Β-Συσσωρευτές-Diesel. Η λύση αυτή φαίνεται ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα καθώς ο Φ/Β σταθμός και η Α/Γ θα είναι οι βασικές πηγές ενέργειας, ενώ η νηζελογεννήτρια θα λειτουργεί μόνο σε περιπτώσεις που το φορτίο θα είναι εξαιρετικά μεγάλο ή σε σπάνιες περιπτώσεις όπου θα υπάρχει αδυναμία κάλυψης φορτίου τόσο από τον ήλιο όσο και από τον άνεμο. Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, θα φορτίζεται από την περίσσεια ισχύος του Φ/Β και της Α/Γ μέσω ανορθωτή και με τη βοήθεια κατάλληλου ρυθμιστή φόρτισης. Η αποθηκευμένη ενέργεια θα αποδίδεται σε περιόδους έλλειψης ηλιοφάνειας ή άπνοιας. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι η νηζελογεννήτρια, διαμέσω του ανορθωτή, θα μπορεί να φορτίζει τους συσσωρευτές. Αυτό θα συμβεί στην περίπτωση που το φορτίο θα είναι πολύ χαμηλό, πιθανόν μικρότερο και από το ελάχιστο όριο φόρτισης της νηζελογεννήτριας. Τότε η περίσσεια της ενέργειας θα αποδίδεται στους συσσωρευτές. Με τον τρόπο αυτό βελτιστοποιείται η λειτουργία της νηζελογεννήτριας (μέγιστος βαθμός απόδοσης - ελάχιστες φθορές) αλλά και του συστήματος.



Σχ. 7: Μονογραμμικό Διάγραμμα Προτεινόμενου Υβριδικού Συστήματος

Στο υβριδικό σύστημα που προτείνεται, η Νηζελομηχανή αντί της σταθερής σύνδεσης μηχανής-γεννήτριας που υπάρχει συνήθως στα ζεύγη, διαθέτει ένα μηχανικά (overrunning) ή ηλεκτρικά ελεγχόμενο συμπλέκτη. Έτσι σε περιόδους που όλα τα φορτία καλύπτονται από τις υπόλοιπες πηγές του συστήματος (πλην της Νηζελογεννήτριας), η σύγχρονη γεννήτρια αποσυνδέεται από τη Νηζελομηχανή και εξακολουθεί να στρέφεται, εργαζόμενη ως στρεφόμενος πυκνωτής, αναλαμβάνοντας τον έλεγχο υπερτάσεων, καθώς και την παροχή αεργού ισχύος τόσο για τις ανάγκες της ασύγχρονης γεννήτριας της Α/Γ όσο και του φορτίου των καταναλωτών.

Για τη βέλτιστη λειτουργία όλων των πηγών ενέργειας του συστήματος, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ενός κεντρικού συστήματος ελέγχου φορτίου (Load Management). Το σύστημα αυτό θα δίνει εντολές στα συνεργαζόμενα μέρη ανάλογα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή (ήλιος-άνεμος) και το φορτίο της κατανάλωσης. Το μονογραμμικό διάγραμμα ενός υβριδικού συστήματος φαίνεται στο Σχ.7.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του Φ/Β σταθμού των Αρκών, όπως και των υπολοίπων Φ/Β σταθμών της ΔΕΗ αποκτήθηκε πολύτιμη εμπειρία πάνω στην αντιμετώπιση διαφόρων προβλημάτων που είχαν παρουσιαστεί κατά καιρούς. Η επεξεργασία των λειτουργικών στοιχείων των Σταθμών, καθώς και η παρακολούθηση συμπεριφοράς των επιμέρους συστημάτων θα συμβάλλουν σημαντικά στον καθορισμό των απαιτήσεων για μελλοντικές εφαρμογές Φ/Β συστημάτων.

Εξετάζοντας γενικότερα τη δυνατότητα ηλεκτροδότησης των απομακρυσμένων περιοχών από τις Φ/Β μονάδες θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρόλο το υψηλό κόστος τους, τα Φ/Β άνετα μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες των καταναλωτών, έχοντας τα βασικά προτερήματα όπως η δωρεάν πηγή ενέργειας, η μη ρύπανση του περιβάλλοντος, το χαμηλό κόστος συντήρησης κ.α.

Οι έρευνες που γίνονται για την αύξηση της απόδοσης των Φ/Β στοιχείων, καθώς και τη μείωση του κόστους θα δώσουν τη δυνατότητα της ευρύτερης εφαρμογής των Φ/Β.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Chadjivassiliadis J., G.Vergos, G. Betzios, J. Wille, "Arki Solar Photovoltaic Power Plant", Proc. of 3rd Contractors Meeting on Photovoltaic Demonstration Projects, CEC DG XVII, Ispra, Italy, pp 216-222, 1988.
2. Chadjivassiliadis J., G. Vergos, "Arki Photovoltaic plant" Final Report submitted to DG XVII, Public Power Corporation/Direction of Alternative Energy Forms, Athens, Greece, (1991).
3. "Guidelines for the Assessment of PV plants (Document A, PV System Monitoring)", ISPRA, CEC, 1987.
4. Κορωνίδης Α., Π. Πληγορόπουλος, Α. Ανδρούτσος, "Συστήματα Μετρήσεων Φωτοβολταϊκών και Αιολικών Σταθμών", Γ' Εθν. Συνέδριο "Ηπιες Μορφές Ενέργειας", Θεσσαλονίκη, ΙΗΤ, ΑΠΘ σελ. 565-572, 1988.
5. Κορωνίδης Α., Π. Πληγορόπουλος, Α. Ανδρούτσος, Δ. Μαθιουλάκης, "Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων Λειτουργίας Επιδεικτικών Φωτοβολταϊκών και Αιολικών Μονάδων της ΔΕΗ", Ελληνική Επιτροπή CIGRE (Διεθνής Οργάνωση Μεγάλων Ηλεκτρικών Δικτύων Υψηλής Τάσεως), Αθήνα, Σύνοδος 1989.