Αντιστροφείς Φ/Β συστημάτων

Εύα Παρασκευαδάκη
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Ο αντιστροφέας (inverter) είναι η καρδιά του Φ/Β συστήματος. Σε αυτόν εστιάζουν όλοι οι κώδικες και τα πρότυπα που συντάσσονται για την διασύνδεση των Φ/Β συστημάτων με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Ι. Γενικά

Η βασική λειτουργία των αντιστροφέων είναι ότι μετατρέπουν την DC ισχύ που παράγεται από την Φ/Β πηγή σε AC, χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά ισχύος. Μπορεί να είναι κατάλληλοι για διασύνδεση στο δημόσιο δίκτυο ή για αυτόνομη λειτουργία και να διαφοροποιούνται στην ονομαστική ισχύ, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και την απόδοση. Λειτουργούν εφόσον υπάρχει επαρκής ηλιακή ακτινοβολία και θα πρέπει να τοποθετούνται σε δροσερά μέρη, μακριά από την άμεση ακτινοβολία του ήλιου.

Οι περισσότεροι αντιστροφείς που προορίζονται για σύνδεση με το δίκτυο, σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν χωρίς μπαταρίες, αλλά τοπολογίες που περιλαμβάνουν μπαταρίες είναι επίσης διαθέσιμες. Οι αντιστροφείς που διαχειρίζονται μπαταρίες περιλαμβάνουν έναν φορτιστή μπαταριών, ο οποίος είναι σε θέση να φορτίζει μια συστοιχία μπαταριών από το δίκτυο ή μέσω μιας εφεδρικής γεννήτριας όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι περιορισμένη.

Αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο μπορούν να εγκατασταθούν υπαίθρια (ιδανικά, στη σκιά). Εκείνοι που προορίζονται για αυτόνομη λειτουργία δεν είναι στεγανοί και πρέπει να τοποθετηθούν στο εσωτερικό, κοντά στη συστοιχία μπαταριών.

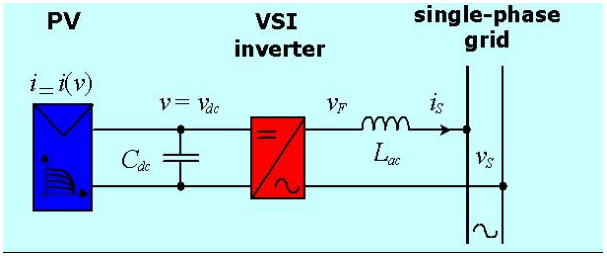
Όταν το δίκτυο παρουσιάζει προβλήματα οι αντιστροφείς θα πρέπει να τα ανιχνεύουν και να μη συμβάλλουν σε αυτά. Θα πρέπει επίσης να αποφεύγεται το islanding (νησιδοποίηση). Όταν η τάση ή η συχνότητα του δικτύου που βλέπει ο αντιστροφέας ξεπεράσουν κάποια προκαθορισμένα όρια θα πρέπει επίσης να γίνεται απόζευξη της Φ/Β πηγής από το δίκτυο. Η επαναφορά της σύνδεσης, εφόσον το δίκτυο δεν είναι πια προβληματικό θα πρέπει να γίνεται μετά από καθορισμένο χρόνο αναμονής.

Αντιστροφείς: Κύρια Ταξινόμηση	
Σύνδεση με το δημόσιο δίκτυο	**Λειτουργεί μόνο σε σύνδεση με το δίκτυο, συγχρονίζοντας τη συχνότητα και την τάση της εξόδου με αυτά του δικτύου. Συνδέεται άμεσα με την Φ/Β συστοιχία.**
Αυτόνομα δίκτυα	**Λειτουργεί με μπαταρίες, ανεξάρτητα από το δημόσιο δίκτυο.**
Σύνδεση με το δίκτυο και αυτόνομη λειτουργία	**Μπορεί να λειτουργεί σε σύνδεση με το δίκτυο αλλά παρέχει ενέργεια εάν το δίκτυο αποκοπεί.**

Στο παρόν άρθρο θα παρουσιαστούν οι βασικές λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά των μονοφασικών αντιστροφέων που προορίζονται για σύνδεση με το δίκτυο.

ΙΙ. Μονοφασικοί Αντιστροφείς για σύνδεση με το δίκτυο

Η διείσδυση Φ/Β συστημάτων στο δίκτυο αυξάνεται με ταχύ ρυθμό τα τελευταία χρόνια. Προγράμματα και αλλαγές στην ενεργειακή πολιτική των ευρωπαϊκών χωρών έχουν συμβάλλει σε αυτό, ενώ η τεχνολογική ανάπτυξη στο πεδίο των ημιαγωγών και τον μαγνητικών υλικών οδήγησαν τους αντιστροφείς σε βελτιωμένη λειτουργία. Μέσα στην τελευταία δεκαετία το κόστος τους έχει μειωθεί κατά 50% και η απόδοση τους αυξήθηκε από 94 στο 97%. Εκτός αυτών, σήμερα έχουν τεθεί και ζητήματα ασφάλειας, αξιοπιστίας και επίβλεψης των συστημάτων των αντιστροφέων.



Σχήμα 1. Σύνδεση 1φ Φ/Β αντιστροφέα με το δίκτυο.

✓ Θέματα σχεδιασμού του συστήματος

Τα πρώτα Φ/Β συστήματα στη δεκαετία του 1980 είχαν εγκατεστημένους κεντρικούς αντιστροφείς αρκετών kW, οι τοπολογίες των οποίων ήταν βασισμένες στα βιομηχανικά συστήματα οδήγησης χωρίς εξειδίκευση στη λειτουργία της Φ/Β πηγής. Αυτό είχε επιπτώσεις στην λειτουργία του Φ/Β συστήματος, όπως μειωμένη απόδοση στην εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος, απώλειες και θέματα ασφάλειας στην καλωδίωση της DC πλευράς και μειωμένη προσαρμοστικότητα του συστήματος στις απαιτήσεις του πελάτη.

Ως εκ τούτου αναπτύχθηκαν συστήματα αντιστροφέων, ώστε να καλύπτουν τις ειδικές απαιτήσεις ενός Φ/Β συστήματος, με πλεονεκτήματα τη μείωση του κόστους, την αξιοπιστία και την απλότητα στον σχεδιασμό.

Το καλύτερο από πλευράς απόδοσης και απλότητας θα ήταν η ενσωμάτωση του αντιστροφέα στο Φ/Β πλαίσιο. Ζητήματα αντικατάστασης και μειωμένης απόδοσης λόγω χαμηλών τιμών ισχύος, που αναγείρονται, οδηγούν προς αντιστροφείς προσανατολισμένους σε μία σειρά Φ/Β πλαισίων. Η μέγιστη απόδοση σήμερα αυτών των αντιστροφέων φτάνει το 97% , ενώ υπάρχει περιορισμένος χώρος για περαιτέρω αύξηση.

✓ Τοπολογίες αντιστροφέων στην ευρωπαϊκή αγορά

Οι τρεις βασικές λειτουργίες που θα πρέπει να εκτελέσει ένας αντιστροφέας για την σύνδεση με το δίκτυο είναι οι εξής:

1. Μετατροπή του ρεύματος σε εναλλασσόμενο.

2. Μετασχηματισμός του ρεύματος σε ημιτονοειδή κυματομορφή.

3. Ενίσχυση της τάσης της Φ/Β πηγής με μετατροπέα DC/DC εάν αυτή είναι χαμηλότερη από την απαιτούμενη για την σύνδεση στα 230V.

Η ακολουθία αυτών των λειτουργιών στο σύστημα του αντιστροφέα καθορίζει τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν και τις απώλειες, το μέγεθος και την τιμή του.

Το επίπεδο της τάσης στην είσοδο του αντιστροφέα εξαρτάται από την τάση του Φ/Β πλαισίου και τον σχηματισμό της συστοιχίας. Η τάση αυτή μπορεί να μην είναι η βέλτιστη που χρειάζεται η γέφυρα του αντιστροφέα για να διατηρήσει τα 230V στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές που περιέχονται στο σύστημα του αντιστροφέα και μπορεί να είναι υψηλής ή χαμηλής συχνότητας. Γενικά οι μετασχηματιστές υψηλής συχνότητας είναι ελαφρύτεροι και μικρότερη σε μέγεθος και έτσι προτιμούνται. Εναλλακτικά μπορούν να τοποθετηθούν μετατροπείς DC/DC στην πλευρά συνεχούς (boost converters) που ενισχύουν την τάση που λαμβάνουν από την γεννήτρια.

Άλλο στοιχείο είναι τα φίλτρα που τοποθετούνται στην DC και AC πλευρά για τις αρμονικές που προκύπτουν από τη λειτουργία των διακοπτικών στοιχείων.

✓ Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή.

Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή έχουν εισαχθεί στην αγορά με σταθερά αυξανόμενο ρυθμό διείσδυσης, προσφέροντας γενικά καλύτερη απόδοση, χαμηλότερο κόστος και βάρος. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι η άμεση σύνδεση με την AC πλευρά χωρίς γαλβανική απομόνωση. Ανάλογα με την τοπολογία του αντιστροφέα αυτό μπορεί να προκαλέσει διακυμάνσεις μεταξύ του δυναμικού της Φ/Β συστοιχίας και της γης. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να έχουν συμπεριφορά ημίτονου ή τετραγωνικού παλμού στην συχνότητα του δικτύου ή την διακοπτική συχνότητα. Οι επιπτώσεις την λειτουργία του συστήματος και την ασφάλεια των ατόμων που έρχονται σε επαφή με αυτό οφείλονται στην ανάπτυξη δύο φαινομένων:

1. Η επιφάνεια της Φ/Β συστοιχίας αναπτύσσει χωρητικότητα σε σχέση με τη γη η οποία ενεργοποιείται με τις διακυμάνσεις του δυναμικού. Τίθενται λοιπόν θέματα ασφαλείας για άμεση επαφή με τη Φ/Β γεννήτρια.

2. Οι διακυμάνσεις του δυναμικού προκαλούν τη δημιουργία ηλεκτρομαγνητικών πεδίων γύρω από τη συστοιχία (ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή).

Ο βαθμός της επίδρασης αυτών των φαινομένων εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος και την τοπολογία του αντιστροφέα. Η γείωση εξοπλισμού μειώνει αρκετά την αναπτυσσόμενη χωρητικότητα και άρα τον κίνδυνο που αυτή συνεπάγεται. Σε συνδυασμό με την κατάλληλη τοπολογία αντιστροφέα και εγκατάσταση εξοπλισμού κλάσης ΙΙ, οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή δεν αποτελούν πηγή κινδύνων για το σύστημα και τους ανθρώπους που το χειρίζονται.

Σχήμα 2. Φ/Β αντιστροφέας της εταιρείας Fronius.

ΙΙΙ. Αποδόσεις

Οι υψηλότερες μέγιστες αποδόσεις επιτυγχάνονται στους αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή με μέση μέγιστη απόδοση 96,5%. Όμως οι αντιστροφείς δεν λειτουργούν πάντα με την μέγιστη απόδοση κυρίως λόγω των διακυμάνσεων στην ηλιακή ακτινοβολία. Η ευρωπαϊκή απόδοση είναι ένας τρόπος εκτίμησης της απόδοσης των αντιστροφέων σε τυπικές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας στην Ευρώπη. Ορίζεται ως εξής:

$$n_{euro}=0.03*n_5+0.06*n_{10}+0.13*n_{20}+0.1*n_{30}+0.48*n_{50}+0.2*n_{100}$$

Ο δείκτης των αποδόσεων που συμμετέχουν στον προσδιορισμό του neuro αναφέρεται στο ποσοστό επί της ονομαστικής ισχύος.

Οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή που συνδέονται στο δίκτυο παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες ευρωπαϊκές αποδόσεις (~90%). Γενικότερα η ευρωπαϊκή απόδοση των αντιστροφέων όλων των τοπολογιών αυξάνεται σταθερά από το 2000 και μετά. Η μέγιστη απόδοση σε αντίθεση έχει παραμείνει σταθερή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αύξηση της μέγιστης απόδοσης οδηγεί στην αύξηση του κόστους και έτσι οι εταιρείες στοχεύουν στην βελτίωση της απόδοσης σε χαμηλότερα ποσοστά ισχύος.

IV. Τέλος…

Στην αγορά μεγάλο μερίδιο έχουν κατοχυρώσει πλέον οι αντιστροφείς χωρίς ΜΣ ενώ τοπολογίες με ΜΣ υψηλής συχνότητας διεισδύουν όλο και περισσότερο. Η συνεχής έρευνα και τεχνολογική ανάπτυξη οδηγεί σε νέες τοπολογίες που εισάγονται στην αγορά χωρίς συγκεκριμένες οδηγίες εγκατάστασης (πρότυπα) σε εθνικό επίπεδο. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι εταιρείες παραγωγής θα πρέπει να είναι σε θέση να διευκρινίσουν τον τρόπο εγκατάστασης του αντιστροφέα καθώς και τη συμβατότητά του με τα άλλα μέρη του Φ/Β συστήματος.