

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ”**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ
Κολάρης Ευάγγελος
(Α.Μ. 32186)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Δρ. Καμινάρης Σταύρος
Επίκουρος Καθηγητής

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2013

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο - ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	7
1.1 Γενικά.....	7
1.2 Ενεργή και Άεργη Ισχύς.....	9
1.3 Συντελεστής Ισχύος	14
1.4 Οφέλη από την Βελτίωση του Συντελεστή Ισχύος.....	16
1.4.1 Κέρδη στις Εγκαταστάσεις	18
1.4.2 Οικονομικά Οφέλη	19
1.5 Σχέση συντελεστή ισχύος και αρμονικών	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο - ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ.....	29
2.1 Γενικά.....	29
2.2 Πυκνωτές: Ορισμός	30
2.3 Αναγκαία Χωρητικότητα Πυκνωτών Αντιστάθμισης.....	31
2.4 Συνδεσμολογία πυκνωτών	34
2.5 Είδη χωρητικής Αντιστάθμισης	35
2.6 Διόρθωση του συνημιτόνου για Μετασχηματιστές Ισχύος.....	46
2.7 Διόρθωση του συνημιτόνου των ηλεκτροσυγκολλήσεων	50
2.8 Διόρθωση του συνημιτόνου των ασύγχρονων κινητήρων	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο - Συνδεσμολογία και Προστασία	54
3.1 Θέσεις Σύνδεσης Πυκνωτών	54
3.2 Αυτόματοι Ρυθμιστές Άεργου Ισχύος	57
3.3 Διατάξεις Χειρισμών και Προστασίας	61
3.4 Συνδεσμολογίες, Όργανα Χειρισμών και Προστασία Ασύγχρονων Κινητήρων	62
3.5 Διόρθωση του συνημιτόνου με χρήση Σύγχρονου Κινητήρα	68

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73
ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ.....	74

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο συντελεστής ισχύος είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό μέγεθος από οικονομικής απόψεως τόσο για τις βιομηχανικές μονάδες όσο και για τις εταιρείες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελεί το μέτρο της άεργου ισχύος που ανταλλάσσεται μεταξύ καταναλωτή και δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η καταλληλότερες τιμές του κυμαίνονται ανάμεσα στο 0,85, κατώτερο όριο που επιβάλλει η Δημοσία Επιχείρηση Ηλεκτρισμού να εφαρμόζεται στις βιομηχανικές επιχειρήσεις, με 1. Βελτίωση του συντελεστή ισχύος συνεπάγεται μείωση της εισερχόμενης άεργου ισχύος στο δίκτυο και αύξηση της ενεργού ισχύος. Αυτό σημαίνει την καλύτερη εκμετάλλευση του δικτύου παράλληλα με βελτίωση της συνολικής απόδοσής του. Κατά συνέπεια αυξάνεται ο χρόνος ζωής των λειτουργικών μερών της επιχείρησης αλλά προκύπτουν και οικονομικά οφέλη, τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τις εταιρείες παραγωγής.

Η μελέτη της εγκατάστασης κατάλληλου συστήματος αύξησης του συντελεστή ισχύος, έγκειται σε ένα πολυεπίπεδο χειρισμό των στοιχείων της μονάδος και των μέσων που θα χρησιμοποιηθούν, η απόδοτικότητα των οποίων εξαρτάται τόσο από την περιοχή όσο και από τον τρόπο σύνδεσης που θα επιλεγεί. Με την διαδικασία αντιστάθμισης άεργου ισχύος, δηλαδή με την προσθήκη πυκνωτών συνδεδεμένων παράλληλα προς το φορτίο, επιτυγχάνεται η βελτίωση του συντελεστή ισχύος επαγωγικού φορτίου. Μετά τον καθορισμό της απαιτούμενης ισχύος της συστοιχίας των πυκνωτών, οι θέσεις σύνδεσης αλλά και η υποδιαίρεση στις κατάλληλες βαθμίδες, είναι τα βήματα που ακολουθούν, την μελέτη αντιστάθμισης σε μια εγκατάσταση. Πέρα όμως από την εύρεση των κατάλληλων πυκνωτών και μεθόδου εφαρμογής, προκειμένου να εξασφαλιστεί η καλή λειτουργία τους, αλλά και να παραταθεί η διάρκεια ζωής, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην επιτυχημένη προσπάθεια βελτίωσης του συντελεστή ισχύος μιας βιομηχανικής μονάδος, είναι η εφαρμογή των κατάλληλων μέσων προστασίας και χειρισμών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σταύρο Καμινάρη, Καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολογίας, ο οποίος είχε την επίβλεψη της εργασίας, για την πολύτιμη και ουσιαστική καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διόρθωση του συντελεστή ισχύος σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Έτσι στις σελίδες που ακολουθούν θα διαπιστώσουμε τον τρόπο χρέωσης της άεργου ισχύος από τη ΔΕΗ και τα τεchnοοικονομικά οφέλη που μπορεί να προκύψουν από την εγκατάσταση πυκνωτών σε μια βιομηχανική εγκατάσταση.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού της απαιτούμενης ισχύος πυκνωτών για κάθε τύπο αντιστάθμισης του συντελεστή ισχύος, οι συνδεσμολογίες των πυκνωτών, οι αυτοματισμοί και τα μέσα ζεύξεως και προστασίας που απαιτούνται σε όλες τις περιπτώσεις που παρουσιάζονται στην πράξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ

1.1 Γενικά

Η ηλεκτρική ισχύς είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Η μονάδα της ισχύος είναι το watt.

Η στιγμιαία ηλεκτρική ισχύς σε οποιοδήποτε σημείο ενός κυκλώματος υπολογίζεται ως το γινόμενο της στιγμιαίας τάσης επί το στιγμιαίο ρεύμα:

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad [1-1]$$

σε ένα εναλλασσόμενο σύστημα τάσεων και ρευμάτων θα έχουμε όμως:

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega t + \phi_v) \quad [1-2]$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \cos(\omega t + \phi_i) \quad [1-3]$$

Άρα

$$p(t) = 2 \cdot V \cdot I \cdot \cos(\omega t + \phi_v) \cdot \cos(\omega t + \phi_i) \quad [1-4]$$

Επειδή όμως

$$\cos(A) \cdot \cos(B) = \frac{1}{2} [\cos(A+B) + \cos(A-B)] \quad [1-5]$$

Τελικά προκύπτει

$$p(t) = V \cdot I \cdot [\cos(2\omega t + \phi_v + \phi_i) + \cos(\phi_v - \phi_i)] \quad [1-6]$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η ισχύς αποτελείται από δύο όρους, ένα μεταβαλλόμενο:

$$p(t) = V \cdot I \cdot \cos(2\omega t + \phi_v + \phi_i)$$

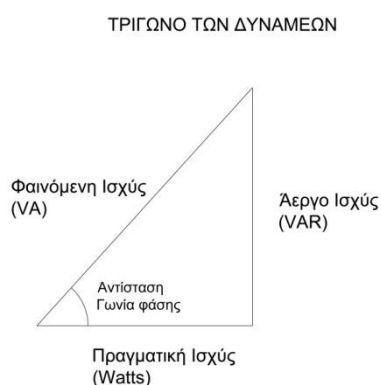
Και έναν σταθερό

$$p(t) = V \cdot I \cdot \cos(\phi_v - \phi_i)$$

Ο σταθερός όρος εκφράζει την ισχύ που καταναλώνεται στο κύκλωμα και ονομάζεται πραγματική ή ενεργή ισχύς. Επιπλέον, ο όρος $\cos(\phi_v - \phi_i)$ ονομάζεται συντελεστής ισχύος και εκφράζει σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος το μέρος της συνολικής ισχύος που διέρχεται από το σημείο, το οποίο θα καταναλωθεί τελικά στα στοιχεία του κυκλώματος.

Ο μεταβαλλόμενος όρος εκφράζει ένα μέρος της συνολικής στιγμιαίας ισχύος, το οποίο μεταφέρεται συνεχώς. Το μέρος αυτό της συνολικής στιγμιαίας ισχύος ονομάζεται άεργη ισχύς.

Το σύνολο της ενεργής και άεργης ισχύος αποτελεί την φαινόμενη ή μιγαδική ισχύ. Αφορά στην συνολική ισχύ του συστήματος.



Σχήμα 1.1 Τρίγωνο των Δυνάμεων

Οι τρεις τύποι ενέργειας συνδέονται μεταξύ τους σε ένα τριγωνομετρικό σχηματισμό, όπως φαίνεται και στο άνωθεν διάγραμμα.

Σε ένα αμιγώς ωμικό κύκλωμα, ο συντελεστής ισχύος είναι 1, καθώς η άεργη ισχύς ισούται με μηδέν, επομένως το τρίγωνο μετατρέπεται σε μία οριζόντια γραμμή, καθώς η αντίθετη πλευρά, δηλαδή η πλευρά της άεργου ισχύος θα έχει μηδενικό μήκος. Σε ένα αμιγώς επαγωγικό κύκλωμα, ο συντελεστής ισχύος είναι μηδέν, καθώς η ενεργός ισχύ είναι μηδενική. Σε αυτή την περίπτωση το τρίγωνο θα μετατραπεί σε μια κάθετη γραμμή, αφού η προσκείμενη πλευρά της ενεργού ισχύος θα έχει μηδενικό μήκος.¹

1.2 Ενεργή και Άεργη Ισχύς

Η πραγματική ή ενεργή ισχύς είναι αυτή η οποία παράγει το πραγματικό έργο, π.χ. τη μηχανική ισχύ στον άξονα ενός κινητήρα, τη θερμότητα που παράγει μια ηλεκτρική θερμάστρα ή ένα ηλεκτρικός θερμοσίφωνα κλπ., σε ένα κύκλωμα και καταγράφεται από τους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας.

Η άεργη ισχύς απορροφάται, κυρίως, από τους κινητήρες για την δημιουργία του στρεφόμενου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που είναι απαραίτητο για την λειτουργία τους, αλλά και από άλλα μηχανήματα, όπως μετασχηματιστές, στατές ηλεκτροσυγκολλήσεις, οι λαμπτήρες φωτισμού που λειτουργούν με ηλεκτρικές εκκενώσεις κ.ο.κ². Δεν παράγει πραγματικό έργο, αλλά είναι αναγκαία για τη δημιουργία μαγνητικού ή ηλεκτρικού πεδίου στα πηνία και στους πυκνωτές του κυκλώματος.

Οι εταιρείες Παραγωγής-Μεταφοράς και Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας τροφοδοτούν τους καταναλωτές με ενεργό και άεργο ισχύ για την λειτουργία των μηχανολογικών εγκαταστάσεων. Ωστόσο, η άεργος ισχύς δημιουργεί μεγάλα προβλήματα στα σύγχρονα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενεργείας και στις αντίστοιχες εταιρείες. Δεν καταναλώνεται, οπότε δεν χάνεται, αλλά καθώς μεταφέρεται συνεχώς από και προς τα στοιχεία ενός συστήματος, απαιτείται ρεύμα. Συνεπώς, ωμικές απώλειες προκαλούνται στις ωμικές αντιστάσεις των αγωγών που την μεταφέρουν. Όπου υπάρχουν στοιχεία που χρειάζονται άεργη ισχύ, δημιουργούνται αυξημένα ρεύματα, άρα και αυξημένες απώλειες στα δίκτυα που τα τροφοδοτούν.

¹ «Power Factor Correction for Power Systems», Pamela Ackerman, σελ. 5

² «Βελτίωση του συντελεστή Ισχύος στις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις», Κ. Ν. Κριτσωτάκης, σελ. 11

Επιπλέον, σύμφωνα με τον Κ.Ν. Κριτσωτάκη, η άεργος ισχύς για να παραχθεί και να φτάσει μέχρι τους καταναλωτές φορτίζει της γεννήτριες των Σταθμών Παραγωγής, τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας Υψηλής, Μέσης και Χαμηλής Τάσης, καθώς και τους μετασχηματιστές με πρόσθετες εντάσεις που έχουν ως αποτέλεσμα οι εγκαταστάσεις και τα μηχανήματα να υπερφορτίζονται και να περιορίζεται η ικανότητά τους για μεταφορά ενεργού ισχύος. Επιπρόσθετα, αυξάνονται και οι απώλειες μεταφοράς και οι πτώσεις τάσεως.

Σε καταστάσεις υψηλής κατανάλωσης ενεργού και άεργου ισχύος, η λειτουργία των δικτύων γίνεται οριακή, ενώ ταυτόχρονα τα περιθώρια ελέγχου της ροής άεργου ισχύος στενεύουν, με αποτέλεσμα να υφίσταται κίνδυνος μερικής ή ολικής διακοπής του συστήματος μεταφοράς που τροφοδοτούν μεγάλες περιοχές.

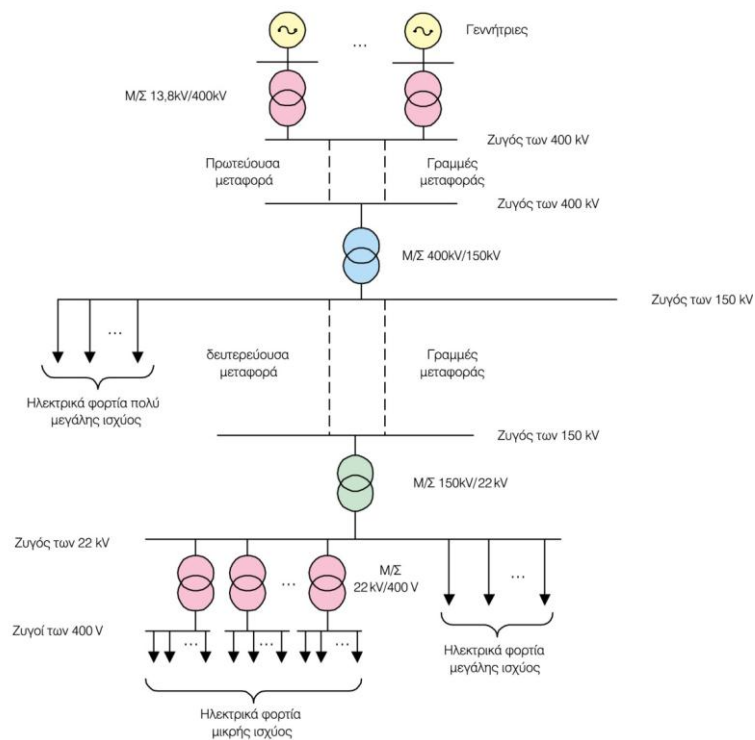
Το Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή το σύστημα της ηπειρωτικής Ελλάδας και των συνδεδεμένων ηλεκτρικά με αυτή νησιών, εμφανίζει συνεχή επιδείνωση της λειτουργίας του από πλευράς άεργου ισχύος, ιδίως κατά τα τελευταία 10 έτη, εξαιτίας του προβλήματος των αιχμών της ηλεκτρικής ζήτησης που έχει πάρει ανησυχητικές διαστάσεις τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα.

Στον ακόλουθο πίνακα καταγράφεται η κατανομή συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα (στοιχεία ΔΕΗ 2003) :

	Υψηλή Τάση	Μέση Τάση	Χαμηλή Τάση
Βιομηχανικός και Εμπορικός Τομέας	27 πελάτες	6.355 μετρητές	1.283.614 μετρητές
	6,8 TWh (14%)	8,8 TWh (18,2 %)	11 TWh (22,7 %)
Οικιακός Τομέας			5.214.834 μετρητές
			16,4 TWh (34 %)
Αγροτικός και λοιποί Τομείς		1.428 μετρητές	331.061 μετρητές
		1,4 TWh (2,8 %)	4 TWh (8,3 %)
ΣΥΝΟΛΟ	27 πελάτες	7.783 μετρητές	6.829.509 μετρητές
	6,8 TWh (14%)	10,2 TWh (21 %)	31,4 TWh (65 %)
Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 48,4 TWh			

Πίνακας 1.1 Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, οι οποίοι συνήθως βρίσκονται σε απομακρυσμένα μέρη από τους χώρους κατανάλωσης. Η παραγωγή της γίνεται με διάφορους τύπους τριφασικών γεννητριών και σε επίπεδα τάσης μερικών kV (3 kV έως 22 kV). Στην συνέχεια με την χρήση μετασχηματιστών γίνεται η ανύψωση της τάσης μέχρι και 400 kV, με σκοπό να μεταφερθεί οικονομικότερα η



Σχήμα 1.2 Σχηματική διάταξη παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

ηλεκτρική ενέργεια στους χώρους κατανάλωσης. Εκεί γίνεται υποβιβασμός της τάσης με την βοήθεια μετασχηματιστών και διανέμεται με τις γραμμές διανομής μέσης τάσης (6,6 kV, 15 kV, 20 kV ή 22 kV) ή χαμηλής τάσης (230 V / 400 V) στους καταναλωτές, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

Η πλειοψηφία των καταναλωτών χρησιμοποιεί χαμηλή τάση για την τροφοδοσία των φορτίων τους. Στους μεγάλους καταναλωτές, στους οποίους συμπεριλαμβάνεται μέρος των βιομηχανικών μονάδων της χώρας, η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στη μέση τάση, την οποία οι καταναλωτές χρησιμοποιούν ανάλογα με τις ανάγκες τους αφού την υποβιβάσουν οι ίδιοι με τους δικούς τους υποσταθμούς στα επίπεδα τάσης που απαιτούνται στην βιομηχανική μονάδα.

Μια βιομηχανική ηλεκτρική εγκατάσταση αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά μέρη :

- Τον υποσταθμό. Οι υποσταθμοί διανομής είναι οι κόμβοι του δικτύου διανομής μέσης τάσης και τα σημεία τροφοδότησης και αφετηρίας του δικτύου χαμηλής τάσης. Σε βιομηχανικές μονάδες και κτήρια, όπου ο καταναλωτής έχει ανάγκη ηλεκτρικής παροχής με ένταση μεγαλύτερη των 200 A – 250 A ανά φάση, επιβάλλεται η εγκατάσταση ιδιωτικού υποσταθμού.
- Την κύρια γραμμή, δηλαδή το καλώδιο που αναχωρεί από το μετρητή και καταλήγει στον πίνακα διανομής ηλεκτρικής εγκατάστασης.
- Τις διατάξεις μετασχηματισμού τάσης (ανά υπάρχουν).
- Το γενικό πίνακα διανομής και τους πίνακες φωτισμού και κίνησης.
- Τα τοπικά κυκλώματα διακλάδωσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης.
- Τις ηλεκτρικές μηχανές και άλλες συσκευές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τις διατάξεις γείωσης προστασίας.

Μια βιομηχανική εγκατάσταση είναι (λόγω του υποσταθμού μέσης τάσης των κινητήρων, των φωτιστικών φθορισμού κ.λ.π.) ένα επαγωγικό φορτίο. Αν το ισοδύναμο κύκλωμα ανά φάση του παραπάνω δικτύου είναι η ωμική αντίσταση R

και η αυτεπαγωγική L, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, τότε η συνολική ισχύς P δίνεται από την ενεργό P_W και την άεργο ισχύ P_B .



Σχήμα 1.3 Συντελεστής Ισχύος $\cos\phi$ μιας εγκατάστασης.

$$P = \sqrt{P_W^2 + P_B^2} \quad [1-1]$$

Από το διάγραμμα των ισχύων του παραπάνω σχήματος προκύπτει ότι

$$P_W = P \cdot \cos\varphi \quad \text{σε kW} \quad [1-2]$$

$$P_B = P \cdot \sin\varphi \quad \text{σε kVAR} \quad [1-3]$$

Και

$$\operatorname{tg}\varphi = P_B/P_W \quad [1.4]$$

Όπως φαίνεται από την σχέση 1-2 η τιμή του συνημιτόνου της φασικής γωνίας φ έχει σημασία για το μέγεθος της απόρροφημένης ισχύος P_W . Όσο επαγωγικότερο είναι, δηλαδή, το φορτίο τόσο μειώνεται το $\cos\phi$ και η ενεργός ισχύς P_W γίνεται μικρότερη. Η μείωση όμως αυτή της ενεργούς ισχύος έχει σαν αποτέλεσμα, λόγω των σταθερών τιμών τάσης και συνημιτόνου ($\cos\phi$), την αύξηση της τιμής του ρεύματος προς κάλυψη των αναγκών, που έχει σαν επακόλουθο την υπερθέρμανση της γραμμής μεταφοράς.

1.3 Συντελεστής Ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος ή $\cos\phi$ είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό μέγεθος από οικονομικής σκοπιάς και αφορά τόσο τον καταναλωτή (φορτίο) όσο και την εταιρία παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ). Ο συντελεστής ισχύος είναι ένα μέτρο της άεργης ισχύος που ανταλλάσσεται μεταξύ καταναλωτή και δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ισχύος, τόσο «καλύτερο» ένα κύκλωμα, καθώς περιορίζεται η άεργη ισχύς του.

Είναι αναγκαίο, η πραγματική ισχύς να παρέχεται στο φορτίο με όσο το δυνατόν υψηλότερο συντελεστή ισχύος. Υψηλός συντελεστής ισχύος σημαίνει ότι η πηγή προσφέρει την ίδια ενεργή ισχύ στο φορτίο με μικρότερη ένταση ρεύματος γραμμής, άρα με μικρότερες απώλειες γραμμής και επομένως με χαμηλότερο κόστος διάθεσης της ισχύος προς το φορτίο. Τα αντίθετα συμβαίνουν όταν μειώνεται ο συντελεστής ισχύος. Στις περιπτώσεις που αυτό δεν είναι εφικτό, π.χ. σε ισχυρά επαγωγικά φορτία, τότε επιβάλλεται να γίνει διόρθωση του συντελεστή ισχύος του φορτίου με την τοποθέτηση κοντά σε αυτό πυκνωτών αντιστάθμισης κατάλληλης χωρητικότητας.

Έστω επαγωγικό φορτίο που καταναλώνει ενεργή ισχύ P με συντελεστή ισχύος $\cos(\phi_V - \phi_I) = \cos\phi$, όπου $\phi = \phi_V - \phi_I$, και απορροφά από το δίκτυο ενεργό ένταση ρεύματος I υπό ενεργό τάση V . Το μέτρο της έντασης του ρεύματος που απορροφά ο καταναλωτής από το δίκτυο είναι

$$I = \frac{P}{V \cos(\phi_V - \phi_I)} = \frac{P}{V \cos\phi} \quad [1-5]$$

Θεωρώντας ότι η πραγματική ισχύς, P , που απορροφά ο καταναλωτής από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι δεδομένη και σταθερή, όπως σταθερή θεωρείται και η τάση του δικτύου, τότε οι παράγοντες που μπορούν να μεταβληθούν είναι το ρεύμα και ο συντελεστής ισχύος. Αυτό που ενδιαφέρει κυρίως είναι το μέτρο της

έντασης του ρεύματος που απορροφά ο καταναλωτής από το δίκτυο. Η ένταση του ρεύματος μειώνεται με την αύξηση του συντελεστή ισχύος και αυξάνεται με τη μείωση του συντελεστή ισχύος. Μείωση του συντελεστή ισχύος σημαίνει ότι η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και της έντασης μεγαλώνει και επομένως ο καταναλωτής απορροφά περισσότερη άεργη ισχύ από το δίκτυο. Τα αντίθετα συμβαίνουν με την αύξηση του συντελεστή ισχύος, κατά τον Γ. Περαντζάκη.

Πράγματι, η άεργος ισχύς P_B , που προέρχεται από τον επαγωγικό χαρακτήρα (R & L) του δικτύου του καταναλωτή, μειώνεται με την σύνδεση πυκνωτών. Λόγω του πυκνωτή C, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2, η τάση U_L αντισταθμίζεται από την τάση U_C και επομένως η άεργος ισχύ παίρνει την μικρότερη τιμή.



Σχήμα 1.4 Επεξήγηση της χωρητικής αντιστάθμισης.

Με την σε σειρά σύνδεση δηλαδή του πυκνωτή C έγινε καλύτερη εκμετάλλευση του δικτύου, αύξηση δηλαδή της ενεργού ισχύος.

Η απαιτούμενη ισχύς του πυκνωτή, για την μείωση της άεργου ισχύος στην τιμή P_B είναι

$$P_C = P_L - P_B = P_W(tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \quad [1-6]$$

Ο συντελεστής

$$K_\alpha = tg\varphi_1 - tg\varphi \quad [1-7]$$

ονομάζεται συντελεστής αναπροσαρμογής.

1.4 Οφέλη από την Βελτίωση του Συντελεστή Ισχύος

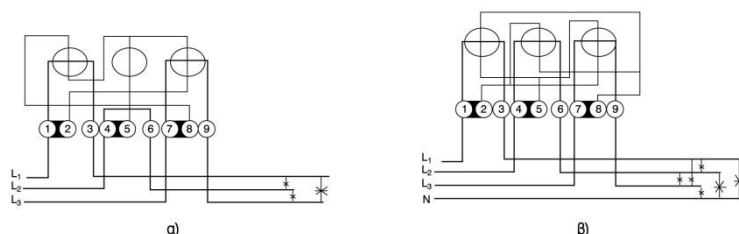
Η ΔΕΗ παρέχει ηλεκτρική ενέργεια με μέση τάση ανάλογα με την περιοχή. Σε αυτούς τους καταναλωτές η χρέωση είναι αρκετά φθηνότερη ανά kWh. Η φθηνότερη αυτή χρέωση επιβάλλεται για διάφορους λόγους, όπως:

- Ο καταναλωτής μέσης τάσης επιβαρύνεται με την δαπάνη εγκατάστασης και συντήρησης του μετασχηματιστή και της κατασκευής του αντίστοιχου δικτύου χαμηλής τάσης.
- Οι απώλειες του μετασχηματιστή και του δικτύου χαμηλής τάσης βαρύνουν τον καταναλωτή μέσης τάσης και όχι τη ΔΕΗ, όπως συμβαίνει στις παροχές χαμηλής τάσης.
- Ο καταναλωτής μέσης τάσης έχει έκπτωση είτε γιατί έχει σταθερό φορτίο (χωρίς μεγάλες αιχμές), είτε για λόγους επιδότησης της βιομηχανίας με σκοπό την ενίσχυση της απασχόλησης.

Παρόλα αυτά, εάν ο καταναλωτής έχει χαμηλό συντελεστή ισχύος, απορροφά μεγάλη ένταση ρεύματος από το δίκτυο, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται υψηλές απώλειες ισχύος (απώλειες Joule, $R I^2$) επάνω στη γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, χαμηλός συντελεστής ισχύος σημαίνει ότι ο καταναλωτής απορροφά μεγάλη άεργη ισχύ από το δίκτυο, την οποία βεβαίως πρέπει να παράγουν οι γεννήτριες (πηγές) του δικτύου. Το αποτέλεσμα είναι, με τη μείωση του συντελεστή ισχύος, να αυξάνεται το κόστος διάθεσης ηλεκτρικής ισχύος στον καταναλωτή, το οποίο κόστος επιβαρύνει βεβαίως την εταιρία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτός είναι ο λόγος που η εταιρία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί από τους καταναλωτές να απορροφούν πραγματική ηλεκτρική ισχύ από το δίκτυο με υψηλό συντελεστή ισχύος.

Υπάρχουν καταναλωτές με ισχυρά επαγωγικά φορτία, τα οποία καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες άεργης ισχύος και επομένως παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή ισχύος. Τέτοιοι καταναλωτές είναι, για παράδειγμα, βιομηχανικές και εμπορικές εγκαταστάσεις, όπου λειτουργεί συνήθως ένας μεγάλος αριθμός συσκευών με επαγωγική συμπεριφορά, όπως ηλεκτρικοί κινητήρες, μετασχηματιστές κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές, απαιτείται η *βελτίωση του συντελεστή ισχύος* της ηλεκτρικής

εγκατάστασης, δηλαδή η αύξηση του συντελεστή ισχύος στην επιθυμητή τιμή(0,85-1). Τους καταναλωτές αυτούς οι Ηλεκτρικές Εταιρείες τοποθετούν, έκτος από μετρητές καταγραφής της ενεργού ισχύος, άλλους για την μέτρηση της άεργης ισχύος που μεταφέρεται.



Σχήμα 1.5 Συνδεσμολογία τριφασικού μετρητή άεργης ισχύος α) τριών αγωγών και β) τριών αγωγών με ουδέτερο.

Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος, που επιτυγχάνεται με την χρήση πυκνωτών στο σύστημα, εκτός από την μείωση των απωλειών στην ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις των καταναλωτών, επιφέρει επιπλέον οικονομικά οφέλη στην τιμολόγηση από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού.

Επομένως, το πρωταρχικό όφελος από την βελτίωση του συντελεστή ισχύος είναι η εξάλειψη χρεώσεων που σχετίζονται με κατανάλωση άεργου ισχύος. Αν η χρήση άεργου ισχύος επιδέχεται ποινές, η μείωση της συνεπάγεται εξοικονόμηση. Το εύρος της εξοικονόμησης εξαρτάται από το μέγεθος, τη διαμόρφωση και την λειτουργία του συστήματος. Τυπικά, το κόστος της βελτίωσης αποσβένεται στα χρονικά πλαίσια ενός έτους, ενώ έπειτα από αυτό η εξοικονόμηση θα μειώσει τα λειτουργικά έξοδα. Επιπλέον, η βελτίωση του συντελεστή ισχύος θα βελτιώσει την συνολική απόδοση του συστήματος, που συνεπάγεται την αύξηση του χρόνου ζωής των λειτουργικών μερών της επιχείρησης, όπως των κινητήρων. Η μείωση απωλειών ισχύος και ενέργειας συνεπάγεται αύξηση της διαθέσιμη ισχύος του υποσταθμού τροφοδότησης αλλά και σωστότερο προγραμματισμό νέων υποσταθμών του δικτύου. Επιφέρεται ανύψωση ή ρύθμιση της τάσης ζυγών, αλλά και διευκόλυνση εκκίνησης μεγάλων κινητήρων στην άκρη πολύ φορτισμένων γραμμών διανομής. Το

τελικό αποτέλεσμα είναι προστασία, αποδοτικότητα και ενεργειακή και οικονομική εξοικονόμηση.

1.4.1 Κέρδη στις Εγκαταστάσεις

Τα οφειλή που προκύπτουν από την βελτίωση του συντελεστή ισχύος μίας εγκατάστασης αφορούν σε διάφορα τμήματα της. Η μείωση των απωλειών, για ίση μεταφερόμενη ισχύ, εξαρτάται από τον συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης. Για παράδειγμα, για αρχικό συντελεστή ισχύος $\text{συν}\phi_1 = 0,65$ διορθωμένο σε τελικό $\text{συν}\phi_2=0,90$ πετυχαίνουμε σημαντική μείωση των ωμικών απωλειών της εγκατάστασης κατά 48%. Τα κέρδη στις ωμικές απώλειες εξαρτώνται από το σημείο σύνδεσης των πυκνωτών που θα τοποθετηθούν για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος.

Δηλαδή εάν τοποθετήσουμε τους πυκνωτές στην πλευρά Μέσης Τάσης του Υποσταθμού δεν θα αποκομίσουμε κανένα κέρδος. Εάν πάλι εγκαταστήσουμε τους πυκνωτές αμέσως μετά το Γενικό Διακόπτη Χαμηλής Τάσης του μετασχηματιστή, το κέρδος θα αφορά μόνο στις ωμικές απώλειες στο μετασχηματιστή. Το κέρδος, όμως, αυτό μπορεί να είναι σημαντικό στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής φορτίζεται κοντά στην ονομαστική του ισχύ.

Επιπλέον, η διόρθωση του συνημίτονου μιας βιομηχανικής εγκατάστασης μειώνει την πτώση τάσεως στους μετασχηματιστές και στις εναέριες γραμμές ή τα καλώδια που βρίσκονται εγκατεστημένα πριν από το σημείο σύνδεσης των πυκνωτών. Επειδή στους μετασχηματιστές ισχύος η τιμή της επαγωγικής αντίστασης είναι πολύ μεγαλύτερη από την τιμή της ωμικής (περισσότερο από 3 φορές) είναι φανερό ότι η πτώση τάσεως στους μετασχηματιστές είναι σημαντική και εξαρτάται από την τιμή της έντασης, η οποία με τη σειρά της, για ίση μεταφερομένη ισχύ, είναι συνάρτηση του συντελεστή ισχύος.

Όσον αφορά στα καλώδια μεταφοράς ισχύος πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι η πτώση τάσεως δεν είναι τόσο σημαντική όσο στους μετασχηματιστές, καθώς η επαγωγική πτώση τάσεως σε αυτά δεν είναι τόσο μεγάλη, επειδή η επαγωγική αντίσταση είναι μικρότερη από την ωμική.

Όμως η μεταφορά άεργου ισχύος, όταν αυτά λειτουργούν με πολύ χαμηλό συνημίτονο, μπορεί να είναι ικανή να υπερφορτίσει τα καλώδια και να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα πτώσης τάσεως και σε αυτά. Η διόρθωση του συνημίτονου, εάν γίνει κοντά στους κινητήρες, αποφορτίζει τα καλώδια τροφοδοσίας ελαττώνοντας την πτώση τάσεως.

Αποτέλεσμα αυτών των διαθρωτικών κινήσεων βελτίωσης του συντελεστή ισχύος μιας εγκατάστασης, είναι η αύξηση της δυναμικότητας των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, καθώς μειώνονται τα φορτία των μετασχηματιστών ισχύος και των καλωδίων μεταφοράς. Μετά από την διόρθωση του συνημίτονου οι μετασχηματιστές, για ίση μεταφερόμενη φαινόμενη ισχύ, αποδίδουν μεγαλύτερη ενεργό ισχύ. Θεωρητικά, συνεπώς, ένας μετασχηματιστής που τροφοδοτεί καθαρά επαγωγικά φορτία, θα μπορούσε να φορτιστεί στο ονομαστικό του φορτίο με μηδενική μεταφερόμενη ενεργό ισχύ.

Συνεπώς, η βελτίωση του συντελεστή ισχύος μπορεί να αποτρέψει την επένδυση κεφαλαίου σε μεγαλύτερους μετασχηματιστές, καθώς για ίδια ενεργό ισχύ επαρκούν μικρότεροι. Επιπλέον, οι απώλειες περιορίζονται σημαντικά με αποτέλεσμα να προκύπτει πιο οικονομική λειτουργία της εγκατάστασης και καλύτερη αξιοποίησή της. Παράλληλα, οι μειώσεις αυτές στην εγκατάσταση εξασφαλίζουν χαμηλότερες χρεώσεις καθώς περιορίζονται τα περιττά φορτία με τα οποία η επιχείρηση επιβαρύνεται.

1.4.2 Οικονομικά Οφέλη

Προκειμένου οι Ηλεκτρικές Εταιρείες να τιμολογήσουν τους καταναλωτές, χρειάζεται να γνωρίζουν την ενεργή και άεργη ισχύ που αυτοί καταναλώνουν, αλλά επίσης και τα χρονικά πλαίσια μέσα στα οποία αυτή η κατανάλωση πραγματοποιείται. Εάν οι καταναλωτές απορροφούν αυξημένη άεργο ισχύ, επιβαρύνονται με «κυρώσεις» στην τιμολόγηση. Ένας άλλος παράγοντας που τιμολογείται επίσης με αυστηρότητα από τις Ηλεκτρικές Εταιρείες είναι η Μέγιστη Ζήτηση (Αιχμή) της ενέργειας που ο πελάτης καταναλώνει σε χρονική περίοδο μέτρησης ενός μηνός. Η Μέγιστη Ζήτηση καταγράφεται από τους Μεγιστοδείκτες

κάθε 15 λεπτά, ειδικά όργανα μέτρησης, που τοποθετούνται μαζί με τους μετρητές ενέργειας.

Στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) πληρώνεται η ενέργεια

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P_W(t) dt \quad [1-8]$$

Αυτό σημαίνει ότι η ΔΕΗ ζημιώνεται, λόγω του κακού συντελεστή ισχύος $\cos\phi$, αφού παράγει ενέργεια P , όπως αναφέρεται στην σχέση 1-1 και πληρώνεται για την μικρότερη P_W (σχέση 1-2). Συνεπώς είναι υποχρεωμένη να επιβάλει στους καταναλωτές την βελτίωση του $\cos\phi$, για αυτό και έχει καθιερώσει ότι

$$\cos\phi \geq 0,85$$

για τιμές $\cos\phi < 0,85$, ο καταναλωτής πληρώνει, δηλαδή, την άεργο ισχύ (κάτι που δεν τον συμφέρει) και για τον λόγο αυτό είναι αναγκασμένος να βελτιώσει τον συντελεστή ισχύος της εγκατάστασή του. Το ηλίκο

$$K = \cos\phi / \cos\phi_1$$

(όπου $\cos\phi_1$ ο μετρούμενος συντελεστής ισχύος σε έναν καταναλωτή) ονομάζεται συντελεστής προσαρμογής. Με τον συντελεστή αυτό και το μέγιστο της ενεργού ισχύος του καταναλωτή(από την καταγραφή της ενεργού ισχύος για ένα μήνα) βρίσκεται η επιπλέον ισχύς, που πληρώνεται επιπρόσθετα στην ΔΕΗ.

Παράδειγμα

Από τα καταγραφικά όργανα της ΔΕΗ για κατανάλωση ενός μήνα διαπιστώνεται: Μέγιστο κατανάλωσης 120 Kw και $\cos\phi_1 = 0,75$. Ζητείται η επιπλέον ισχύς που πληρώνεται στην ΔΕΗ.

Η απαίτηση της ΔΕΗ είναι $\cos\phi \geq 0,85$

Τότε ο συντελεστής προσαρμογής θα είναι

$$K = \cos\phi / \cos\phi_1 = 0,85 / 0,75 = 1,13$$

$$120 \text{ kW} \cdot 1,13 = 135,6 \text{ kW}$$

Ενώ καταγράφηκαν 120 kW, ο λογαριασμός της ΔΕΗ γίνεται για 135,6 kW. Πληρώνεται, δηλαδή, λόγω κακού συντελεστή, η επιπλέον ισχύς των 15,6 kW.

Η ΔΕΗ προσφέρει στους πελάτες διάφορα τιμολόγια για Βιομηχανική Χρήση προκειμένου να επιλέξουν εκείνο που τους συμφέρει από οικονομικής άποψης ανάλογα με τη δραστηριότητα τους. Στα τιμολόγια αυτά το ποσό χρεώσεως προέρχεται από διώνυμο όπου στο ένα μέλος περιέχεται η καταμετρηθείς ενέργεια ενώ στο άλλο η Χρεωστέα Μέγιστη Ζήτηση (ΧΜΖ). Η Χρεωστέα Μέγιστη Ζήτηση είναι λοιπόν συνάρτηση της Μέγιστης Ζήτησης και του μέσου (μηνιαίου) συντελεστή ισχύος του καταναλωτή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Ο συντελεστής ισχύος (μέσο μηνιαίο συνημίτονο) υπολογίζεται από τις ενδείξεις των μετρητών Ενέργειας P_W (kWh) και Άεργου Ενέργειας P_B (kVARh) με τον τύπο:

$$\cos\phi = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2\phi}}$$

Όπου $\tan\phi = \frac{P_B}{P_W}$

Εάν η μέση μηνιαία τιμή του συνημίτονου ϕ που προκύπτει από τον παραπάνω τύπο, είναι μικρότερη από 0,80 για τον υπολογισμό του συντελεστή πολλαπλασιασμού της ισχύος εφαρμόζεται ο τύπος:

$$\frac{0,80}{\cos\varphi}$$

Εάν είναι μεγαλύτερη του 0,85 τότε εφαρμόζεται ο τύπος:

$$\frac{0,85}{\cos\varphi}$$

Τέλος, εάν είναι $\cos\varphi=0,80 \div 0,85$, τότε ισχύει $KMZ=XMZ$, δηλαδή η Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση ισούται με την Χρεωστέα Μέγιστη Ζήτηση.

Το πηλίκο της διαίρεσης $\frac{0,80}{\cos\varphi}$ ή $\frac{0,85}{\cos\varphi}$ ονομάζεται συντελεστής προσαρμογής.

Το γινόμενο του συντελεστή προσαρμογής επί την Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση (KMZ) δίνει την Χρεωστέα Μέγιστη Ζήτηση (XMZ) που τιμολογείται από την ΔΕΗ.

Η αξία ισχύος που αποτελεί τον ένα από τους δύο όρους του Τιμολογίου της ΔΕΗ είναι το γινόμενο της χρεωστέας μέγιστης ζήτησης επί την τιμή της ισχύος σε ευρώ που καθορίζει κάθε φορά η ΔΕΗ.

Στο τιμολόγιο της η ΔΕΗ πριμοδοτεί, κάνοντας έκπτωση στην αξία ισχύος εκείνους τους καταναλωτές στους οποίους ο Συντελεστής Χρησιμοποίησης της εγκατάστασης είναι μεγαλύτερος από 30% που σημαίνει ότι έχουν ομαλή κατανάλωση χωρίς αιχμές ζήτησης, ιδιαίτερα με την αποφυγή καταγραφών μέγιστης ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής του συστήματος.

Ο Συντελ. Χρησιμοποίησης δίνεται από τον τύπο:

$$\Sigma.XP\Sigma = \frac{MHK \times 100}{KMZ \times 24}$$

όπου ΜΗΚ = Μέση Ημερήσια Κατανάλωση δηλαδή η Μηνιαία Κατανάλωση σε kWh για τις 30 ημέρες του μήνα.

Για χρήση σε εργαστήρια, βιοτεχνίες, βιομηχανίες κ.λπ. με δραστηριότητες που εντάσσονται στο κεφάλαιο "Δ. Μεταποιητικές Βιομηχανίες" με βάση τον Κωδικό Οικονομικής Δραστηριότητας (ΚΟΔ) της Στατιστικής Ταξινόμησης Κωδικών Οικονομικής Δραστηριότητας **ΣΤΑΚΟΔ 2003** της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας

(ΕΣΥΕ), ύστερα από προσκόμιση της σχετικής άδειας Λειτουργίας, η ΔΕΗ εφαρμόζει την ακόλουθη τιμολόγηση σύμφωνα με την επίσημη ανάρτηση της στην ιστοσελίδα που διατηρεί υπό την διεύθυνση www.dei.gr:

1. Γενικό Ενεργειακό/Βιομηχανικό Γ21B
2. Γενικό με Ισχύ και μια Ζώνη Ενέργειας / Βιομηχανικό - Γ22B
3. Γενικό Ενεργειακό με Χρονοχρέωση/Βιομηχανικό (μειωμένο νυχτερινό) – Γ23B

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στις βιομηχανικές επιχειρήσεις με μέση κατανάλωση οπότε το τιμολόγιο που ανταποκρίνεται καλύτερα στις ανάγκες της έρευνας είναι το Γενικό με Ισχύ και μια Ζώνη Ενέργειας/ Βιομηχανικό- Γ22B που απευθύνεται σε πελάτες με υψηλή κατανάλωση. Χορηγείται σε μονάδες με εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη από 25 kVA και έως 250 kVA. Τα άνωθεν τιμολόγια έχουν αντικαταστήσει τα παλαιότερα B_{1B} και B_{2B} .

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕ ΙΣΧΥ ΚΑΙ ΜΙΑ ΖΩΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εμπορικό 2012 (Τιμολόγιο Γ22. Κτίρια γραφείων, μεγάλα καταστήματα, κλπ)

Βιομηχανικό 2012 (Τιμολόγιο Γ22B. Μεσαίες βιομηχανίες, φούρνοι, κλπ)

Ανταγωνιστικές Χρεώσεις

Ζώνη	Χρέωση Ισχύος (euro/ kW / μήνα)	Χρέωση Ενέργειας (euro / kWh)
Όλο το έτος	2,54	0,07110

Πίνακας 1.2 Ανταγωνιστικές Χρεώσεις ΔΕΗ

Πάγια Χρέωση (euro /μήνα) = 0,53

Ρυθμιζόμενες Χρεώσεις

ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ			ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ		ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΟΙΝΗΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ (euro/kWh)
Χρέωση Ισχύος (euro / kVA x ΣΙ/έτος)	Χρέωση Ενέργειας (euro / kWh)	Λοιπές επιβαρύνσεις (euro / kWh)	Χρέωση Ισχύος (Μοναδιαία Πάγια Χρέωση) (euro / kVA x ΣΙ/έτος)	Χρέωση Ενέργειας (Μοναδιαία Μεταβλητή Χρέωση) (euro / kWh)	
0,70(με ισχύ)	0,00576	0,000046	3,65	0,0193	0,01824
0,70(με άεργα)	0,00576	0,000046	4,14	0,0170	0,01824

Πίνακας 1.3 Ρυθμιζόμενες Χρεώσεις ΔΕΗ

(*) ΧΡΕΩΣΤΕΑ ΙΣΧΥΣ: Η συμφωνημένη ισχύς (ΣΙ) της παροχής

Η Ενεργειακή Χρέωση του Δικτύου Διανομής προσαυξάνεται σε συνάρτηση με το $\cos\phi$.

Σημείωση:

Μήνας τιμολογίου: 30 ημέρες. Εάν η καταμέτρηση αφορά διαφορετική περίοδο, τότε για τη Χρέωση Ισχύος γίνεται αναλογική χρέωση χρησιμοποιώντας τον συντελεστή,

$A =$ ημέρες περιόδου κατανάλωσης / 30 ημέρες.

Γενικές Πληροφορίες

1. Στο τιμολόγιο Γ22 (ΓΕΝΙΚΟ ΜΕ ΙΣΧΥ ΚΑΙ ΜΙΑ ΖΩΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ), ο τιμοκατάλογος αφορά σε μηνιαίες χρεώσεις και συγκεκριμένα σε περίοδο 30 ημερών.
2. Η τιμολόγησή στα Γενικά Τιμολόγια/Εμπορικά & Βιομηχανικά αφορά σε χρεώσεις του παγίου και σε χρεώσεις της αξίας ρεύματος (ενέργεια & μέγιστη ισχύς που

καταναλώθηκε) τα οποία παραμένουν σταθερά ανεξαρτήτως του ύψους κατανάλωσης.

3. Στην περίπτωση που η τιμολόγηση αφορά περίοδο διαφορετική των 30 ημερών (που ορίζει ο τιμοκατάλογος) για τον υπολογισμό του παγίου εφαρμόζεται ο συντελεστής αναγωγής ημερών (τιμή χρέωσης παγίου x αριθμό ημερών κατανάλωσης για τις οποίες εκδόθηκε ο λογαριασμός / 30).

4. Οι χρεώσεις που περιλαμβάνει η αξία του ηλεκτρικού ρεύματος υπολογίζονται ξεχωριστά και αναλυτικά, σε ανταγωνιστικές (ΧΡΕΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΣΥΝΟΛΟ-1) και σε ρυθμιζόμενες (ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΕΘΝΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ-ΣΥΝΟΛΟ-2), οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με την κατανάλωση, το είδος και τη Συμφωνημένη Ισχύ (Σ.Ι.) της παροχής.

Οι ανταγωνιστικές χρεώσεις (ΧΡΕΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΣΥΝΟΛΟ-1) αφορούν τον Προμηθευτή ΔΕΗ, περιλαμβάνουν δηλαδή το κόστος και τις λοιπές δαπάνες για την παραγωγή και την προμήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας στους πελάτες. Ο υπολογισμός τους γίνεται βάσει της ενέργειας που έχει καταναλωθεί και του ισχύοντος τιμοκαταλόγου.

Οι ρυθμιζόμενες χρεώσεις (ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΕΘΝΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ- ΣΥΝΟΛΟ-2) αφορούν α) στη χρήση του Δικτύου Μεταφοράς & Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, β) στις Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ) και γ) στο ειδικό τέλος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), αποδίδονται στο Διαχειριστή Δικτύου και καταβάλλονται από τον πελάτη ανεξαρτήτως του Προμηθευτή που έχει επιλέξει.

Παράδειγμα τιμολόγησης αξίας ηλεκτρικού ρεύματος

ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ:	Γ22 ΓΕΝΙΚΟ ΜΕ ΙΣΧΥ ΚΑΙ ΜΙΑ ΖΩΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
Συμφωνημένη Ισχύς:	35 kVA (ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ Νο 3)
Χρεωστέα ζήτηση :	15kW
Περίοδος Κατανάλωσης :	01.04.2012 -01.05.2012
Ημέρες :	30
Κατανάλωση :	1.400 kWh (κιλοβατώρες)

ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΕΣ ΧΡΕΩΣΕΙΣ / ΧΡΕΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Πάγια Χρέωση : τιμή x συντ. αναγωγής ημερών : $0,53 \times (30/30) = 0,53$

Χρέωση Ισχύος : $2,54 \times 15 = 38,10$

Χρέωση Ενέργειας : τιμή kWh x Κατανάλωση: $0,07110 \times 1.400 = 99,54$

Σύνολο(1)Ανταγωνιστικών χρεώσεων: $138,17$

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΕΣ ΧΡΕΩΣΕΙΣ / ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΕΘΝΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Χρέωση Ισχύος: τιμή ισχύος x ΣΙ x ημέρες/365: $0,70 \times 35 \times (30/365) = 2,01$

Χρέωση Ενέργειας: τιμή kWh x kWh: $0,00576 \times 1.400 = 8,06$

Σύνολο Χρεώσεων Χρήσης Δικτύου Μεταφοράς: $10,07$

Λοιπές επιβαρύνσεις Δικτύου Μεταφοράς: τιμή x kWh: $0,00046 \times 1.400 = 0,64$

Σύνολο Χρεώσεων Δικτύου Μεταφοράς: $10,71$

ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Χρέωση Ισχύος: τιμή ισχύος x ΣΙ x ημέρες/365: $3,65 \times 35 \times 30/365 = 10,50$

Χρέωση Ενέργειας: τιμή kWh x kWh: $0,0193 \times 1.400 = 27,02$

Σύνολο Χρεώσεων Δικτύου Διανομής: $37,52$

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΟΙΝΗΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ

τιμή x kWh: $0,01824 \times 1.400 = 25,54$

Σύνολο ΥΚΩ: $25,54$

ΕΙΔΙΚΟ ΤΕΛΟΣ ΑΠΕ

τιμή kWh x kWh: $0,00738 \times 1.400 = 10,33$

Σύνολο (2) Ρυθμιζόμενων χρεώσεων: 84,10

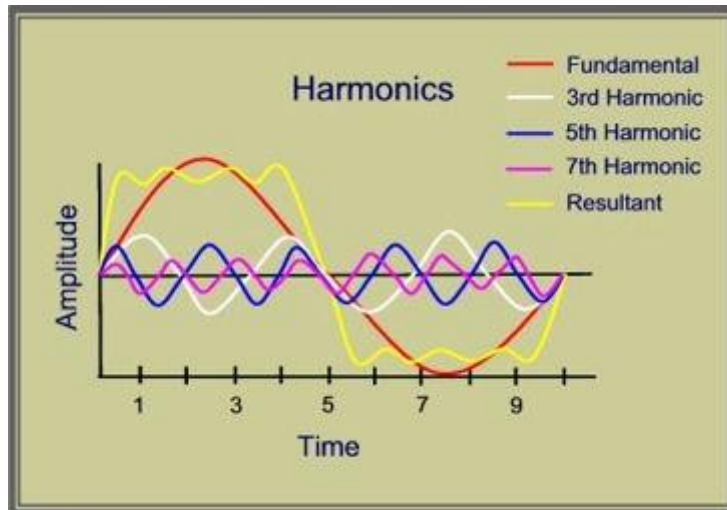
ΣΥΝΟΛΟ ΑΞΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (1+2): 222,27

ΣΗΜΕΙΩΣΗ :

Εάν ο πελάτης έχει και άεργο μετρητή, διαφοροποιούνται οι υπολογισμοί για το Δίκτυο Διανομής, σύμφωνα με τον τιμοκατάλογο.

1.5 Σχέση συντελεστή ισχύος και αρμονικών

Οποιαδήποτε περιοδική απόκλιση από την καθαρά ημιτονική μορφή της τάσης μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα άθροισμα από καθαρά συνημίτονα με συχνότητα ίση με την ονομαστική και ακέραια πολλαπλάσια της. Η ονομαστική συχνότητα ονομάζεται θεμελιώδης συχνότητα. Μια ημιτονική κυματομορφή με συχνότητα n φορές μεγαλύτερη από την θεμελιώδη (το n είναι ακέραιος αριθμός) καλείται αρμονική διαταραχή. Ο λόγος μεταξύ της αρμονικής συχνότητας και της θεμελιώδους συχνότητας (n) καλείται τάξη αρμονικής.



Εικόνα 1.1 Ανάλυση ημιτονοειδούς σήματος όπου διακρίνονται 1^{ης}, 3^{ης}, 5^{ης}, 7^{ης} τάξης καθώς και η τελική κυματομορφή.

Οι αρμονικές συνδέονται άμεσα με τον συντελεστή ισχύος. Ο πραγματικός συντελεστής ισχύος είναι ο μέσος όρος της ενεργού ισχύος προς το γινόμενο της ενεργού τάσης με την ενεργό ένταση. Σε περιβάλλον χωρίς αρμονικές ο πραγματικός συντελεστής ισχύος ισούται με το συνημίτονο της γωνίας μεταξύ τάσης και έντασης. Η ύπαρξη αρμονικών οδηγεί σε μείωση του πραγματικού συντελεστή ισχύος καθώς αυξάνεται η ενεργός τάση αλλά κυρίως η ενεργός ένταση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ

2.1 Γενικά

Η άεργη ισχύς είναι χαρακτηριστικό του εναλλασσόμενου ρεύματος, καθώς δεν υφίσταται στον συνεχές, και οφείλεται στην ύπαρξη των αυτεπαγωγών και χωρητικότητων ενός κυκλώματος.

Οι αυτεπαγωγές μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια μαγνητικού πεδίου, την οποία αποθηκεύουν στο εσωτερικό τους, ενώ εν συνεχεία την μετατρέπουν ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια, αποδίδοντας την πάλι στο δίκτυο. Αντίστοιχα, οι χωρητικότητες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια που δέχονται σε ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου, την οποία αποθηκεύουν στο εσωτερικό τους, ενώ στην συνέχεια την μετατρέπουν ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια και την αποδίδουν πάλι στο δίκτυο.

Αυτό σημαίνει ότι σε όποιο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος υπάρχουν αυτεπαγωγές ή χωρητικότητες, υπάρχει και ένα ποσό ηλεκτρικής ισχύος που μεταφέρεται συνεχώς από και προς τα στοιχεία αυτά, χωρίς όμως να παράγει έργο ή να καταναλώνεται. Οι αυτεπαγωγές και οι χωρητικότητες δημιουργούν άεργη ισχύ εξαιτίας του τρόπου που ανταλλάσσουν ενέργεια με το δίκτυο.

Προκειμένου να διαχωριστεί η άεργη ισχύς λόγω αυτεπαγωγών από την άεργο ισχύ λόγω χωρητικότητων ορίζεται ότι σε οποιοδήποτε φορτίο θεωρείται θετική η άεργη ισχύ που προέρχεται απ' αυτεπαγωγές, και αρνητική αυτή που προέρχεται από χωρητικότητες. Αν τοποθετήσουμε μια αυτεπαγωγή (πηνίο) και μία χωρητικότητα (πυκνωτή) μαζί, τότε κάθε φορά που το ένα από τα δύο θα απαιτεί άεργη ισχύ από το δίκτυο, το άλλο θα την αποδίδει σε αυτό.

Με αυτόν τον τρόπο το πρόβλημα της άεργης ισχύος μπορεί να αντιμετωπιστεί, εφόσον για κάθε αυτεπαγωγή που δημιουργεί πρόβλημα τοποθετείται μια χωρητικότητα και αντιστρόφως. Σε αυτή την περίπτωση, η αναγκαία άεργη ισχύς για την λειτουργία των στοιχείων θα ταλαντώνεται συνεχώς μεταξύ αυτεπαγωγής και χωρητικότητας, χωρίς να χρειάζεται το δίκτυο να την μεταφέρει, αποτρέποντας με τον τρόπο αυτό αυξημένα ρεύματα και, συνεπώς, απώλειες.

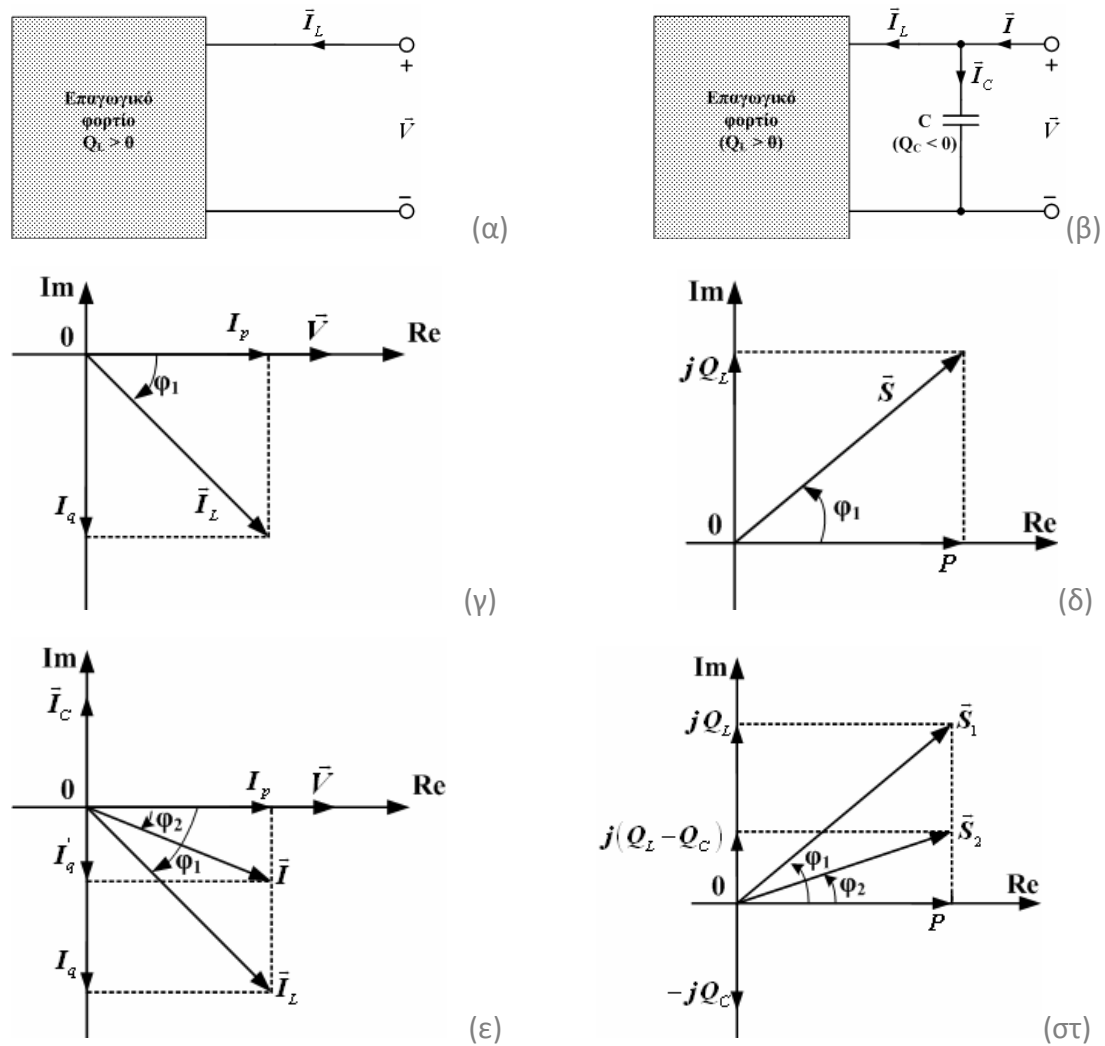
Με την προσθήκη πυκνωτών συνδεδεμένων παράλληλα προς το φορτίο επιτυγχάνεται η βελτίωση του συντελεστή ισχύος επαγωγικού φορτίου. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αντιστάθμιση άεργου ισχύος. Με την τοποθέτηση των πυκνωτών αντιστάθμισης, οι οποίοι είναι πηγές άεργης ισχύος, ένα μέρος της άεργης ισχύος που καταναλώνει το επαγωγικό φορτίο παράγεται τοπικά από τους πυκνωτές και προσφέρεται στο φορτίο, ενώ το υπόλοιπο ποσό άεργης ισχύος του φορτίου παρέχεται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση (βελτίωση) του συντελεστή ισχύος του επαγωγικού καταναλωτή, αφού τώρα το δίκτυο παρέχει στο φορτίο μόνο ένα τμήμα από το συνολικό ποσό άεργης ισχύος που χρειάζεται.

2.2 Πυκνωτές: Ορισμός

Ηλεκτρική διάταξη (συσκευή, όργανο) συμπύκνωσης ηλεκτρικών φορτίων και δημιουργίας πεδίων υψηλής ηλεκτρικής χωρητικότητας. Αποτελείται από ένα ή περισσότερα ζεύγη αγωγών, οι οποίοι χωρίζονται μεταξύ τους με διηλεκτρικό υλικό (στερεό, υγρό ή αέριο μονωτικό) και κατασκευάζονται με την μορφή λεπτών πλακών ή ομοαξονικών κυλίνδρων. Παίρνουν την ονομασία οπλισμών πυκνωτών. Οι πυκνωτές, ανάλογα με τα διηλεκτρικά υλικά που έχουν διακρίνονται σε ακτινωτούς, στέρεους, υγρούς ή αέριους. Ως στερεά διηλεκτρικά υλικά χρησιμοποιούνται συνήθως το γυαλί, διάφορες πλαστικές ύλες, κεραμικά κ.α. και από υγρά κυρίως το λάδι.

Βασικές παράμετροι των πυκνωτών είναι η χωρητικότητα, η μέγιστη τάση εργασίας και οι απώλειες του διηλεκτρικού υλικού. Η χωρητικότητα C μετριέται σε Farands. Καθώς η μονάδα Farand είναι αρκετά μεγάλη, χρησιμοποιούνται κυρίως τα υποπολλαπλάσια της, όπως το μικροφαράντ ($1\mu F = 10^{-6}F$) και το πικοφαράντ ($1PF = 10^{-12}F$).

2.3 Αναγκαία Χωρητικότητα Πυκνωτών Αντιστάθμισης



Σχήμα 2.1 (α) Επαγωγικό φορτίο χωρίς αντιστάθμιση. (β) Επαγωγικό φορτίο με πυκνωτή αντιστάθμιση. (γ) Διανυσματικό διάγραμμα τάσης-έντασης χωρίς αντιστάθμιση. (δ) Διανυσματικό διάγραμμα ισχύων χωρίς αντιστάθμιση. (ε) Διανυσματικό διάγραμμα τάσης-έντασης με αντιστάθμιση. (στ) Διανυσματικό διάγραμμα ισχύων με αντιστάθμιση.

Έστω το επαγωγικό φορτίο του σχήματος 2.1 (α) που συνδέεται σε δίκτυο EP με σταθερή τάση \vec{V} και το οποίο απορροφά άεργη ισχύ Q_L και ένταση ρεύματος \vec{I}_L με συντελεστή ισχύος $\cos\phi_1$. Στο σχήμα 2.1 δίνεται το διανυσματικό διάγραμμα τάσης-έντασης του επαγωγικού φορτίου χωρίς αντιστάθμιση. Το διάνυσμα της τάσης λαμβάνεται ως διάνυσμα αναφοράς ($\phi_v = 0^\circ$) και συμπίπτει με τον πραγματικό άξονα. Το ρεύμα \vec{I}_L καθυστερεί ως προς την τάση \vec{V} κατά την γωνία ϕ_1 και αναλύεται σε δύο συνιστώσες I_p και I_q , οι οποίες είναι οι προβολές του

διανύσματος του ρεύματος \vec{I}_L στον πραγματικό και στον φανταστικό άξονα αντίστοιχα. Τα μέτρα των συνιστωσών I_p και I_q είναι :

$$I_p = |\vec{I}_L| \cos\phi_1 \quad \text{και} \quad I_q = |\vec{I}_L| \sin\phi_1$$

Οι δύο συνιστώσες του ρεύματος έχουν συγκεκριμένο ρόλο στη μεταφορά ισχύος προς το φορτίο. Συγκεκριμένα, στη συμφασική προς την τάση συνιστώσα του ρεύματος, I_p οφείλεται η μεταφορά της πραγματικής ισχύος (Watt) προς το φορτίο, ενώ στην κάθετη συνιστώσα του ρεύματος, I_q οφείλεται η μεταφορά της άεργης ισχύος (VAR) προς το φορτίο. Πράγματι, προκύπτει

$$P = V I_L \cos(\phi_v - \phi_1) = V I_L \cos\phi_1 = V I_p$$

και

$$Q = V I_L \sin(\phi_v - \phi_1) = V I_L \sin\phi_1 = V I_q$$

Η συνιστώσα I_p ονομάζεται και βαττική συνιστώσα και η συνιστώσα I_q ονομάζεται άεργη ή αβαττική συνιστώσα. Συνεπώς, η πραγματική ισχύς είναι ανάλογη της βαττικής συνιστώσας I_p και η άεργη ισχύς είναι ανάλογη της άεργης ή αβαττικής συνιστώσας του ρεύματος I_q . Ακόμη, ισχύει

$$|\vec{I}_L| = \sqrt{I_q^2 + I_p^2}$$

Έστω, τώρα, ότι επιχειρείται η βελτίωση του συντελεστή ισχύος του επαγωγικού φορτίου στην τιμή $\cos\phi_2 > \cos\phi_1$, τοποθετώντας παράλληλα προς το φορτίο πυκνωτή αντιστάθμισής άεργης ισχύος κατάλληλης χωρητικότητας. Το διανυσματικό διάγραμμα τάσης- ρευμάτων για την διάταξη του σχήματος φαίνεται στο σχήμα (ε). Το ρεύμα του πυκνωτή $\vec{I}_C = jI_C$ προπορεύεται της τάσης κατά 90° και αφαιρείται από το άεργο ρεύμα του επαγωγικού φορτίου. Έτσι, ενώ χωρίς

αντιστάθμιση το άεργο ρεύμα που απορροφά το φορτίο είναι I_q με την αντιστάθμιση το φορτίο απορροφά από το δίκτυο μικρότερο άεργο ρεύμα, ίσο με:

$$I_q^1 = I_L - I_C$$

δηλαδή, κατά το ρεύμα του πυκνωτή. Μείωση όμως το άεργου ρεύματος σημαίνει και μείωση του ρεύματος που απορροφά το φορτίο από το δίκτυο για την ίδια πραγματική ισχύ.

Στα ίδια ποιοτικά συμπεράσματα καταλήγουμε εάν αναλύσουμε το θέμα της αντιστάθμισης με βάση την μιγαδική ισχύ και το τρίγωνο ισχύων. Τα διανυσματικά διαγράμματα μιγαδικής ισχύος χωρίς και με αντιστάθμιση του φορτίου φαίνονται στα σχήματα (δ) και (στ) αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι με την αντιστάθμιση μειώνεται η άεργη ισχύς που απορροφά το φορτίο από το δίκτυο, κατά το ποσό της άεργης ισχύος του πυκνωτή ($Q_L - Q_C$). Τελικώς με την μείωση της άεργης ισχύος, μειώνεται και η φαινόμενη ισχύς που απορροφά το φορτίο από το δίκτυο.

Το ζητούμενο σε διατάξεις αντιστάθμισης είναι να επιλεγεί ο κατάλληλος πυκνωτής, δηλαδή να προσδιοριστεί η αναγκαία χωρητικότητα του πυκνωτή ή των πυκνωτών, σε περίπτωση εγκατάστασης ομάδας πυκνωτών. Από τα σχήματα (δ) και (στ) προκύπτουν

$$\tan\varphi_1 = \frac{Q_L}{P} \quad \text{και} \quad \tan\varphi_2 = \frac{Q_L - Q_C}{P}$$

Αντικαθιστώντας το Q_L , η αναγκαία άεργη ισχύς του πυκνωτή είναι

$$Q_L = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

Επιπλέον, η άεργη ισχύς που παράγει ένα πυκνωτής υπολογίζεται και από την σχέση

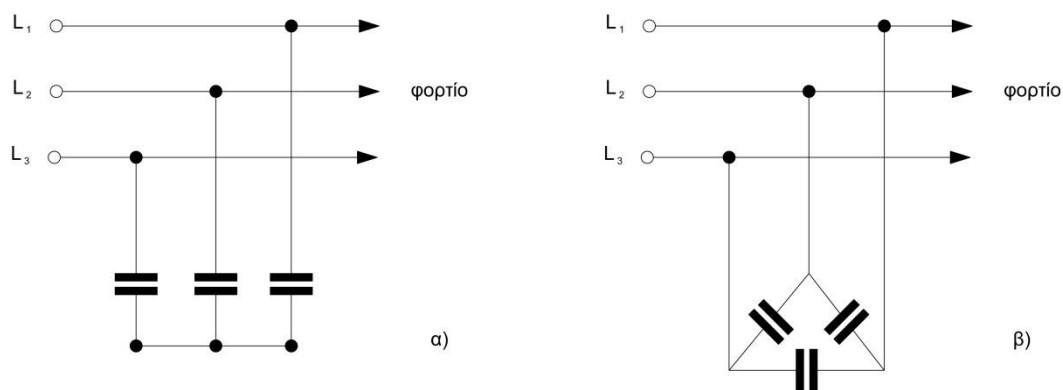
$$Q_L = X_C I_C^2 = \frac{V^2}{X_C} = \omega C V^2$$

Συνεπώς,

$$C = \frac{P}{\omega V^2} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

2.4 Συνδεσμολογία πυκνωτών

Για την βελτίωση του συντελεστή ισχύος σε τριφασικά κυκλώματα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τρεις πυκνωτές συνδεδεμένοι κατ' αστέρα ή κατά τρίγωνο, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.2 Σύνδεση πυκνωτών α) κατ' αστέρα και β) κατά τρίγωνο

Όπου οι πυκνωτές είναι συνδεδεμένοι κατ' αστέρα, η τάση στα όρια κάθε πυκνωτή είναι

$$V_C = \frac{V_n}{\sqrt{3}}$$

Και η ισχύς που απορροφά κάθε πυκνωτής είναι $P_C / 3$, υπο τάση $U_n / 1,73$ και η χωρητικότητα σε μF είναι

$$C = \frac{10^9 P_C}{\omega V_n^2}$$

Όπου οι πυκνωτές συνδέονται κατά τρίγωνο η τάση στα όρια κάθε πυκνωτή είναι

$$V_C = V_n$$

Και η ισχύς που απορροφά κάθε πυκνωτής είναι $P_C / 3$, υπο τάση U_n και η χωρητικότητα σε μF είναι

$$C = \frac{10^9 P_C}{3\omega V_n^2}$$

Συνεπώς

$$C_{\text{τριγωνου}} = \frac{C_{\text{αστέρα}}}{3}$$

Για τον λόγο αυτό στα συστήματα αντιστάθμισης συνδέονται οι πυκνωτές σε συνδεσμολογία τριγώνου, καθώς απαιτεί 3 φορές μικρότερη χωρητικότητα.

2.5 Είδη χωρητικής Αντιστάθμισης

Η μείωση της άεργου ισχύος P_B με πυκνωτή αντιστάθμισης διακρίνεται :

1. Ως προς τον τρόπο σύνδεσης του πυκνωτή με το επαγωγικό φορτίο:
 - Σύνδεση σε σειρά και
 - Σύνδεση παράλληλα
2. Ως προς την περιοχή σύνδεσης του πυκνωτή στο δίκτυο :
 - Κεντρική αντιστάθμιση (στην κεντρική παροχή),

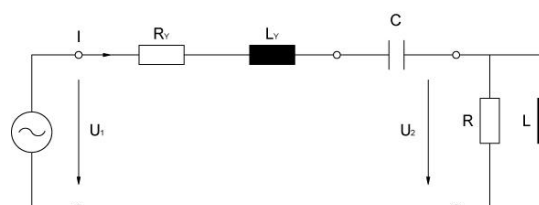
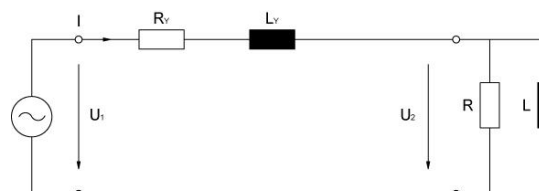
- Ομαδική αντιστάθμιση (σε επιμέρους παροχή, π.χ. στον υποπίνακα φωτισμού, λόγω φωτιστικών φθορίου), και
- Ατομική αντιστάθμιση (αντιστάθμιση για κάθε φορτίο χωριστά, π.χ. στα φωτιστικά φθορισμού).

Τα κριτήρια για την επιλογή του αποδοτικότερου τρόπου σύνδεσης των πυκνωτών έγκεινται τόσο στην μορφή της εγκατάστασης, όσο και στα χρονικά πλαίσια λειτουργία. Εξαιτίας του κόστους των πυκνωτών, η πρόβλεψη της καταλληλότερης συνδεσμολογίας αλλά και ισχύος λειτουργεί σωρευτικά ως προς τα οφέλη που προσφέρονται.

Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος με χρήση κεντρική αντιστάθμισης αποτελεί την τον πιο οικονομικό τρόπο εγκατάστασης, συγκριτικά με τους άλλους δύο, καθώς απαιτεί την πιο χαμηλή ισχύ πυκνωτών. Αν όμως στην εγκατάσταση, υπάρχουν τμήματα με μεγάλα φορτία που απέχουν από τους Ζυγούς Χαμηλής Τάσεως του υποσταθμού, τότε είναι προτιμότερο να υιοθετηθεί ομαδική αντιστάθμιση, ενώ στην περίπτωση αυξημένης ισχύος των επιμέρους φορτίων και με διάρκεια λειτουργίας σε όλο το 24ωρο, τότε ενδείκνυται τοπική αντιστάθμιση.

2.5.1 Σύνδεση σε Σειρά

Στην περίπτωση αυτή ο πυκνωτής διαρρέεται από το ισχυρό ρεύμα της εγκατάστασης. Το είδος αυτό της αντιστάθμισης χρησιμεύει κυρίως στην σταθεροποίηση δικτύων μεταφοράς της ενέργειας, στην ρύθμιση μεταβολών της τάσης στο δίκτυο και την διατήρηση της συμμετρίας σε φορτία με μεγάλες μεταβολές.



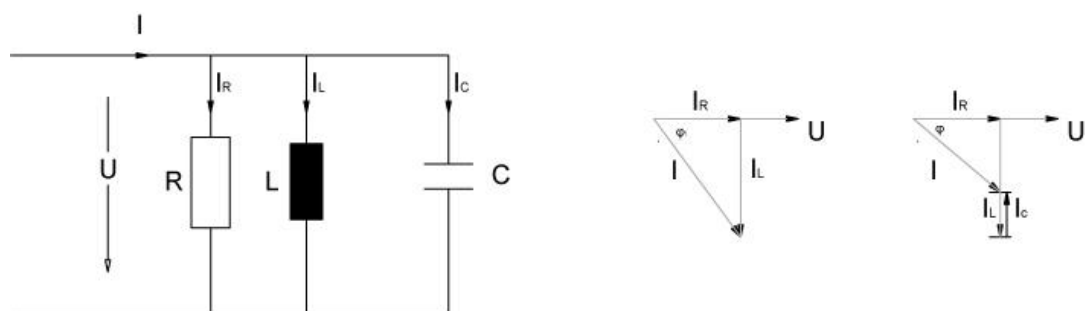
Σχήμα 2.3 Προς επεξήγηση της χωρητικής αντιστάθμισης της γραμμής μεταφοράς (R_Y, L_Y). (α) γραμμή μεταφοράς (R_Y, L_Y) χωρίς αντιστάθμιση, (β) γραμμή μεταφοράς (R_Y, L_Y) με αντιστάθμιση. Από τα διαγράμματα των τάσεων και των εντάσεων παρατηρούμε με την σε σειρά σύνδεση του πυκνωτή C, μειώνεται η άεργος ισχύς της γραμμής και επομένως η πτώση τάσης ΔU και η γωνία ψ γίνεται μικρότερη (για λόγους ευστάθειας της γραμμής $\psi < 20^\circ$). Κατά τον τρόπο αυτό δηλαδή, μεταφέρεται με ευστάθεια ($\psi < 20^\circ$) μεγαλύτερη ενέργεια (περιορίζεται η πτώση τάσης ΔU στα ανεκτά όρια).

2.5.2 Σύνδεση Παράλληλα

Η μέθοδος αυτή χρησιμεύει για την βελτίωση του συντελεστή ισχύος $\cos\phi$, στον καταναλωτή, ως κεντρική ή ομαδική αντιστάθμιση. Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε ότι ο επιθυμητός συντελεστής ισχύος επιτυγχάνεται με αντιστάθμιση του επαγωγικού ρεύματος I_L από το χωρητικό I_C .

Η αντιστάθμιση του είδους αυτού σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις επιτυγχάνεται με ομάδα παράλληλων πυκνωτών. Για το είδος της αντιστάθμισης αυτής ισχύουν (όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα) οι σχέσεις

$$P_W = P \cos\phi \text{ σε kW και } P_C = P_L - P_B = P_W (\text{tg}\phi_1 - \text{tg}\phi)$$



Σχήμα 2.4 Προς επεξήγηση της αντιστάθμισης με παράλληλο πυκνωτή.

R,L : επαγωγικό φορτίο , C: πυκνωτής αντιστάθμισης (α) χωρίς αντιστάθμιση, (β) με αντιστάθμιση

2.5.3 Κεντρική αντιστάθμιση

Η κεντρική αντιστάθμιση πραγματοποιείται με αυτόματο σύστημα παράλληλων πυκνωτών, μέσω του οποίου επιτυγχάνεται:

1. Ζεύξη ανάλογου αριθμού πυκνωτών
2. Απόζευξη σε περίπτωση χωρητική συμπεριφοράς του καταναλωτή κατά την αντιστάθμιση.

Η ζεύξη και η απόζευξη πυκνωτών ανάλογα με την εκάστοτε απαιτούμενη αντιστάθμιση, γίνεται :

1. Με ένα μικρό κινητήρα κατά την μέθοδο FERRARI. Ανάλογα με την προπορεία ή καθυστέρηση του ρεύματος ως προς την τάση, στρέφεται ο κινητήρας δεξιά ή αριστερά (αλλάζει διέγερση).
2. Με ηλεκτρονικά συστήματα, τα οποία όμως μειονεκτούν έναντι της προηγούμενης μεθόδου, κατά τον Π.Δ. Μπούρκα, ως προς την ευαισθησία που διαθέτει ο κινητήρας.

Προκειμένου να υπολογιστεί η απαιτούμενη χωρητική ισχύς μια εγκατάστασης είναι απαραίτητα στοιχεία σχετικά με την μεταβολή των φορτίων ανά ώρα (ενεργός και άεργος ισχύς) και του $\cos\phi$ (στιγμιαίες και μέσες τιμές) για τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας της εγκατάστασης, όπου σημειώνεται και η Μέγιστη Ζήτηση. Τα δεδομένα αυτά είναι επαρκή για την μελέτη και τον προσδιορισμό της απαιτούμενης χωρητικής ισχύος.

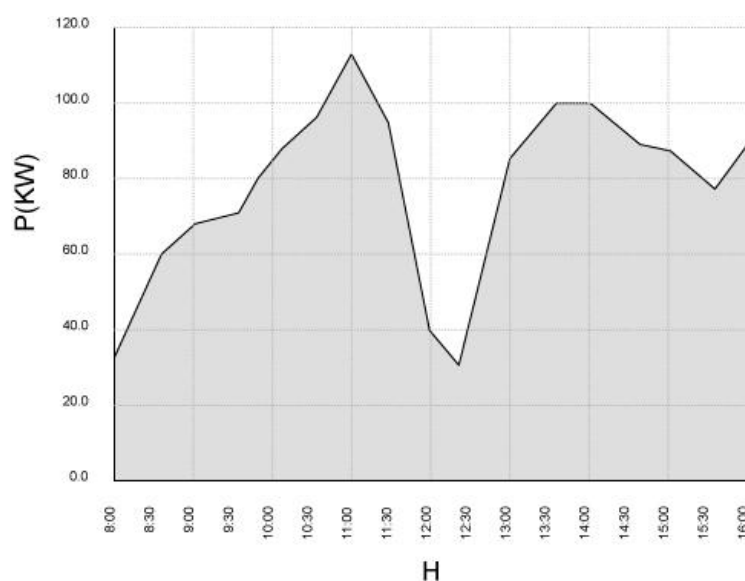
Υπάρχουν ειδικά καταγραφικά όργανα προκειμένου να ελεγχτούν με ακρίβεια τα παραπάνω σε ώρες αιχμής, οι αναλυτές δικτύου. Τοποθετούνται στην είσοδο των Ζυγών Χαμηλής Τάσης του υποσταθμού και μέσω μετασχηματιστών εντάσεως κατάλληλης σχέσης παρακολουθούν την ροή της ενέργειας που εισέρχονται σε αυτούς. Μετρούν και καταγράφουν σε τακτά χρονικά διαστήματα:

- Τις στιγμιαίες τιμές του $\cos\phi$ σε κάθε μια από τις 3 φάσεις και το μέσο $\cos\phi$ της εγκατάστασης.
- Τις στιγμιαίες και μέσες τιμές της ενεργού ισχύος.
- Τις στιγμιαίες και μέσες τιμές της άεργου ισχύος.
- Τις στιγμιαίες τιμές της άεργου ισχύος που απαιτείται για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος σε προκαθορισμένη τιμή.

Όμως, τα όργανα αυτά συχνά δεν είναι διαθέσιμα. Τότε, τα στοιχεία λαμβάνονται από τους διαθέσιμους λογαριασμούς της ΔΕΗ. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται να διατίθενται μια σειρά λογαριασμών της ΔΕΗ για ένα ευρύ χρονικό διάστημα λειτουργίας, για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Σε θεωρητικό επίπεδο επίλυσης του προβλήματος χρησιμοποιώντας τους λογαριασμούς της ΔΕΗ, προκύπτει το πρόβλημα υπολογισμού της ισχύος. Η ημερήσια καμπύλη φορτίου, όπου καταγράφονται οι μεταβολές της απορροφημένης ισχύος σε συνάρτηση των ωρών λειτουργίας της εγκατάστασης είναι απαραίτητη για την έρευνα της απαιτούμενης της ισχύος.

Με βάση τις ημερήσιες καμπύλες φορτίου ενός μηνός κατασκευάζεται η μηνιαία καμπύλη διάρκειας φορτίου της εγκατάστασης, δηλαδή καταγράφεται η διάρκεια σε ώρες κάθε φορτίου για το χρονικό διάστημα των συνολικών ωρών λειτουργίας της εγκατάστασης.

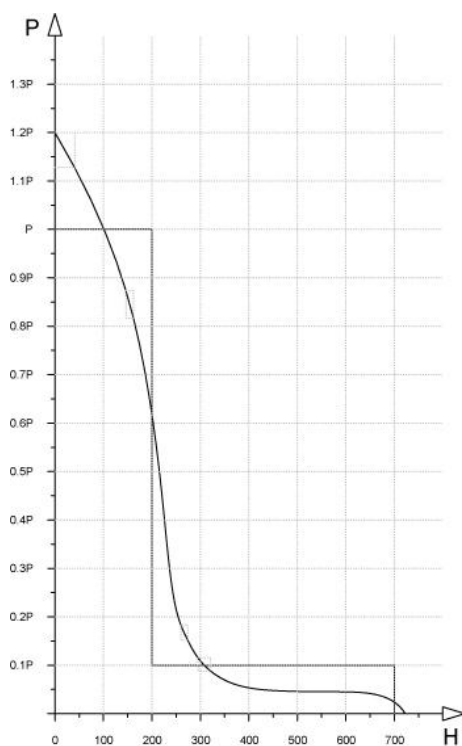


Σχήμα 2.5 Ημερήσια καμπύλη φορτίου μιας βιομηχανικής εγκατάστασης με 8ωρη λειτουργία.

Από το εμβαδόν της μηνιαίας καμπύλης διάρκειας φορτίου προκύπτει η καταναλωθείσα από την εγκατάσταση ενέργεια ($W = \sum P_i H_i$).

Από τον συνδυασμό δεδομένων από τους λογαριασμούς της ΔΕΗ και στατιστικών στοιχείων μιας μέσης βιομηχανικής εγκατάστασης που πραγματοποιεί 8ώρη καθημερινή εργασία, μπορεί να προκύψει η καμπύλη διάρκειας φορτίων που αναφέρεται στις ώρες ενός μηνός.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, η καμπύλη αυτή μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δύο τμήματα, σε ένα με πολύ υψηλή φόρτιση και σε ένα με πολύ χαμηλότερη φόρτιση.



Σχήμα 2.6 Μηνιαία καμπύλη διάρκειας φορτίων βιομηχανικού καταναλωτή με μια βάρδια λειτουργίας.

Τότε θεωρούμε ότι για το πρώτο τμήμα με την υψηλή φόρτιση (200 πρώτες ώρες) η ισχύς παραμένει σταθερή και έχει τιμή P , ενώ για τις υπόλοιπες ώρες του μήνα η ισχύς είναι επίσης σταθερή αλλά ίση με το 10% της ισχύος P .

Η ενέργεια λοιπόν που καταναλώνεται σε 700 ώρες για παράδειγμα είναι

$$W = P \cdot 200 + 0,1 \cdot P \cdot 500 = P \cdot 250 \text{ kWh}$$

Με την παραδοχή ότι αυτή η ενέργεια είναι πραγματική, αναγράφεται δηλαδή στο λογαριασμό της ΔΕΗ, τότε η μέση ενεργός ισχύ για τις 250 ώρες του μεγαλύτερου φορτίου θα είναι

$$P = \frac{\text{Ενέργεια Λογαριασμού ΔΕΗ}}{250 \text{ ώρες}}$$

Το αποτέλεσμα που προσφέρεται δεν είναι ακριβές, παρόλα αυτά είναι ικανοποιητικό, δεδομένου ότι μια βιομηχανία με μία βάρδια σημειώνει περισσότερες από 8 ώρες λειτουργίας καθημερινά, ενώ υπάρχουν καταναλώσεις που καλύπτουν όλο το 24ωρο (φωτισμός) και άλλες που δεν έχουν σχέση με την ζητούμενη ισχύ (λειτουργία γραφείων, ηλεκτρικές θερμάνσεις).

Συνεπώς, είτε λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που δίδονται από τους λογαριασμούς της ΔΕΗ, είτε από τα όργανα μέτρησης, η απαιτούμενη ισχύς των πυκνωτών κεντρικής αντιστάθμισης σε μια βιομηχανική εγκατάσταση καθορίζεται με υπολογισμό του μέσου όρου $\text{tg}\phi_{1m}$ μετά από μετρήσεις της ενεργού ενέργειας W_w και της άεργου ενέργειας W_B επί αρκετές ημέρες :

$$\text{tg}\phi_{1m} = W_B / W_w$$

Έτσι, με την επιθυμητή τιμή $\cos\phi$ υπολογίζεται η απαιτούμενη ισχύς P_C του συγκροτήματος των πυκνωτών από την σχέση :

$$P_C = P_{Wm} (\text{tg}\phi_{1m} - \text{tg}\phi)$$

Όπου P_{Wm} ο μέσος όρος της ενεργού ισχύος.

Για μεγάλες εγκαταστάσεις γίνεται μια προσαύξηση της ενεργού ισχύος κατά 10 έως 25%. Έτσι, η ισχύς των πυκνωτών υπολογίζεται από την σχέση :

$$P_C = 1,1 P_{Wm} (\operatorname{tg}\phi_{1m} - \operatorname{tg}\phi) \text{ έως } 1,25 P_{Wm} (\operatorname{tg}\phi_{1m} - \operatorname{tg}\phi)$$

Παράδειγμα

Σύμφωνα με τις ενδείξεις των μετρητών, για 200 ώρες λειτουργίας, είναι $W_w = 10000$ kWh και $W_B = 15000$ kVARh. Η ισχύς του απαραίτητου πυκνωτή αντιστάθμισης, για τον επιθυμητό συντελεστή ισχύος $\cos\phi = 0,85$ θα είναι

$$P_{Wm} = \frac{10000}{200} + 0,17 \frac{10000}{200} = 58,5 \text{ kW}$$

$$\operatorname{tg}\phi_{1m} = \frac{15000}{10000} = 1,5 \text{ και } \cos\phi = 0,56$$

Για $\cos\phi_{1m} = 0,56$ και $\cos\phi = 0,85$ είναι $\operatorname{tg}\phi_{1m} - \operatorname{tg}\phi = 0,86$.

Από την σχέση $P_C = P_{Wm} (\operatorname{tg}\phi_{1m} - \operatorname{tg}\phi)$ προκύπτει

$$P_C = 58,5 \times 0,86 \approx 50 \text{ kVAR.}$$

2.5.3.1 Κεντρική αντιστάθμιση στον υποσταθμό Μέσης Τάσεως

Η άεργος ισχύς στον υποσταθμό μέσης τάσης (20,15 και 6,6 KV) είναι της τάξης :

- Χωρίς φορτίο : 4% P_N έως 6% P_N
- Με πλήρες φορτίο : 8% P_N έως 12% P_N

Όπου P_N η ονομαστική ισχύς του μετασχηματιστή.

Η σύνδεση του συγκροτήματος των παράλληλων πυκνωτών αντιστάθμισης γίνεται στην πλευρά της χαμηλής τάσης. Ενδείκνυται η αντιστάθμιση μέρους της άεργου ισχύος (περίπου η άεργος ισχύς του μετασχηματιστή χωρίς φορτίο) να γίνεται στο δευτερεύον του μετασχηματιστή. Οι υπόλοιποι πυκνωτές αντιστάθμισης συνδέονται με αυτόματο σύστημα στους ζυγούς του γενικού πίνακα χαμηλής τάσης.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται, σύμφωνα με τις οδηγίες κατασκευαστών, ορισμένες τιμές πυκνωτών αντιστάθμισης σε υποσταθμούς.

P kVA	Συγκρότημα παράλληλων πυκνωτών	
	μόνιμα στη χαμηλή τάση του μετασχηματιστή σε kVAR	στους συλλεκτικούς ζυγούς του γενικού πίνακα χαμηλής τάσης σε kVAR
250	1 x 10	100
315	1 x 10	100
400	1 x 20	150
630	1 x 50	200
1000	1 x 70	300

Πίνακας 2.1 Κεντρική αντιστάθμιση σε υποσταθμούς μέσης τάσης

2.5.3.2 Κεντρική αντιστάθμιση σε τριφασικές παροχές χαμηλής τάσης

Η τάξη μεγέθους το αυτόματου συγκροτήματος των παράλληλων πυκνωτών σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης δίνεται στον ακόλουθο πίνακα. Οι τιμές του πίνακα αυτού είναι εμπειρικές και γι' αυτό πρέπει να υπολογίζεται ο πυκνωτής αντιστάθμισης.

ονομαστικό ρεύμα περίπου σε A	αυτόματο σύστημα πυκνωτή αντιστάθμισης σε kVAR
100	60
160	80
200	100

Πίνακας 2.2 Κεντρική αντιστάθμιση σε τριφασικά φορτία χαμηλής τάσης

2.5.4 Ομαδική αντιστάθμιση

Η αντιστάθμιση αυτή γίνεται σε μια ομάδα επαγωγικών φορτίων, όπου υπάρχει το πρόβλημα αύξησης του συνημιτόνου, όπως π.χ. : σε έναν υποπίνακα φωτισμού

(λόγω φωτιστικών φθορισμού, που δεν έχουν τοπικούς πυκνωτές αντιστάθμισης), στον υποπίνακα κίνησης κάποιον κινητήρων που έχουν μικρό συντελεστή ισχύος κ.λ.π. Για την αντιστάθμιση μίας ομάδας λαμπτήρων φθορισμού ισχύει η σχέση :

$$P_C = n \cdot C_{\mu} \cdot 0,015 \text{ σε kVA}$$

Όπου C_{μ} η χωρητικότητα του πυκνωτή σε μF σε περίπτωση ατομική αντιστάθμισης (βλέπετε ακόλουθο πίνακα) και n ο αριθμός λαμπτήρων.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος των πυκνωτών που πρέπει να εγκαταστήσουμε σε κάθε υποπίνακα είναι απαραίτητα η χρήση καταγραφικών μέσων σε κάθε τμήμα της εγκατάστασης για την 24^η λήψη στοιχείων, που οι λογαριασμού της ΔΕΗ αδυνατούν να παρουσιάσουν.

Παράδειγμα

Μια εγκατάσταση φωτισμού περιλαμβάνει 44 λαμπτήρες φθορισμού. Κάθε λαμπτήρας είναι 40 W και έχει μήκος 1,2 m. Ζητείται ο πυκνωτής ομαδικής εγκατάστασης.

Σύμφωνα με τον πίνακα : $C_{\mu} = 4,5 \mu\text{F}$

$$P_C = n \cdot C_{\mu} \cdot 0,015 = 44 \cdot 4,5 \cdot 0,015 \approx 3 \text{ kVAR}$$

Παράδειγμα

Δύο κινητήρες 60 kW ο καθένας έχουν $\cos\phi \approx 0,76$. Ζητείται ο πυκνωτής ομαδικής αντιστάθμισης.

$$P = P_W / \cos\phi_1 = \frac{2,60}{0,76} \approx 158 \text{ kVA}$$

$$P_B = P_W \cdot \tan\phi = 120 \cdot 0,86 \approx 103 \text{ kVAR}$$

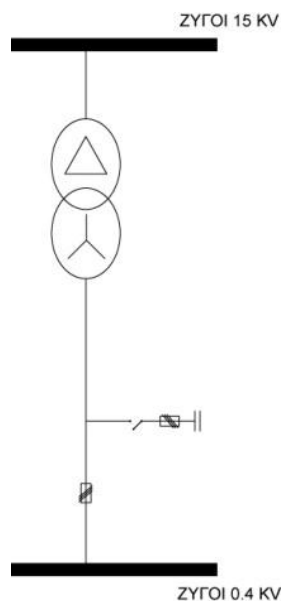
Με αντιστάθμιση $P_B \approx 103 \text{ kVAR}$ η γραμμή, που έχει κατασκευαστεί για λειτουργία χωρίς πυκνωτές αντιστάθμισης είναι κατάλληλη για 158 kVA.

2.5.5 Τοπική (ατομική) αντιστάθμιση

Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται σε εγκαταστάσεις φωτισμού με λάμπες φθορισμού, ΝΕΟΝ, υδράργυρου και νατρίου αλλά και σε ασύγχρονους κινητήρες. Πραγματοποιείται με την εγκατάσταση πυκνωτών στους ακροδέκτες κάθε μηχανήματος ξεχωριστά. Συνεπώς η συνολική χωρητική ισχύς που θα προκύψει θα είναι μεγάλη, όση θα απαιτούσε η εγκατάσταση με κεντρική αντιστάθμιση υπολογισμένη για συνεχή λειτουργία αιχμής της καμπύλης διαρκείας της εγκατάστασης.

Καθώς το κόστος εγκατάστασης πυκνωτών επιβαρύνεται και από το κόστος της τοποθέτησης κατάλληλων μέσων απόζευξης και προστασίας, η χρήση τοπικής αντιστάθμισης παράλληλα σε κάθε μηχανήμα, αποτελεί μια λύση που χρήζει περεταίρω μελέτη σχετικά με το αποτελέσματα-οφέλη συγκριτικά με το κόστος.

2.6 Διόρθωση του συνημιτόνου για Μετασχηματιστές Ισχύος



Σχήμα 2.7 Σύνδεση πυκνωτών στην πλευρά Χαμηλής Τάσης μετασχηματιστή Ισχύος.

Οι σύγχρονοι Μετασχηματιστές εξαιτίας της κατασκευής τους (ελασματοποίηση) απαιτούν χαμηλή τοπική αντιστάθμιση για να αντισταθμίσουν την παραγόμενη μαγνήτιση.

Η διόρθωση του συνημιτόνου για τους μετασχηματιστές Ισχύος γίνεται με την απευθείας σύνδεση πυκνωτών κατάλληλης ισχύος στην πλευρά Χαμηλής Τάσεως του μετασχηματιστή, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

Η αντιστάθμιση γίνεται για την κενή λειτουργία του μετασχηματιστή.

Στην περίπτωση που είναι γνωστό το ρεύμα μαγνητίσεως του μετασχηματιστή είναι δυνατός ο ακριβής υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος των πυκνωτών. Επιπλέον:

- Μετασχηματιστές με μειωμένες απώλειες σε κενή λειτουργία απαιτούν μικρότερη χωρητική αντιστάθμιση.
- Μετασχηματιστές με τάση πρωτεύοντος μεγαλύτερη από 15 kV απαιτούν μεγαλύτερη ισχύ αντιστάθμισης (περίπου 10%).

- Η τοποθέτηση πυκνωτών ισχύος μεγαλύτερης από την απαιτούμενη θα δημιουργήσει υπερτάσεις στην εγκατάσταση κατά τις ώρες κενής λειτουργίας του μετασχηματιστή.

Προκειμένου να αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα βελτίωσης του συντελεστή ισχύος, προβλέπεται χρήση διαφόρων μεθόδων. Συνεπώς, παρά την τοποθέτηση αυτόματης κεντρικής συστοιχίας πυκνωτών για την διόρθωση του συνημιτόνου, προκειμένου να αντιμετωπιστούν ρεύματα που δεν γίνονται αντιληπτά από τον μετασχηματιστή εντάσεως της μετρητικής διάταξης της αυτόματης αντιστάθμισης της κεντρικής συστοιχίας, τοποθετούνται επιπλέον πυκνωτές π.χ. στο δεύτερο τύλιγμα του μετασχηματιστή για την αντιμετώπιση του ρεύματος που απορροφά. Σε κενή λειτουργία του μετασχηματιστή, όταν δηλαδή δεν υπάρχουν φορτία (μόνο μια μικρή ισχύς π.χ. για το φωτισμό της εγκατάστασης), η κεντρική συστοιχία πυκνωτών παραμένει εκτός λειτουργίας.

Παράδειγμα

Έστω ότι θέλουμε να υπολογίσουμε την ισχύ πυκνωτών για μετασχηματιστή ισχύος 630kVA ο οποίος ανήκει στην τυποποιημένη σειρά μετασχηματιστών σύμφωνα με την CENELEC.

Το ρεύμα μαγνητίσεως (διεγέρσεως) για τυποποιημένο μετασχηματιστή 630kVA είναι $I_0 = 1,8\%$, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τυποποιημένης σειράς Μ/στων Διανομής						
Ισχύς	Απώλειες σε κενή λειτουργία	Απώλειες σε ονομ. φόρτιση	Ρεύμα μαγνητίσεως	I.R	I.X	I.Z
KVA	W	W	%	%	%	%
160	460	2350	2,3	1,47	3,72	4
250	650	3250	2,1	1,30	3,78	4
400	930	4600	1,9	1,15	3,83	4
630	1300	6500	1,8	1,03	3,86	4
1000	1700	10500	1,5	1,05	5,90	6
1600	2600	17000	1,3	1,06	5,90	6

Πίνακας 2.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τυποποιημένης σειράς Μετασχηματιστών Διανομής.

Το ονομαστικό φορτίο $I_n = \frac{63000}{\sqrt{3} \times 400} = 910A$

Ρεύμα μαγνητίσεως $I_0 = \frac{1,8 \times 910}{100} = 16,38A$

Η αναρροφούμενη από τον μετασχηματιστή άεργος ισχύς είναι :

$$Q_c = \sqrt{3} \times 400 \times 16,38 = 11,34 \text{ kVA}$$

Οι πυκνωτές που θα τοποθετηθούν πρέπει να είναι ισχύος 15 kVAR στη χαμηλή τάση του μετασχηματιστή.

Η τοποθέτηση πυκνωτών μεγαλύτερης ισχύος από αυτή που ενδείκνυται, ενδεχομένως να προκαλέσει πρόβλημα υπερτάσεως τις ώρες που ο Μετασχηματιστής λειτουργεί κοντά στο μηδενικό φορτίο.

Ο ακόλουθος πίνακας παραθέτει τις απαιτούμενες τιμές ισχύος πυκνωτών για τροφοδότηση με μαγνητική ενέργεια τυποποιημένης σειράς μετασχηματιστών 15.000/400 V.

Απαιτούμενη ισχύς πυκνωτών για τοπική αντιστάθμιση Μ/στων Ισχύος τυποποιημένης σειράς 15000/400 V	
Ισχύς Μ/στη kVA	Ισχύς Πυκνωτών kVAR
160	5,0
250	7,5
400	10,0
630	15,0
1000	20,0
1600	30,0

Πίνακας 2.4 Απαιτούμενη ισχύς πυκνωτών για τοπική αντιστάθμιση Μετασχηματιστών ισχύος τυποποιημένης σειράς 15000/400V.

Σε μηχανήματα παλαιάς κατασκευής που υπάρχουν επαρκή στοιχεία, η απαιτούμενη χωρητική ισχύς των πυκνωτών είναι:

$$Q_c = 3,5\% \div 5\%P$$

Όπου P (kVA) η ονομαστική ισχύς του μετασχηματιστή (η μικρότερη τιμή για μετασχηματιστές μεγαλύτερης ισχύος).

Έτσι για το μετασχηματιστή 630 kVA που είδαμε προηγουμένως για τον οποίο δεν διαθέτουμε τεχνικά χαρακτηριστικά, η απαιτούμενη χωρητική ισχύς για αντιστάθμιση σε κενή λειτουργία είναι $3,5 \times 630 = 20$ kVAR.

2.7 Διόρθωση του συνημιτόνου των ηλεκτροσυγκολλήσεων

Οι στατές ηλεκτροσυγκολλήσεις τύπου αντίστασης ή τόξου, απορροφούν από το δίκτυο μεγάλες ποσότητες μαγνητικής ενέργειας εξαιτίας των πολύ υψηλών τιμών σκέδασης που παρουσιάζουν στη λειτουργία τους. Γι' αυτό το λόγο είναι συνήθως εφοδιασμένες με τους κατάλληλους πυκνωτές από τον κατασκευαστή. Σε περίπτωση που αυτό δεν συμβαίνει και δεν διαθέτουμε στοιχεία, τότε για τους υπολογισμούς μας θα θεωρήσουμε ότι λειτουργούν με $\cos\phi=0,45$.

Γενικά με την τοποθέτηση πυκνωτών ισχύος, σε kVAR, το μισό της ισχύος P (kVA) του μηχανήματος πετυχαίνουμε ικανοποιητικό βαθμό αντιστάθμισης.

Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζουν αυτές οι συσκευές, οι οποίες συνήθως είναι μονοφασικές, είναι η μεγάλη ασυμμετρία που προκαλούν στα φορτία και η δημιουργία αρμονικών στο δίκτυο.

Προκειμένου για εγκαταστάσεις με ικανό αριθμό τέτοιων συσκευών πρέπει εκτός από την εξισορρόπηση των φορτίων στις 3 φάσεις, να εξετασθεί και η αναγκαιότητα τοποθέτησης φίλτρων εξομαλύνσεως στην εγκατάσταση, εάν παρουσιάζονται ισχυρές παραμορφώσεις στην κυματομορφή του φορτίου.

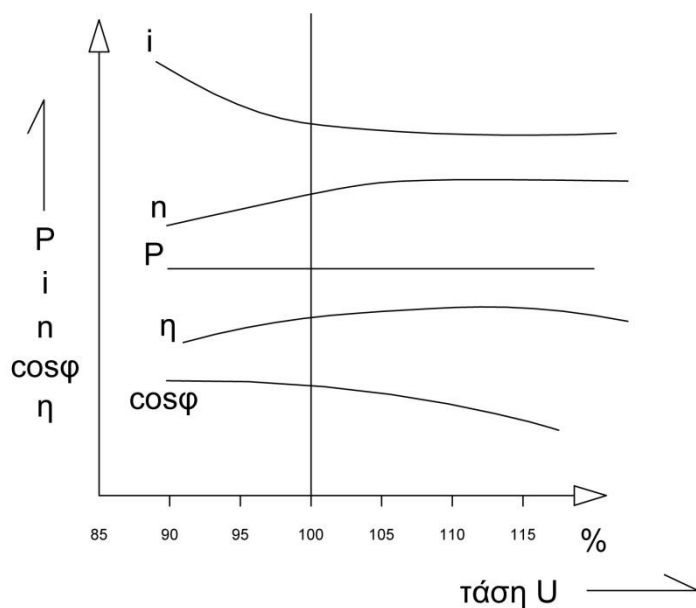
2.8 Διόρθωση του συνημιτόνου των ασύγχρονων κινητήρων

Η μέθοδος που ενδείκνυται περισσότερο για κινητήρες μέσης και μεγάλης ισχύος, που λειτουργούν επί πολλές ώρες καθημερινά, είναι η τοπική αντιστάθμιση, καθώς αποτελεί την πιο οικονομικά συμφέρουσα λύση.

Προκειμένου να δημιουργήσουν το απαραίτητο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο οι κινητήρες απορροφούν από το δίκτυο άεργη ισχύ, συνάρτηση της ισχύος και του αριθμού στροφών ανά λεπτό. Κινητήρες αργόστροφοι (με μεγάλο αριθμό πόλων) απαιτούν για τη λειτουργία τους μεγαλύτερη μαγνητική ισχύ.

Η άεργος ισχύς που οι ασύγχρονοι κινητήρες απορροφούν εξαρτάται από την τάση λειτουργίας και είναι μεγαλύτερη για τιμές της τάσης, υψηλότερες από την ονομαστική.

Ένας κινητήρας με ονομαστική τάση λειτουργίας $V_n = 380\text{ V}$ συνδεδεμένος σε δίκτυο 400 V παρουσιάζει καλύτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας (απορροφά μικρότερες εντάσεις, έχει καλύτερη ροπή εκκίνησης, μικρότερη διολίσθηση) για το ίδιο φορτίο, όμως απορροφά μεγαλύτερη άεργο ισχύ λόγω ελάττωσης του συντελεστή ισχύος, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7.



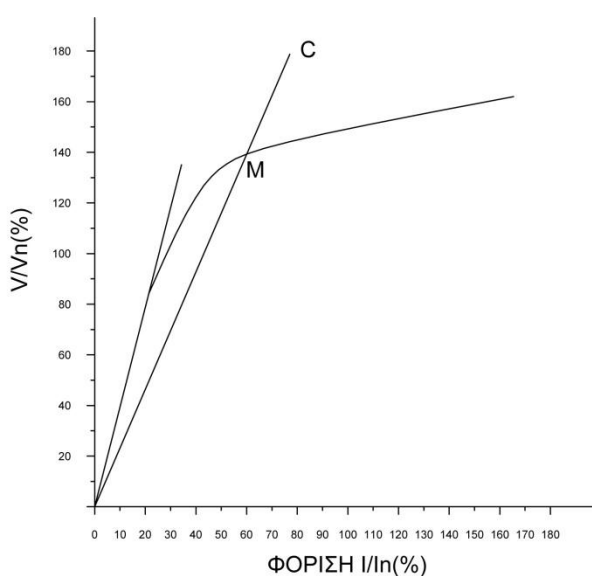
Σχήμα 2.8 Χαρακτηριστικές τιμές ασύγχρονων κινητήρων ως συνάρτηση της τάσης για σταθερή ισχύ φόρτισης.

Επίσης, το φορτίο αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες με πολύ σοβαρή επίπτωση στο συντελεστή ισχύος ενός ασύγχρονου κινητήρα. Λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές του συντελεστή ισχύος και του συντελεστή απόδοσης σειράς κινητήρων σε συνάρτηση του συντελεστή φόρτισης, προκύπτει ότι ένας κινητήρας που λειτουργεί με μειωμένο φορτίο, έχει συντελεστή ισχύος πολύ μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο πλήρες φορτίο ενώ η μεταβολή του συντελεστή απόδοσης είναι πολύ μικρότερη.

Συνεπώς, ένας κινητήρας που λειτουργεί με μειωμένο φορτίο έχει εφφ μεγαλύτερη αλλά απορροφά μικρότερη ενεργό ισχύ. Έτσι, για αισθητές μεταβολές του φορτίου, η άεργος ισχύς που απορροφά ο κινητήρας δεν υφίσταται μεγάλες διακυμάνσεις.

Για να επιτευχθεί βελτίωση του συντελεστή ισχύος ασύγχρονου κινητήρα, προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα αυτοδιέγερσης και δημιουργία υπερτάσεων, πρέπει να επιλεγεί μια άεργος ισχύ που πλησιάζει αλλά δεν ξεπερνά την ισχύ που ο κινητήρας απορροφά σε κενή λειτουργία.

Στο ακόλουθο σχήμα έχει καταγραφεί η χαρακτηριστική καμπύλη διέγερσης ενός ασύγχρονου κινητήρα. Στο πρώτο τμήμα της αυξάνει γραμμικά αλλά στο 80% περίπου της ονομαστικής τάσης αρχίζει να κάμπτεται εξαιτίας του μαγνητικού κορεσμού.



Σχήμα 2.9 Χαρακτηριστική καμπύλη ασύγχρονου κινητήρα (ρεύμα διέγερσης σε συνάρτηση της τάσης στον ονομαστικό αριθμό στροφών)

Η χαρακτηριστική καμπύλη ενός πυκνωτή είναι ευθεία της οποίας η κλίση εξαρτάται από την χωρητικότητα του πυκνωτή, δηλαδή από το άεργο φορτίο I_C που ο πυκνωτής αποδίδει.

Εάν ο κινητήρας, ενώ λειτουργεί, αποσυνδεθεί από το δίκτυο, τότε ο πυκνωτής που είναι συνδεδεμένος παράλληλα μαζί του, και είναι φορτισμένος, θα εκφορτιστεί παρέχοντας μαγνητική ενέργεια στον κινητήρα, διεγείροντας τον, ώστε να λειτουργήσει σαν γεννήτρια εάν συνεχίσει να στρέφεται κοντά στον ονομαστικό αριθμό στροφών. Το φαινόμενο αυτό, που εξαρτάται από την ισχύ του πυκνωτή, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές υπερτάσεις και για τον λόγο αυτό δεν πρέπει να

συμβαίνει, παρόλα αυτά δεν διαρκεί, καθώς η ταχύτητα του κινητήρα ελαττώνεται γρήγορα εξαιτίας του φορτίου.

Για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό, πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη χωρητική ισχύ, για την αντιστάθμιση του κινητήρα σε κενή λειτουργία. Καθώς όμως το ρεύμα κενής λειτουργίας I_0 εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κινητήρα και σπάνια αναγράφεται στην πινακίδα του μηχανήματος, απαιτείται η χρήση κατάλληλου καταγραφικού οργάνου για την μέτρησή του με αποσυνδεδεμένο το φορτίο του.

Η άεργος ισχύ που απορροφά ο κινητήρας δίδεται από την σχέση:

$$Q_c = k \cdot \sqrt{3} \cdot V \cdot I_0$$

Όπου V η τάση λειτουργίας του κινητήρα, I_0 το ρεύμα κενής λειτουργίας του κινητήρα και k ο συντελεστής για την αποφυγή αυτοδιέγερσης (0,85-0,90).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο - Συνδεσμολογία και Προστασία

3.1 Θέσεις Σύνδεσης Πυκνωτών

Μετά τον καθορισμό της απαιτούμενης ισχύος της συστοιχίας των πυκνωτών, οι θέσεις σύνδεσης αλλά και η υποδιαίρεση στις κατάλληλες βαθμίδες, είναι τα βήματα που ακολουθούν, την μελέτη τοποθέτησης πυκνωτών προκειμένου να βελτιωθεί ο συντελεστής ισχύος σε μια εγκατάσταση.

Όσον αφορά στην τοποθέτηση των πυκνωτών, πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς το φορτίο προς αντιστάθμιση, ώστε να υπάρξει ελαχιστοποίηση των απωλειών και μέγιστη αύξηση της τάσης. Παράλληλα, η εγκατάσταση τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μετατεθεί ο χρονικός ορίζων επέκτασης του υποσταθμού. Προκειμένου να αποφευχθούν κόστη ζεύξης-απόζευξης, η αντιστάθμιση της ελάχιστης άεργου ισχύος γίνεται με τοποθέτηση μόνιμα συνδεδεμένων πυκνωτών. Ακολουθεί η μελέτη για την κατανομή των πυκνωτών σε βαθμίδες ώστε να ελέγχεται η διακύμανση της τάσης (Διακύμανση 2% είναι αποδεκτή για μια ζεύξη-απόζευξη ανά ώρα, 3% για μια ζεύξη-απόζευξη ανά ημέρα και 5% για μια εποχιακή ζεύξη- απόζευξη).

Βαθμίδες ονομάζονται οι συνδυασμοί ισχύος που μπορούν να επιτευχθούν με μια συγκεκριμένη σειρά ρύθμισης, δηλαδή το άθροισμα των αριθμών της σειράς ρύθμισης(ο λόγος των ισχύων τους). Ο σκοπός της κατανομής των πυκνωτών σε βαθμίδες είναι η καλύτερη παρακολούθηση των φορτίων, ώστε να αξιοποιηθεί με τον καλύτερο τρόπο η ισχύς της συστοιχίας. Μια επιτυχής κατανομή είναι αυτή που οι ισχύεις ακολουθούν μια αναλογική σχέση 1:2:4:8. Για παράδειγμα η επόμενη ομάδα που θα τοποθετηθεί θα είναι διπλάσιας ισχύος από την προηγούμενη. Αντίστοιχοι τρόποι κατανομής είναι και αυτοί που υπακούουν στην λογική 1:2:2 ή 1:1:1:1, αλλά δεν αποφέρουν τα ίδια αποτελέσματα. Συνεπώς, αν δεν υπάρχουν ειδικοί λόγοι που να επιβάλλουν μια διαφορετική διαμόρφωση, η διόρθωση επιδιώκεται να γίνει για μια μέση τάση του συνημιτόνου της εγκατάστασης, αποφεύγοντας την αντιστάθμιση τιμών μικρής διάρκειας της άεργου ισχύος.

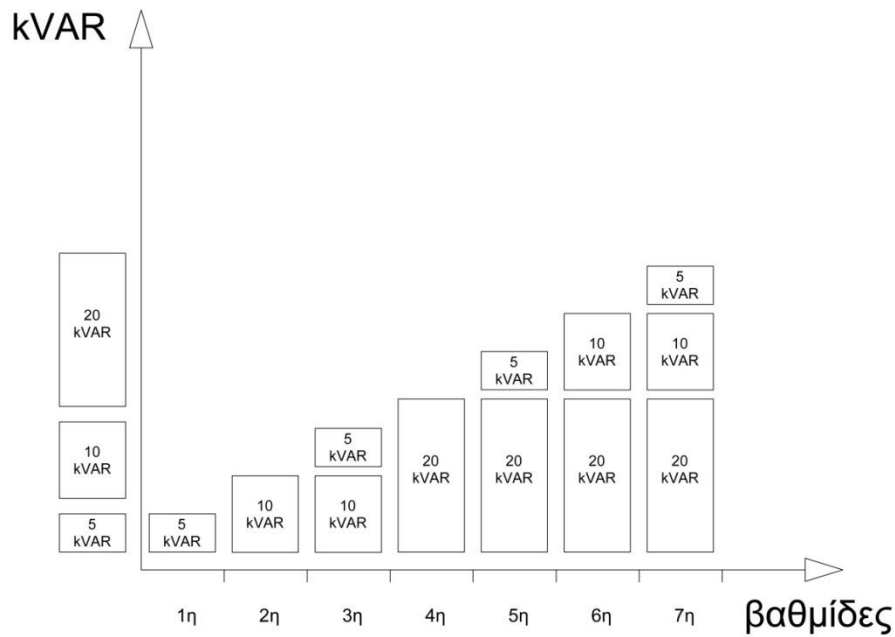
Συνήθως επιλέγεται, για κάθε βαθμίδα μιας συστοιχίας πυκνωτών, ισχύς ίση με 15-25% της συνολικής ισχύος της εγκατάστασης.

Η απόφαση σχετικά με τον αριθμό και την διαμόρφωση των βαθμίδων υποδιαίρεσης της συστοιχίας, εξαρτάται από :

- Την συνολική άεργο ισχύ αντιστάθμισης της εγκατάστασης,
- Τις τυποποιημένες τιμές άεργης ισχύος των πυκνωτών, που δίνουν οι κατασκευαστές και
- Τον τρόπο που μεταβάλλεται η πραγματική ισχύς της εγκατάστασης. Δηλαδή για κάποιο χρονικό διάστημα η εγκατάσταση λειτουργεί με το συνολικό της φορτίο, κάποιο άλλο χρονικό διάστημα λειτουργεί με τα 2/3 του συνολικού φορτίου της κ.ο.κ. Έτσι όταν μεταβάλλεται η πραγματική ισχύς, μεταβάλλεται και η άεργος προς αντιστάθμιση ισχύς και κατά συνέπεια διαφοροποιείται ο αριθμός των πυκνωτών που συνδέονται και από συνδέονται κατά χρονικά διαστήματα.

Παράδειγμα

Σε μία βιομηχανική εγκατάσταση που απαιτείται η εγκατάσταση συστοιχίας πυκνωτών ισχύος 35 kVAR εάν τοποθετηθούν 3 ομάδες πυκνωτών με ισχύεις 5 kVAR, 10 kVAR και 20 kVAR, που θα συνδέονται με αυτόματο (ρελέ) κατάλληλης ισχύος διακοπής στους Ζυγούς η κάθε μία, επιτυγχάνονται, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα, επτά διαφορετικές βαθμίδες ισχύος που αυξάνονται κατά 5 kVAR, όσο η ισχύς της μικρότερης ομάδας.



Σχήμα 3.1 Βαθμίδες Ισχύος

Με αυτό τον τρόπο παρακολουθούνται επιτυχώς οι μεταβολές της άεργου ισχύος της εγκατάστασης με γραμμικό τρόπο.

Τα οφέλη που προκύπτουν από μια λεπτή ρύθμιση της διατιθέμενης ισχύος σχετίζονται με το μέγεθος του αντισταθμιζόμενου φορτίου. Επομένως για μικρά φορτία τα οφέλη είναι πολύ μικρά. Σαφώς, τμήμα από αυτά τα οφέλη εξανεμίζεται από την καταπόνηση των πυκνωτών, που προκαλεί μείωση της ζωής τους εξαιτίας των αλληπάλληλων χειρισμών ζεύξης και απόζευξης για την παρακολούθηση του φορτίου. Για τον λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται η υποδιαίρεση της συστοιχίας σε πολλές ομάδες με μικρή ισχύ. Το ίδιο ισχύει και για τους αυτόματους διακόπτες, των οποίων οι επαφές πρέπει να συντηρούνται συχνά, καθώς λειτουργούν σε πολύ δυσμενείς συνθήκες. Συνεπώς, επιτυγχάνονται μικρότερος αριθμός λειτουργιών των αυτόματων διακοπών ζεύξεως των ομάδων και το μικρότερος αριθμός στιγμιαίων υπερτάσεων στους πυκνωτές, αποφεύγοντας καταπονήσεις στις μονώσεις και μείωση της διάρκειας ζωής τους.

3.2 Αυτόματοι Ρυθμιστές Άεργου Ισχύος

Προκειμένου να ικανοποιούνται οι μεταβολές ζήτησης της χωρητικής ισχύος μιας εγκατάστασης κεντρικής συστοιχίας πυκνωτών, απαιτείται η τοποθέτηση παράλληλα αυτόματων (ρελέ) για την εξασφάλιση της δυνατότητας ζεύξης και απόζευξης των ομάδων πυκνωτών.

Οι παραπάνω χειρισμοί πραγματοποιούνται αυτόματα από μία ειδική ηλεκτρονική συσκευή το ρυθμιστή άεργου ισχύος. Ο ρυθμιστής άεργου ισχύος τοποθετείται σε εγκαταστάσεις για τον έλεγχο και την διόρθωση του συντελεστή ισχύος. Ο ρυθμιστής, με εισόδους τάση και ένταση, μετρά το συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης, τον συγκρίνει με την τιμή που έχει ρυθμιστεί και δίνει εντολές ζεύξης ή απόζευξης βαθμίδων πυκνωτών.

Στα βασικότερα χαρακτηριστικά τους συγκαταλέγεται η καταλληλότητα μέτρησης 3 φασικών συστημάτων, ενώ η τάση λειτουργίας λαμβάνεται από την ίδια φάση μέσω ασφαλειών.

Οι αυτόματοι ρυθμιστές συνημίτονου έχουν μετρικές διατάξεις και παρακολουθούν όχι μόνο το συνημίτονο συγκρίνοντας με την τιμή που έχει ρυθμιστεί, αλλά και την απαιτούμενη τιμή της έντασης I της εγκατάστασης, η οποία λαμβάνεται από την πρώτη φάση μέσω μετασχηματιστή εντάσεως με ρεύμα δευτερεύοντος 1 ή 5 A. Η ένταση I δίνεται σύμφωνα με την σχέση

$$Q_c = VI \sin\phi$$

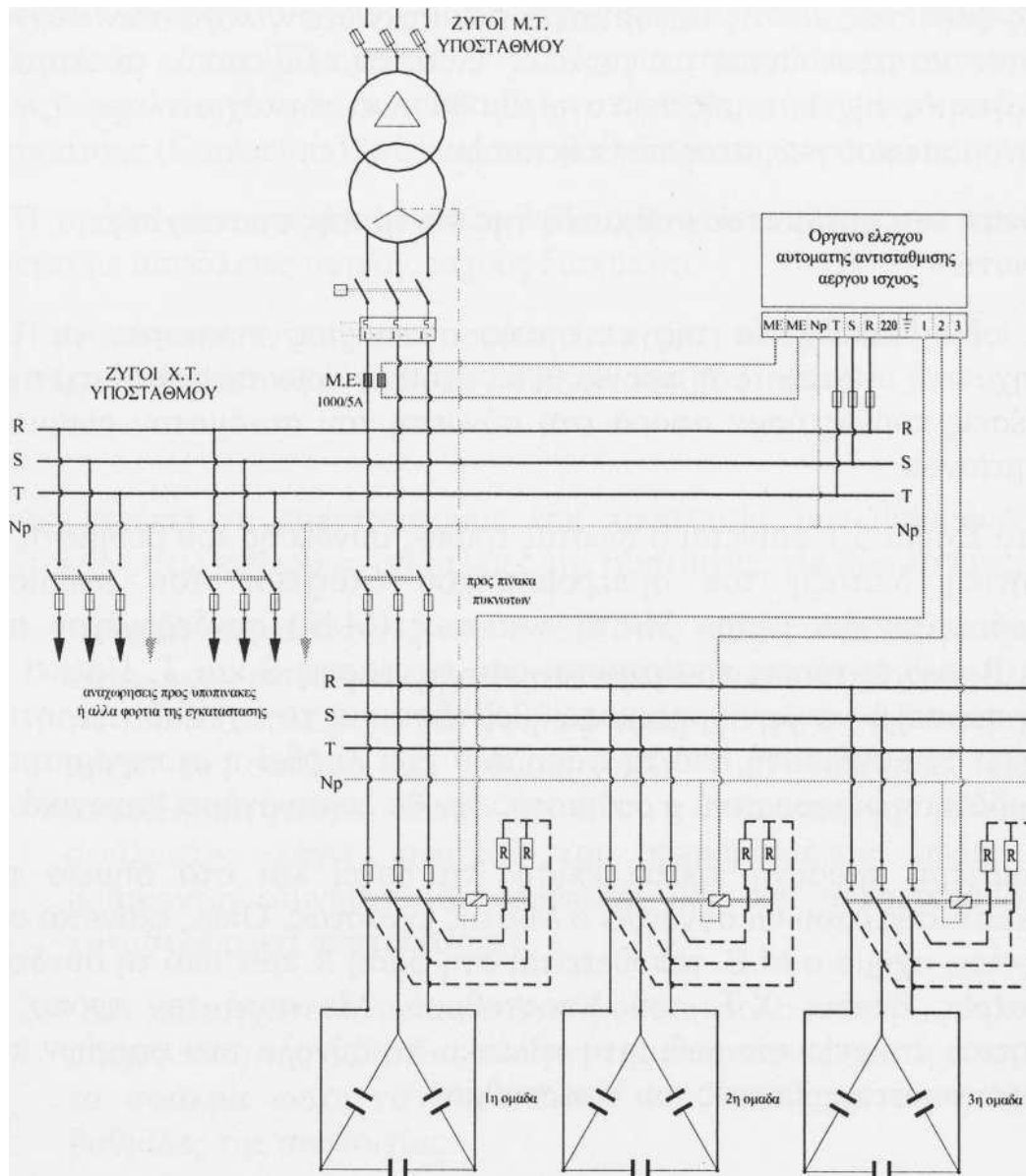
Συνεπώς η ζεύξη ή η απόζευξη των ομάδων των πυκνωτών συμβαίνει όταν πραγματικά αυτό απαιτείται, χωρίς άσκοπες λειτουργίες με φαινόμενα ταλαντώσεων. Οι αυτόματοι ρυθμιστές συνημίτονου είναι συνήθως προγραμματισμένοι να δίνουν εντολή ζεύξης νέας ομάδας πυκνωτών όταν η απαίτηση της εγκαταστάσεως για χωρητική ισχύ φτάνει στα 2/3 της ισχύος της ομάδας. Για να γίνει δυνατός αυτός ο τρόπος λειτουργίας, ο αυτόματος ρυθμιστής διαθέτει ειδικά κομβία ώστε να είναι δυνατή η ρύθμισή του σύμφωνα με τη σχέση C/κ όπου C η άεργος ισχύς της μικρότερης ομάδας πυκνωτών και κ η σχέση του

μετασχηματιστή εντάσεως που τροφοδοτεί το αμπερομετρικό στοιχείο του ρυθμιστή άεργου ισχύος.

Οι σύγχρονοι ρυθμιστές άεργου ισχύος έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης έως και 12 βαθμίδων. Ρυθμίζουν, επίσης, τον χρόνο από 1sec – 20min μεταξύ των διαδοχικών βαθμίδων ώστε να επιτρέπεται η έγκαιρη εκφόρτιση των πυκνωτών μέσω των αντιστάσεων εκφόρτισης. Είναι επίσης εφοδιασμένοι με ηλεκτρονόμο έλλειψης τάσεως που αποσυνδέει όλους τους πυκνωτές σε περίπτωση διακοπής. Φέρουν ειδικές ενδεικτικές λυχνίες μέσω των οποίων επισημαίνεται ο αριθμός των ομάδων των πυκνωτών που βρίσκονται σε λειτουργία καθώς και ψηφιακή ένδειξη (LED) της τιμής του συνημίτονου της εγκατάστασης. Επιτρέπουν ακόμα, αν απαιτηθεί, την χειροκίνητη ρύθμιση της λειτουργίας του συγκροτήματος. Επιπλέον, επιτρέπουν την αποθήκευση των μέγιστων τιμών των παραμέτρων, παράλληλα με την παρακολούθηση μεμονωμένων τιμών ισχύος πυκνωτών. Τέλος, Φέρουν ειδική ένδειξη σφάλματος.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην επιτυχημένη προσπάθεια βελτίωσης του συντελεστή ισχύος μιας βιομηχανικής εγκατάστασης είναι η ακριβής και ασφαλή σύνδεση του αυτόματου ρυθμιστή στου συνημιτόνου.

Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα, η μετρητική διάταξη του αμπερομετρικού στοιχείου του ρυθμιστή τροφοδοτείται δια μέσου μετασχηματιστή εντάσεως (M.E.) συνδεδεμένου στη φάση R ενώ οι τάσεις προέρχονται από τις φάσεις S και T. Αυτός είναι και ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος σύνδεσης του ρυθμιστή.



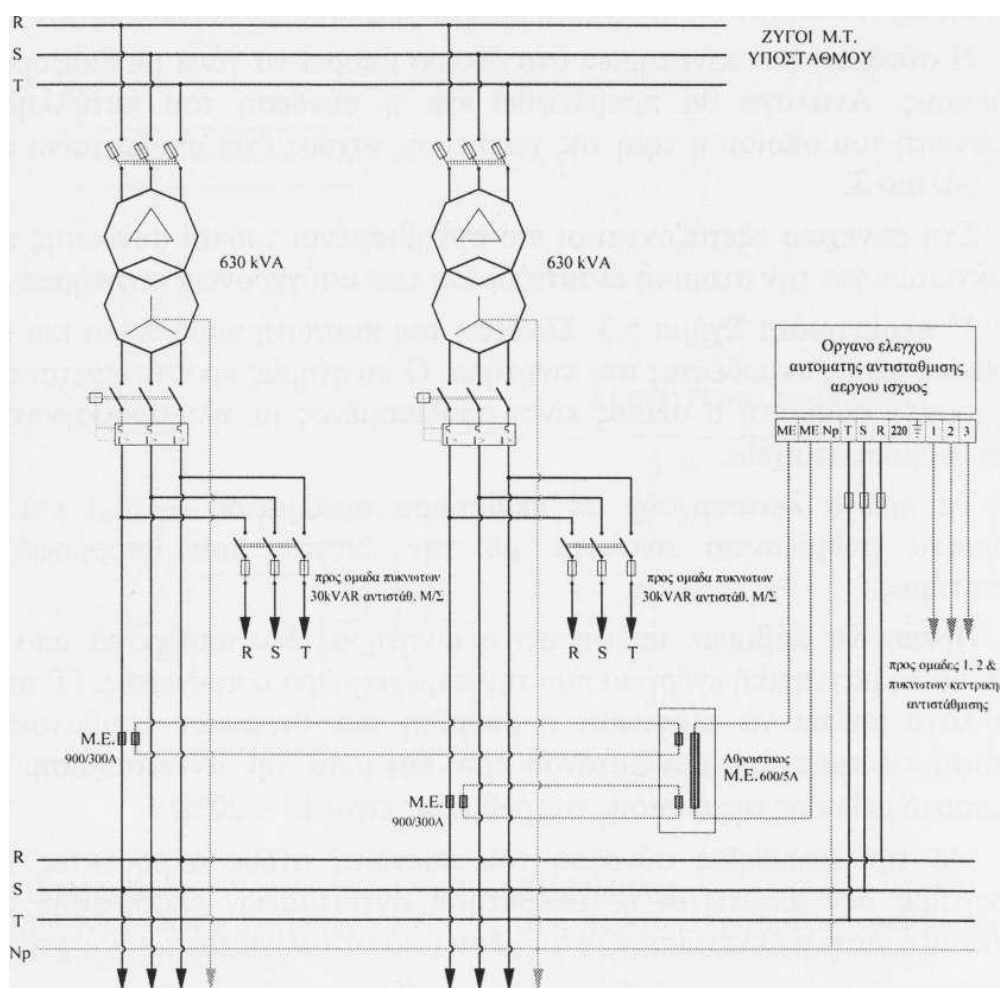
Σχήμα 3.2 Σύνδεση κεντρικής συστοιχίας 3 ομάδων πυκνωτών στους ζυγούς Χ.Τ. του Υποσταθμού. Συνδεσμολογία του αυτόματου ρυθμιστή συνημιτόνου με το Μ/Σ έντασης πριν από την σύνδεση της φάσης R με τους ζυγούς.

Πρέπει, όμως, να αποφευχθεί να χρησιμοποιηθεί τάση για το σχετικό μετρητικό στοιχείο του ρυθμιστή από τη φάση που έχει ληφθεί η αμπερομετρική τροφοδότηση διαφορετικά ο ρυθμιστής δεν θα λειτουργήσει κανονικά. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει επίσης να δοθεί και στο σημείο της εγκατάστασης όπου θα συνδεθεί ο μετασχηματιστής εντάσεως. Όπως φαίνεται στο άνωθεν σχήμα ο μετασχηματιστής εντάσεως τοποθετείται στη φάση R πριν από τη σύνδεσή της στους Ζυγούς Χαμηλής Τάσης του Υποσταθμού. Με αυτό τον τρόπο το μετρητικό

στοιχείο του ρυθμιστή υπολογίζει το σύνολο των φορτίων που εισέρχονται στους Ζυγούς του Υποσταθμού.

Παράδειγμα

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η συνδεσμολογία του αυτόματου ρυθμιστή συνημίτονου σε Υποσταθμό 15/0,4 kV όπου είναι εγκατεστημένοι 2 μετασχηματιστές ισχύος σε παράλληλη λειτουργία.



Σχήμα 3.3 Συνδεσμολογία αυτόματου ρυθμιστή συνημίτονου ενός υποσταθμού με 2 Μετασχηματιστές ισχύος 15000 / 400 V (2 x 630 kVA).

Εδώ οι μετασχηματιστές εντάσεως έχουν συνδεθεί στη φάση R μετά τα σημεία σύνδεσης των πυκνωτών για την τοπική αντιστάθμιση των μετασχηματιστών. Οι εντάσεις από τους δυο μετασχηματιστές εντάσεως εισέρχονται στο μετρητικό

στοιχείο του αυτόματου ρυθμιστή διά μέσου αθροιστικού μετασχηματιστή που υποβιβάζει την ολική ένταση σύμφωνα με την ικανότητα του αμπερομετρητικού στοιχείου του ρυθμιστή που είναι συνήθως 5 A. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί κατά την σύνδεση των μετασχηματιστών εντάσεως στις πολικότητες. Αντιστροφή μιας πολικότητας στα δευτερεύοντα αναιρεί την μέτρηση του πρωτεύοντος του αθροιστικού μετασχηματιστή.

3.3 Διατάξεις Χειρισμών και Προστασίας

Ο μέσος χρόνος ζωής των πυκνωτών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και υπολογίζεται για τις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας. Η χρονική διάρκεια υπερφόρτισης και η Μέση θερμοκρασία που εμφανίζουν είναι κάποιοι από αυτούς. Η μέγιστη τιμή υπερέντασης και η συνεπαγόμενη αύξηση θερμοκρασίας επιβαρύνουν, επίσης, την διάρκεια ζωής τους.

Προκειμένου να προστατευτούν οι πυκνωτές Ισχύος, να εξασφαλιστεί η καλή λειτουργία τους, αλλά και να παραταθεί η διάρκεια ζωής τους πρέπει να εφαρμοστούν τα κατάλληλα μέσα προστασίας και χειρισμών. Ο διακόπτης φορτίου, ενδεχομένως αυτόματος, με τις ασφάλειες, με επιλογή 1,6 με 1,8 φορές το ονομαστικό ρεύμα του πυκνωτή, και οι θερμομαγνητικοί διακόπτες αποτελούν στοιχεία προστασίας. Οι αυτόματοι χειρισμών ζεύξης και απόζευξης (contractors) και οι διατομές καλωδίων επίσης.

Όσον αφορά στα μέσα διακοπής (διακόπτες, ασφάλειες) λαμβάνεται υπόψη η επιλογικότητα της προστασίας, δηλαδή η απομόνωση της βαθμίδας της συστοιχίας που έχει υποστεί βλάβη. Στην είσοδο και πριν από τους ζυγούς της συστοιχίας θα τοποθετηθεί διακόπτης φορτίου με ικανότητα διακοπής $2I_{nc}$ του ονομαστικού ρεύματος της συστοιχίας και ασφάλειες (υψηλής ισχύος διακοπής) ονομαστικής τιμής $2,5 \div 3 I_{nc}$. Η ονομαστική ένταση των ασφαλειών πρέπει να έχει τιμή $1,7 \div 2 I_{nc}$ όπου I_{nc} η ονομαστική ένταση των πυκνωτών της ομάδας.

Ο αυτόματος διακόπτης ισχύος, παρότι είναι πιο δαπανηρός, έχει την δυνατότητα της ακριβούς ρύθμισης των ηλεκτρομαγνητικών του στοιχείων στα $1,75 \div 2 I_{nc}$, επιτυγχάνοντας καλύτερη συνεργασία με τις ασφάλειες που θα τοποθετηθούν στις

αναχωρήσεις πριν από τους αυτόματους (Contactors) ζεύξεως των βαθμίδων της συστοιχίας. Η ομάδα των πυκνωτών κάθε βαθμίδας πρέπει επίσης να προστατεύεται με ασφάλειες υψηλής ισχύος διακοπής.

Συνήθως αποφεύγεται να η χρησιμοποιηθούν οι κεντρικές ασφάλειες της συστοιχίας για την προστασία των βαθμίδων. Αυτό συμβαίνει καθώς η τιμή της εντάσεως του σφάλματος μιας βαθμίδας μπορεί να είναι μικρή ώστε η επέμβαση των τηκτών των γενικών ασφαλειών, που έχουν επιλεγεί για υψηλές τιμές, να γίνει καθυστερημένα μέχρι το σφάλμα να φτάσει στην τιμή διακοπής. Πιθανό αποτέλεσμα μπορεί λοιπόν να είναι η επέκταση του τόξου του σφάλματος λόγω ιονισμού του περιορισμένου χώρου που βρίσκονται συνήθως οι πυκνωτές και οι αυτοματισμοί με καταστρεπτικά αποτελέσματα. Επιπλέον με την χρήση των κεντρικών ασφαλειών αποτρέπεται η δυνατότητα επιλογικότητας, δηλαδή η απομόνωση της βαθμίδας εκείνης της συστοιχίας που έχει υποστεί το σφάλμα ώστε να παραμένουν σε λειτουργία οι υπόλοιπες βαθμίδες της συστοιχίας.

Τέλος ο αυτόματος ζεύξης κάθε βαθμίδας πρέπει να είναι τύπου για διακοπή φορτίου χαμηλού συνημίτονου π.χ. AC-11 (κατά IEC 408) και να επιλεγεί για ένταση διπλάσια εκείνης που αντιστοιχεί στην ονομαστική κάθε βαθμίδας γιατί λειτουργεί σε πολύ δυσμενείς συνθήκες. Ενώ σχετικά με τα καλώδια σύνδεσης της συστοιχίας και των ομάδων με τις φορτίσεις και τις εκφορτίσεις των πυκνωτών, λόγω των συχνών ζεύξεων καταπονούνται με μεγάλες εντάσεις. Γι' αυτό το λόγο ο υπολογισμός της διατομής των αγωγών θα γίνει τουλάχιστον για 1,6 Inc του ονομαστικού ρεύματος των πυκνωτών.

3.4 Συνδεσμολογίες, Όργανα Χειρισμών και Προστασία Ασύγχρονων Κινητήρων

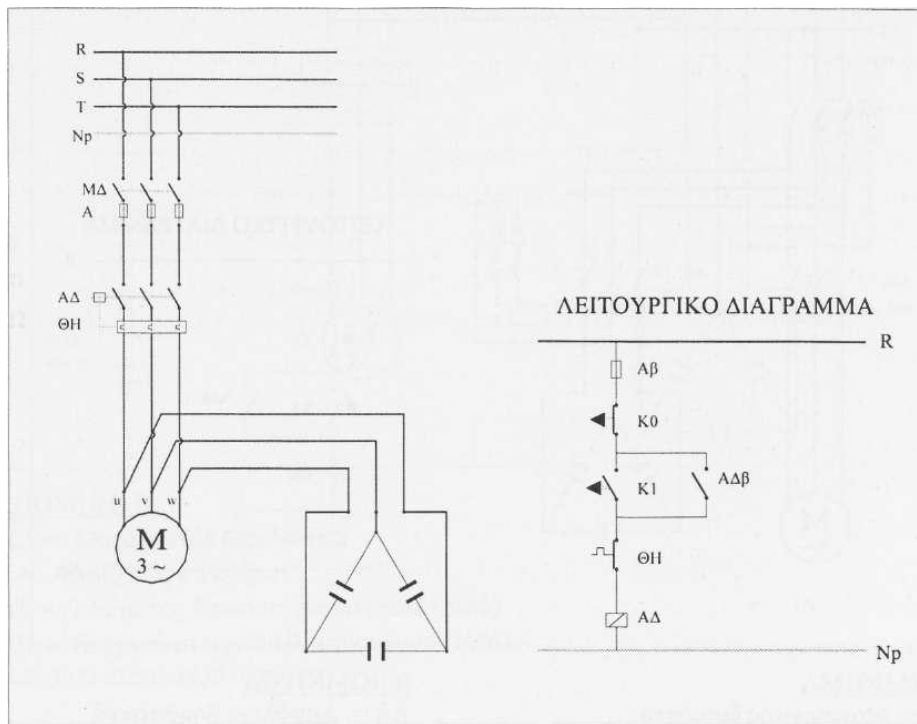
Στους ασύγχρονους κινητήρες το είδος της αντιστάθμισης που χρησιμοποιείται είναι τοπική αντιστάθμιση. Αναλόγως της σύνδεσης των ασύγχρονων κινητήρων στον δίκτυο, κατάλληλα θα συνδεθεί και ο απαραίτητος πυκνωτής για την αντιστάθμιση

του. Οι τρόποι σύνδεσης των ασύγχρονων κινητήρων και των πυκνωτών τους διαφέρουν ανάλογα με το είδος της εργασίας που επιτελείται. Ο πυκνωτής μπορεί να συνδεθεί παράλληλα είτε απευθείας στους ακροδέκτες του κινητήρα, είτε με δικό του αυτόματο διακόπτη.

Η περίπτωση της σύνδεσης του πυκνωτή στους ακροδέκτες του κινητήρα είναι η πιο απλή και συμφέρουσα από πλευράς κόστους αφού δεν απαιτούνται πρόσθετα όργανα ζεύξης και προστασίας. Πρέπει όμως να αποφεύγεται σε ορισμένες χρήσεις του ηλεκτροκινητήρα όπου μπορεί να παρουσιαστεί το φαινόμενο της αυτοδιέγερσης π.χ. στα δισκοπρίονα και τους ανεμιστήρες, όπου το φορτίο αποκόπτεται απότομα μπορεί να παρουσιαστεί το φαινόμενο των υπερτάσεων. Υπάρχουν όμως και άλλες χρήσεις όπου η συνδεσμολογία αυτού του τύπου είναι απαγορευτική. Κλασική περίπτωση είναι αυτή των ανελκυστήρων και γερανών όπου η πέδηση πραγματοποιείται με ηλεκτρομαγνητικό φρένο που επενεργεί από έλλειψη τάσης. Σ' αυτή την περίπτωση ο μηχανισμός του φρένου του ανελκυστήρα λόγω παροχής τάσης από τον πυκνωτή δεν μπορεί να λειτουργήσει κανονικά στις στάσεις.

Στην αντίθετη περίπτωση σύνδεσης του πυκνωτή παράλληλα με τον κινητήρα με δικό του αυτόματο διακόπτη, προβλήματα όπως οι υπερτάσεις που εμφανίζονται στην πρώτη περίπτωση αποτρέπονται, αλλά το κόστος είναι πολύ υψηλό.

Στην 1^η περίπτωση, ο κινητήρας προστατεύεται από αυτόματο διακόπτη ο οποίος είναι εφοδιασμένος με ηλεκτρομαγνητικά και θερμικά στοιχεία. Τα πρώτα λειτουργούν σε περίπτωση σφάλματος (~10In) και τα θερμικά ρυθμίζονται ανάλογα με την ένταση που απορροφά ο κινητήρας. Καθώς σε αυτή την περίπτωση, που ο κινητήρας δεν απορροφά από το δίκτυο η μαγνητική ενέργεια, εφόσον την παρέχει ο πυκνωτής, πρέπει να ελαττωθεί η ρύθμιση των θερμικών λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του συνημίτονου πριν και μετά την αντιστάθμιση. Το ποσοστό μείωσης της έντασης της ρύθμισης είναι 15÷20%. Με την απευθείας σύνδεση του πυκνωτή στους ακροδέκτες του κινητήρα δεν απαιτείται η τοποθέτηση αντιστάσεων εκφόρτισης του πυκνωτή γιατί η εκκένωση γίνεται μέσα από τα τυλίγματα του κινητήρα.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

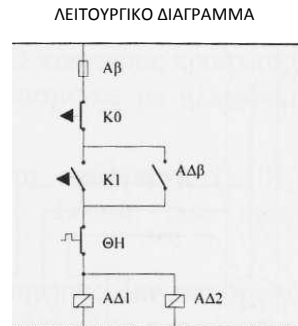
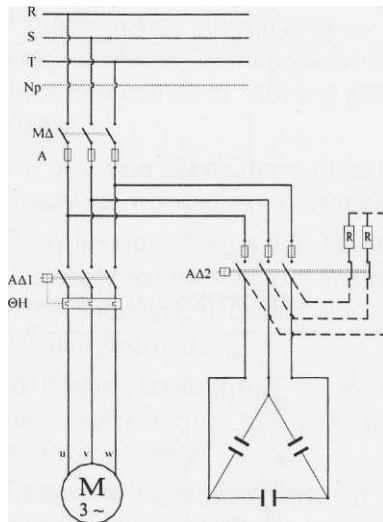
ΜΔ = Μαχαιρωτός διακόπτης **Α** = Ασφάλειες κινητήρα **ΑΔ** = Αυτόματος διακόπτης (ρελέ) **ΘΗ** = Θερμικό στοιχείο Ηλεκτρονόμου (**Η/Ν**) κινητήρα αυτομάτου διακόπτη

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Αβ = Ασφάλεια βοηθητικού κυκλώματος, **Κ0** = Μπουτόν απόζευξης κινητήρα, **Κ1** = Μπουτόν ζεύξης κινητήρα, **ΑΔβ** = Βοηθητική επαφή αυτόματου, διακόπτη (κανονικά ανοιχτή ΝΟ)

Σχήμα 3.4 Σύνδεση πυκνωτή παράλληλα με τους ακροδέκτες τηλεχειριζόμενου ασύγχρονου κινητήρα. Οι προστασίες και τα όργανα ζεύξης του ηλεκτροκινητήρα είναι κοινά και για τον πυκνωτή.

Στην 2^η περίπτωση για την εκφόρτιση του πυκνωτή τοποθετούνται αντιστάσεις, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

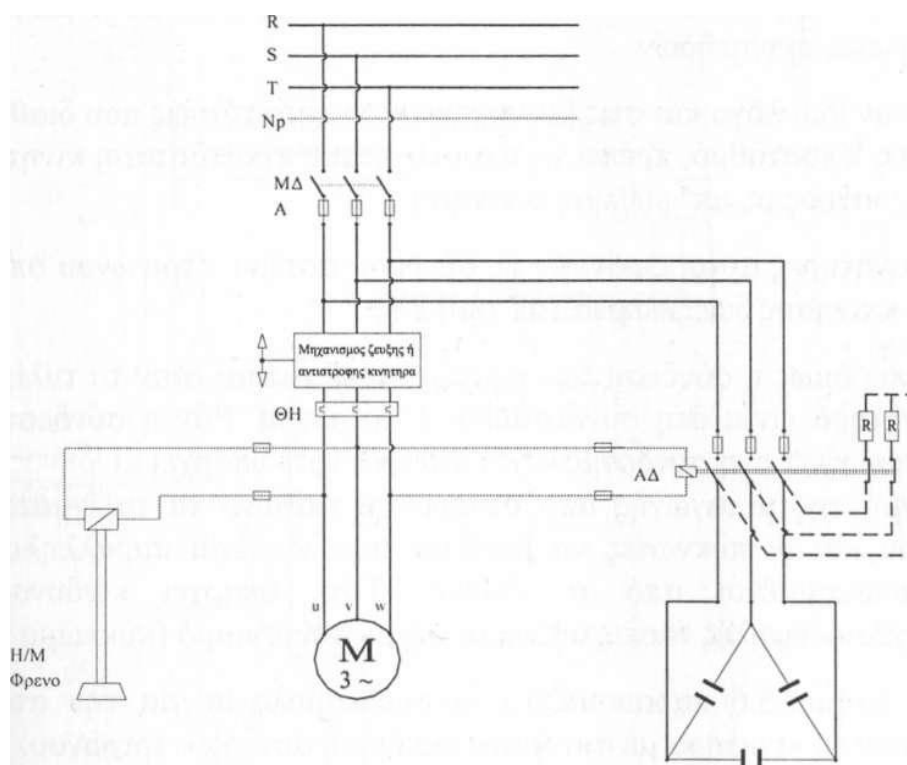
ΜΔ = Μαχαίρωτος διακόπτης, **Α** = Ασφάλειες κινητήρα, **ΑΔ1** = Αυτόματος διακόπτης κινητήρα (ρελέ), **ΑΔ2** = Αυτόματος διακόπτης πυκνωτών (ρελέ), **ΘΗ** = Θερμικό στοιχείο Ηλεκτρονόμου (Η/Ν), κινητήρα αυτομάτου διακόπτη

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Αβ = Ασφάλεια βοηθητικού κυκλώματος, **Κ0** = Μπουτόν απόξευξης κινητήρα, **Κ1** = Μπουτόν ζεύξης κινητήρα, **ΑΔβ** = Βοηθητική επαφή αυτομάτου, διακόπτη (κανονικά ανοιχτή ΝΟ)

Σχήμα 3.5 Σύνδεση πυκνωτή παράλληλα με τους ακροδέκτες τηλεχειριζόμενου ασύγχρονου κινητήρα. Ο πυκνωτής συνδέεται με δικές του ασφάλειες και αυτόματο, ο οποίος διαθέτει 2 βοηθητικές επαφές και διεγείρεται από το κύκλωμα αυτοσυγκράτησης του αυτομάτου διακόπτη του κινητήρα. Οι βοηθητικές επαφές του ΑΔ2 είναι κανονικά κλειστές (N.C.). Έτσι, με το σταμάτημα του κινητήρα, οι πυκνωτές εκφορτίζονται μέσω των αντιστάσεων R.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η συνδεσμολογία κινητήρων που χρησιμοποιούνται για ασανσέρ και γεραμούς. Η απευθείας εκκίνηση των ασύγχρονων κινητήρων προκαλεί υπερεντάσεις, που μπορεί να φθάσουν μέχρι 8 Iη. Οι υπερεντάσεις αυτές προκαλούν μεγάλες βυθίσεις της τάσης στο δίκτυο και γι' αυτό το λόγο η ΔΕΗ δεν επιτρέπει αυτού του είδους τη σύνδεση παρά μόνο για μικρές ισχύεις ηλεκτροκινητήρων.



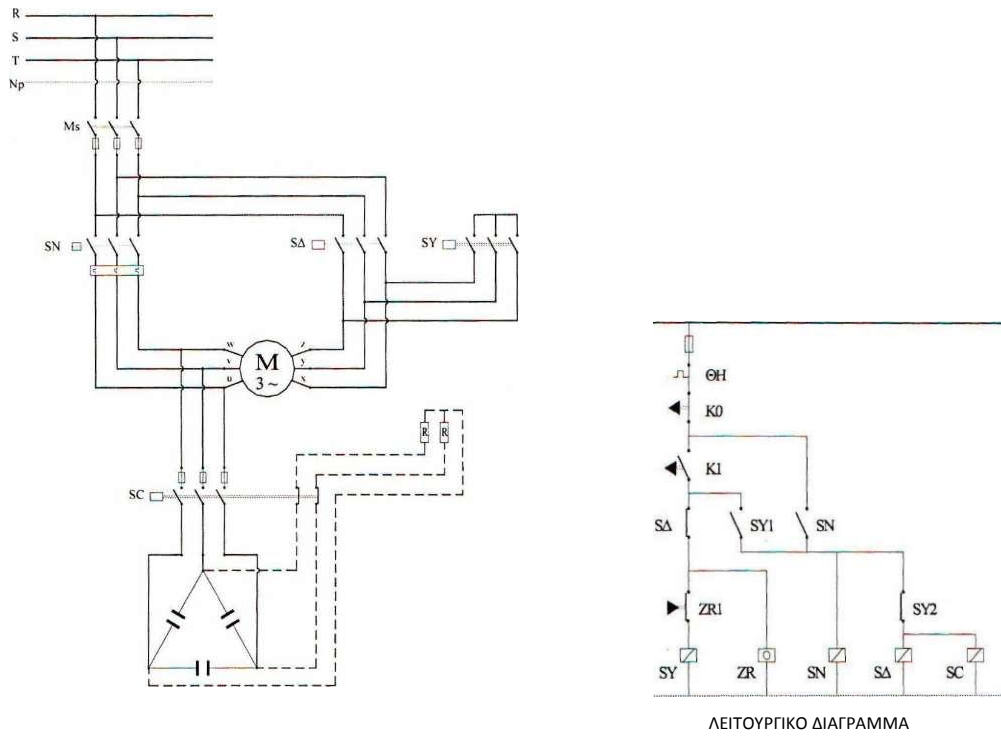
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΜΔ = Μαχαιρωτός διακόπτης, **Α** = Ασφάλειες κινητήρα, **ΑΔ** = Αυτόματος διακόπτης πυκνωτών (ρελέ), **ΘΗ** = Θερμικό στοιχείο Ηλεκτρονόμου (Η/Ν), κινητήρα αυτομάτου διακόπτη

Σχήμα 3.6 Σύνδεση πυκνωτή για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος ασύγχρονου κινητήρα ασανσέρ ή γερανού. Ο πυκνωτής εκφορτίζεται μέσω των αντιστάσεων R όταν οι αυτόματοι του μηχανισμού ζεύξης είναι ανοικτοί (αποδιεγείρεται ο ΑΔ). Ταυτόχρονα, λόγω έλλειψης τάσης, αποδιεγείρεται και το ηλεκτρομαγνητικό φρένο (π.χ. για το άμεσο σταμάτημα του θαλάμου του ασανσέρ). Ο μηχανισμός αντίστροφης κίνησης αποτελείται από 2 αυτομάτους οι οποίοι με κατάλληλη συνδεσμολογία (αντιστροφή των φάσεων) επιτρέπουν στον κινητήρα να πραγματοποιεί τις 2 φορές περιστροφής.

Για τον ίδιο λόγο και στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις που διαθέτουν δικό τους Υποσταθμό, πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση κινητήρων μεγάλης ισχύος με απ' ευθείας εκκίνηση. Οι κινητήρες αυτοί ξεκινούν με σύνδεση αστέρα - τριγώνου όπου το ρεύμα εκκίνησης δεν ξεπερνά την τιμή $2 I_n$. Πρέπει όμως η σύνδεση των πυκνωτών να γίνεται όταν τα τυλίγματα του κινητήρα είναι στη συνδεσμολογία τριγώνου. Εάν η σύνδεση των πυκνωτών γίνει στη συνδεσμολογία αστέρα, τότε υπάρχει κίνδυνος κατά τη στιγμή της μεταγωγής από αστέρα σε τρίγωνο τα

τυλίγματα του κινητήρα και οι πυκνωτές να βρεθούν συνδεδεμένοι παράλληλα ενώ είναι απόκομμένοι από το δίκτυο. Τότε υπάρχει κίνδυνος να αναπτυχθούν υψηλές τάσεις οφειλόμενες σε συντονισμό (κύκλωμα L-C). Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η συνδεσμολογία για την ατομική αντιστάθμιση κινητήρα με αυτόματη εκκίνηση αστέρα - τριγώνου.



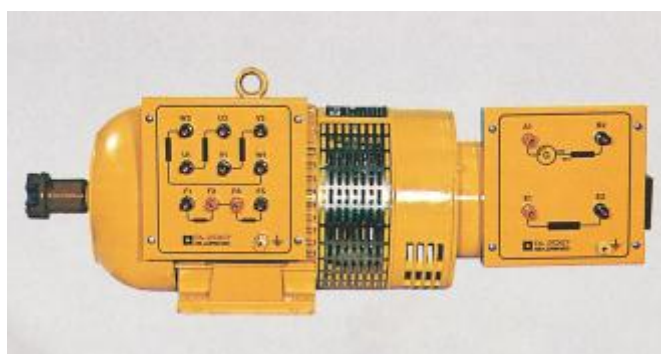
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Ms = Μαχαίρωτός διακόπτης, **ΘΗ** = Θερμικό στοιχείο Ηλεκτρονόμου (H/N) κινητήρα , **SN** = Αυτόματος δικτύου, **SA** = Αυτόματος τριγώνου, **SY** = Αυτόματος αστέρα, **SC** = Αυτόματος πυκνωτών, **ZR** = H/N χρονικής καθυστέρησης, **K1** = Μπουτόν ζεύξης κινητήρα, **K0** = Μπουτόν απόζευξης κινητήρα

Σχήμα 3.7 Σύνδεση πυκνωτή για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος ασύγχρονου κινητήρα με εκκίνηση Αστέρα - Τριγώνου.

3.5 Διόρθωση του συνημιτόνου με χρήση Σύγχρονου Κινητήρα

Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος ενός τριφασικού, όχι μονοφασικού, καταναλωτή, όπως οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορεί να γίνει και με την χρήση ενός Σύγχρονου Κινητήρα.



Εικόνα 3.1 Σύγχρονος κινητήρας.

Ο σύγχρονος κινητήρας πέρα από τη χρήση του για την ικανοποίηση ενός μηχανικού φορτίου σε μια βιομηχανική εγκατάσταση, μπορεί όταν λειτουργεί σε υπερδιέγερση να παράγει και άεργο ισχύ, βελτιώνοντας έτσι το συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης. Πολλές φορές μάλιστα ένας σύγχρονος κινητήρας λειτουργεί χωρίς κανένα απολύτως μηχανικό φορτίο στον άξονά του, έχοντας ως μοναδικό σκοπό τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος μιας εγκατάστασης.

Αρκετοί σύγχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται ήδη αποκλειστικά για την διόρθωση του συνημιτόνου, και ονομάζονται σύγχρονοι πυκνωτές ή σύγχρονες χωρητικότητες. Σήμερα, βέβαια, οι στατικοί πυκνωτές έχουν εκτοπίσει τις σύγχρονες χωρητικότητες (συγχρόνους κινητήρες) και μόνο σε παλιά βιομηχανικά δίκτυα οι σύγχρονοι πυκνωτές συνεχίζουν να λειτουργούν. Ο υπολογισμός της άεργης ισχύος, που θα παράγει ο σύγχρονος κινητήρας, εξαρτάται από το ποσοστό της άεργης ισχύος της εγκατάστασης προς αντιστάθμιση για την βελτίωση του συντελεστή ισχύος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο βασικότερος στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η βελτίωση του συντελεστή ισχύος στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Εξετάστηκε η επίδραση της εφαρμογής αντιστάθμισης άεργου ισχύος σε μια βιομηχανική μονάδα και οι εναλλακτικοί τρόποι συνδεσμολογίας και τοποθέτησης. Μελετήθηκαν τα επιμέρους στοιχεία που θα πρέπει να εφαρμοστεί η αντιστάθμιση, καθώς τα απαραίτητα μέσα χειρισμών και προστασίας που πρέπει να ακολουθηθούν. Τέλος, ως πρακτική άσκηση, μελετήθηκε η εφαρμογή των άνωθεν σε μια πραγματική βιομηχανική εγκατάσταση, λαμβάνοντας υπόψη διάφορα κόστη, και τα πιθανά ενεργειακά και οικονομικά οφέλη που θα μπορούσε να επιφέρει.

Καθώς οι βιομηχανικοί καταναλωτές καταναλώνουν ένα μεγάλο ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος, δηλαδή συνδυαστικά ενεργής και άεργης ισχύος, ο τρόπος που αυτή καταναλώνεται και οι επιβαρύνσεις που υφίσταται το δίκτυο για την μεταφορά και παραγωγή της, αποκτά ιδιαίτερη σημασία.

Η πραγματική ή ενεργή ισχύς είναι αυτή η οποία παράγει το πραγματικό έργο και η ισχύ που χρειάζονται τα δίκτυα για να λειτουργήσουν. Είναι, επίσης, η ισχύς που καταγράφεται από τους μετρητές ηλεκτρική ισχύος. Η άεργη ισχύ απορροφάται κυρίως για την δημιουργία στρεφόμενου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Η άεργος ισχύς δημιουργεί μεγάλα προβλήματα στα σύγχρονα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενεργείας και στις αντίστοιχες εταιρείες. Προκαλεί αυξημένες απώλειες στα δίκτυα που την παρέχουν:

- υπερθέρμανση της γραμμής μεταφοράς
- απώλειες ισχύος
- υπερφόρτιση των εγκαταστάσεων και των μηχανημάτων με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ικανότητά τους για μεταφορά ενεργού ισχύος
- αύξηση των απωλειών μεταφοράς και πτώσεις τάσεως.
- Επιβάρυνση των γεννητριών του δικτύου για να την παράγουν της

Σε καταστάσεις υψηλής κατανάλωσης ενεργού και άεργου ισχύος, η λειτουργία των δικτύων γίνεται οριακή, ενώ ταυτόχρονα τα περιθώρια ελέγχου της ροής άεργου ισχύος στενεύουν, με αποτέλεσμα να υφίσταται κίνδυνος μερικής ή ολικής διακοπής του συστήματος μεταφοράς που τροφοδοτεί μεγάλες περιοχές. Για τον λόγο αυτό οι εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας τοποθετούν, έκτος από μετρητές καταγραφής της ενεργού ισχύος, άλλους για την μέτρηση της άεργης ισχύος που μεταφέρεται.

Ο συντελεστής ισχύος είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό μέγεθος, από οικονομικής πλευράς, τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τις εταιρίες παραγωγής, μεταφοράς και διαμονής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς αποτελεί ένα μέτρο της άεργης ισχύος που ανταλλάσσεται μεταξύ καταναλωτή και ηλεκτρικής εταιρείας. Όσο περισσότερο πλησιάζει ο συντελεστής ισχύος στο 1, τόσο αποδοτικότερο ένα σύστημα καθώς περιορίζεται η άεργη ισχύς του. Συνεπώς με την μείωση του συντελεστή ισχύος αυξάνεται το κόστος διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας στον καταναλωτή, το οποίο κόστος επιβαρύνει βεβαίως την εταιρία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η Δημόσια Εταιρεία Ηλεκτρισμού έχει επιβάλλει το 0,85 ως κατώτερο όριο για τον συντελεστή ισχύος, αλλιώς απαιτείται βελτίωση του, δηλαδή αύξηση του. Από την άλλη πλευρά, προμηθεύονται οι καταναλωτές που εμφανίζουν ομαλή κατανάλωση χωρίς αιχμές ζήτησης.

Συνεπώς η βελτίωση του συντελεστή ισχύος επιφέρει:

- Οικονομικά οφέλη
- Βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος
- Αύξηση του χρόνου ζωής των λειτουργικών μερών της επιχείρησης
- Αύξηση της δυναμικότητας των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων
- Μείωση απωλειών ισχύος και ενέργειας
- Αύξηση διαθέσιμης ισχύος του υποσταθμού τροφοδότησης
- Ανύψωση ή ρύθμιση της τάσης ζυγών
- Διευκόλυνση εκκίνησης μεγάλων κινητών στη άκρη πολύ φορτισμένων γραμμών

- Μείωση της πτώσης τάσεως στους μετασχηματιστές και στις εναέριες γραμμές ή καλώδια μεταφοράς
- Προστασία και ασφάλεια των εγκαταστάσεων και του δικτύου

Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος μπορεί να επιτευχθεί με την διαδικασία αντιστάθμισης άεργου ισχύος, δηλαδή με την προσθήκη πυκνωτών συνδεδεμένων παράλληλα με το φορτίο. Με αυτόν τον τρόπο ένα μέρος της άεργης ισχύος που απαιτείται παράγεται τοπικά από τους πυκνωτές, με αποτέλεσμα να μειώνεται το συνολικό ποσό άεργης ενέργειας που χρειάζεται η εγκατάσταση από το δίκτυο. Η επιλογή των συστοιχιών των πυκνωτών που θα τοποθετηθούν και η υποδιαίρεση τους σε βαθμίδες, δηλαδή μικρότερες ομάδες, διαφοροποιείται ανάλογα με την κάθε εγκατάσταση και το ποσό της άεργης ισχύος που απορροφάται σε κάθε περίπτωση. Ο σκοπός αυτής της κατανομής των πυκνωτών σε βαθμίδες είναι η καλύτερη παρακολούθηση των φορτίων, ώστε να αξιοποιηθεί με τον καλύτερο τρόπο η ισχύς της συστοιχίας.

Η απαιτούμενη χωρητική ισχύς των πυκνωτών που απαιτούνται εξαρτάται από την μεταβολή του φορτίου ανά ώρα και από την τιμή του συντελεστή ισχύος για τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας της εγκατάστασης, όπου σημειώνεται και η Μέγιστη Ζήτηση. Η αποδοτικότητα τους εξαρτάται και από την περιοχή σύνδεσης τους. Όσον αφορά στην τοποθέτηση των πυκνωτών, πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς το φορτίο προς αντιστάθμιση, ώστε να υπάρξει ελαχιστοποίηση των απωλειών και μέγιστη αύξηση της τάσης. Η τοποθέτησή τους στην κεντρική παροχή, δηλαδή κεντρική αντιστάθμισή, αποτελεί τον συνήθη και πιο οικονομικό τρόπο, συγκριτικά με τοποθέτηση σε επιμέρους περιοχές (ομαδική αντιστάθμιση), όπως στον υποπίνακα, ή σε κάθε φορτίο χωριστά (τοπική αντιστάθμιση), όπως σε φωτιστικά φθορισμού. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου είτε η ομαδική είτε η τοπική αντιστάθμιση απαιτούνται, όπως σε απομακρυσμένα φορτία ή ασύγχρονους κινητήρες αντίστοιχα.

Προκειμένου να ικανοποιούνται οι μεταβολές ζήτησης της χωρητικής ισχύος μιας εγκατάστασης κεντρικής συστοιχίας πυκνωτών, απαιτείται η τοποθέτηση παράλληλα αυτόματων (ρελέ) για την εξασφάλιση της δυνατότητας ζεύξης και

απόζευξης των ομάδων πυκνωτών. Επιπλέον, η ακριβής και ασφαλή σύνδεση του αυτόματου ρυθμιστή έργου ισχύος συμβάλλει στην βελτίωση του συντελεστή ισχύος. Οι αυτόματοι ρυθμιστές της άεργου ισχύος έχουν μετρικές διατάξεις και παρακολουθούν όχι μόνο το συνημίτονο συγκρίνοντας με την τιμή που έχει ρυθμιστεί, αλλά και την απαιτούμενη τιμή της έντασης της εγκατάστασης. Συνεπώς η ζεύξη ή η απόζευξη των ομάδων των πυκνωτών συμβαίνει όταν πραγματικά αυτό απαιτείται, χωρίς άσκοπες λειτουργίες με φαινόμενα ταλαντώσεων, ενώ με κατάλληλους μηχανισμούς αποσυνδέονται σε περίπτωση διακοπής.

Προκειμένου να προστατευτούν οι πυκνωτές ισχύος, να εξασφαλιστεί η καλή λειτουργία τους, αλλά και να παραταθεί η διάρκεια ζωής τους πρέπει να εφαρμοστούν τα κατάλληλα μέσα προστασίας και χειρισμών. Τέτοια μέσα αποτελούν:

- Ο διακόπτης φορτίου, ενδεχομένως αυτόματος, με τις ασφάλειες,
- οι θερμομαγνητικοί διακόπτες
- Οι αυτόματοι χειρισμών ζεύξης και απόζευξης (contractors)
- οι διατομές καλωδίων

Ο μέσος χρόνος ζωής των πυκνωτών, που υπολογίζεται για τις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως :

- τη χρονική διάρκεια υπερφόρτισης
- τη Μέση θερμοκρασία
- τη μέγιστη τιμή υπερέντασης και η συνεπαγόμενη αύξηση θερμοκρασίας

Τέλος, υπάρχει εξέλιξη στα συστήματα διόρθωσης του συντελεστή ισχύος. Οι στατικοί πυκνωτές, που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή, έχουν ήδη αντικαταστήσει τους σύγχρονοι πυκνωτές ή σύγχρονες χωρητικότητες (σύγχρονους κινητήρες), που πλέον χρησιμοποιούνται εξαιρετικά εξειδικευμένα σε παλαιά βιομηχανικά δίκτυα. Με την σειρά τους οι στατικοί πυκνωτές αντικαθίστανται με διόρθωση του συνημιτόνου με ηλεκτρονικά ισχύος. Παρόλα αυτά εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις με επαγωγικά φορτία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Μπούρκας Π.Δ. , «Εφαρμογές κτηριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων»,1998, Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος
- Κριτσωτάκης Κ.Ν. «Βελτίωση του Συντελεστή Ισχύος στις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις», 2000, Περιστέρι, Εκδόσεις «ΙΩΝ».
- Κεμίδης Π., Μπαργιώτας Δ., Σανδαλίδης Χ. «Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Υποσταθμοί», 2001, Αθήνα, Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια, Τομέας Ηλεκτρολογικός, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων
- Περαντζάκης Γ. «Ηλεκτροτεχνία – Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις», Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
- Pamela Ackerman, «Power Factor Correction for Power Systems», Department of Electrical and Computer Engineering, Colorado State University, 2007
- Technical Data SA02607001E 2010, «Power Factor Correction: a guide for the plant engineer», Eaton
- Ηλίας Αντωνίου, «Συστήματα αντιστάθμισης», Θεσσαλονίκη, 2005, Elisis Electrical Solutions A.E, Siemens A.E.
- Ε. Διαλυνάς, Φ. Τόπαλης, Σ. Καβατζά , «Εξοικονόμηση ενέργειας στα Δίκτυα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Δ. Αλεξάνδρου, Δ. Κωσταντίνου, «Υβριδικά φίλτρα για Φιλτράρισμα Αρμονικών που οφείλονται σε μη γραμμικά Φορτία», 2009, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών
- Δημήτριος Καβαλίδης, «Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις», 2011, Εργαστήριο Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων Γ'ΕΠΑΛ.

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

- www.dei.gr
- <http://www.dei.gr/Documents2/CUSTOMER%20SERVICE/TIMOLOGIA%202012/%CE%93%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%95%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%202012.pdf>
- http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B9%CF%83%CF%87%CF%8D%CF%82
- <http://www.wagesterlease.com/aboutus/articles/powerfactor.html>
- http://www.ebooks4greeks.gr/2011.Download_free-ebooks/kathighths/Eidikes_Hlektrikes_Egkatastaseis_B_Downloaded_f_eBooks4Greeks.gr.pdf
- http://users.ntua.gr/el09791/meleti_biomixanikis_hlektrikis_egatastasis.pdf