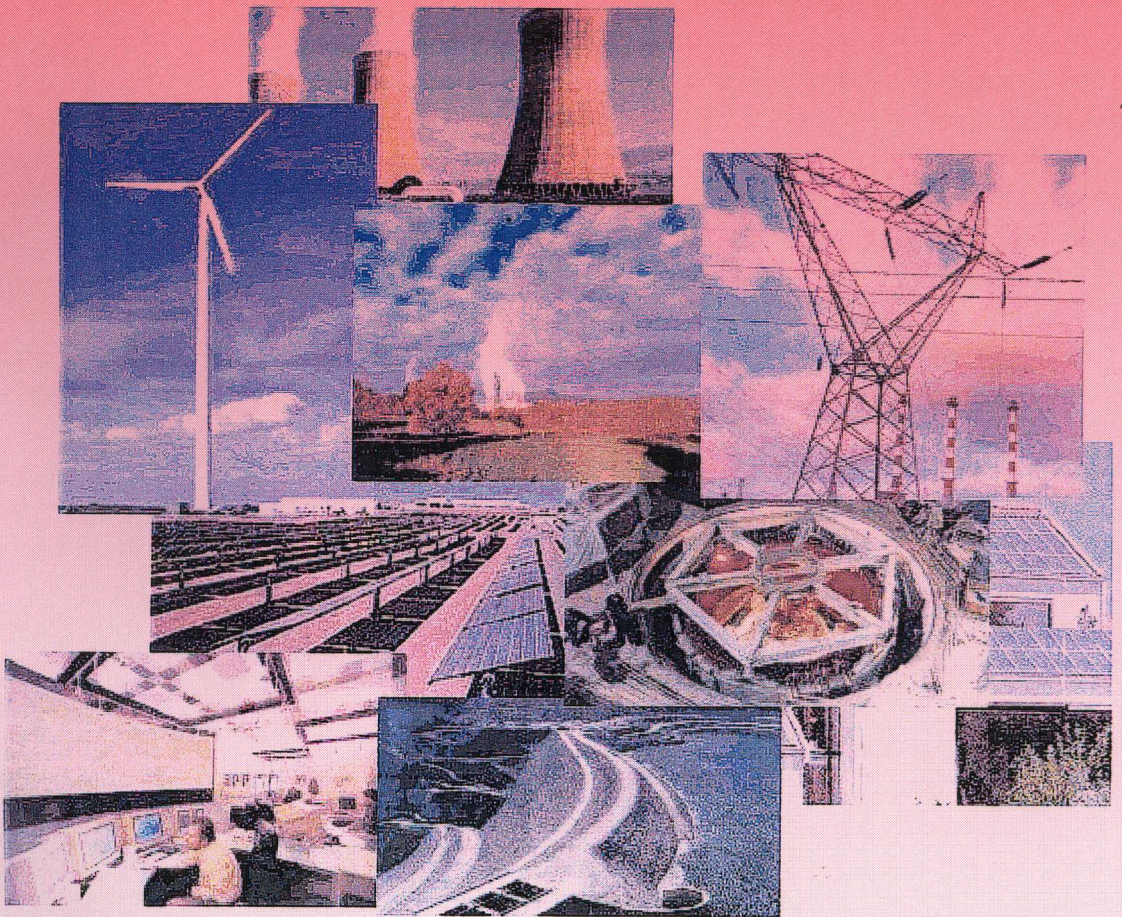


ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΘΕΜΑ: ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΙΣΧΥΟΣ



Σπουδαστές:

**Γκαζάς Χριστόφορος
Τεσσαρομάτης Ανδρέας**

Επιβλέπων:

Κοσμάνης Θεόδωρος

2005

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν στις αρχές του αιώνα κατασκευάστηκε από τον Γερμανό μηχανικό ΟΤΤΟ, ο πρώτος βενζινοκινητήρας, χρειάστηκε μια μικρή αποθήκη ηλεκτρισμού που θα βοηθούσε στο να δοθεί σπινθήρας στο μείγμα βενζίνης αέρα για την εκτόνωσή του.

Έτσι κατασκευάστηκε ο πρώτος πυκνωτής. Ο απλός αυτός πυκνωτής παρουσίασε πολλές δυνατότητας εφαρμογής.

Η σκέψη ξεκίνησε από την φύση με τις αστραπές μεταξύ σύννεφου και γης οπότε συμβαίνει μια μεγάλη εκφόρτιση ενός μεγάλου πυκνωτή. Αυτό το φυσικό φαινόμενο, το παρέλαβε η τεχνική εφαρμόζοντάς το στις διάφορες ποικιλόμορφες περιπτώσεις της ηλεκτροτεχνίας.

Μπορούμε σήμερα να πούμε, ότι παντού όπου υπάρχει παραγωγή, διανομή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, ο πυκνωτής κάνει αισθητή την εμφάνισή του αποτελώντας ένα βασικό στοιχείο στα ηλεκτρικά κυκλώματα, γιατί αποθηκεύει και αποδίδει στο κύκλωμα που είναι συνδεδεμένος, ηλεκτρική ενέργεια, ακαριαία, σε συχνά χρονικά διαστήματα ακολουθώντας την περίοδο του ρεύματος.

Με την αλματώδη εξέλιξη του ηλεκτρισμού και τις ποικίλες εφαρμογές του στην καθημερινή μας ζωή στο πέρασμα του αιώνα κατασκευάστηκε ο πυκνωτής με μονωτικό υλικό, χαρτί βερνικωμένο.

Ο πυκνωτής παίζει ρόλο στη ραδιοφωνία, στην μέση της τρίτης δεκαετίας του αιώνα μας, όπου εξασφαλίστηκε η χωρίς παράσιτα λήψη στις ασύρματες εκπομπές και στην τηλεόραση που αποτελεί το βασικό στοιχείο για τις αντιπαρασιτικές διατάξεις.

Έτσι φτάνουμε στο τέλος του Β' παγκοσμίου πολέμου, που αρχίζει η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τη βιομηχανία και πρέπει να ληφθούν έκτακτα μέτρα για την εξουδετέρωση του «άεργου ρεύματος» για την «ανακούφιση» των ηλεκτρικών δικτύων.

Όλες οι ηλεκτρικές μηχανές, ηλεκτροκινητήρες, μετασχηματιστές, φούρνοι επαγωγικοί, λαμπτήρες φθορισμού, λάμπες αερίου, ηλεκτροσυγκολλήσεις και κάθε επαγωγική συσκευή χρειάζονται για να λειτουργήσουν ένα ρεύμα μαγνητίσεως, που λέγεται άεργο γιατί δεν αποδίδεται ωφέλιμο έργο από την χρησιμοποίησή του.

Αυτό το άεργο ρεύμα προστίθεται στο ενεργό ρεύμα που αποδίδει το ωφέλιμο έργο με αποτέλεσμα να φορτώνονται οι γραμμές μεταφοράς των ηλεκτρικών δικτύων, οι Μ/Σ των υποσταθμών ή της διανομής ακόμα και οι γεννήτριες στους σταθμούς παραγωγής, με αποτέλεσμα να το πληρώνουμε χωρίς να είναι παραγωγικό.

Η σχέση μεταξύ ενεργού και άεργου ρεύματος λέγεται «συντελεστής ισχύος».

Σε αμιγές άεργο ρεύμα το $\cos\phi$ είναι 0, ενώ στο αμιγές ενεργό ρεύμα το $\cos\phi$ είναι 1 που είναι και η ιδανικότερη περίπτωση εκμετάλλευσης κάθε ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Ως ελάχιστο επιτρεπτό όριο ($\cos\phi$) ορίζεται από την ΔΕΗ το 0,85 ενώ αυτό κυμαίνεται από 0,5 και χαμηλότερα μέχρι 0,7. Η βελτίωση του

$\cos\phi$ στο 0,85 γίνεται μόνο με την σύνδεση πυκνωτή ανάλογης ισχύος παράλληλα στην επαγωγική ηλεκτρική μηχανή που παράγει το άεργο ρεύμα ή σ' ολόκληρη την εγκατάσταση που αποτελείται από πολλές επαγωγικές μηχανές.

Η αύξηση του $\cos\phi$ και ο περιορισμός των άεργων ρευμάτων στις εγκαταστάσεις, ενδιαφέρει και την ΔΕΗ που διαθέτει το ρεύμα και τον πελάτη που το καταναλίσκει, αφού μόνο με τον περιορισμό ή την εξουδετέρωση του άεργου ρεύματος θα έχουν εκμετάλλευση σε ικανοποιητικό βαθμό της εγκατεστημένης ισχύος.

Έτσι οι υπεύθυνοι της ηλεκτρικής διανομής κάθε χώρας έδωσαν οικονομικά κίνητρα στον καταναλωτή για να ενδιαφερθεί να βελτιώσει τις εγκαταστάσεις του αγοράζοντας και συνδέοντας πυκνωτές ισχύος στο εργοστάσιό του.

Για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους το $\cos\phi$ πρέπει να δουλεύει όσον το δυνατό βελτιωμένο, και αν είναι δυνατόν, μονάδα 1 σε κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση. Η βελτίωση αυτή επιτυγχάνεται μόνο με την σύνδεση στην εγκατάσταση πυκνωτών με όσο το δυνατό μικρότερες απώλειες σε Watt, γιατί οι αυτοκαταναλώσεις αυτές καταναλίσκουν δρώσα ενέργεια που την καταγράφει ο μετρητής ενεργού ενέργειας και πληρώνονται.

Για τη διατήρηση του $\cos\phi = 1$ επινοήθηκε και κατασκευάστηκε ο αυτόματος ρυθμιστής άεργου ισχύος που βάζει σε λειτουργία τους πυκνωτές όταν το $\cos\phi$ είναι αρκετά μικρότερο της μονάδας και τους βγάζει όταν πλησιάσουν τη μονάδα.

Προβλέπουμε ότι η χρήση του πυκνωτή θα συνεχίσει να έχει ενδιαφέρον και στα επόμενα χρόνια και με την πυρηνική μορφή ενέργειας ή και με όποια άλλη μορφή ενέργειας εφόσον η μεταφορά ενέργειας προς τους καταναλωτές και η χρήση γίνεται με εναλλασσόμενο ρεύμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ισχύς στο συνεχές ρεύμα

1. Ισχύς- ενέργεια

Η ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από έναν καταναλωτή, έχει σαν αποτέλεσμα την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια εκδηλώνεται με την παραγωγή έργου άλλης μορφής π.χ. θερμότητα- φως- κίνηση.

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλίσκεται σε μια συσκευή συνεχούς ρεύματος, δίνεται από την σχέση

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Έργο = Τάση · Ένταση · Χρόνο

Συνήθως όμως αυτό που μας ενδιαφέρει σε μια ηλεκτρική συσκευή δεν είναι η ποσότητα του ηλεκτρικού έργου που θα δαπανήσει σε ακαθόριστο χρόνο, αλλά ο ρυθμός κατανάλωσης έργου ή ο ρυθμός ροής της ηλεκτρικής ενέργειας.

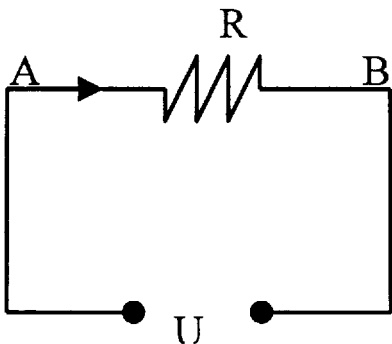
Η ποσότητα αυτή χαρακτηρίζει τη ισχύ και δίνεται από την σχέση:

$$P = W/t$$

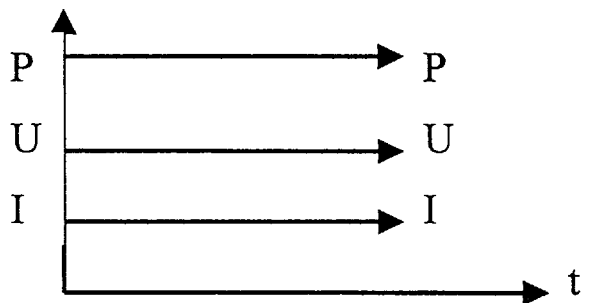
Στον ηλεκτρισμό $P = U \cdot I$ (1)

Εάν λοιπόν σε μια αντίσταση R εφαρμόσουμε την τάση U θα έχει σαν αποτέλεσμα την ροή ρεύματος σταθερής έντασης I . (Στο συνεχές, η τάση- η ένταση- και η ισχύς συναρτήσι του χρόνου παραμένουν σταθερές).

Και επειδή $U = IR$ και $I = U/R$, $P = U^2 / R$



Σχήμα 1



Σχήμα 2

Η Εξίσωση (1) έχει μεγάλη πρακτική σημασία και ισχύει για κάθε είδος καταναλωτή.

Στην περίπτωση που ο καταναλωτής είναι ωμική αντίσταση, όλη η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα (εξίσωση 2).

2. Μονάδες ισχύος και ενέργειας

Στο σύστημα μονάδων SI μονάδα της ηλεκτρικής ισχύος είναι το Watt και ορίζεται από την εξίσωση (1) ως η ισχύς που καταναλίσκεται σε έναν αγωγό ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα έντασης 1 A όταν στα άκρα του εφαρμόζεται τάση 1(U).

Μονάδα ηλεκτρικού έργου είναι το **Watt· sec = Joule**.

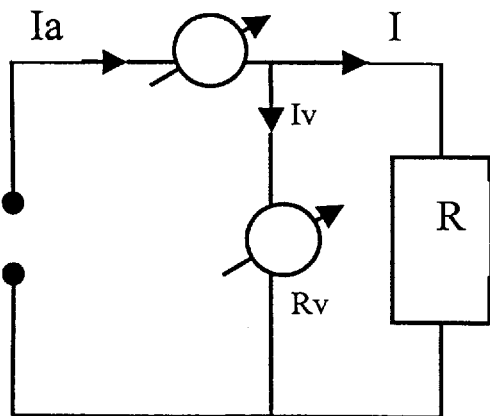
Στην πράξη όμως περισσότερο χρησιμοποιείται η μονάδα Watt·h (Wh) (βατώρα), ή Κιλοβατώρα (KWh).

3. Μέτρηση ισχύος

Από την σχέση $P = U \cdot I$ στο συνεχές ρεύμα γίνεται φανερό ότι, για να μετρήσουμε την ισχύ αρκεί ένα βολτόμετρο και ένα αμπερόμετρο για να μετρήσουμε τάση και ένταση.

Η συνδεσμολογία των οργάνων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

A Τρόπος



$$I_a = I + I_v \quad I = I_a - I_v$$

$$I = I_a - U / R_v$$

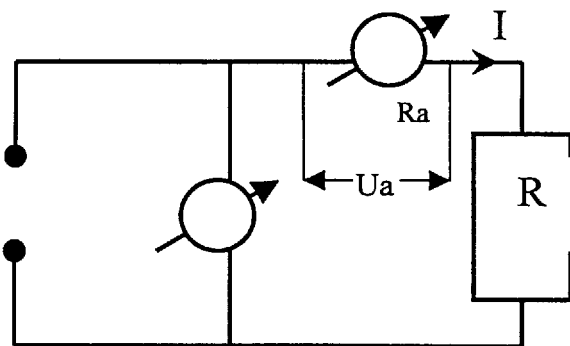
Έτσι

$$P = U \cdot (I_a - U / R_v) \quad (4)$$

Σχήμα 3

Όταν η αντίσταση του βολτόμετρου R_v είναι πολύ μεγάλη γίνεται δεκτό ότι $I_a = I$ και η ισχύς $I_a = U \cdot I_a$ (5).

B Τρόπος



$$U_a = I R_a$$

$$U_v = U + U_a$$

$$U = U_v - R_a \cdot I$$

$$P = (U_v - R_a \cdot I) \cdot I$$

Σχήμα 4

Όταν η αντίσταση του αμπερόμετρου R_a είναι πολύ μικρή μπορεί να θεωρηθεί ότι $U_v \approx U$ και η ισχύς

$$P \approx U_v \cdot I_a$$

Η επιλογή του ενός ή του άλλου τρόπου συνδεσμολογίας θα εξαρτηθεί από την αντίσταση R της κατανάλωσης, και από τις εσωτερικές αντιστάσεις των οργάνων, R_a και R_v .

Γενικά θα πρέπει τα βολτόμετρα να παρουσιάζουν μεγάλη εσωτερική αντίσταση (συνήθως δίνεται σε Ω/V), τα δε αμπερόμετρα μικρή εσωτερική αντίσταση.

Συνήθως η μέτρηση της ισχύος γίνεται με Βατόμετρα.

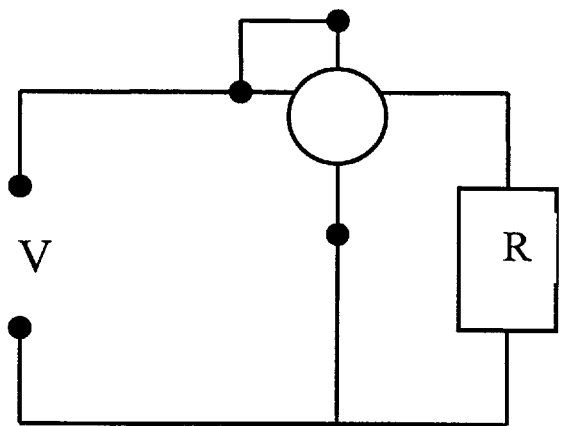
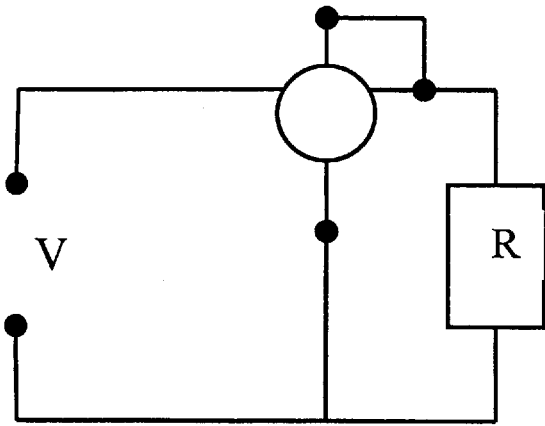
Το όργανο αυτό έχει δύο πηνία, ένα τάσης, που συνδέεται παράλληλα με την κατανάλωση και ένα έντασης που συνδέεται σε σειρά με την κατανάλωση.

Η ικανότητα του Βατόμετρου δεν προσδιορίζεται μόνο από τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να μετρήσει, αλλά και από το μέγιστο ρεύμα I_{max} που μπορεί να περάσει από το πηνίο έντασης και από την μέγιστη τάση U_{max} που μπορεί να δεχτεί το πηνίο τάσης.

Είναι απαραίτητο να μην ξεπεράσουμε τις μέγιστες τιμές I_{max} και U_{max} ακόμα και εάν η ισχύς είναι μικρότερη από την P_{max} ισχύος με βολτόμετρο και αμπερόμετρο, πρέπει να αναφέρουμε ότι για να συνδέσουμε ένα βατόμετρο υπάρχουν δύο τρόποι:

A τρόπος

B τρόπος



Σχήμα 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ισχύς στο Εναλλασσόμενο ρεύμα

1. Γενικά

Όπως αναφέρθηκε στο συνεχές ρεύμα ένα από τα χαρακτηριστικά μεγέθη που μας ενδιαφέρουν σε ένα καταναλωτή είναι η ισχύς του.

Στο συνεχές αναφέραμε ότι η ισχύς μας δίνει τον ρυθμό ροής της ηλεκτρικής ενέργειας και δίνεται από την σχέση $P = U \cdot I$ (Watts).

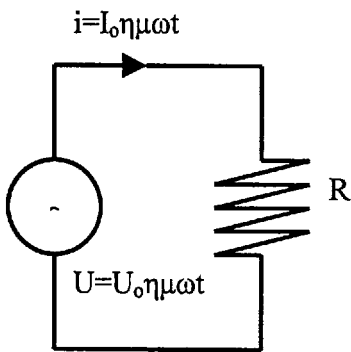
Στο εναλλασσόμενο ρεύμα ισχύει η παραπάνω σχέση αν εξετάσουμε τα μεγέθη σε μια ορισμένη χρονική στιγμή, εάν δηλαδή πάρουμε τις στιγμιαίες τιμές.

Στιγμιαία ισχύς $p = u \cdot i$. είναι ο στιγμιαίος ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια καταναλώνεται μέσα σε μια αντίσταση.

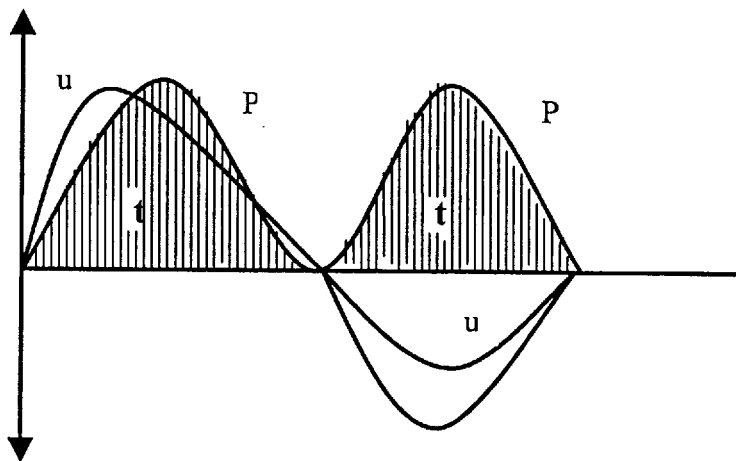
2. Ισχύς σε ωμική αντίσταση

Εάν σε ωμική αντίσταση R εφαρμόσουμε εναλλασσόμενη τάση $u = U_0 \cdot \eta\mu\omega t$ θα κυκλοφορήσει ένα ρεύμα και αυτό εναλλασσόμενο συμφασικό με τάση $i = I_0 \eta\mu^2\omega t$.

Η ισχύς της αντίστασης θα είναι $P = u \cdot i$, $p = U_0 \eta\mu\omega t \cdot I_0 \eta\mu\omega t = U_0 I_0 \eta\mu^2\omega t$ από την τριγωνομετρία $\eta\mu^2\alpha = \frac{1}{2}(1 - \sigma\upsilon\nu 2\alpha)$ άρα $P = U_0 I_0 / 2 (1 - \sigma\upsilon\nu 2\omega t)$



Σχήμα 1



Η γραφική παράσταση της ισχύος της αντίστασης R , προκύπτει, εάν πολλαπλασιάσουμε τις στιγμιαίες τιμές u και I την ίδια χρονική στιγμή.

Από το σχήμα (σχ. 1) διαπιστώνουμε ότι η ισχύς είναι πάντα θετική με συχνότητα διπλάσια της τάσης και μεταβάλλεται μεταξύ των τιμών $p=0$ και $p=P_0=U_0 I_0$.

Η μέση τιμή της ισχύος είναι:

$$P = U_o I_o / 2 = P_o / 2 = U \cdot I$$

(Γιατί $U = U_o / 2$ και $I = I_o / \sqrt{2}$)

Η μέση τιμή στο μέγεθος $-\sin 2\omega t$ είναι ίση με μηδέν.

Επομένως η μέση τιμή της ισχύος που ονομάζεται και πραγματική ισχύς σε ωμικό καταναλωτή είναι $P = U \cdot I$.

3. Ισχύς σε ιδανικό πηνίο και πυκνωτή

Όπως κάναμε και με την αντίσταση, την στιγμιαία τιμή της ισχύος του πηνίου ή του πυκνωτή την βρίσκουμε από το γινόμενο των στιγμιαίων τιμών τάσεων και εντάσεων στο αντίστοιχο στοιχείο.

Ας εξετάσουμε την ιδανική περίπτωση που το παθητικό στοιχείο είναι πηνίο και εφαρμόζουμε τάση $u = U_o \eta \mu \omega t$.

Το ρεύμα που θα προκύψει είναι της μορφής

$$i = I_o \eta \mu(\omega t - \pi/2)$$

Τότε η στιγμιαία ισχύς είναι

$$P = u \cdot i = U_o \eta \mu \omega t \cdot I_o \eta \mu(\omega t - \pi/2)$$

Επειδή

$$\eta \mu(\omega t - \pi/2) = -\sin \omega t$$

και

$$2\eta \mu \omega t \cdot \sin \omega t = \eta \mu 2\omega t$$

έχουμε

$$P = -1/2 U_o I_o \eta \mu 2\omega t$$

Η μέση τιμή δίνεται από τον τύπο:

$$P = 1/T \int_0^T P dt = U_o I_o / 2T \int_0^T \eta \mu 2\omega t \cdot dt$$

Λύνοντας τα ο παραπάνω ολοκλήρωμα προκύπτει $P = 0$

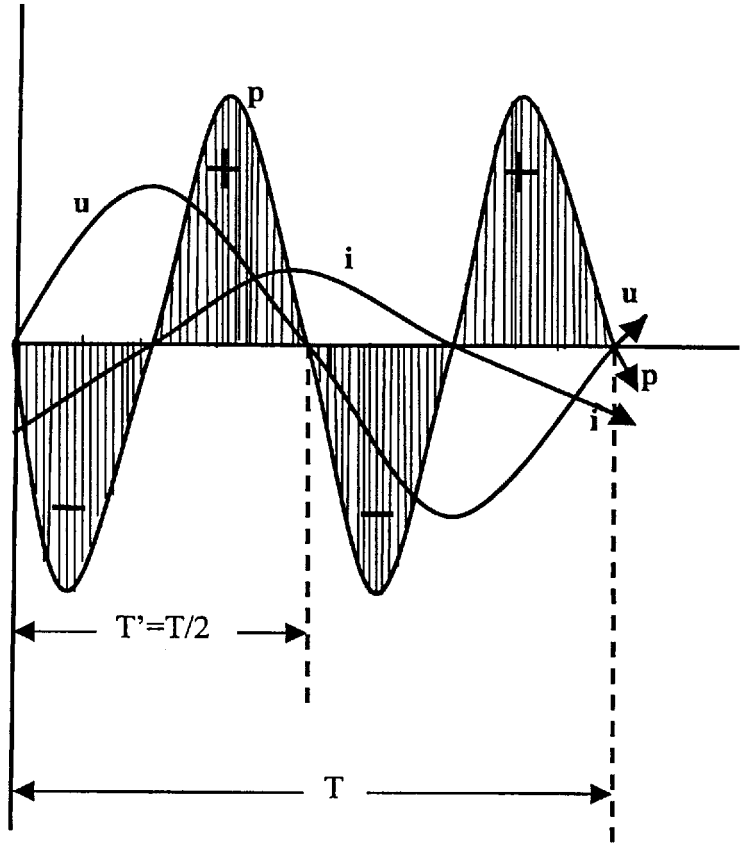
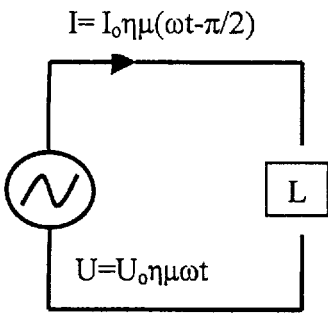
Από την γραφική παράσταση της ισχύος στο σχήμα 2 προκύπτει ότι:

Όταν τα u και i είναι και τα δύο θετικά ή αρνητικά η ισχύς p είναι θετική και η πηγή δίνει ενέργεια στο πηνίο.

Όταν τα u και i έχουν αντίθετα πρόσημα η ισχύς είναι αρνητική και η ενέργεια επιστρέφει από το πηνίο στην πηγή.

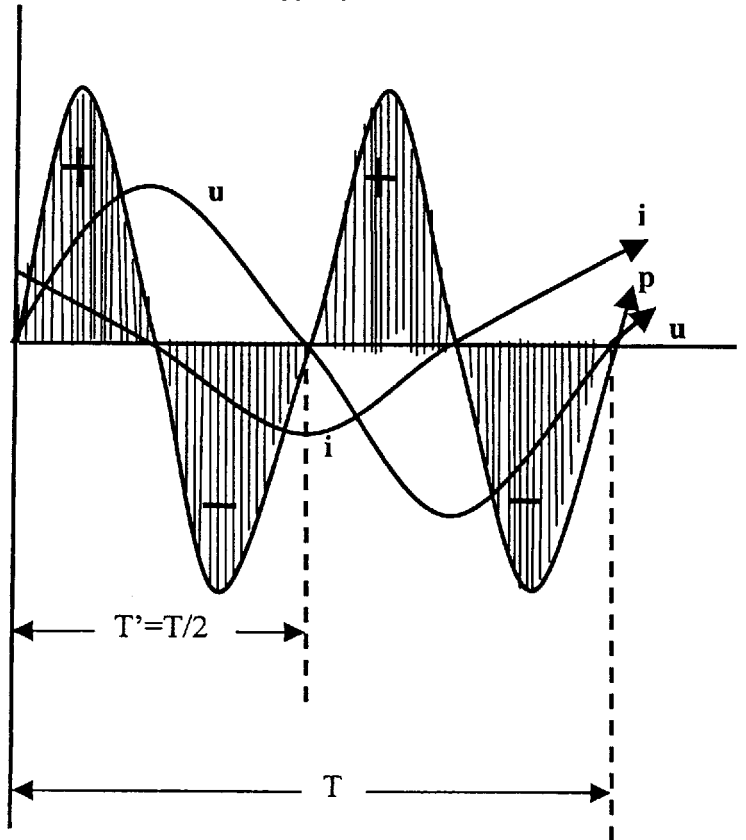
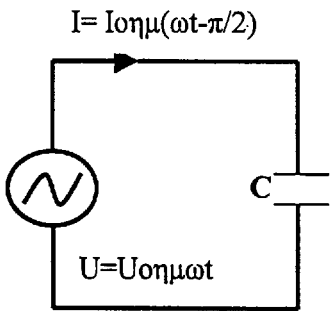
Η ισχύς έχει διπλάσια συχνότητα από την τάση ή το ρεύμα.

Η μέση τιμή της ισχύος P είναι μηδέν όταν υπολογίζεται για μια περίοδο T .



Σχήμα 2

Για ένα καθαρά χωρητικό κύκλωμα θα έχουμε:



Σχήμα 3

$$u = U_0 \eta \mu \omega t$$

$$i = I_0 \eta \mu(\omega t + \pi/2)$$

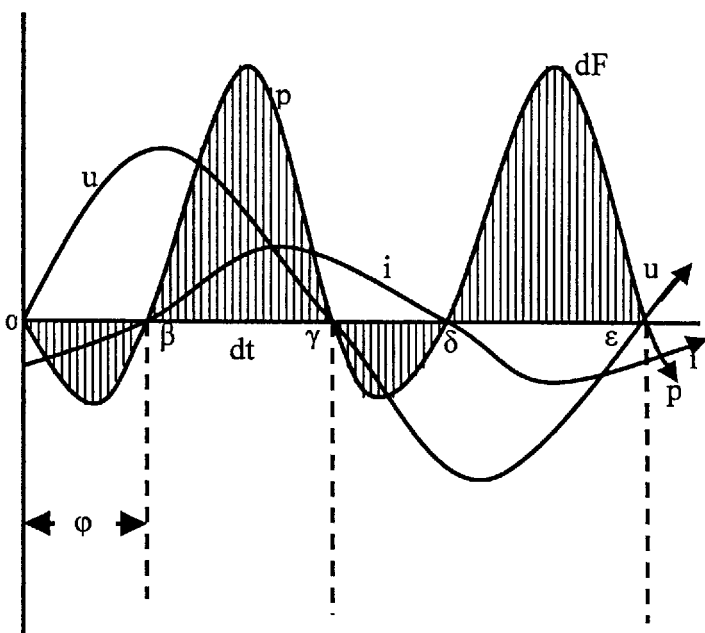
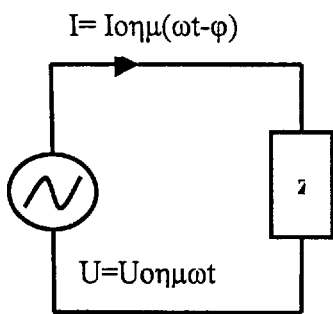
$$\text{και } P = u \cdot i = U_0 I_0 \eta \mu \omega t \cdot \eta \mu(\omega t + \pi/2) \Rightarrow$$

$$P = \frac{1}{2} U_0 I_0 \eta \mu 2\omega t$$

$$\text{Η μέση τιμή ισχύος } P = \frac{1}{T} \int_0^T p \cdot dt = 0$$

Επομένως θα πάρουμε ανάλογα αποτελέσματα όπως στο ιδανικό πηνίο.

4. Ισχύς σε κύκλωμα R.L.C.



Σχήμα 4

Έστω ότι σε σύνθετη αντίσταση Z εφαρμόζουμε εναλλασσόμενη τάση $u = U_0 \eta \mu \omega t$. Προκύπτει ρεύμα $I = I_0 \eta \mu(\omega t - \phi)$.

Η φασική γωνία ϕ θα είναι θετική ή αρνητική ανάλογα με τον επαγωγικό ή χωρητικό χαρακτήρα της αντίστασης Z .

Η στιγμιαία ισχύς είναι:

$$P = u \cdot i = U_0 \eta \mu \omega t \cdot I_0 \eta \mu(\omega t - \phi)$$

$$\text{Επειδή } \eta \mu \alpha \eta \mu \beta = [\sin(\alpha - \beta) - \sin(\alpha + \beta)]$$

$$\text{και } \sin(-\alpha) = -\sin(\alpha)$$

$$\text{Τότε } P = \frac{1}{2} U_0 I_0 [\sin \phi - \sin(2\omega t - \phi)]$$

Από την παραπάνω εξίσωση διαπιστώνουμε ότι η ισχύς p προκύπτει από το άθροισμα δύο συνιστωσών.

α. Από μια σταθερή χρονικά συνιστώσα

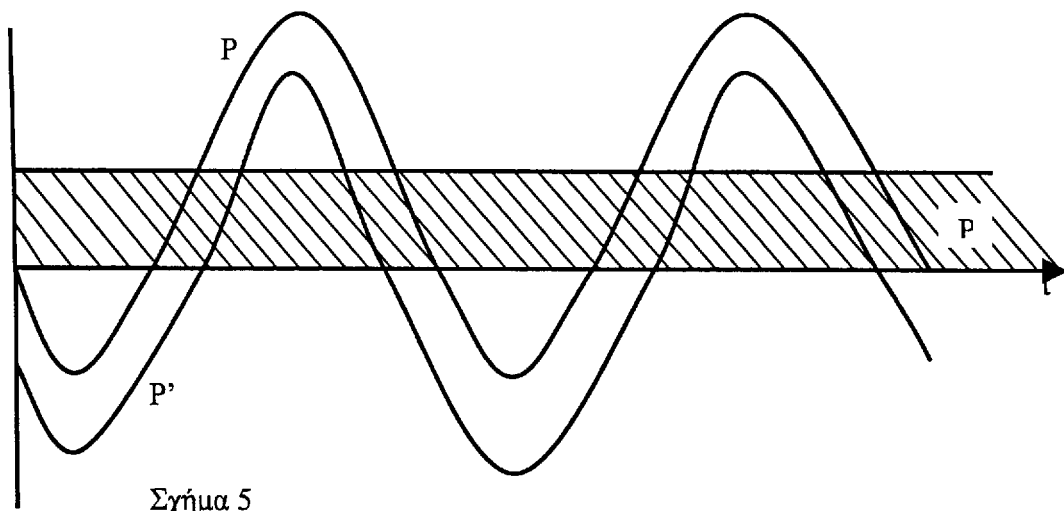
$$P = \frac{1}{2} U_0 I_0 \cos\varphi$$

Η ισχύς αυτή έχει πάντοτε θετική τιμή και ονομάζεται πραγματική ισχύς. (Η γωνία φ μεταξύ -90° και $+90^\circ$, οπότε $0 < \cos\varphi < 1$).

β. Από μια εναλλασσόμενη συνιστώσα

$$P' = -1/2 U_0 I_0 \cos(2\omega t - \varphi)$$

που μεταβάλλεται περιοδικά με συχνότητα 2ω Σχ. 5



Η μέση τιμή της p είναι

$$P = 1/T \int_0^T u \cdot i \cdot dt = 1/T U_0 I_0 / 2 \int_0^T \eta \mu \omega t \cdot \eta \mu (\omega t - \varphi) dt \Rightarrow$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

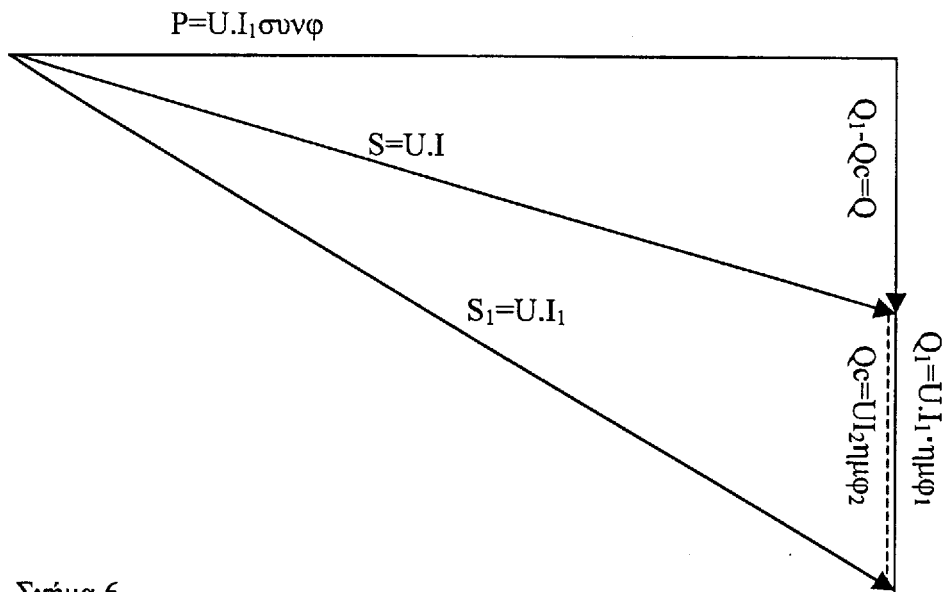
Η μέση τιμή p ονομάζεται και πραγματική ισχύς. Το $\cos\varphi$ ονομάζεται συντελεστής ισχύος. Την πραγματική ισχύ μετράμε σε Watt (W) με όργανα που ονομάζονται Βατόμετρα.

Το γινόμενο $S = U I$ ονομάζεται φαινομένη ισχύς και την μετράμε σε volt·Ampere (VA).

Το γινόμενο $Q = V I \eta \mu \varphi$ έχει διαστάσεις ισχύος αλλά στην πραγματικότητα δεν εκφράζει κάποια καταναλισκόμενη ισχύ που παράγει έργο. Για το λόγο αυτό ονομάζεται άεργη ισχύς και μετράται σε (VAr).

Σημειώνεται ότι οι μονάδες (W) – (VA) και (VAr) εκφράζουν ισχύ εφόσον προκύπτουν από το γινόμενο $1V \cdot 1A$ και διαφέρουν μόνο στο ότι χαρακτηρίζουν διαφορετικά είδη ισχύος.

5. Τρίγωνο ισχύος



Σχήμα 6

Από το τρίγωνο ισχύος παρατηρούμε ότι η ισχύς που μας παρέχει έργο είναι μόνο η πραγματική ισχύς $P = U \cdot I \cdot \cos \phi$.

Η άεργη ισχύς μας δημιουργεί μεταφορά ενέργειας από την πηγή στην κατανάλωση και το αντίστροφο με μόνο αποτέλεσμα την επιβάρυνση της γραμμής μεταφοράς με την μεταφορά μιας μεγάλης ποσότητας φαινόμενης ισχύος.

Με τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος προσπαθούμε να μειώσουμε την άεργη ισχύ, προσθέτοντας στην επαγωγική άεργη ισχύ, άεργη ισχύ αντίθετης φοράς, δηλαδή χωρητική.

Έτσι η απαιτούμενη άεργη ισχύς σε επαγωγική κατανάλωση δεν δίνεται εξολοκλήρου από την πηγή (γεννήτρια ή Μετασχηματιστή) καταπονώντας τις γραμμές μεταφοράς και την πηγή με μεγαλύτερη ένταση I , αλλά από μια χωρητική κατανάλωση (κοντά στην επαγωγική) η οποία εναλλάσσει άεργη ενέργεια με την επαγωγική κατανάλωση.

Εάν η επαγωγική ισχύς είναι ίση με την χωρητική τότε $\cos \phi = 1$ και $P = S = UI$.

Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος γίνεται με την προσθήκη χωρητικής άεργης ισχύος με τέτοιο τρόπο που η φαινόμενη ισχύς της πηγής να μειώνεται ενώ το ρεύμα και η τάση του φορτίου να παραμένουν σταθερά.

Αυτά πετυχαίνονται με την σύνδεση πυκνωτή παράλληλα με το επαγωγικό φορτίο.

6. Ισχύς στην ημιτονοειδή μόνιμη κατάσταση- μέση ισχύς p

Ας εξετάσουμε την περίπτωση του παθητικού δικτύου. Έστω ότι η τάση τροφοδοσίας είναι:

$$U(t) = U_m \cdot \sin \omega t$$

Και έστω ότι προκύπτει ρεύμα ίσο με:

$$I(t) = I_m \cdot \sin(\omega t - \theta)$$

Όπου θ η φασική γωνία που θα είναι θετική ή αρνητική ανάλογα με τον επαγωγικό ή χωρητικό χαρακτήρα του δικτύου. Τότε η στιγμιαία ισχύς θα είναι:

$$P(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m \cdot I_m \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \theta) \quad (1)$$

Απ' την τριγωνομετρία ξέρουμε ότι:

$$\sin a \cdot \sin b = (1/2) \cdot [\cos(a-b) - \cos(a+b)] \quad (2)$$

$$\cos(-a) = \cos a \quad (3)$$

Απ' τις σχέσεις (1), (2), (3) $\Rightarrow p(t) = (1/2) \cdot U_m \cdot I_m \cdot [\cos(\omega t - \omega t + \theta) - \cos(\omega t + \omega t - \theta)] \Rightarrow$

$$\Rightarrow p(t) = (1/2) \cdot U_m \cdot I_m \cdot [\cos \theta - \cos(2\omega t - \theta)]$$

$$\Rightarrow p(t) = (1/2) \cdot U_m \cdot I_m \cdot \cos \theta - (1/2) \cdot U_m \cdot I_m \cdot \cos(2\omega t - \theta)$$

Άρα η στιγμιαία ισχύς $p(L)$ είναι άθροισμα, ενός ημιτονοειδούς όρου

$$-1/2 \cdot U_m \cdot I_m \cdot \cos(2\omega t - \theta)$$

με μέση τιμή μηδέν και ενός σταθερού όρου

$$1/2 \cdot U_m \cdot I_m \cdot \cos \theta$$

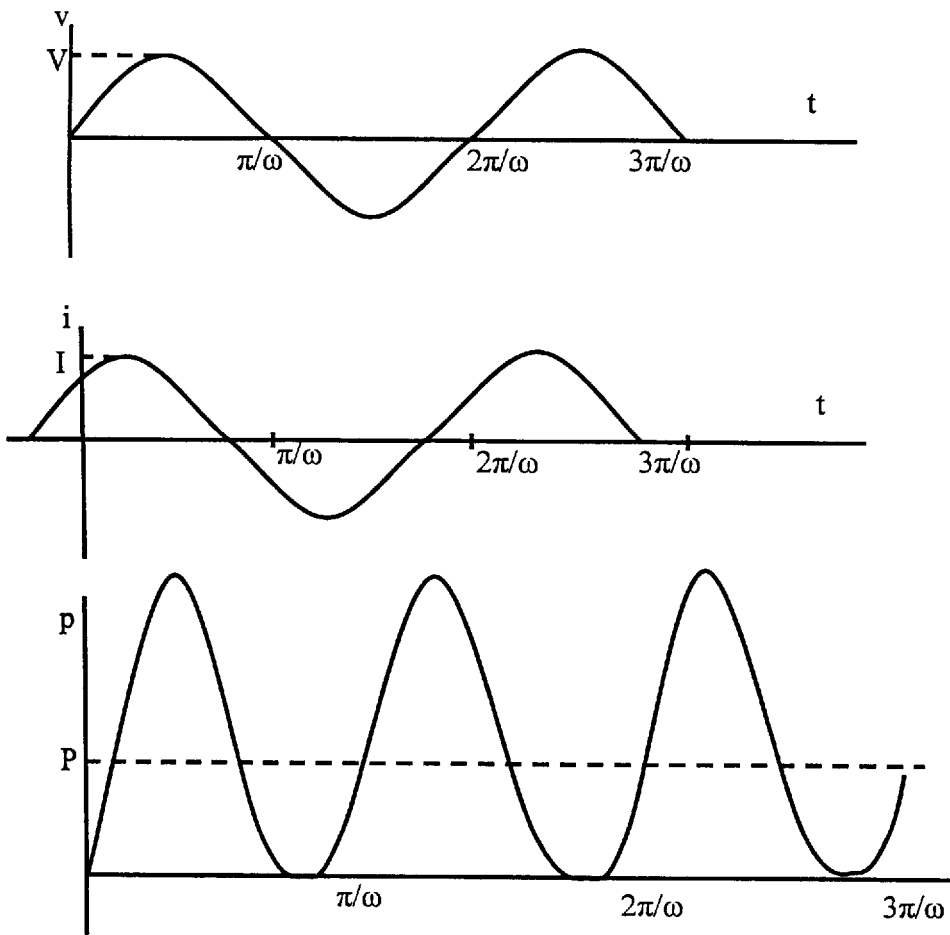
Έτσι η μέση τιμή (ή ενεργός ισχύς) ορίζεται:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \theta$$

$$\text{όπου } U = U_m/2$$

$$I = I_m/2$$

Ο όρος $\cos \theta$ ονομάζεται συντελεστής ισχύος (ΣI). Η γωνία θ είναι η γωνία μεταξύ της U και I και η τιμή της κυμαίνεται πάντα μεταξύ $\pm 90^\circ$. Γι' αυτό το $\cos \theta$ και η P είναι πάντα θετικά. Για να δηλώσουμε όμως το πρόσημο της θ , λέμε ότι ένα επαγωγικό κύκλωμα όπου το ρεύμα μεταπορεύεται της τάσεως, έχει ΣI μεταπορείας. Αντίστοιχα, σ' ένα χωρητικό κύκλωμα το ρεύμα προπορεύεται της τάσεως και το κύκλωμα έχει συντελεστή ισχύος προπορείας.



Σχήμα 2

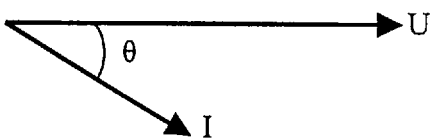
Η μέση ενεργός ισχύς μπορεί να υπολογιστεί απ' την σχέση:

$$P = (1/T) \int_0^T p \, dt \quad (W)$$

Έτσι για μιγαδικά μεγέθη έχουμε:

$$\dot{U} = U \cdot \underline{10^\circ} \quad (V)$$

$$\dot{I} = I \cdot \underline{1-\theta^\circ} \quad (A)$$



Σχήμα 3 Φασικό διάγραμμα τάσης και έντασης

Η ενεργός ισχύς είναι:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\theta \quad (\text{W})$$

7. Φαινομένη ισχύς

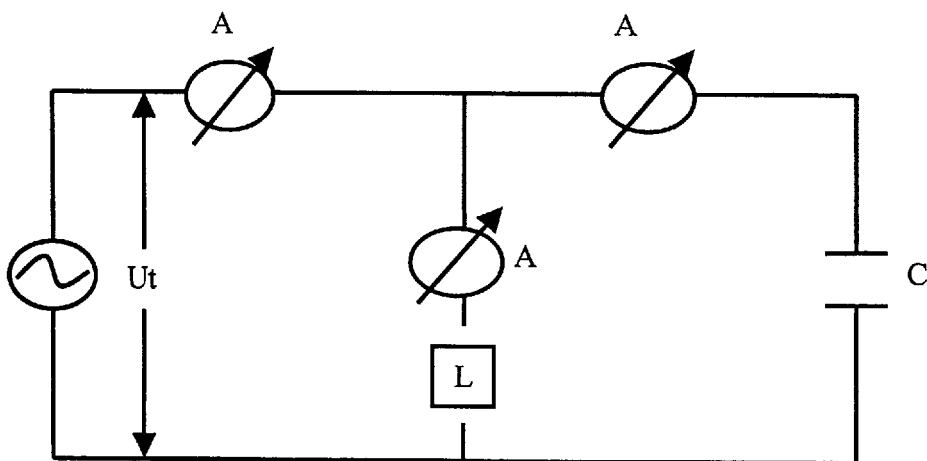
Φαινομένη ισχύς ονομάζουμε το γινόμενο του μέτρου της τάσεως επί το μέτρο της εντάσεως. Δηλαδή:

$$S = U \cdot I \quad (\text{VA})$$

$$\text{Με } \dot{S} = \dot{U} \cdot \dot{I} = P + jQ \quad (\text{VA})$$

8. Άεργη ισχύς

Για την κατανόηση της φυσικής έννοιας της άεργου ισχύος θα κάνουμε το εξής παράδειγμα:



Σχήμα 4

Έτσι έχουμε:

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$$

Άεργος είναι μια μορφή ενέργειας η οποία κατανέμεται σε δυο συνιστώσες(μαγνητική- πηνίο, ηλεκτρική- πυκνωτής) η οποία ταλαντεύεται μετατρέπόμενη από ηλεκτρική σε μαγνητική και το αντίστροφα, μη προσφέροντας κάποιο έργο (άεργη) και παραμένοντας πάντα εντός του συστήματος.

Σε αντίθεση με την ενεργό ισχύ, η οποία προσφέρει έργο είτε μετατρέπόμενη σε θερμότητα ($I^2 \cdot R$) είτε μετατρέπόμενη σε μηχανική ισχύ ($T \cdot \Omega$). Στην περίπτωση αυτή η ενέργεια «φεύγει» από το σύστημα και ποτέ δεν ξαναεπιστρέφει στο σύστημα.

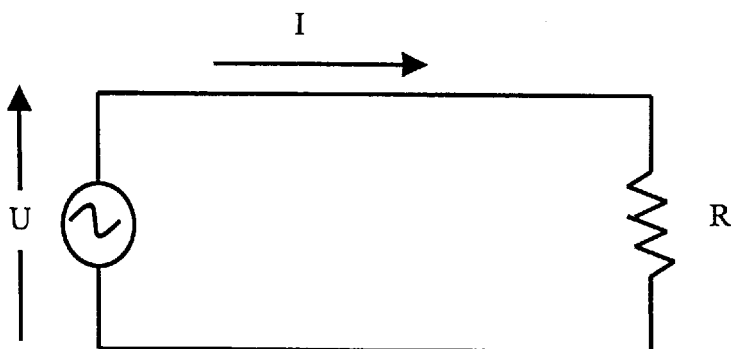
Το μέτρο της άεργου ισχύος είναι:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\theta \quad (\text{VAr})$$

Όπου θ : η διαφορά γωνίας μεταξύ τάσεως και εντάσεως $\sin(U, I)$

9. Σχέση τάσης- έντασης- ισχύς με φορτία

I. ΚΑΘΑΡΑ ΩΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ



Σχήμα 5



Σχήμα 6 Φασικό διάγραμμα

Έστω το παραπάνω απλό κύκλωμα όπου η τάση τροφοδοσίας είναι:

$$\dot{U} = U \underline{10^\circ} = U \cdot (\cos 0 + j \sin 0) = U \cdot \cos 0 = U \quad (\text{V})$$

Τότε το ρεύμα που προκύπτει είναι:

$$\dot{I} = \dot{U}/R = (U/R) \underline{10^\circ} = I \cdot \underline{10^\circ} = I \cdot \cos 0 + j \sin 0 = I \quad (\text{A})$$

Όπου $I = U/R$

Το ρεύμα που προκύπτει είναι της ίδιας συχνότητας και φάσης. Έτσι η ενεργός ισχύς είναι:

$$P = U \cdot I \cdot \cos(U, I) = U \cdot I \cdot \cos 0 = U \cdot I \Rightarrow P > 0 \quad (\text{W})$$

Η φαινόμενη ισχύς είναι

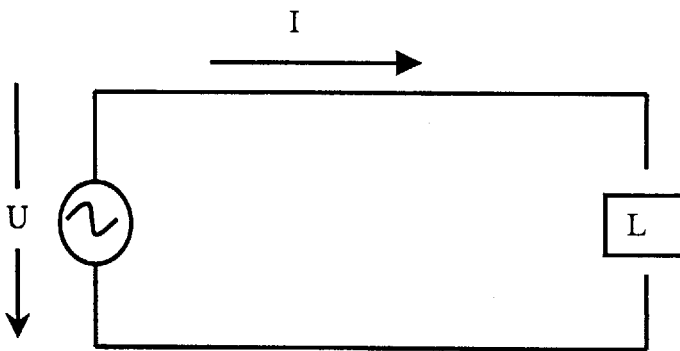
$$S = U \cdot I \Rightarrow S > 0 \quad (\text{VA})$$

Ενώ η άεργη ισχύς είναι:

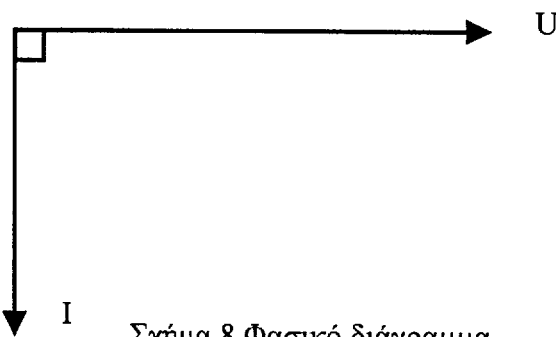
$$Q = U \cdot I \cdot \sin(U, I) = U \cdot I \cdot \sin 0 \Rightarrow Q = 0 \quad (\text{VAr})$$

Άρα $\dot{S} = \dot{U} \cdot \dot{I} = U \cdot I = P$

II. ΚΑΘΑΡΑ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ



Σχήμα 7



Σχήμα 8 Φασικό διάγραμμα

Έστω το παραπάνω απλό κύκλωμα όπου η τάση τροφοδοσίας είναι:

$$\dot{U} = U \angle 0^\circ = U \cdot (\cos 0 + j \sin 0) = U \cdot \cos 0 = U \quad (\text{V})$$

Τότε το ρεύμα που θα προκύπτει είναι:

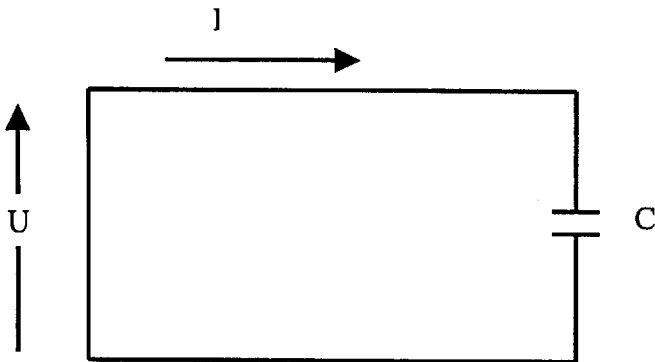
$$\dot{I} = \dot{U} / jX_1 = (U/X_1) \angle 0^\circ - 90^\circ = I \angle -90^\circ = I \cdot [\cos(-90) + j \sin(-90)] = -jI$$

όπου: $I = U / X_1$

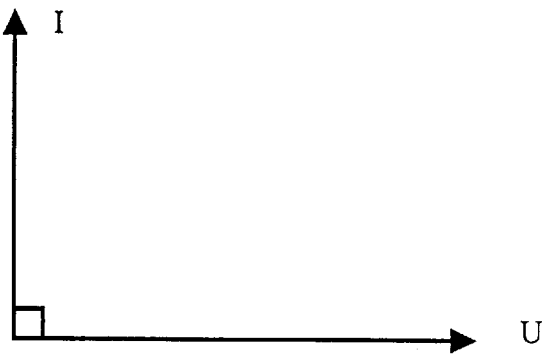
Έτσι η ισχύς είναι:

Ενεργός ισχύς: $P = U \cdot I \cdot \cos(U, I) = U \cdot I \cdot \cos(0 - (-90)) = U \cdot I \cdot \cos 90 = 0 \quad (\text{W})$
 Άεργος ισχύς: $Q = U \cdot I \cdot \sin(U, I) = U \cdot I \cdot \sin(0 - (-90)) = U \cdot I \cdot \sin 90 = U \cdot I > 0 \quad (\text{VAr})$
 Φαινομένη ισχύς: $S = U \cdot I = Q$

III. ΚΑΘΑΡΑ ΧΩΡΗΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ.



Σχήμα 9



Σχήμα 10 Φασικό διάγραμμα

Έστω ότι το παραπάνω κύκλωμα όπου η τάση τροφοδοσίας είναι:

$$\dot{U} = U \underline{0^\circ} = U \cdot (\cos 0 + j \sin 0) = U \cdot \cos 0 = U \quad (\text{V})$$

Τότε το ρεύμα που προκύπτει είναι:

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{U} / -jX_c = (U/X_c) \underline{0^\circ + 90^\circ} = I \underline{90^\circ} = \\ &= I [\cos(-90) + j \sin(-90)] = jI \quad (\text{A}) \end{aligned}$$

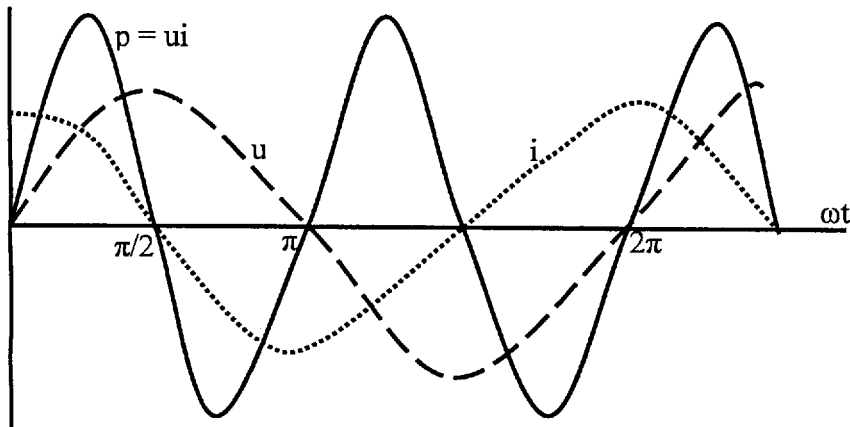
όπου $I = U / X_c$

Έτσι η ισχύς είναι:

Ενεργός ισχύς: $P = U \cdot I \cdot \cos(U, I) = U \cdot I \cdot \cos(0-90) = 0 \quad (\text{W})$

Άεργος ισχύς: $Q = U \cdot I \cdot \sin(U, I) = U \cdot I \cdot \sin(0-90) = -U \cdot I \quad (\text{VAr})$

Φαινομένη ισχύς: $S = U \cdot I = -Q \quad (\text{VA})$



Σχήμα 11

Για την αποσαφήνιση των εννοιών θετικής και αρνητικής ισχύος αναφέρονται τα εξής:

- Οι ωμικές αντιστάσεις απορροφούν ενεργό ισχύ $P > 0$, $Q = 0$
- Οι επαγωγικές αντιδράσεις απορροφούν άεργο ισχύ $P = 0$, $Q > 0$
- Οι χωρητικές αντιδράσεις παρέχουν άεργη ισχύ (απορροφούν αρνητική άεργο ισχύ) $P = 0$, $Q < 0$
- Οι ασύγχρονοι κινητήρες απορροφούν άεργη και ενεργό ισχύ $P > 0$, $Q > 0$
- Οι σύγχρονες μηχανές παράγουν ενεργό ισχύ όταν λειτουργούν ως γεννήτριες και καταναλίσκουν θετική ενεργό ισχύ όταν λειτουργούν ως κινητήρες.

Η φορά της άεργης ισχύος δεν εξαρτάται από την λειτουργία των σύγχρονων μηχανών ως γεννήτριες ή ως κινητήρες, αλλά από το μέγεθος του ρεύματος διέγερσης.

Υπερδιεγερμένες σύγχρονες μηχανές (σύγχρονοι κινητήρες) παρέχουν άεργο ισχύ όπως οι πυκνωτές (σύγχρονοι πυκνωτές). Υποδιεγερμένες σύγχρονες μηχανές «συμπληρώνουν» την άεργο ισχύ που απαιτείται για την ανάπτυξη του μαγνητικού τους πεδίου απορροφώντας άεργο ισχύ από το δίκτυο.

10. 3-Φασικά συστήματα

Υπάρχουν δυο τριφασικά συστήματα. Το σύστημα ABC και το CBA.

I. Το σύστημα ABC

$$U_{AB} = U_{\pi} \angle 120^{\circ}$$

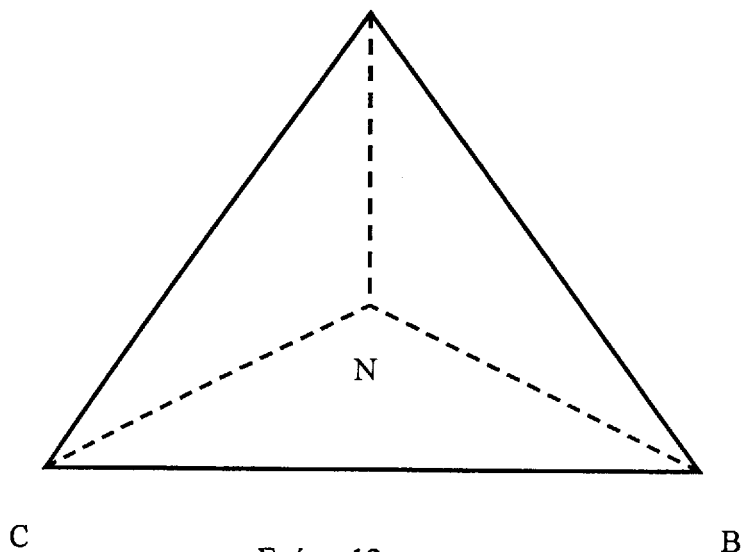
$$U_{BC} = U_{\pi} \angle 0^{\circ}$$

$$U_{CA} = U_{\pi} \angle 240^{\circ}$$

$$U_{AN} = (U_{\pi} / \sqrt{3}) \angle 90^{\circ}$$

$$U_{BN} = (U_{\pi} / \sqrt{3}) \angle -30^{\circ}$$

$$U_{CN} = (U_{\pi} / \sqrt{3}) \angle -150^{\circ}$$



II. Το σύστημα CBA

$$U_{AB} = U_{\pi} \angle 240^{\circ}$$

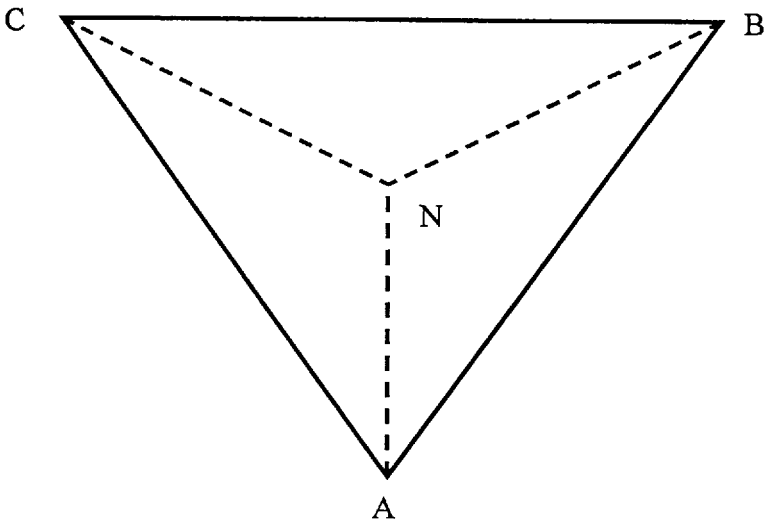
$$U_{BC} = U_{\pi} \angle 0^{\circ}$$

$$U_{CA} = U_{\pi} \angle 120^{\circ}$$

$$U_{AN} = (U_{\pi} / \sqrt{3}) \angle -90^{\circ}$$

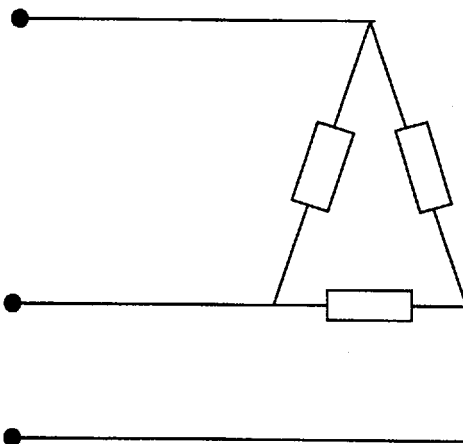
$$U_{BN} = (U_{\pi} / \sqrt{3}) \angle 30^{\circ}$$

$$U_{CN} = (U_{\pi} / \sqrt{3}) \perp 150^{\circ}$$

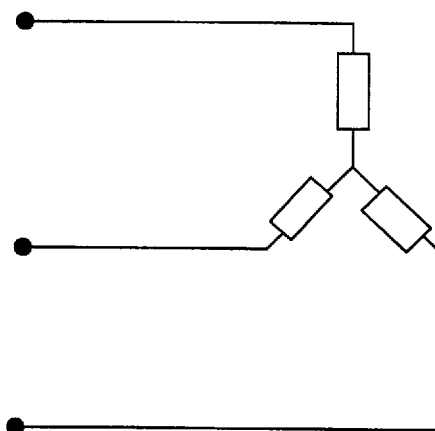


Σχήμα 13

11. Ισχύς συμμετρικών τριφασικών φορτίων



Σχήμα 14



Σχήμα 15

Και για τρίγωνο και για αστέρα οι ολικές ισχύεις είναι:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{\pi} \cdot I_{\gamma} \cdot \cos\theta = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos\theta$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_{\pi} \cdot I_{\gamma} \cdot \sin\theta = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin\theta$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_{\pi} \cdot I_{\gamma} = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi}$$

Τα πιο πάνω ισχύουν για συμμετρική φόρτιση για ζεύξη γεννητριών και φορτίου σε τρίγωνο ή σε αστέρα και με ακολουθία φάσεων της γεννήτριας θετική ή αρνητική.

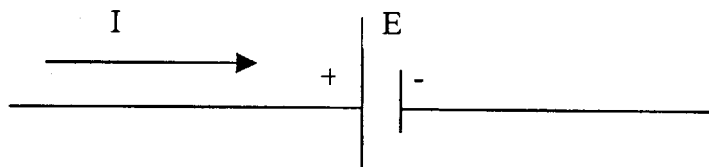
12. Διεύθυνση ροής ισχύος

Η σχέση μεταξύ P , Q και τάσης ζυγού U ή παραγόμενης τάσης E σε συνδυασμό με τα πρόσημα των P , Q είναι σημαντική όταν θεωρείται η ροή ισχύος σε ένα σύστημα.

Το ερώτημα είναι η διεύθυνση ροής ισχύος, δηλαδή αν παρέχεται ή αν απορροφάται ισχύς όταν προδιαγράφεται η τάση και το ρεύμα.

Το ερώτημα αν παρέχεται ισχύς σε ένα κύκλωμα ή απορροφάται, είναι μάλλον εύκολο να απαντηθεί για ένα κύκλωμα Σ.Ρ.

Αν θεωρήσουμε την σχέσης ρεύματος και τάσης που δείχνεται στο σχήμα 18, όπου το συνεχές ρεύμα I ρέει από μια μπαταρία.



Σχήμα 16 Παράσταση φόρτισης μπαταρίας αν τα E και I είναι και τα δυο θετικά ή αρνητικά

Αν $I=10A$ και $E=100V$, η μπαταρία φορτίζεται (απορροφά ενέργεια)

με:

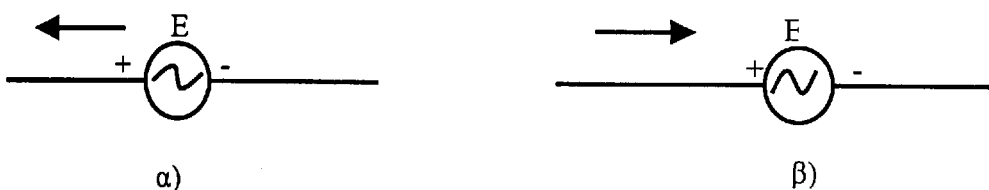
$$P = E \cdot I = 1.000 \text{ [W]}$$

Εξάλλου με το βέλος προς την κατεύθυνση του σχήματος 18 , το ρεύμα θα μπορούσε να είναι $I = -10A$. Επειδή η συμβατική φορά του ρεύματος είναι αντίθετη προς τη φορά που δείχνει το βέλος, η μπαταρία εκφορτίζεται (παρέχει ενέργεια) και το γινόμενο της E και I θα είναι:

$$P = E \cdot I = -1.000 \text{ [W]}$$

Σχεδιάζοντας το σχήμα 18 με το I να ρέει απ' το θετικό προς τον αρνητικό ακροδέκτη, φαίνεται ότι η μπαταρία φορτίζεται, αλλά αυτό συμβαίνει μόνο όταν τα E και I είναι θετικά, έτσι ώστε η ισχύς που υπολογίζεται ως γινόμενο των E και I είναι θετική. Με αυτή τη σχέση μεταξύ E και I το θετικό πρόσημο για την ισχύ σημειώνεται προφανώς για φόρτιση της μπαταρίας.

Αν αντιστραφεί η διεύθυνση του βέλους για το I στο σχήμα 18 τότε η εκφόρτιση της μπαταρίας δείχνεται με θετικό πρόσημο για το I και την ισχύ. Έτσι το διάγραμμα του κυκλώματος καθορίζει αν το θετικό πρόσημο για την ισχύ συνδέεται με την φόρτιση ή την εκφόρτιση της μπαταρίας. Αυτή η εξήγηση μοιάζει να είναι περιττή , αλλά παρέχει τις βάσεις για την ερμηνεία των σχέσεων του κυκλώματος $E.P$.



Σχήμα 17 Παράσταση κυκλώματος $E.P$.

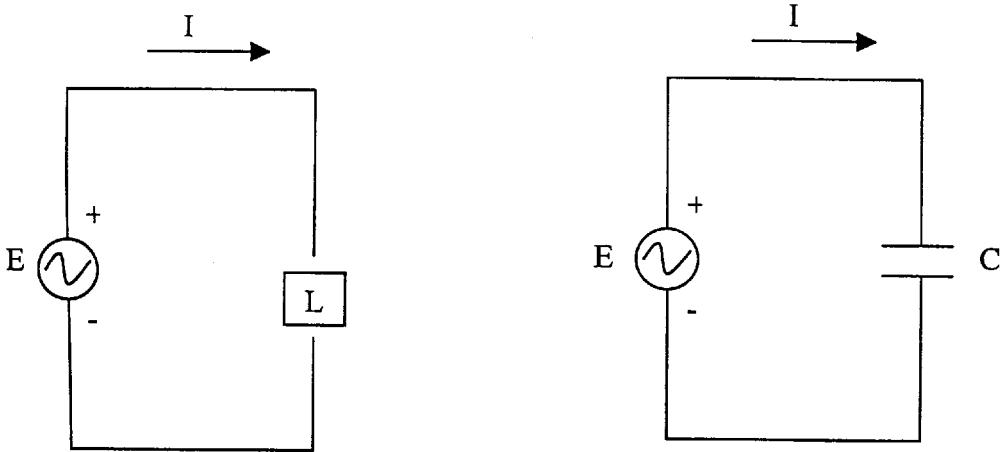
Για ένα σύστημα E.P. το σχήμα 19 δείχνει μια παραγόμενη τάση, μια ιδανική πηγή τάσης (σταθερού μεγέθους, Σταθερής συχνότητας, μηδενικής αντιστάσεως) με σημεία πολικότητας που ως συνήθως δείχνουν τον ακροδέκτη που είναι θετικός κατά την διάρκεια του μισού κύκλου θετικής στιγμιαίας τάσης. Φυσικά ο σημειωμένος θετικά ακροδέκτης είναι στην πραγματικότητα ο αρνητικός ακροδέκτης κατά της διάρκεια του αρνητικού μισού κύκλου της στιγμιαίας τάσης. Όμοια το βέλος δείχνει την κατεύθυνση του ρεύματος κατά την διάρκεια του θετικού μισού κύκλου του ρεύματος.

Στο σχήμα 17(α) αναμένεται μια γεννήτρια επειδή το ρεύμα είναι θετικό όταν ρέει από τον θετικά σημειωμένο ακροδέκτη προς τα έξω. Όμως ο θετικά σημειωμένος ακροδέκτης μπορεί να είναι αρνητικός όταν το ρεύμα ρέει από αυτόν προς τα έξω. Η προσέγγιση για την κατανόηση του προβλήματος γίνεται με την ανάλυση του διανύσματος I σε μια συνιστώσα κατά μήκος του άξονα του διανύσματος E και μια συνιστώσα κάθετη στον άξονα του E . Το γινόμενο του $|E|$ και του $|I|$ κατά μήκος του άξονα του E είναι P . Το γινόμενο του $|E|$ και του μέτρου της συνιστώσας του I που είναι κάθετη στον άξονα του E είναι Q . Αν η συνιστώσα του I κατά μήκος του άξονα E είναι σε φάση με το E , η ισχύς είναι παραγόμενη ισχύς που παρέχεται προς το σύστημα, και για την συνιστώσα αυτή του ρεύματος ρέει πάντα από τον θετικά σημειωμένο ακροδέκτη προς τα έξω όταν αυτός ο ακροδέκτης είναι πραγματικά θετικός (και προς αυτόν τον ακροδέκτη όταν ο ακροδέκτης είναι αρνητικός). Το P το πραγματικό μέρος του $\dot{E} \cdot \dot{I}$, είναι θετικό.

Αν η συνιστώσα του ρεύματος κατά μήκος του άξονα του E είναι αρνητική (διαφορά φάσης 180 από το E), η ισχύς απορροφάται και η κατάσταση είναι αυτή ενός κινητήρα. Το P το πραγματικό μέρος του $\dot{E} \cdot \dot{I}$, θα είναι αρνητικό.

Η σχέση τάσης και ρεύματος μπορεί να είναι όπως δείχνεται στο σχήμα 17(β) οπότε αναμένεται ένας κινητήρας. Εντούτοις θα έχουμε μια μέση ισχύ απορροφούμενη μόνο αν η συνιστώσα του διανύσματος I κατά μήκος του άξονα του διανύσματος E βρεθεί να είναι σε φάση με το E , έτσι ώστε αυτή η συνιστώσα του ρεύματος θα είναι πάντα κατά την διεύθυνση της πώσης δυναμικού. Σ' αυτήν την περίπτωση το P , είναι πραγματικό μέρος του $\dot{E} \cdot \dot{I}^*$, θα είναι θετικό. Αρνητικό P εδώ θα σήμαινε παραγόμενη ισχύς.

Για να βρούμε το πρόσημο του Q , το σχήμα 20 είναι χρήσιμο.



Σχήμα 18 Εναλλασσόμενη ΗΕΔ εφαρμοζόμενη σε στοιχείο (α) καθαρά επαγωγικό (β) καθαρά χωρητικό.

Στο σχήμα 18(α) θετική άεργη ισχύς ίση προς $||I||^2 \cdot X$ παρέχεται στην επαγωγή, επειδή η επαγωγή απορροφά θετικό Q . Επομένως το I ακολουθεί την E κατά 90° , και το Q το φανταστικό μέρος του $\dot{E} \cdot \dot{I}^*$ θα είναι θετικό.

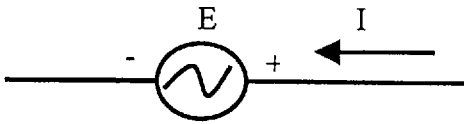
Στο σχήμα 18(β) αρνητικό Q πρέπει να τροφοδοτείται στην χωρητικότητα του κυκλώματος ή η πηγή με ΗΕΔ E δέχεται θετικό Q απ' τον πυκνωτή. Το I προηγείται του E κατά 90° .

Αν η κατεύθυνση του βέλους στο σχήμα 20(α) αντιστραφεί, το I θα προηγείται του E κατά 90° και το φανταστικό μέρος του $\dot{E} \cdot \dot{I}^*$ θα είναι αρνητικό. Η επαγωγή θα παρέχει τότε αρνητικό Q αντί να απορροφά θετική Q .

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει αυτές τις σχέσεις:

Διάγραμμα κυκλώματος	Υπολογισμός απ' το $\dot{E} \cdot \dot{I}^*$
<p>Αναμενόμενη λειτουργία γεννήτριας</p>	<ul style="list-style-type: none"> • $P > 0 \Rightarrow$ Η ΗΕΔ παρέχει ισχύ • $P < 0 \Rightarrow$ Η ΗΕΔ απορροφά ισχύ • $Q > 0 \Rightarrow$ Η ΗΕΔ παρέχει άεργο ισχύ (το I ακολουθεί την U) • $Q < 0 \Rightarrow$ Η ΗΕΔ απορροφά άεργο ισχύ (το I υστερεί απ' την U)

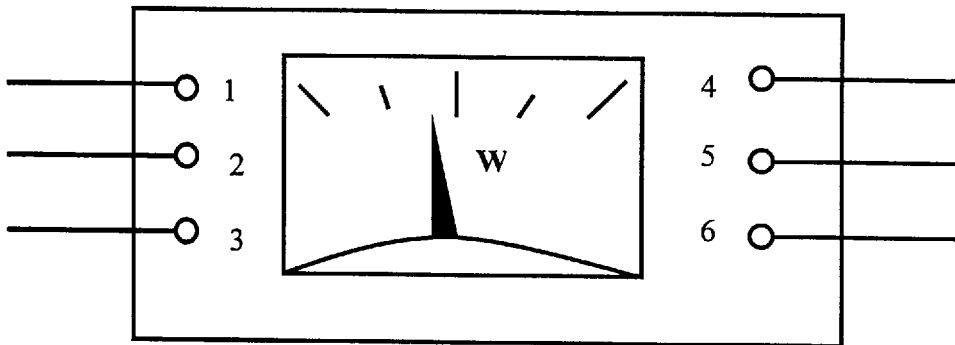
Αναμενόμενη λειτουργία κινητήρα



- $P > 0 \Rightarrow$ Η ΗΕΔ απορροφά ισχύ
- $P < 0 \Rightarrow$ Η ΗΕΔ παρέχει ισχύ
- $Q > 0 \Rightarrow$ Η ΗΕΔ απορροφά άεργο ισχύ (το I ακολουθεί την τάση)
- $Q < 0 \Rightarrow$ Η ΗΕΔ παρέχει άεργο ισχύ (το I υστερεί απ' την τάση)

13. Θετική ή αρνητική ισχύς

Έστω ένα τριφασικό βαττόμετρο σαν αυτό του σχήματος, που έχει 3 ακροδέκτες εισόδου (1, 2, 3) και 3 εξόδου (4, 5, 6).



Σχήμα 21 Διάγραμμα τριφασικού βαττόμετρου

Αν το βαττόμετρο συνδεθεί σε μια τριφασική γραμμή θα δείξει την συνολική πραγματική ισχύ που ρέει στην γραμμή. Αν η διεύθυνση ροής της ισχύος είναι από τους ακροδέκτες εισόδου προς τους ακροδέκτες εξόδου (από τα αριστερά προς τα δεξιά) η ένδειξη θα είναι μέσα στην κλίμακα και θετική.

Αν όμως η ισχύς που ρέει από τα δεξιά προς τα αριστερά, δηλαδή από τους ακροδέκτες εξόδου προς τους ακροδέκτες εισόδου, ο δείκτης του οργάνου θα αποκλίνει προς την αρνητική κατεύθυνση. Στην περίπτωση αυτή δεν μπορεί να γίνει καμιά ανάγνωση εκτός αν υπάρχει διακόπτης αναστροφής του οργάνου.

Άρα η πραγματική ισχύς είναι θετική ή αρνητική σύμφωνα με την διεύθυνση της ροής της. Πρέπει να τονισθεί ότι η πραγματική ισχύς είναι πάντοτε θετική. Αυτό φανερώνεται και από τον τύπο της:

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) \geq 0$$

Το θετικό ή αρνητικό που μπορούμε να βάλουμε λόγω οργάνου έχει φυσική έννοια και μας δείχνει μόνο την ροή ισχύος.

Η διεύθυνση της ροής μπορεί εύκολα να βρεθεί όταν έχουν ορισθεί οι ακροδέκτες εισόδου.

Ομοίως με τους μετρητές ενεργού ισχύος υπάρχουν και οι μετρητές άεργου ισχύος που μπορεί να είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί.

Ομοίως και αυτοί μπορούν να δείξουν ότι η άεργη ισχύ ρέει από τους ακροδέκτες εισόδου προς τους ακροδέκτες εξόδου το όργανο θα δείξει μια θετική ένδειξη.

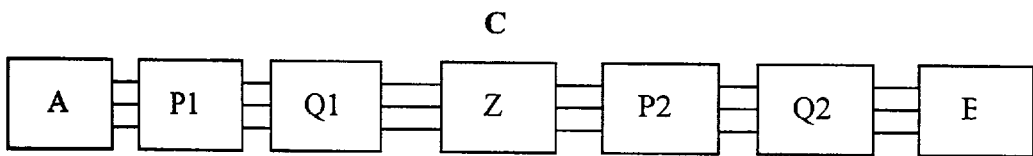
Αντίστροφα αν η ροή της άεργου ισχύος είναι από τους ακροδέκτες εξόδου προς τους ακροδέκτες εισόδου το αποτέλεσμα θα είναι μια αρνητική ένδειξη, την οποία μπορούμε να διαβάσουμε σε συνδυασμό με τον διακόπτη αναστροφής.

Η διεύθυνση ροής της άεργου ισχύος μπορεί εύκολα να βρεθεί όταν ορίσουμε τους ακροδέκτες εισόδου.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Πρέπει να ξεκαθαρίσουμε ότι η ροή πραγματικής και άεργης ισχύος είναι εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους. Δηλαδή η μια δεν επηρεάζει την άλλη.

Για την κατανόηση των παραπάνω θεωρούμε το παρακάτω απλό παράδειγμα:

Έστω ένα δίκτυο C, χωρίς δική του παραγωγή ισχύος που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο A και B.



Σχήμα 22

Η σύνθετη μιγαδική αντίσταση Z αποτελεί τμήμα ενός μεγάλου κυκλώματος (που δεν φαίνεται). Τα βαττόμετρα P1 P2 και τα βαττόμετρα Q1 Q2 έχουν συνδεθεί αριστερά και δεξιά της Z όπως φαίνεται στο σχήμα.

Υποθέτουμε ότι ακροδέκτες εισόδου του κάθε οργάνου είναι στην αριστερή πλευρά του κάθε οργάνου.

Οι ενδείξεις των οργάνων είναι:

$$\begin{aligned} P1 &= 70 \text{ [W]} & P2 &= -40 \text{ [W]} \\ Q1 &= -60 \text{ [VAR]} & Q2 &= -80 \text{ [VAR]} \end{aligned}$$

- Για την ενεργό ισχύ έχουμε:

Επειδή η P_1 είναι θετική, η πραγματική ισχύς P_1 ρέει προς τα δεξιά. Η P_2 όμως είναι αρνητική, έτσι πραγματική ισχύς P_2 ρέει προς τα αριστερά. Κατά συνέπεια δίνονται στο δίκτυο C όπου η μιγαδική αντίσταση απορροφά αντίσταση με:

$$P_{ολ} = P_1 - P_2 = 70 - (-40) = 110 \text{ [W]}$$

- Για την άεργο ισχύ έχουμε :

Η Q_1 είναι αρνητική δηλαδή η άεργος ισχύς Q_1 ρέει προς τα αριστερά. Η Q_2 είναι αρνητική δηλαδή η Q_2 ρέει προς τα αριστερά. Κατά συνέπεια δίνονται στο δίκτυο C που απορροφά η μιγαδική αντίσταση Z συνολική άεργο ισχύ ίση με:

$$Q_{ολ} = Q_1 - Q_2 = -60 - (-80) = 20 \text{ [VAr]}$$

Κεφάλαιο 3

Συντελεστής ισχύος

1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με τα σημερινά τεχνικά δεδομένα, η παραγωγή και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στην χρησιμοποίηση του εναλλασσόμενου ρεύματος. Η διαδικασία αυτή είναι τόσο οικονομικότερη, όσο μικρότερη είναι και η διαφορά φάσεως μεταξύ του ρεύματος και της τάσεως. Ωστόσο, οι κινητήρες, οι μετασχηματιστές και τα στραγγαλιστικά πηνία έχουν την ιδιότητα να καθυστερούν το ρεύμα ως προς την τάση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «φασική απόκλιση». Για την μείωση (αντιστάθμιση) της φασικής απόκλισης χρησιμοποιούνται πυκνωτές ισχύος, οπότε η λειτουργία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων γίνεται οικονομικότερη.

2. Τι είναι ο συντελεστής ισχύος μιας ηλεκτρικής συσκευής

Εξ ορισμού, ο συντελεστής ισχύος (ή το συνημίτονο φ) μιας συσκευής είναι ίσος με το λόγο της ενεργού ισχύος P προς την φαινόμενη ισχύ S .

$$\text{συν}\varphi = \frac{P}{S}$$

P είναι η ενεργός ισχύς που απορροφά η ηλεκτρική συσκευή από το δίκτυο S η φαινόμενη ισχύς.

Παράδειγμα

Ένας τριφασικός κινητήρας τροφοδοτείται από δίκτυο 220/380 V και απορροφά ενεργό ισχύ 50 KW με ένταση 95A.

Στην περίπτωση αυτή, έχουμε:

$$\text{Πολική τάση } U = 0.38 \text{ KV}$$

$$I = 95 \text{ A}$$

$$S = \sqrt{3}UI = \sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 95 = 62.5 \text{ KVA}$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = 50/62,5 = 0,8$$

Σημείωση: Η απορροφούμενη ισχύς P είναι:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \quad (2)$$

Η άεργη ισχύς Q, που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο, είναι:

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \eta\mu\phi \quad \text{ή} \quad Q = P \cdot \epsilon\phi\phi \quad (3)$$

Στην περίπτωση μας, $\eta\mu\phi = 0,6$ και $\epsilon\phi\phi = 0,75$

Και $Q = \sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 95 \cdot 0,6 = 37,5 \text{ KVAR}$

ή $Q = 50 \cdot 0,75 = 37,5 \text{ KVAR}$

Μεταξύ των P, Q και S υπάρχει σχέση ορθογωνίου τριγώνου:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (4)$$

Το μετρητικό σύστημα ενός καταναλωτή, όπως αυτόν του παραδείγματος, περιλαμβάνει δυο μετρητές. Το μετρητή ενεργού ενέργειας (KWh) και το μετρητή άεργης ενέργειας (KVARh).

Ο μετρητής των KWh καταγράφει ενέργεια ανάλογη της απορροφούμενης ενεργού ισχύος και ο μετρητής KVARh καταγράφει άεργη ενέργεια ανάλογη της απορροφούμενης άεργου ισχύος Q.

Δηλαδή:

$$KWh = Pdt \quad \text{και} \quad KVARh = Qdt$$

Από τις σχέσεις που αναφέραμε πιο πάνω, συμπεραίνουμε ότι:

Όσο υψηλή είναι η άεργη ενέργεια, που καταναλίσκει η εγκατάσταση, τόσο χαμηλός είναι ο συντελεστής ισχύος ($\cos\phi$) τόσο υψηλή είναι η $\epsilon\phi\phi$. Όσο χαμηλότερος είναι ο συντελεστής ισχύος, τόσο περισσότερη ισχύ πρέπει να τραβήξουμε από το δίκτυο, για να καταλήξουμε στο ίδιο ωφέλιμο έργο.

Στον πίνακα 2, φαίνονται τα απορροφούμενα KVA για απορροφούμενη ενεργό ισχύ $P = 1 \text{ KW}$, για διάφορες τιμές του $\cos\phi$.

cosφ	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5
εφφ	0	0,325	0,484	0,620	0,750	0,882	1,020	1,169	1,333	1,732
KVA	1	1,053	1,111	1,176	1,250	1,333	1,429	1,538	1,667	2,000

Πίνακας 1

Στον πίνακα αυτό, $Q = \epsilon\phi\phi \cdot P$

3. Συντελεστής ισχύος των κυριοτέρων ηλεκτρικών συσκευών

Ο συντελεστής ισχύος μιας εγκατάστασης δεν εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών συσκευών, που είναι εγκατεστημένες, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο αυτές χρησιμοποιούνται.

Π.χ. ένας ασύγχρονος κινητήρας με χαμηλό φορτίο, εκτός του ότι έχει κακό βαθμό απόδοσης, έχει και χαμηλό συνφ.

Για το λόγο αυτό, πριν από κάθε ενέργεια για την βελτίωση του συνφ, πρέπει να γνωρίζουμε την συμπεριφορά των κυριοτέρων συσκευών της εγκατάστασης.

Το πρόβλημα απλοποιείται όταν οι χρησιμοποιούμενες συσκευές είναι αντισταθμισμένες από τον κατασκευαστή.

Οι μετασχηματιστές απορροφούν κα αυτοί άεργη ενέργεια, που είναι απαραίτητη για την δημιουργία του μαγνητικού πεδίου. Σε μικρά φορτία, το συνφ των Μ/Σ είναι εξαιρετικά χαμηλό.

Ο σύγχρονος κινητήρας, όχι μόνο δεν απορροφά άεργη ισχύ από το δίκτυο, αλλά παράγει άεργη ισχύ και βελτιώνει τον συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης, μέσα στην οποία λειτουργεί (όταν λειτουργεί με υπερδιέγερση).

4. Συνέπειες χαμηλού συντελεστή ισχύος

Είδαμε ότι ο συντελεστής ισχύος είναι αντιστρόφως ανάλογος της φαινομένης ισχύος. Μία αυξημένη φαινόμενη ισχύς είναι, στην ουσία, μια σπατάλη πόρων για την Ηλεκτρική Επιχείρηση και τον Καταναλωτή. Η Ηλεκτρική Επιχείρηση επιβαρύνεται με πρόσθετες δαπάνες επενδύσεων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής, καθώς και με αυξημένο κόστος απωλειών. Ο καταναλωτής επιβαρύνεται διότι υπερφορτίζεται η εγκατάστασή του, αυξάνουν οι απώλειες (οι οποίες είναι αντιστρόφως ανάλογες του τετραγώνου του συνφ) και, τέλος ανεβαίνει ο λογαριασμός του ρεύματος.

Τα κύρια στοιχεία της εσωτερικής εγκατάστασης του καταναλωτή, που επηρεάζονται, είναι οι Μ/Σ και τα καλώδια.

Π.χ. αν οι ανάγκες ενός καταναλωτή είναι 170 KW με συνφ = 0,85 χρειάζεται να εγκαταστήσει ένα Μ/Σ $170/0,85 = 200$ KVA.

Αν ο συντελεστής ισχύος του καταναλωτή είναι συνφ = 0,68 τότε θα αναγκαστεί να εγκαταστήσει ένα Μ/Σ $170/0,68 = 250$ KVA.

Έστω ότι ο καταναλωτής θέλει να μεταφέρει αυτή την ισχύ με καλώδιο αλουμινίου χαμηλής τάσης.

Η μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση (σε Α.) αυτών των καλωδίων είναι:

mm ²	35	50	95	150	240
A	130	160	235	310	410

Πίνακας 2

Επιτρεπόμενη
Φόρτιση καλωδίων

1. Με $\cos\phi = 0,85$ $S = 200 \text{ KVA}$ $I = 200/\sqrt{3}\cdot 0.85 = 304 \text{ A}$

Επιλέγουμε καλώδιο 150mm².

2. Με $\cos\phi = 0,68$ $S = 250 \text{ KVA}$ $I = 250/\sqrt{3}\cdot 0.68 = 380 \text{ A}$

Το καλώδιο των 150 mm² δεν είναι επαρκές.

Θα χρειαστεί να καταφύγουμε στην επόμενη διατομή, που είναι 240 mm².

Εδώ, με το M/Σ και το καλώδιο, φαίνονται οι αυξημένες δαπάνες επενδύσεων, λόγω χαμηλού συντελεστή ισχύος.

Θα δούμε πως επηρεάζονται οι απώλειες στα καλώδια από τον συντελεστή ισχύος.

Στο παράδειγμα μας θεωρούμε ότι ο καταναλωτής μεταφέρει ισχύ $P = 170 \text{ KW}$ με καλώδιο αλουμινίου 220/380 V διατομής 240 mm² και μήκους 80 m. Το καλώδιο αυτό έχει ωμική αντίσταση $r = 0.14 \text{ } \Omega/\text{Km}$ (στους 50° C).

Θεωρούμε ότι, κατά την διάρκεια του έτους, το καλώδιο λειτουργεί με ισχύ P επί $t = 2400$ ώρες.

$$\text{Η ένταση στο καλώδιο είναι } I = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi}$$

Όπου I = ένταση σε A

P = ισχύς σε KW

U = πολική τάση σε V

$\cos\phi$ = συντελεστής ισχύος

Οι απώλειες ισχύος στο καλώδιο είναι: $p = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot 10^{-3}$

Όπου

p = απώλειες ισχύος σε KW

R = ωμική αντίσταση του καλωδίου σε Ω

$R = r \cdot l$

r = αντίσταση καλωδίου σε Ω/Km

l = μήκος καλωδίου σε Km.

$$\text{Άρα } p = 3 \cdot \frac{P^2 \cdot 10^6}{3 \cdot U^2 \cdot \cos^2\phi} \cdot r \cdot l \cdot 10^{-3}$$

$$\text{ή} \quad p = \frac{10^3 r \cdot l}{U^2} \cdot P^2 / \cos^2 \varphi \quad [\text{KW}]$$

Αν, κατά τη διάρκεια του έτους, το καλώδιο μεταφέρει αυτή την ισχύ επί t ώρες, οι απώλειες ενέργειας $E_{\text{απ}}$ θα είναι:

$$E_{\text{απ}} = p \cdot t \quad \text{ή} \quad E_{\text{απ}} = P^2 / \cos^2 \varphi \cdot \frac{10^3 r \cdot l}{U^2} \cdot t \quad [\text{KWh}] \quad (5)$$

1. Με $\cos \varphi = 0,85$ η (5) δίνει:

$$E_{\text{απ}} = 7446 \text{ KWh}$$

2. Με $\cos \varphi = 0,68$ η (5) δίνει:

$$E_{\text{απ}} = 11634 \text{ KWh}$$

Η ωφέλιμη ενέργεια, που μεταφέρει το καλώδιο, είναι:

$$170 \cdot 2400 = 408000 \text{ KWh}$$

Το ποσοστό ενέργειας είναι:

$$1. \text{ Με } \cos \varphi = 0,85 \quad \text{ποσοστό} = 7446 / 408000 \cdot 100 = 1,825\%$$

$$2. \text{ Με } \cos \varphi = 0,68 \quad \text{ποσοστό} = 11634 / 408000 \cdot 100 = 2,851\%$$

Παρατηρούμε ότι οι απώλειες αυξάνουν με την μείωση του συντελεστή ισχύος. Θα δούμε τώρα τι γίνεται με την πτώση τάσεως στο καλώδιο. Για το καλώδιο αυτό, θα λάβουμε:

$$z = r + jx = 0.14 + j \cdot 0.084 \text{ } \Omega / \text{Km} \quad \text{ή}$$

$$z = 0.14 \cdot 0.08 + j \cdot 0.084 \cdot 0.08 = 0.0112 + j0.00672 = R + jX$$

Η πτώση τάσεως u είναι:

$$u = I \cdot (\sqrt{R^2 + X^2})$$

1. Με $\cos \varphi = 0,85 \Rightarrow \eta_{\text{μφ}} = 0,52678$ και $I = 304 \text{ A}$

$$u = 304 \cdot (0.0112 \cdot 0.85 + 0.00672 \cdot 0.52678) = 3.97 \text{ V}$$

$$u \% = 3.97 / 220 \cdot 100 = 1.8 \%$$

2. Με $\cos \varphi = 0,68 \Rightarrow \eta_{\text{μφ}} = 0.73321$ και $I = 380 \text{ A}$

$$u = 380 \cdot (0.0112 \cdot 0.68 + 0.00672 \cdot 0.73321) = 4.77 \text{ V}$$

$$u \% = 4.7 / 220 \cdot 100 = 2.17 \%$$

Εδώ παρατηρούμε ότι η μείωση του συντελεστή ισχύος συνεπάγεται αύξηση της πτώσης τάσεως αναμενόμενο εφόσον έχουμε μεγαλύτερες απώλειες στην γραμμή.

Θα δούμε τώρα πως το συνφ επηρεάζει τον λογαριασμό του καταναλωτή.

Οι διάφορες ηλεκτρικές επιχειρήσεις έχουν διάφορους τρόπους να δίνουν έκπτωση ή προσαύξηση στο λογαριασμό του καταναλωτή, ανάλογα με το αν το συνφ είναι το καλό ή κακό.

Η E.D.F. (Electricite de France) π.χ. εκτός από την χρέωση των KWh (ΩΧΒ), χρεώνει και την άεργη ενέργεια (KVARh ή ΩΧΒΑ). Για εφφ = 0,6 (αντιστοιχεί σε συνφ = 0,8575) , ο καταναλωτής δεν πληρώνει τα επί πλέον ΩΧΒΑ. Για εφφ < 0,6 ο καταναλωτής έχει έκπτωση ίση με την αξία της διαφοράς μέγιστου με ελάχιστου ΩΧΒΑ.

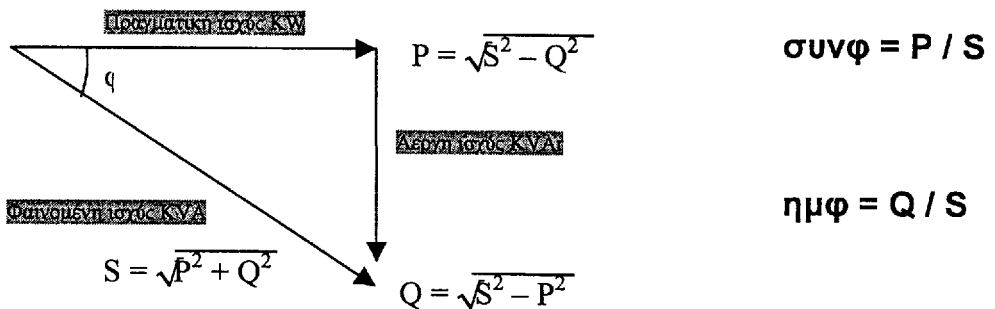
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αντιστάθμιση ή Βελτίωση Συντελεστή ισχύος (συνφ)

1. Γενικά

Θα αναφερθούμε στη σημασία της βελτίωσης του συντελεστή ισχύος μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.

Όπως είναι γνωστό κατά την λειτουργία ενός κυκλώματος στο εναλλασσόμενο ρεύμα ή γενικότερα μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, δημιουργείται το τρίγωνο των ισχύων. Για αυτό το τρίγωνο ισχύουν:



Σχήμα 1 Τρίγωνο ισχύων και σχέσεις που προκύπτουν από αυτό.

Πολλές φορές στην πράξη είναι πιθανόν κατά την λειτουργία μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης ή τμήματος αυτής, να εμφανίζεται μια μεγάλη γωνία μεταξύ των διανυσμάτων της πραγματικής (S) και της φαινομένης ισχύος (Q).

Το γεγονός αυτό είναι η αφορμή για την εμφάνιση μικρής τιμής συντελεστή ισχύος (συνφ ή cosφ) στην εγκατάσταση. Δηλαδή:

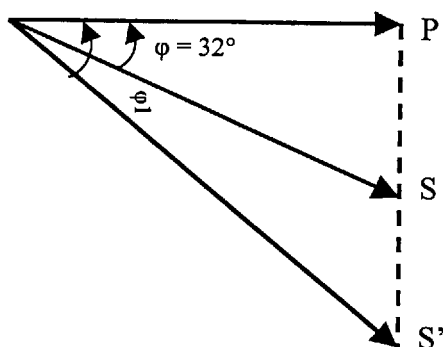
$$\text{Αν: } \varphi \rightarrow 90^\circ \Leftrightarrow \text{συνφ} \rightarrow 0$$

2. Επιπτώσεις από συντελεστή ισχύος μικρής τιμής

Στην περίπτωση κατά την οποία μια ηλεκτρική εγκατάσταση λειτουργεί με μικρό συντελεστή ισχύος τότε:

- **Ζημιώνεται ο ιδιώτης** ιδιοκτήτης της, γιατί το κόστος υλοποίησής της είναι πολύ μεγάλο. Αυτό συμβαίνει γιατί η εγκατάσταση απορροφά μεγάλη ένταση ρεύματος από το δίκτυο, γεγονός που σημαίνει τοποθέτηση καλωδίου τροφοδοσίας μεγάλης διατομής και κατ' επέκταση μεγάλων τιμών και κόστους, ασφάλειες, διακόπτες κλπ.
- **Ζημιώνεται η ΔΕΗ**, γιατί παράγει την φαινομένη ισχύ (S') [KVA] και πληρώνεται για την πραγματική ισχύ (P) [KW] που καταναλώνουν για την λειτουργία τους οι διάφορες εγκαταστάσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί εξυπηρετούνται καταναλωτές μικρότερης ισχύος, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό πολύ μεγαλύτερης ισχύος (εναλλακτήρες – μετασχηματιστές – δίκτυα μεταφοράς και διανομής), ανεβάζοντας το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας [KWh]. Για την αποφυγή των παραπάνω υπάρχει **μια απαίτηση** από την ΔΕΗ, που αφορά το μέγεθος της γωνίας μεταξύ των διανυσμάτων πραγματικής και φαινομένης ισχύος. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η φαινομένη ισχύς στην τιμή S .
Πιο συγκεκριμένα ορίζεται:

$$\varphi = 32^\circ \Leftrightarrow \cos\varphi = 0,85$$



Σχήμα 2 Διανυσματικό διάγραμμα ισχύων για μεγάλο και μικρό (συγκεκριμένο) συντελεστή ισχύος εγκατάστασης, όπου φαίνεται $S < S'$

3. Χρήσιμες έννοιες

Ο συντελεστής ισχύος ή μηνιαίος συντελεστής ισχύος ή μηνιαίο (συνφ) προσδιορίζεται από τις ενδείξεις του μετρητή:

- Πραγματικής ενέργειας W σε [KWh], και κατ' επέκταση πραγματική ισχύος P [KW]
- Άεργης ενέργειας A σε (KVAh), και κατ' επέκταση άεργης ισχύος Q (KVA), σύμφωνα με την σχέση:

$$\text{συνφ} = \frac{W}{\sqrt{W^2 + A^2}} \quad \text{ή} \quad \text{συνφ} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Στους υπολογισμούς χρέωσης των διαφόρων καταναλωτών και για να μην ζημιώνεται η ΔΕΗ εισάγεται ο **συντελεστής προσαρμογής k** της εγκατάστασης, ο οποίος προσδιορίζεται από την σχέση:

$$k = \frac{\text{συνφ}}{\text{συνφ}_1}$$

Όπου: $\text{συνφ} = 0,85$ (επιθυμητή τιμή συντελεστή ισχύος), και
 $\text{συνφ}_1 =$ συντελεστής ισχύος που μετράται στην εγκατάσταση.

Με τον συντελεστή προσαρμογής, καθορίζεται η επί πλέον ισχύς που πρέπει να πληρωθεί επιπρόσθετα στην ΔΕΗ από τον ιδιώτη, σε σχέση με την πραγματική ισχύ που καταγράφεται για την ηλεκτρική εγκατάσταση, στο χρονικό διάστημα ενός μηνός.

4. Ειδικοί όροι τιμολογίων γενικής και βιομηχανικής χρήσης

Οι ειδικοί όροι οι οποίοι συμπεριλαμβάνονται στα τιμολόγια γενικής και βιομηχανικής χρήσης είναι

- Η **Χρεωστέα Ζήτηση (XZ)** εγκατάστασης η οποία είναι ανάλογη προς τη **μέγιστη ζήτηση (MZ)** και το συντελεστής προσαρμογής αυτής. Δηλαδή:

$$XZ = MZ \cdot k$$

- Η χρεωστέα ζήτηση (XZ) με ισχύ μεγαλύτερη των 8.000 KW αποτελεί την «**συμφωνημένη ισχύ**», κατά την οποία μια εγκατάσταση παρακολουθείται από άποψη ηλεκτρικής ενέργειας για 12 μήνες. Στην παρακολούθηση αυτή, δεν υπολογίζεται η ζήτηση ισχύος κατά το νυχτερινό ωράριο και κατά τις Κυριακές.
- Ως **συντελεστής χρησιμοποίησης ή συντελεστής φόρτισης m**, ορίζεται ο λόγος της μέσης προς την μέγιστη ισχύ της εγκατάστασης και δίνεται από την σχέση:

$$m = \frac{W}{30 \cdot 24 \cdot MZ}$$

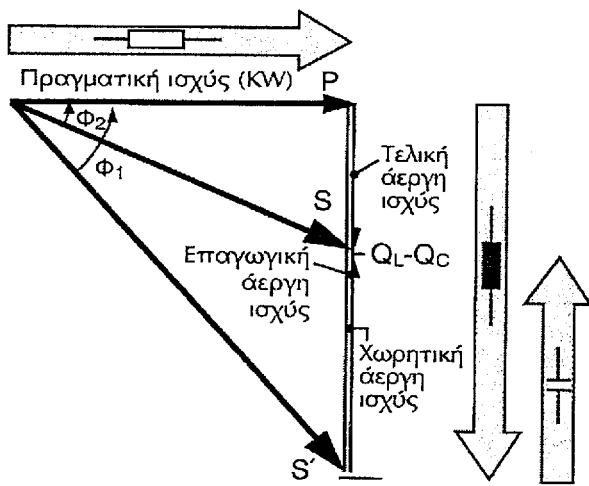
5. Αντιμετώπιση του μικρού συντελεστή ισχύος εγκατάστασης

Στην περίπτωση λοιπόν που η τιμή του συντελεστή ισχύος μιας εγκατάστασης είναι μικρότερη του 0,85, απαιτείται η προσέγγιση ή και η υπέρβαση της συγκεκριμένης αυτής τιμής.

Στην πράξη, οι διάφορες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και συσκευές παρουσιάζουν ως γνωστόν, επαγωγική συμπεριφορά. Για να βελτιωθεί ο συντελεστής ισχύος της, χρησιμοποιείται πυκνωτής ή διάταξη πυκνωτών κατάλληλης τιμής που συνδέονται παράλληλα στο συγκεκριμένο σημείο της εγκατάστασης.

Η διαδικασία για την εξισορρόπηση της επαγωγικής άεργης ισχύος με χωρητική άεργη ισχύ, ονομάζεται αντιστάθμιση ή βελτίωση συντελεστή ισχύος (συνφ).

Από τα αντίστοιχα τρίγωνα των ισχύων προκύπτουν οι παραπάνω πιο κάτω σχέσεις:



$$\epsilon\phi\phi_1 = Q_L / P \quad \epsilon\phi\phi_2 = (Q_L - Q_C) / P$$

$$Q_L = P \cdot (\epsilon\phi\phi_1 - \epsilon\phi\phi_2) \text{ [KVAR]}$$

$$Q_C, Q_L = \text{άεργες ισχύεις επαγωγικής εγκατάστασης και πυκνωτών}$$

ϕ_1 = γωνία μετατόπισης φάσης χωρίς αντιστάθμιση, και
 ϕ_2 = γωνία μετατόπισης φάσης μετά την αντιστάθμιση

Σχήμα 3 Τρίγωνο ισχύος πριν και μετά την αντιστάθμιση, και αντίστοιχες θέσεις

Ο υπολογισμός της άεργης ισχύος (Q_C) των πυκνωτών από την παραπάνω σχέση πραγματοποιείται με το προσδιορισμό της διαφοράς ($\epsilon\phi\phi_1 - \epsilon\phi\phi_2$) για την τιμή του συντελεστή ισχύος πριν και μετά την αντιστάθμιση, από τον πίνακα 2.

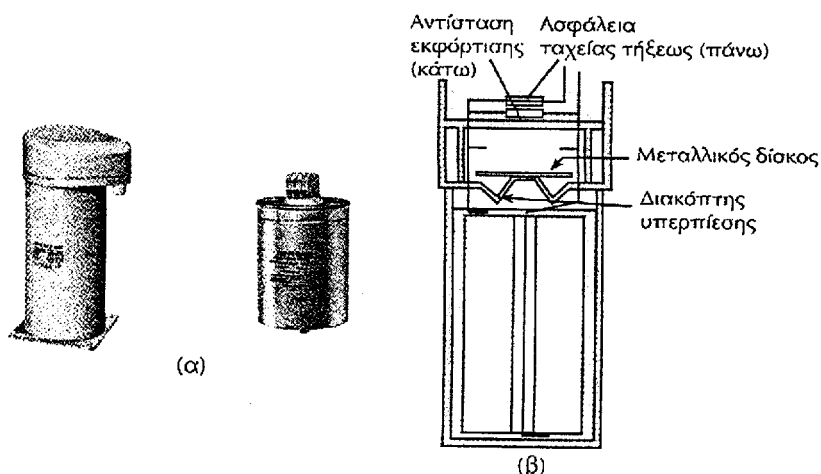
Πίνακας 2 Προσδιορισμός διαφοράς $\epsilon\phi\phi_1 - \epsilon\phi\phi_2$ για τον υπολογισμό της Q_C												
Υπάρχουσα τιμή συντελεστή ισχύος			Επιθυμητή τιμή συντελεστή ισχύος συνφ2									
συνφ1	ημφ1	εφφ	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
0,40	0,92	2,29	2,29	2,09	2,00	1,93	1,86	1,81	1,67	1,54	1,41	1,27
0,45	0,89	1,99	1,99	1,79	1,70	1,63	1,56	1,51	1,37	1,24	1,11	0,97
0,50	0,87	1,73	1,73	1,53	1,44	1,37	1,30	1,25	1,11	0,98	1,85	0,71
0,55	0,83	1,52	1,52	1,32	1,23	1,16	1,09	1,04	0,90	0,77	1,64	0,50
0,60	0,80	1,33	1,33	1,13	1,04	0,97	0,90	0,85	0,71	0,58	0,45	0,31
0,65	0,76	1,17	1,17	0,97	0,88	0,81	0,74	0,69	0,55	0,42	0,29	0,15
0,70	0,71	1,02	1,02	0,82	0,73	0,66	0,59	0,54	0,40	0,27	0,14	---

0,75	0,66	0,88	0,88	0,68	0,59	0,52	0,45	0,40	0,26	0,13	---	---
0,80	0,60	0,75	0,75	0,55	0,46	0,39	0,32	0,27	0,13	---	---	---
0,85	0,53	0,62	0,62	0,42	0,33	0,26	0,19	0,14	---	---	---	---
0,90	0,44	0,48	0,48	0,28	0,19	0,12	0,05	---	---	---	---	---

6. Κατασκευαστικά στοιχεία πυκνωτών αντιστάθμισης

Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος – αντιστάθμιση άεργης ισχύος – μιας εγκατάστασης, πραγματοποιείται με την χρησιμοποίηση **ΠΥΚΝΩΤΩΝ** κατασκευασμένων από φύλλα προπυλενίου με ομοιόμορφη επίστρωση μετάλλου, τυλιγμένων στερεά γύρω από πλαστικό πυρήνα.

Το σύστημα τοποθετείται σε πλαστικό κάλυμμα διπλής ηλεκτρικής μόνωσης πολύ καλών μηχανικών ιδιοτήτων και με ικανότητα αυτόσβεσης σε περίπτωση φωτιάς.



Σχήμα 4 (α) Πραγματική μορφή πυκνωτή αντιστάθμισης 12,5 KVA_r, 400 V, 50 Hz. (β) Τομή πυκνωτή αντιστάθμισης όπου διακρίνονται οι διατάξεις αυτοπροστασίας τους.

Οι πυκνωτές αντιστάθμισης εμφανίζουν ως πλεονεκτήματα:

- Την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία,
- Την δυνατότητα υπερφόρτισης σε ποσοστό μέχρι και 50% του ονομαστικού ρεύματος,
- Τη μεγάλη διάρκεια ζωής,
- Την σταθερή τιμή της χωρητικότητάς του,
- Την αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (μέχρι 55° C),
- Την εύκολη καλωδίωση με κλέμμες,
- Την εύκολη στήριξη σε ράγα, και
- Το διπλό σύστημα προστασίας για:

Ατομα



Κατά την αποκοπή του πυκνωτή από το δίκτυο, η οποία είναι δυνατόν να συμβεί αν υπάρχουν:

- Υπερπηδήσεις
- Ανεπίτρεπτες υπερφορτίσεις
- Τέλος διάρκειας ζωής.

Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα του διακόπτη υπερπήδησης ανοίγει το ενδιάμεσο τσάκισμα με αποτέλεσμα να διακόπτει την σύνδεση των φύλλων του πυκνωτή με βάση σύνδεσης των κλεμμών.

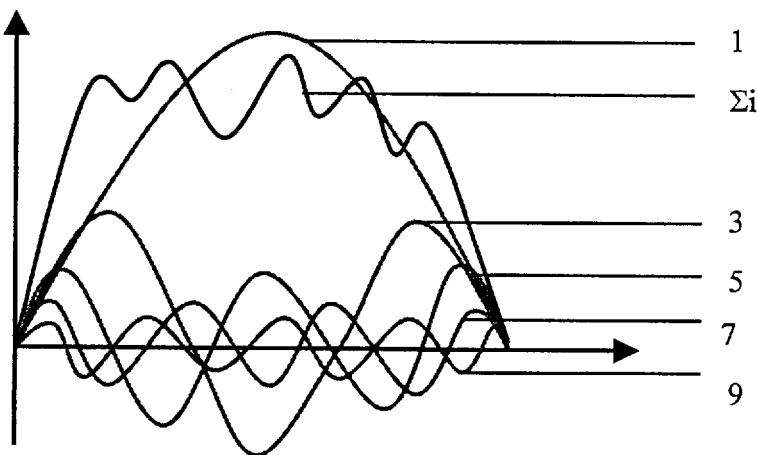
Εγκαταστάσεις



Κατά τη δημιουργία των μεγάλων υπερφορτίσεων, ή και υπερεντάσεων που είναι δυνατόν να συμβούν σε κακή λειτουργία του κυκλώματος.

Στην περίπτωση αυτή η τροφοδοσία των πυκνωτών από το δίκτυο διακόπτεται με την τήξη ασφαλειών που βρίσκονται μέσα σε ειδική βάση από το δοχείο τους και συνδέονται με την βάση τους.

Η λειτουργία των πυκνωτών στο εναλλασσόμενο ρεύμα επηρεάζεται από την παρουσία των αρμονικών στο δίκτυο. Γενικά, οι αρμονικές μεταβάλλουν την μορφή της ημιτονικής μορφής του εναλλασσόμενου ρεύματος και τάσης γι' αυτό στην πράξη θεωρείται πως **μολύνουν** το ηλεκτρικό δίκτυο στο οποίο υπάρχουν.



Σχήμα 5 Σχηματική παράσταση τελικής μορφής Σi κυματομορφής εναλλασσόμενου ρεύματος μετά την παρεμβολή των αρμονικών 3, 5, 7, 9 σε σχέση με την αρχική ημιτονική μορφή αυτού (1)

*Αρμονικές είναι παρασιτικά ρεύματα τα οποία έχουν συχνότητα πολλαπλάσια της συχνότητας του δικτύου.

Τα φορτία που προκαλούν αρμονικές στο δίκτυο, είναι:

- Οι ρυθμιστές στροφών,
- Οι μετατροπείς,
- Οι μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης,
- Οι επαγωγικοί φούρνοι,
- Οι λαμπτήρες φθορισμού κλπ.

Πίνακας 3 Τύποι χρησιμοποιούμενων πυκνωτών αντιστάθμισης ανάλογα με το επίπεδο των αρμονικών της εγκατάστασης.

α/α	Τιμή λόγου $G_h / S_{M\Sigma}$	Ύπαρξη αρμονικών στην εγκατάσταση	Τύπος χρησιμοποιούμενου πυκνωτή
1.	$\leq 15\%$	Σχεδόν καθόλου	Κοινός
2.	Από 15% μέχρι και 25%	Σημαντική	Ενισχυμένος, για να αντέχει στις καταπονήσεις που προκαλούνται από τις αρμονικές (τάση αναφοράς 470 V)
3.	Από 25% μέχρι 60%	Πάρα πολλές	Ειδικής κατασκευής (τάσης 470 V, συνδεδεμένοι με στραγγαλιστικό πηνίο
4.	Μεγαλύτερος του 60%	Υπερβολικά πολλές	Ειδικής κατασκευής, και χρησιμοποίηση ειδικών φίλτρων

7. Υπολογισμός χωρητικότητας πυκνωτών αντιστάθμισης

Η χωρητικότητα του κάθε πυκνωτή βελτίωσης συντελεστής ισχύος (C) πρέπει να υπολογίζεται έτσι, έτσι 'ώστε κατά την παρεμβολή του στο κύκλωμα να απορροφά την άεργη ισχύ (Q) που αντισταθμίζεται απ' αυτόν και δίνεται από τη σχέση:

$$Q_C = \frac{U^2}{X_C} = \frac{U^2}{1/(2 \pi \cdot f \cdot C)} \quad Q_C = U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

όπου: Q_C = άεργη ισχύς πυκνωτή [kVAr]

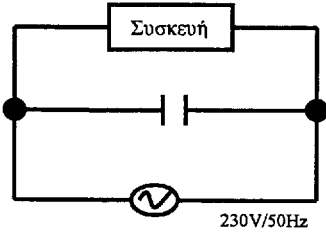
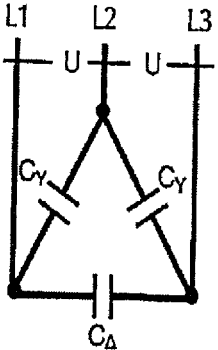
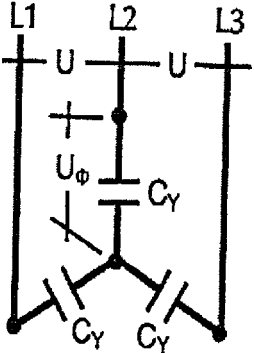
U = πολική τάση γραμμής [V]

f = συχνότητα δικτύου [50 Hz]

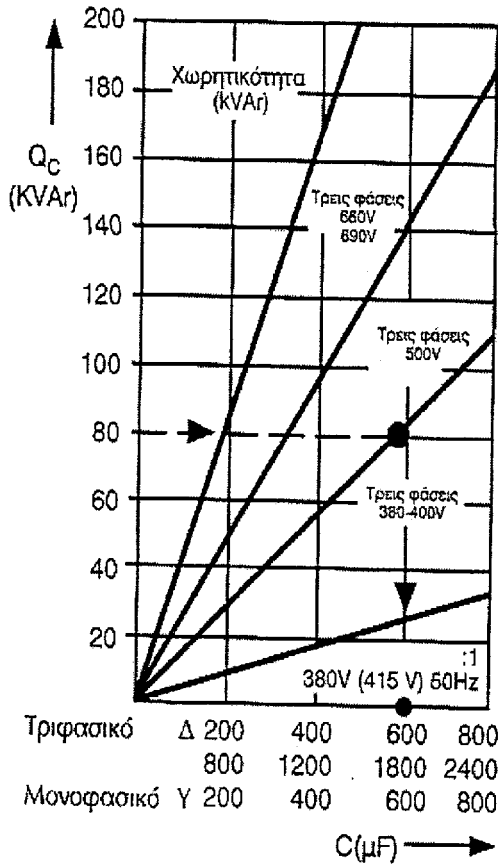
C = χωρητικότητα πυκνωτή ανά φάση [μ F]

Πιο συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της χωρητικότητας του πυκνωτή αντιστάθμισης, διακρίνουμε τις περιπτώσεις του πίνακα 4:

Πίνακας 4 Υπολογισμός χωρητικότητας πυκνωτή

α/α	Είδος σύνδεσης πυκνωτών	Σχηματική παράσταση συνδεσμολογίας	Υπολογισμός χωρητικότητας πυκνωτή [μF]	Παρατηρήσεις
I. Μονοφασικό κύκλωμα				
			$C_1 = \frac{Q_c}{U^2 \cdot 2\pi \cdot f}$	<p>Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος πετυχαίνεται με τη χρησιμοποίηση ενός πυκνωτή, που συνδέεται παράλληλα στη συσκευή.</p>
II. Τριφασικό κύκλωμα				
1.	Αστέρας (Y)		$C_Y = \frac{Q_c}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2 \cdot \phi}$ $= \frac{Q_c}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (U/\sqrt{3})}$ $= 3 \cdot \frac{Q_c}{2\pi \cdot f \cdot U^2}$	<p>Στην πράξη χρησιμοποιείται η σύνδεση πυκνωτών σε τρίγωνο, γιατί απαιτούνται πυκνωτές με μικρότερη από 1/3 χωρητικότητα από αυτή στην σύνδεση του αστέρα.</p> <p>Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια το μικρότερο κόστος.</p> <p>Απόδειξη</p> $\frac{C_Y}{C_{\Delta}} = \frac{3Q_c/2\pi f U^2}{Q_c/2 \pi f U^2} \quad \frac{C_Y}{C_{\Delta}} = 3$ <p>Οπότε:</p> <p>$C_{\Delta} = C_Y/3$ ή $C_Y = 3 \cdot C_{\Delta}$</p>
2.	Τρίγωνο (Δ)		$C_{\Delta} = \frac{Q_c}{2\pi \cdot f \cdot U^2}$	

Η χωρητικότητα (C) των πυκνωτών αντιστάθμισης προσδιορίζεται άμεσα, αν είναι γνωστή η άεργη ισχύς τους (Q_C) και η τάση σύνδεσής τους, από το διάγραμμα του σχήματος 6.



Σχήμα 6 Διάγραμμα προσδιορισμού πυκνωτή αντιστάθμισης

8. Ταχεία εκφόρτιση πυκνωτών αντιστάθμισης μέσω αντιστάσεων και πηνίων

Οι πυκνωτές αντιστάθμισης επιβάλλεται να εκφορτίζονται, ιδίως στην περίπτωση κατά την οποία συνδέονται άμεσα στους ακροδέκτες ενός κινητήρα ή ομάδας κινητήρων. Σε αντίθετη περίπτωση είναι δυνατόν να εμφανιστεί το φαινόμενο της αυτοδιέγερσης.

Κατά το φαινόμενο της αυτοδιέγερσης, η ενέργεια που αποθηκεύεται στους πυκνωτές, είναι πιθανόν να διατηρηθεί το μαγνητικό πεδίο του κινητήρα ακόμα και μετά τη διακοπή της τροφοδοσίας του από το δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί «ως γεννήτρια», οπότε η τάση που ενδέχεται να δημιουργηθεί θα είναι μεγαλύτερη της τάσης λειτουργίας, γεγονός που προδικάζει κινδύνους για την ηλεκτρική μηχανή.

Το φαινόμενο της αυτοδιέγερσης αποφεύγεται όταν η άεργος ισχύς του πυκνωτή αντιστάθμισης (Q_C) είναι περίπου 90% της φαινομένης ισχύος του ηλεκτροκινητήρα κατά την λειτουργία αυτού χωρίς φορτίο (S_0). Δηλαδή:

$$Q_C = 0.9 \cdot S_0 \quad \text{ή} \quad Q_C = 0.9 \cdot [(\sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_0)/1000] \quad [\text{kVAr}]$$

9. Είδη αντιστάθμισης

Τα είδη της αντιστάθμισης που εφαρμόζονται στις διάφορες καταναλώσεις, ο τρόπος σύνδεσης των πυκνωτών σ' αυτές, καθώς και η σχηματική τους διάταξη, παρατίθενται στον πίνακα 5:

Πίνακας 5 Είδη και χαρακτηριστικά αντιστάθμισης				
a/a	Είδος αντιστάθμισης	Είδος/ Εφαρμογή καταναλωτών	Σύνδεση πυκνωτών	Σχηματική διάταξη σύνδεσης πυκνωτών
1.	Τοπική ή ατομική ή μονομερής	Συσκευές που λειτουργούν συνεχώς χωρίς φορτίο. Εφαρμογές: ▪ Λαμπτήρες, ▪ Μ/Σ 20/0,4 KV, ▪ Κινητήρες.	Άμεσα στον κάθε καταναλωτή.	
2.	Ομαδική	Συσκευές που λειτουργούν σε ομάδες, συνεχώς και σταθερά. Εφαρμογή: ▪ Ομάδες κινητήρων που λειτουργούν με σταθερή συνολική ισχύ.	Στην αρχή της ομάδας καταναλωτών.	
3.	Κεντρική	Συσκευές που η φόρτισή τους είναι κυμαινόμενη, δηλαδή, συσκευές διαφορετικής ισχύος που λειτουργούν μαζί σε μεταβαλλόμενο χρόνο. Εφαρμογές: ▪ Εγκαταστάσεις εργοστασίων, ▪ Ομάδες κινητήρων που λειτουργούν με σταθερή ισχύ.	Στην αρχή της εγκατάστασης μέσω ρυθμιστή άεργης ισχύος που ζευγνύει και από ζευγνύει από μια συστοιχία πυκνωτών, τόσους πυκνωτές, όσοι απαιτούνται για τη στιγμιαία παροχή άεργης ισχύος.	

Ο καθορισμός της μορφής της βελτίωσης του συντελεστή ισχύος σε μια εγκατάσταση, δηλαδή, αν η παρεμβολή των πυκνωτών αντιστάθμισης είναι σταθερής χωρητικότητας για το χρόνο λειτουργίας της ή με μεταβλητές τιμές χωρητικότητας για διάφορους χρόνους κατά την λειτουργία της, πραγματοποιείται μέσω του πίνακα 6:

Πίνακας 6: Επιλογή μορφής αντιστάθμισης

α/α	Τιμή λόγου $\frac{Q_c}{S_{M/\Sigma}}$	Μορφή αντιστάθμισης
1.	< 15 %	Σταθερή
2.	> 15 %	Μεταβλητή τιμής σε διάφορους χρόνους

Στα παρακάτω θα εξετάσουμε κλασσικές περιπτώσεις αντισταθμίσεων. Πιο αναλυτικά:

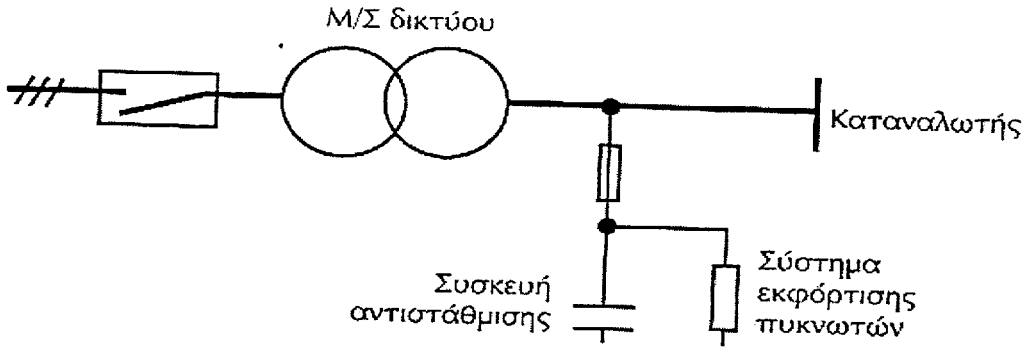
10. Ατομική αντιστάθμιση μετασχηματιστών δικτύου

Η άεργος ισχύς των πυκνωτών για την ατομική αντιστάθμιση των μετασχηματιστών δικτύου εξαρτάται από την ονομαστική (φαινομένη) ισχύ αυτών. Η απαιτούμενη ισχύς πυκνωτών για μετασχηματιστές ισχύος, για τάση 20 KV/ 0.4V και λόγο τάσης βραχυκύκλωσης 4 % / 6 %, γίνεται στον πίνακα 7:

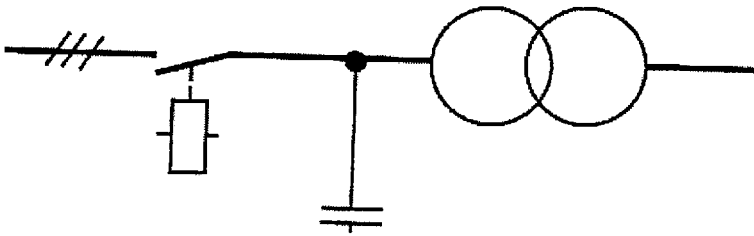
Πίνακας 7 Αντιστάθμιση μετασχηματιστών ισχύος

Ονομαστική φαινομένη μετασχηματιστή ή [kVA]	Μετασχηματιστές λαδιού και ξηρού τύπου κατά DIN		GEAFOL		Μετασχηματιστές με μειωμένες απώλειες	
	Λαδιού					
	Άεργος ισχύς M/Σ χωρίς φορτίο [kVA _r]	Πυκνωτής [kvar]	Άεργος ισχύς M/Σ χωρίς φορτίο [kVA _r]	Πυκνωτής [kvar]	Άεργος ισχύς M/Σ χωρίς φορτίο [kVA _r]	Πυκνωτής [kvar]
250	4,5	5	2,8	3	1,6	2
315	7,9	7,5	3,6	4	1,9	2
400	8,2	7,5	4,4	4	2,2	2
500	10,6	10	4,7	5	2,5	3
630	13,2	12,5	5,7	5	3,2	3
800	15,5	15	6,5	7,5	3,6	4
1000	19,0	20	7,5	7,5	4,0	4
1250	20,3	20	10,1	10	5,0	5
1600	23,2	25	10,6	10	5,3	5
2000	27,0	25	----	----	7,0	7,5

Η σύνδεση των πυκνωτών αντιστάθμισης πραγματοποιείται στο δευτερεύον του μετασχηματιστή.



Σχήμα 7 Σχηματική διάταξη ατομικής αντιστάθμισης μετασχηματιστή δικτύου



Σχήμα 8 Αντιστάθμιση με Μ/Σ συγκόλλησης

11. Ατομική αντιστάθμιση ηλεκτροκινητήρων

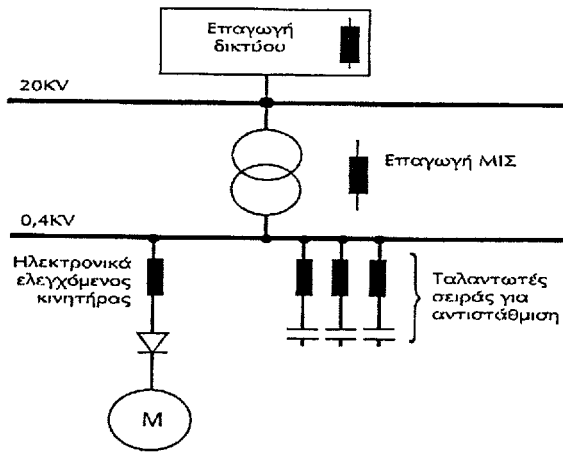
Η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης που πρόκειται να συνδεθούν σε ηλεκτροκινητήρα, εξαρτάται από την ισχύ αυτού κατά τη λειτουργία του χωρίς φορτίο και δίνεται από τον πίνακα 8:

Ισχύς ηλεκτροκινητήρα [KW]	4	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	>30
Άεργη ισχύς πυκνωτή [kVar]	2	2	3	3	4	7.5	7.5	10	≈ 35% P

12. Αντιστάθμιση σε ηλεκτρικά κυκλώματα μετατροπών

Η ατομική αντιστάθμιση ηλεκτροκινητήρων με ρυθμιζόμενες στροφές με ηλεκτρονικά ελεγχόμενα κυκλώματα μετατροπών, πραγματοποιείται με την χρησιμοποίηση ταλαντωτών σειράς.

Οι ταλαντωτές σειρές περιλαμβάνουν πυκνωτή και πηνίο σε σύνδεση σειράς και έχουν ως σκοπό την αποφυγή των διαταραχών που ενδέχεται να εμφανιστούν από τα φαινόμενα συντονισμού των ταλαντώσεων υψηλών συχνοτήτων μεταξύ πυκνωτή αντιστάθμισης και επαγωγής δικτύου.

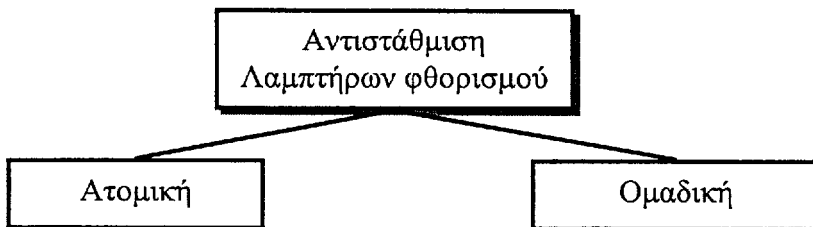


Σχήμα 9 Σχηματική μορφή αντιστάθμισης σε ηλεκτρονικά κυκλώματα μετατροπών

13. Αντιστάθμιση λαμπτήρων φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού εμφανίζουν κατά την λειτουργία τους πολύ χαμηλό συντελεστή ισχύος (συνφ \approx 0,45). Αυτό οφείλεται στα επαγωγικά κυκλώματα που προτάσσονται πριν από αυτούς.

Έτσι, η αντιστάθμιση των λαμπτήρων φθορισμού κρίνεται ως επιβεβλημένη και η διάκρισή της δίνεται στην παρακάτω διάταξη:



Κατά την ατομική αντιστάθμιση, σε κάθε λαμπτήρα φθορισμού αντιστοιχεί και ένας πυκνωτής.

Η απαιτούμενη άεργη ισχύς των πυκνωτών ατομικής αντιστάθμισης προσδιορίζεται από τον πίνακα 9:

Όνομαστική τάση λαμπτήρα φθορισμού [V]	230								
	110								
Συνολική ισχύς διάταξης [W]	20	10	2x15	16	20	25	40	2x20	65
Απαιτούμενη άεργη ισχύς πυκνωτή (Qc)	30	30	55	40	80	55	70	70	110
Χωρητικότητα πυκνωτή αντιστάθμισης [μF]	2	2			4,5	3,5	4,5		7

Κατά την ομαδική αντιστάθμιση σε μια ομάδα λαμπτήρων φθορισμού, αντιστοιχεί και ένας πυκνωτής.

Με την ομαδική αντιστάθμιση των λαμπτήρων φθορισμού αποφεύγεται η περίπτωση καταστροφής των πυκνωτών ατομικής αντιστάθμισης, η οποία γίνεται αντιληπτή από την αυξημένη κατανάλωση άεργης ισχύος. Ο εντοπισμός ενός κατεστραμμένου πυκνωτή είναι χρονοβόρος.

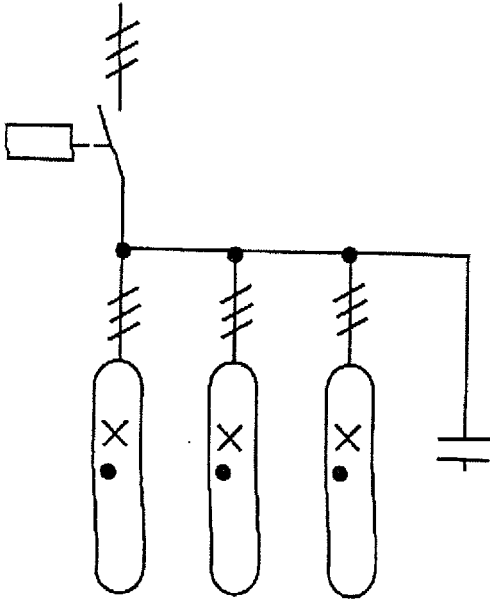
Η απαιτούμενη άεργη ισχύς του πυκνωτή ομαδικής αντιστάθμισης είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους άεργων ισχύων των λαμπτήρων φθορισμού, σύμφωνα με τον πίνακα 9.

Επίσης για την περίπτωση που χρησιμοποιείται πλήθος λαμπτήρων φθορισμού ίδιας ισχύος, έχουμε:

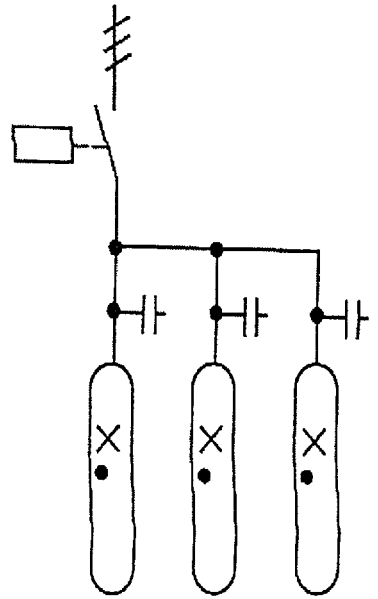
$$Q_C = \eta \cdot C \cdot 0.015 \text{ [KVAR]}$$

Όπου: η = το πλήθος των λαμπτήρων φθορισμού

C = η χωρητικότητα πυκνωτή ατομικής αντιστάθμισης για κάθε λαμπτήρα.



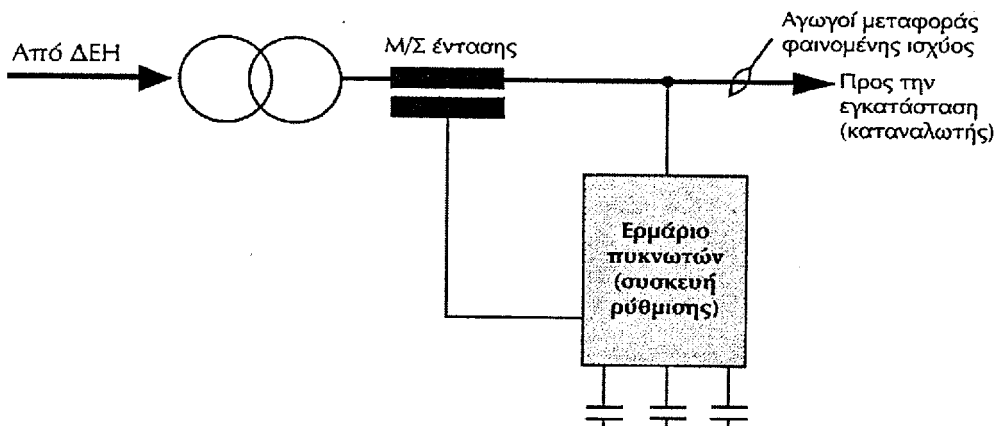
Σχήμα 10 Ατομική αντιστάθμιση



Ομαδική αντιστάθμιση

14. Κεντρική αντιστάθμιση εγκαταστάσεων

Στις σύγχρονες ηλεκτρικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις η βελτίωση του συντελεστή ισχύος τους πραγματοποιείται με **κεντρική αντιστάθμιση**. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην σύνδεση μιας **συσκευής ρύθμισης άεργου ισχύος** σε κεντρικό σημείο της εγκατάστασης π.χ. στο γενικό πίνακα γενικής τάσης. Ειδικότερα η συσκευή ρύθμισης άεργου ισχύος τοποθετείται σε στεγασμένους και ξηρούς χώρους, και συνδέεται άμεσα στο δίκτυο μέσω μετασχηματιστή έντασης ρεύματος.



Σχήμα 11 Σχηματική μορφή σύνθεσης ερμαρίου πυκνωτών μέσω Μ/Σ έντασης ο οποίος συνδέεται πριν από αυτό, οπότε το σύστημα δεν αντιδρά κάτω από μια ορισμένη περιοχή (τιμή) ισχύος.

Με την χρησιμοποίηση της συσκευής ρύθμισης, ο συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης διατηρείται σχεδόν σταθερός, ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις της απαιτούμενης άεργης ισχύος.

Οι αγωγοί μεταξύ της συσκευής και των καταναλωτών της εγκατάστασης δεν απαλλάσσονται από την άεργη ισχύ, δηλαδή μεταφέρουν φαινομένη ισχύ.

Η άεργος ισχύς των πυκνωτών για την κεντρική αντιστάθμιση μιας εγκατάστασης προσδιορίζεται και από το λογαριασμό της ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ, σύμφωνα με την σχέση:

$$Q_c = \frac{A - \epsilon\phi\phi \cdot W}{t} \quad [\text{KVA}_r]$$

A = άεργος ενέργεια [KVA_rh]

W = Πραγματική ενέργεια [KWh]

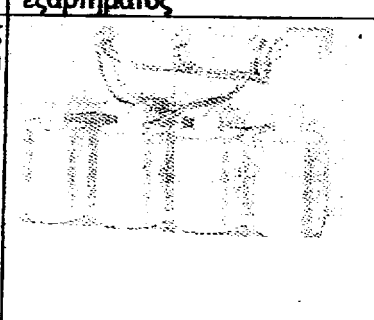
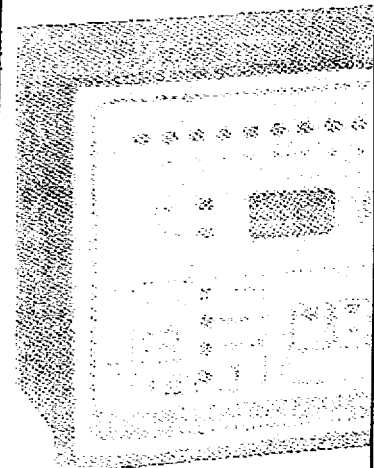
t = ώρες λειτουργίας της εγκατάστασης [h]


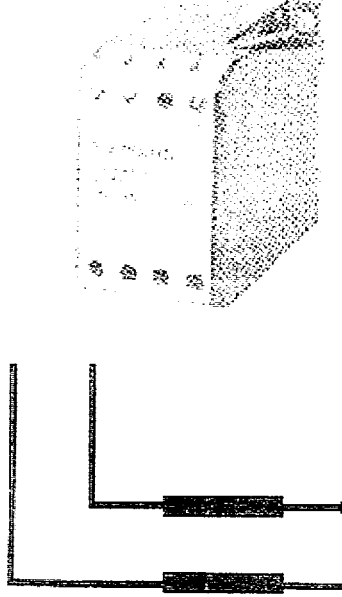

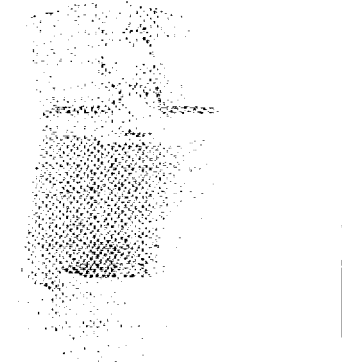
εφφ = συντελεστής που εξαρτάται από την επιθυμητή τιμή του συντελεστή ισχύος συνφ και υπολογίζεται από την σχέση:

$$\epsilon\phi\phi = \frac{\sqrt{1 - \text{συν}\phi^2}}{\text{συν}\phi}$$

15. Εξαρτήματα και υλικά για μια πλήρη εγκατάσταση αντιστάθμισης

Τα εξαρτήματα και τα υλικά των διάφορων συσκευών που χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση και παρακολούθηση της άεργης ισχύος σε μια πλήρη εγκατάσταση βελτίωσης συντελεστής ισχύος παρατίθεται στον πίνακα 10.

Πίνακας 10 Εξαρτήματα και υλικά πλήρους εγκατάστασης αντιστάθμισης			
α/α	Όνομασία εξαρτήματος	Χαρακτηριστικά εξαρτήματος	Πραγματική μορφή εξαρτήματος
1	Πυκνωτές	Αυτοί είναι σωληνωτοί, ειδικής κατασκευής με απώλειες μικρότερες των 0,3 W/kVAr και αποτελούν ομάδες με βαθμίδες πυκνωτών.	
2	Ρυθμιστής άεργης ισχύος	Αυτός ελέγχει –σε τάση 400V μέσω Μ/Σ έντασης- και διορθώνει τον συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης. Κατά την λειτουργία του ο ρυθμιστής άεργης ισχύος: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Προσδιορίζει την υπάρχουσα τιμή του επιθυμητού συντελεστή ισχύος, ▪ Τη συγκρίνει με την τιμή του επιθυμητού συντελεστή ισχύος και, ▪ Ενεργοποιείται αν παρίσταται ανάγκη- στο σύστημα σύνδεσης των βαθμίδων πυκνωτών για: <ul style="list-style-type: none"> – Καθυστέρηση 30s στην ζεύξη, – Καθυστέρηση 30s στην απόζευξή τους Ο ρυθμιστής άεργης ισχύος διαθέτει ενδείξεις led για να φαίνεται αν στην εγκατάσταση υπάρχει ή δεν έχει επιτευχθεί ή έχει ξεπεραστεί η επιθυμητή τιμή συντελεστή ισχύος.	

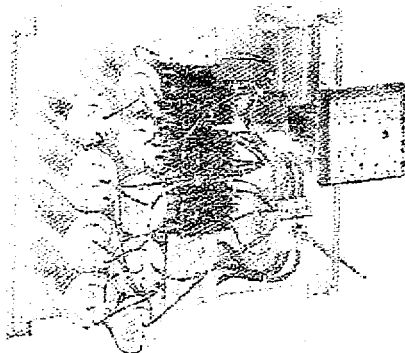
3	<p>Τηλεχειριζόμενος διακόπτης</p>	<p>Αυτός χρησιμοποιείται για την ζεύξη και την απόζευξη των βαθμίδων των πυκνωτών αντιστάθμισης αφού προηγουμένως ενεργοποιηθεί από τον ρυθμιστή άεργης ισχύος.</p> <p>Οι πυκνωτές αρχικά φορτίζονται μέσω των βοηθητικών επαφών του τηλεχειριζόμενου διακόπτη. Το πλήθος των βοηθητικών αυτών επαφών εξαρτάται από την άεργη ισχύ των πυκνωτών που πρόκειται να συνδεθούν στο δίκτυο των 400V και δίνεται στον παρακάτω πίνακα:</p> <table border="1" data-bbox="286 497 811 655"> <thead> <tr> <th>Άεργη ισχύς πυκνωτών [KVAr]</th> <th>Πλήθος βοηθητικών επαφών τηλεχειριζόμενου διακόπτη</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 12,5</td> <td>2 εργασίας και 1 ηρεμίας</td> </tr> <tr> <td>≥ 25</td> <td>2 εργασίας</td> </tr> </tbody> </table>	Άεργη ισχύς πυκνωτών [KVAr]	Πλήθος βοηθητικών επαφών τηλεχειριζόμενου διακόπτη	≤ 12,5	2 εργασίας και 1 ηρεμίας	≥ 25	2 εργασίας	
Άεργη ισχύς πυκνωτών [KVAr]	Πλήθος βοηθητικών επαφών τηλεχειριζόμενου διακόπτη								
≤ 12,5	2 εργασίας και 1 ηρεμίας								
≥ 25	2 εργασίας								
4	<p>Πηνία (φίλτρα) Εκφόρτισης</p>	<p>Αυτά έχουν κατασκευή με πολύ υψηλής τιμής επαγωγική αντικατάσταση. Προσδίδουν -δε- ασφάλεια και προστασία στην εγκατάσταση καθώς και στο προσωπικό χειρισμού, τόσο κατά τη λειτουργία όσο και κατά τη διακοπή της τροφοδοσίας τους από το δίκτυο. Αυτό συμβαίνει γιατί λειτουργώντας παράλληλα στον κάθε πυκνωτή, διαρρέεται από μικρό ρεύμα της τάξης των λίγων mA. Ο χρόνος εκφόρτισης για πυκνωτές ισχύος μέχρι το 50 kVAr, είναι μικρότερος των 10s.</p>							
5	<p>Ασφάλειες</p>	<p>Αυτές είναι συνήθως φυσιγγιού ταχείας τήξης ή μαχαιρωτές (συνήθως) και χρησιμοποιούνται για την προστασία των επιμέρους βαθμίδων των πυκνωτών από βραχυκυκλώματα. Επιλέγονται για εντάσεις μεγαλύτερες κατά 1,8 φορές από την ονομαστική ένταση των πυκνωτών.</p>							
6	<p>M/Σ έντασης</p>	<p>Αυτός συνδέεται με τον ρυθμιστή άεργης ισχύος σε έναν αγωγό φάσης του δικτύου, πάντοτε πριν από την συσκευή ρύθμισης. Η κατασκευή του είναι για τις ακόλουθες εντάσεις: 150-200-250-300-400-500-600-750-1000-1200-1500-2000-2500-3000 [A]. Όπου ο M/Σ έντασης συνδεθεί με την συσκευή φόρτισης, οι πυκνωτές -μετά την απόζευξη των καταναλωτών- διοχετεύουν ισχύ στο δίκτυο, με αποτέλεσμα την δημιουργία του φαινομένου της</p>							

υπεραντιστάθμισης.

Στην πράξη οι συσκευές ρύθμισης άεργου ισχύος χαρακτηρίζονται και ως ερμάρια πυκνωτών.

Σ' αυτά υπάρχουν ομάδες πυκνωτών, η παρεμβολή των οποίων στο κύκλωμα της ηλεκτρικής εγκατάστασης εξαρτάται από τις απαιτήσεις της σε άεργη ισχύ και πραγματοποιείται κατά βαθμίδες.

Ομάδες πυκνωτών	I.	II.	III.	Βαθμίδες	Σύνολο άεργης ισχύος βαθμίδας [KVA _r]
Άεργη ισχύς ομάδας πυκνωτών	25	50	100		
Αναλογία άεργης ισχύος ομάδας	1	2	4		
Σχηματική μορφή λειτουργίας συστήματος	.....			1	25
	.....			2	50
	.....			3	75
	.....			4	100
	.....			5	125
	.....			6	150
	.....			7	175

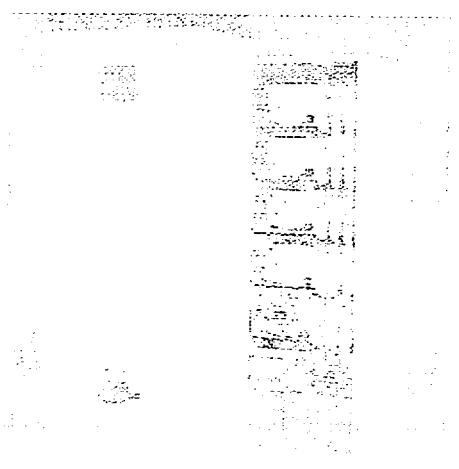


Σχήμα 12 Σχηματική διάταξη ερμαρίου πυκνωτών συνολικής άεργης ισχύος 175 KVA_r, με 7 βαθμίδες 7 πυκνωτών των 2 KVA_r και σε αναλογία ομάδων 1:2:4

Σχήμα 13 Μορφή σασσί αλουμινίου με τοποθετημένα τα εξαρτήματα ρύθμισης άεργης ισχύος

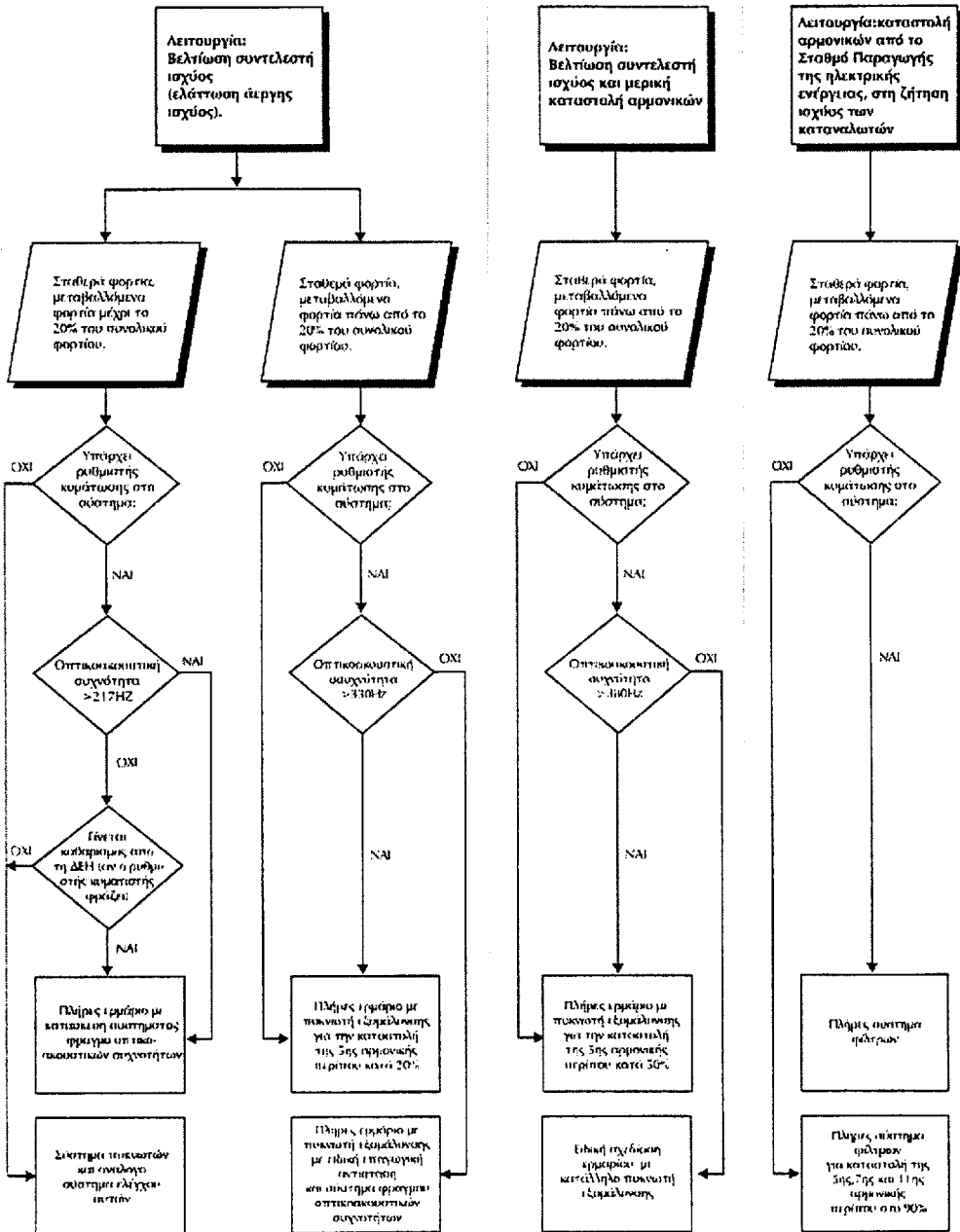
Σχήμα 14 Πεδίο πυκνωτών για την βελτίωση του συντελεστή ισχύος (συνφ) εγκατάστασης σε 30 KVA_r – 400 W – 50 Hz

Τέλος, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ερμαρίων πυκνωτών για την βελτίωση του συντελεστή ισχύος αναφέρονται στην:



- τάση σύνδεσης,
- συνολική άεργο ισχύ,
- επιμέρους άεργο ισχύ βαθμίδας,
- ένταση ρεύματος,
- επιλογή διακόπτη,
- επιλογή καλωδίων σύνδεσης και
- επιλογή ασφαλειών, που δίνονται στον πίνακα 11.

16. Σχεδιάγραμμα επιλογής πυκνωτών και ερμαρίων



Σχήμα 15 Σχηματικό διάγραμμα επιλογής ερμαρίων πυκνωτών αντιστάθμισης

Πίνακας 11 Τεχνικά χαρακτηριστικά ερμαρίων πυκνωτών αντιστάθμισης

Τάση χρησιμο- ποίησης ερμαρίου	Συνολική άεργος ισχύς ερμαρίου [kVAr]	Άεργη ισχύς και αρίθμηση βαθμίδας					Ένταση ρεύματος [A]	Ένταση ρεύματος διακόπτη [A]	Διατομή καλωδίου σύνδεσης [mm ²]	Επιλογή ασφάλειας [A]
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	5 ^η				
230V/50 Hz ή 220V/50 Hz	2.5	0,4	0,7	1,4	-	-	6,3	25	4	25
	5	0,7	1,4	2,9	-	-	12,6	25	6	36
	10	2,5	2,5	5	-	-	25,1	40	10	40
	12.5	2,5	5	5	-	-	31,4	63	16	63
	17.5	2,5	5	10	-	-	43,9	125	25	50
	25	5	10	10	-	-	62,8	125	35	100
	30	5	5	10	10	-	75,3	160	50	125
	40	5	5	10	10	10	100,4	160	70	160
	50	5	5	10	10	20	125,5	250	70	200
400V/50 Hz ή 380V/50 Hz	5	0,7	1,4	2,9	-	-	7,2	25	4	16
	7.5	1,1	2,1	4,3	-	-	10,8	25	6	16
	10	1,4	2,9	5,7	-	-	14,4	25	6	25
	12.5	2,5	5	5	-	-	18,0	25	6	36
	17.5	2,5	5	10	-	-	25,3	40	10	40
	20	5	5	10	-	-	28,9	40	10	50
	25	5	10	10	-	-	36,1	63	16	63
	35	5	10	20	-	-	50,5	125	25	80
	50	10	20	20	-	-	72,2	125	35	125
	60	10	10	20	20	-	86,6	160	50	160
	70	10	20	20	20	-	101,0	160	70	160
	80	10	10	20	20	20	115,5	250	70	200
	90	10	20	20	20	20	129,9	250	95	200
	100	10	10	20	20	40	144,3	250	95	250

Σημείωση

Η επιλογή των αγωγών τροφοδοσίας πραγματοποιείται για ένταση ρεύματος μεγαλύτερη κατά 1,5 από την ονομαστική ένταση του ρεύματος των πυκνωτών.

17. Διάφοροι τρόποι υπολογισμού άεργης ισχύος πυκνωτών αντιστάθμισης.

17.1. Γενικά

Ο υπολογισμός της άεργης ισχύος των πυκνωτών αντιστάθμισης (Q_c) πραγματοποιείται και με τους πιο κάτω τρόπους, που είναι πρακτικοί και πολύ εύχρηστοι, οι οποίοι όμως, δεν προσδίδουν πολύ μεγάλη ακρίβεια.

17.2. Προσδιορισμός του συντελεστή αντιστοιχίας συνημίτονων

Η άεργη ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης (Q_c) υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q_c = F \cdot P_1$$

Όπου: P1 = η πραγματική ισχύς που απορροφά κατά την λειτουργία της εγκατάσταση.

F = ο συντελεστής αντιστοιχίας, ο οποίος προκύπτει από το υπάρχον συνφ1 και το επιθυμητό για την εγκατάσταση συνφ. Ο συντελεστής αντιστοιχίας (F) προσδιορίζεται από τα στοιχεία του πίνακα 12:

Υπάρχον συνφ		Επιθυμητό συνφ				
		0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
Συνφ ₁	Εφφ ₁	F συντελεστής				
0,48	1,83	1,08	1,21	1,34	1,50	0,83
0,50	1,73	0,98	1,11	1,25	1,40	0,73
0,52	1,64	0,89	1,03	1,16	0,31	1,64
0,54	1,56	0,81	0,94	1,08	0,23	1,56
0,56	1,48	0,73	0,86	1,00	1,15	1,48
0,58	1,41	0,66	0,78	0,92	1,08	1,41
0,60	1,33	0,58	0,71	0,85	0,01	1,33
0,62	1,27	0,52	0,65	0,78	0,94	1,27
0,64	1,20	0,45	0,58	0,72	0,87	1,20
0,66	1,14	0,39	0,52	0,66	0,81	1,14
0,68	1,08	0,33	0,46	0,59	0,75	1,08
0,70	1,02	0,20	0,40	0,54	0,69	1,02
0,72	0,96	0,21	0,34	0,48	0,64	0,96
0,74	0,91	0,16	0,29	0,43	0,58	0,91
0,76	0,86	0,11	0,23	0,37	0,53	0,86
0,78	0,80	0,05	0,18	0,32	0,47	0,80
0,80	0,75	-	0,13	0,27	0,42	0,75
0,82	0,70	-	0,08	0,21	0,37	0,70
0,84	0,65	-	0,02	0,16	0,32	0,65
0,86	0,59	-	-	0,11	0,26	0,59
0,88	0,54	-	-	0,06	0,21	0,54

Παράδειγμα:

Βιοτεχνική εγκατάσταση απορροφά για την λειτουργία της ισχύς 110KW και λειτουργεί με συντελεστή ισχύος 0,62. Να προσδιοριστεί η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης της, ώστε ο συντελεστής ισχύος της να λάβει τιμή συνφ = 0,9.

Λύση:

Από τον πίνακα 12 για το υπάρχον συνφ₁=0,62 και το επιθυμητό συνφ = 0,9 επιλέγουμε τον συντελεστή αντιστοιχίας που είναι:

$$F = 0.78$$

Η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης είναι:

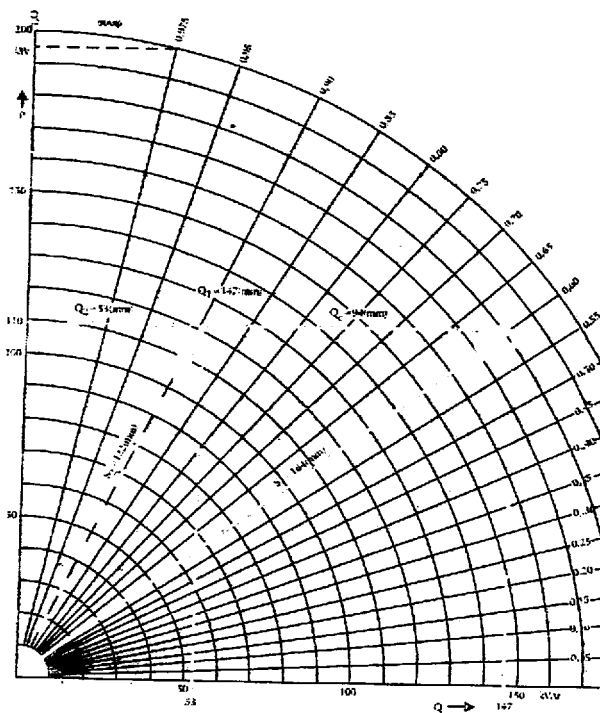
$$Q_c = F \cdot P_1 = 0.78 \cdot 110 = 85.8 \text{ KVAR}$$

Επιλέγεται ερμάριο πυκνωτών των 100KVAR

17.3. Από το διάγραμμα του συντελεστή ισχύος

Ο υπολογισμός της άεργης ισχύος των πυκνωτών αντιστάθμισης (Q_c) πραγματοποιείται και με γραφική μέθοδο, με την χρησιμοποίηση του πιο κάτω διαγράμματος.

Η μέθοδος αυτή, αν και είναι εύχρηστη δεν παρέχει μεγάλη ακρίβεια στον υπολογισμό της άεργης ισχύος των πυκνωτών.



Σχήμα 16 Διάγραμμα προσδιορισμού συντελεστή ισχύος (συνφ)

Παράδειγμα:

Βιομηχανική εγκατάσταση απαιτεί για τη λειτουργία της ισχύ 550KW και λειτουργεί με συντελεστή ισχύος $\cos \phi_1 = 0,6$.

Να προσδιοριστεί η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισής της, ώστε ο συντελεστής ισχύος της να λάβει τιμή $\cos \phi = 0,9$.

Λύση:

Επειδή θα εργαστούμε στο διάγραμμα προσδιορισμού συντελεστή ισχύος, επιλέγουμε κλίμακα 1mm = 5KW, KVA, KVAR.

Έτσι, η δοσμένη ισχύ των 550KW, στο διάγραμμα θα αντιστοιχεί σε 110KW. Φέρουμε παράλληλη στον οριζόντιο άξονα που τέμνει τις ακτίνες που αντιστοιχούν στους συντελεστές ισχύος 0,6 και 0,9 στα σημεία Α και Β.

Από το κέντρο του κύκλου και για τα σημεία αυτά προσδιορίζουμε την φαινομένη ισχύ πριν και μετά την βελτίωση του συντελεστή ισχύος.

$$S_1 = 184 \text{ mm} \cdot 5\text{KVA/mm} = 920 \text{ KVA}$$

$$S_2 = 122 \text{ mm} \cdot 5\text{KVA/mm} = 610 \text{ KVA}$$

Οι αντίστοιχες άεργες ισχύς της εγκατάστασης πριν και μετά τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος Q1 και Q2 είναι:

$$Q_1 = 147 \text{ mm} \cdot 5\text{KVA/mm} = 735 \text{ KVAr}$$

$$Q_2 = 53 \text{ mm} \cdot 5\text{KVA/mm} = 265 \text{ KVAr}$$

Τέλος η άεργη ισχύ των πυκνωτών είναι:

$$Q_c = 94\text{MM} \cdot 5\text{KVA/mm} = 470 \text{ KVAr.}$$

Επιλέγεται ερμάριο πυκνωτών των 500KVAr

17.4. Από πίνακες άμεσου προσδιορισμού αυτής

Ο υπολογισμός της άεργης ισχύος των πυκνωτών (Q_c) αντιστάθμισης, για τις διαφορετικές τιμές συντελεστή ισχύος $\cos\phi$ (0,85-0,90-0,95), αν είναι γνωστή η πραγματική ισχύς (P) και η υπάρχουσα τιμή του συντελεστή ισχύος $\cos\phi$, μιας εγκατάστασης, πραγματοποιείται άμεσα από τον πίνακα 13:

Πίνακας 13 Άμεσος προσδιορισμός της άεργης ισχύος πυκνωτών αντιστάθμισης													
Πραγματική ισχύς [kW]	0,60		0,65		0,70		0,75		0,80		0,85		
	α = άεργη ισχύς πυκνωτών [kVAr]						β = προτεινόμενη άεργη ισχύς πυκνωτών [kVAr]						
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	
1. Επιθυμητή τιμή συντελεστή ισχύος: $\cos\phi = 0,85$													
200	143	150	110	100	80	75	52	50	26	25	-	-	
180	129	125	99	100	72	75	47	50	23	25	-	-	
160	114	125	88	100	64	75	42	40	21	20	-	-	
140	100	100	77	75	56	50	37	40	18	20	-	-	
120	86	100	66	75	48	50	31	30	16	15	-	-	
100	71	75	55	50	40	40	26	25	13	15	-	-	
80	57	50	44	40	32	30	21	20	10	15	-	-	
60	43	40	33	30	24	25	16	15	8	-	-	-	
40	29	30	22	25	16	15	10	15	5	-	-	-	
20	14	15	11	15	8	-	5	-	3	-	-	-	
2. Επιθυμητή τιμή συντελεστή ισχύος: $\cos\phi = 0,90$													
200	170	175	137	150	107	100	80	75	53	50	27	30	

180	153	150	123	125	966	100	72	75	48	50	24	25
160	135	150	110	100	89	100	64	75	43	50	22	20
140	119	125	98	100	75	75	56	50	37	40	19	20
120	102	100	82	75	64	75	48	50	32	30	16	15
100	85	75	67	75	54	50	40	40	27	30	14	15
80	68	75	55	50	43	40	32	30	21	20	11	15
60	51	50	41	40	32	30	24	25	16	15	8	-
40	34	30	27	25	21	20	16	15	11	15	6	-
20	17	15	14	15	11	15	8	-	5	-	3	-
3. Επιθυμητή τιμή συντελεστή ισχύος: συνφ = 0,95												
200	201	200	168	175	133	125	111	125	84	75	58	50
180	181	175	151	150	119	125	100	100	76	75	52	50
160	161	150	134	150	106	100	88	100	67	75	47	50
140	141	150	118	125	93	100	77	75	59	50	41	40
120	121	125	101	100	80	75	66	75	51	50	35	30
100	101	100	84	75	66	75	55	50	42	50	29	30
80	80	75	67	75	53	50	44	50	34	30	23	25
60	60	75	50	50	40	40	33	30	25	25	17	15
40	40	40	34	30	27	25	22	25	17	15	12	15
20	20	20	17	15	13	15	11	15	8	-	6	-

Παράδειγμα:

Βιομηχανική εγκατάσταση με απορροφούμενη ισχύ 360KW λειτουργεί με συντελεστή ισχύος 0,65.

Να προσδιορισθεί η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισής της, ώστε ο συντελεστής ισχύος να λάβει τιμή 0,9.

Λύση:

Επειδή η ισχύς της εγκατάστασης των 360 KW δεν περιλαμβάνεται στον πίνακα 13, την χωρίζουμε σε: (200+160)KW.

Έτσι από το τμήμα 2 του πίνακα για το επιθυμητό, δηλαδή συνφ = 0,9 έχουμε:

για: 200KW/συνφ₁ = 0,65 => α= 137 KVA_r και β= 150KVA_r

για: 150KW/συνφ₁ = 0,65 => α= 110 KVA_r και β= 100KVA_r

Η συνολική άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης, για την συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι:

$$Q_c = 137+110 = 247 \text{ KVA}_r$$

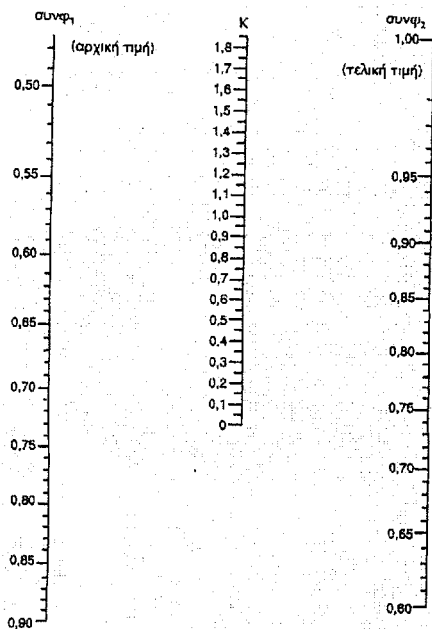
Η προτεινόμενη άεργος ισχύς είναι της τάξης των:
150+100 = 250KVA_r.

17.5. Από νομογράφημα συντελεστή ισχύος

Ο υπολογισμός της άεργης ισχύος των πυκνωτών (Q_c) αντιστάθμισης, προσδιορίζεται και από το νομογράφημα του σχήματος 10. Για να γίνει αυτό, πρέπει να γνωρίζουμε τον αρχικό συντελεστή ισχύος (συνφ_1) της εγκατάστασης και τον τελικό συντελεστή ισχύος (συνφ_2) αυτής, οπότε με την χάραξη ευθείας εντοπίζεται ο συντελεστής K.

Η τιμή της άεργης ισχύος των πυκνωτών αντιστάθμισης προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του συντελεστή K και της πραγματικής ισχύος της εγκατάστασης (KW). Δηλαδή:

$$Q_c = K \cdot P \text{ [KVar]}$$



Σχήμα 17 Νομογράφημα συντελεστή ισχύος

Ακόμη, για μεγαλύτερη ασφάλεια από αυτήν που παρέχει το νομογράφημα του συντελεστή ισχύος, η τιμή του συντελεστή K είναι δυνατόν να προσδιοριστεί για τον αρχικό συντελεστή ισχύος (συνφ₁) και τον τελικό συντελεστή ισχύος συνφ₂, από τον πίνακα 14:

Πίνακας 14 Τιμές σταθεράς K για χρήση νομογραφήματος				
Αρχικές τιμές συνφ ₁	Σταθερά K			
	Επιθυμητές (τελικές) τιμές συνφ ₂ =			
	0,95	0,90	0,85	0,80
0,50	1,403	1,248	1,112	0,982
0,51	1,358	1,202	1,067	0,936
0,52	1,314	1,580	1,023	0,892
0,53	1,271	1,116	0,980	0,850
0,54	1,230	1,174	0,939	0,808
0,55	1,190	1,034	0,898	0,768
0,56	1,150	0,995	0,859	0,729
0,57	1,113	0,957	0,822	0,691
0,58	1,076	0,920	0,785	0,654
0,59	1,040	0,884	0,748	0,618
0,60	1,005	0,549	0,713	0,583
0,61	0,970	0,815	0,679	0,548
0,62	0,937	0,781	0,646	0,515
0,63	0,904	0,748	0,613	0,482

Αντιστάθμιση Ισχύος3

0,64	0,872	0,716	0,581	0,450
0,65	0,841	0,685	0,549	0,419
0,66	0,810	0,654	0,518	0,388
0,67	0,779	0,624	0,488	0,358
0,68	0,750	0,594	0,458	0,328
0,69	0,720	0,565	0,429	0,298
0,70	0,692	0,536	0,400	0,270
0,71	0,663	0,507	0,372	0,214
0,72	0,635	0,480	0,344	0,214
0,73	0,608	0,452	0,316	0,186
0,74	0,580	0,425	0,289	0,158
0,75	0,553	0,398	0,262	0,132
0,76	0,527	0,371	0,235	0,105
0,77	0,500	0,344	0,209	0,078
0,78	0,474	0,318	0,182	0,052
0,79	0,447	0,292	0,156	0,026
0,80	0,421	0,566	0,130	-
0,81	0,395	0,240	0,104	-
0,82	0,369	0,214	0,078	-
0,83	0,343	0,188	0,052	-
0,84	0,317	0,162	0,026	-
0,85	0,291	0,135	-	-
0,86	0,265	0,109	-	-
0,87	0,238	0,082	-	-
0,88	0,211	0,055	-	-
0,89	0,184	0,027	-	-
0,90	0,156	-	-	-

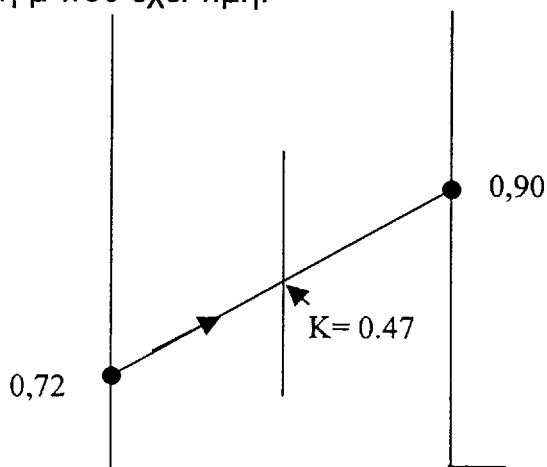
Παράδειγμα:

Σε μια βιομηχανική εγκατάσταση ισχύος 450KW, ο συντελεστής ισχύος έχει τιμή 0,72 και πρόκειται να αντισταθμιστεί στην τιμή 0,9.

Να προσδιοριστεί η τιμή της άεργης ισχύος των χρησιμοποιούμενων τιμών αντιστάθμισης.

Λύση:

Από το νομογράφημα του συντελεστή ισχύος προσδιορίζουμε το συντελεστή μ που έχει τιμή:



Σχήμα Προσδιορισμός του συντελεστή μ από το νομογράφημα

Η τιμή της άεργης ισχύος των πυκνωτών αντιστάθμισης είναι:

$$Q_c = K \cdot P \Leftrightarrow Q_c = 0.47 \cdot 450 = 211.5 \text{ KVAr}$$

18. Μελέτη αντιστάθμισης ηλεκτρικής εγκατάστασης

Ηλεκτρική εγκατάσταση απορροφά για τη λειτουργία της 550 KW από το δίκτυο της ΔΕΗ των 230/400 V – 50 Hz, με συντελεστή ισχύος 0,55.

- α. Να προσδιοριστεί η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης καθώς επίσης και η τιμή της χωρητικότητάς τους, ώστε ο συντελεστής ισχύος της να λάβει την τιμή 0,9.
- β. Να υπολογιστεί το ποσοστό μείωσης της παραγόμενης ισχύος μετά την αντιστάθμιση.
- γ. Να υπολογιστεί η ένταση του ρεύματος που απορροφά για την λειτουργία της η εγκατάσταση πριν και μετά την αντιστάθμιση της.

Λύση

- α. Η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q_c = P (\epsilon\phi\phi_1 - \epsilon\phi\phi_2)$$

Από τον πίνακα 2 λαμβάνουμε για:

$$\text{συν}\phi_1 = 0,55 \Leftrightarrow \epsilon\phi\phi_1 = 1,52$$

$$\text{συν}\phi_2 = 0,9 \Leftrightarrow \epsilon\phi\phi_2 = 0,48$$

Με αντικατάσταση στη σχέση (1) λαμβάνουμε

$$Q_c = 450 (1.52 - 0.48) = 450 \cdot 1.04 \Leftrightarrow Q_c = 468 \text{ kVAr}$$

Η χωρητικότητα των πυκνωτών αντιστάθμισης σε συνδεσμολογία τριγώνου – όπου στον καθέναν απ' αυτούς άεργος ισχύς $Q_{c'} = 468/3 = 156 \text{ kVAr}$ υπολογίζεται από την σχέση:

$$C = \frac{Q_{c'}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2} = \frac{156 \text{ kVAr}}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 400^2} \Leftrightarrow C = 3,1 \mu\text{F}$$

Σημείωση

Στην πράξη θα χρησιμοποιηθεί σύστημα ερμαρίων πυκνωτών που θα περιλαμβάνει ένα ερμάριο των 70 KVAr με βαθμίδες ισχύος (10 – 20 – 20) KVAr και τέσσερα ερμάρια των 100 KVAr με βαθμίδες ισχύος (910 – 10 – 20 – 20 – 40) KVAr.

Με τον τρόπο αυτό στο κύκλωμα της εγκατάστασης θα παρεμβάλλεται κάθε φορά αριθμός διατάξεων πυκνωτών ανάλογος με τις απαιτήσεις της σε άεργο ισχύ.

β. Το ποσοστό μείωσης της παραγόμενης ισχύος πριν και μετά την αντιστάθμιση είναι:

$$\frac{S1}{S1 - S2} \cdot 100\%$$

Η φαινομένη ισχύς της εγκατάστασης πριν και μετά την αντιστάθμιση είναι:

$$S1 = \frac{P}{\text{συν}\phi_1} = \frac{450}{0,55} = 818,18 \text{ KVA}$$

$$S2 = \frac{P}{\text{συν}\phi_2} = \frac{450}{0,9} = 500 \text{ KVA}$$

Με την αντικατάσταση στη σχέση 2 λαμβάνουμε:

$$\frac{818,18 - 500}{818,18} \cdot 100 = 38,88 \%$$

γ. Η ένταση του ρεύματος που απορροφά για την λειτουργία της εγκατάσταση πριν και μετά την αντιστάθμιση της, αντίστοιχα είναι:

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \text{συν}\phi_1} = \frac{450.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,55} \Leftrightarrow I_1 = 1182,34 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \text{συν}\phi_2} = \frac{450.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} \Leftrightarrow I_2 = 722,54 \text{ A}$$

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται ο συντελεστής ισχύος μειώνεται και το ρεύμα.

19. Μελέτη αντιστάθμισης αίθουσας με φωτισμό λαμπτήρων φθορισμού

Εγκατάσταση φωτισμού αίθουσας με λαμπτήρες φθορισμού των 58 W, τροφοδοτείται στο δίκτυο της ΔΕΗ 230/400 V – 50 Hz.

Το φορτίο της κάθε φάσης είναι 870 W με $\text{συν}\phi = 0,4$

Να προσδιοριστεί η άεργος ισχύς και η τιμή της χωρητικότητας των πυκνωτών βελτίωση συντελεστή ισχύος στην τιμή 0,9 για: α) ατομική αντιστάθμιση και β) ομαδική αντιστάθμιση στην οποία έχει γίνει η σχηματική διάταξη.

Λύση

A) Από τον πίνακα 14 έχουμε πως για τους λαμπτήρες φθορισμού των 58W απαιτείται άεργος ισχύς των 110 VAR.

Η τιμή της χωρητικότητας του κάθε πυκνωτή θα είναι:

$$C = \frac{Q}{2\pi f U^2} = \frac{110}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 230^2} \Leftrightarrow C = 6.62 \mu F$$

β) Η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q_C = P \cdot (\epsilon\phi\phi_1 - \epsilon\phi\phi_2)$$

Από τον πίνακα 3 λαμβάνουμε για :

$$\text{συν}\phi_1 = 0,4 \Leftrightarrow \epsilon\phi\phi_1 = 2,29$$

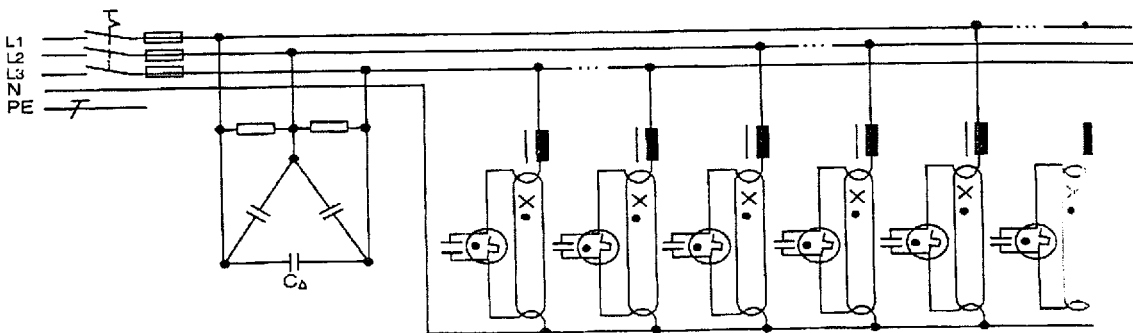
$$\text{συν}\phi_2 = 0,9 \Leftrightarrow \epsilon\phi\phi_2 = 0,48$$

Με αντικατάσταση στη σχέση 2 λαμβάνουμε:

$$Q_C = 870 \cdot (2.29 - 0.48) = 870 \cdot 1.81 = 1574.7 \text{ VAR}$$

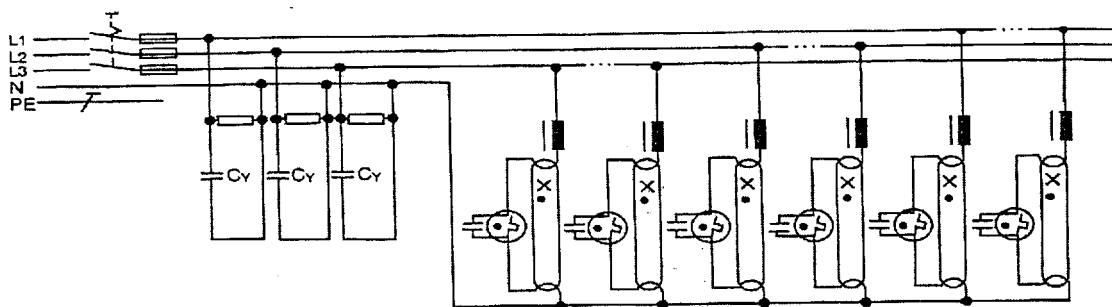
Η χωρητικότητα του κάθε πυκνωτή αντιστάθμισης για σύνδεση τριγώνου, είναι:

$$C_{\Delta} = \frac{Q_C}{2\pi f U^2} = \frac{1574.7}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 400^2} \Leftrightarrow C_{\Delta} = 31.34 \mu F$$



Σχήμα 18 Σχηματική παράσταση ομαδικής αντιστάθμισης λαμπτήρων φθορισμού με πυκνωτές συνδεδεμένους σε τρίγωνο και τριπολικό διακόπτη

Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν τρεις μονοπολικοί διακόπτες για τον ξεχωριστό έλεγχο της κάθε φάσης, τότε πρέπει να συνδεθεί ένας πυκνωτής παράλληλα στην κάθε ομάδα πυκνωτών.



Σχήμα 19 Σχηματική παράσταση ομαδικής παράστασης λαμπτήρων φθορισμού με έλεγχο των φάσεων από τρεις μονοπολικούς διακόπτες

Η χωρητικότητα του κάθε πυκνωτή, θα είναι:

$$C_Y = \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_\phi^2} = \frac{1574.7}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 230^2} \Leftrightarrow C_Y = 94.8 \mu F$$

20. Μελέτη αντιστάθμισης βιοτεχνικής εγκατάστασης

Βιοτεχνική εγκατάσταση τροφοδοτείται από το δίκτυο της ΔΕΗ (220/380 V – 50 Hz) και περιλαμβάνει:

- A. Τριφασικό κινητήρα: 7,5 kW - n = 0,86 – συνφ = 0,82
- B. Τριφασικό κινητήρα: 5,5 kW - n = 0,84 – συνφ = 0,80
- Γ. Τριφασικό κινητήρα: 11 kW - n = 0,88 – συνφ = 0,78
- Δ. Τριφασικό κινητήρα: 4 kW - n = 0,83 – συνφ = 0,76
- E. Επαγωγικό φορτίο: 9 kVA συνφ = 0,5
- ΣΤ. Φωτισμό φθορισμού: 4,2 kW καταμεμημένο στις τρεις φάσεις με συνφ = 0,4

Ζητούνται:

1. Η τιμή του συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης.
2. Η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης, ώστε ο συντελεστής ισχύος της να λάβει την τιμή 0,9.

Λύση

Από τον πίνακα 2 για τον συντελεστή ισχύος του κάθε φορτίου της εγκατάστασης προσδιορίζουμε την αντίστοιχη εφφ.

οπότε έχουμε:

$$\text{συνφ}_1 = 0,82 \Leftrightarrow \text{εφφ}_1 = 0,70$$

$$\text{συνφ}_2 = 0,80 \Leftrightarrow \text{εφφ}_2 = 0,75$$

$$\text{συν}\varphi_3 = 0,78 \Leftrightarrow \text{εφ}\varphi_3 = 0,80$$

$$\text{συν}\varphi_4 = 0,76 \Leftrightarrow \text{εφ}\varphi_4 = 0,86$$

$$\text{συν}\varphi_5 = 0,5 \Leftrightarrow \text{εφ}\varphi_5 = 1,73$$

$$\text{συν}\varphi_6 = 0,4 \Leftrightarrow \text{εφ}\varphi_6 = 2,29$$

Καταρτίζουμε τον παρακάτω πίνακα για τα διάφορα τμήματα της εγκατάστασης πριν την αντιστάθμισή της:

Πίνακας 16 Υπολογισμοί μελέτης 20			
α/α	Είδος τμήματος εγκατάστασης	Υπολογισμός απορροφούμενης ισχύος	Υπολογισμός άεργης ισχύος
		$P_1 = P/n$ [kW]	$Q_n = P_1 \cdot \text{εφ}\varphi$ [kVar]
1	Τριφασικός κινητήρας	$P_1 = 7,5/0,86 = 8,72$	$Q_1 = 8.72 \cdot 0.70 = 6.104$
2	Τριφασικός κινητήρας	$P_1 = 5,5/0,84 = 6,54$	$Q_1 = 6.54 \cdot 0.75 = 4.905$
3	Τριφασικός κινητήρας	$P_1 = 11/0,88 = 12,5$	$Q_1 = 12.5 \cdot 0.80 = 10$
4	Τριφασικός κινητήρας	$P_1 = 4/0,83 = 4,81$	$Q_1 = 4.81 \cdot 0.86 = 4.136$
5	Επαγωγικά φορτία	$P_1 = S \cdot \text{συν}\varphi_5 = 9 \cdot 0,5 = 4,5$	$Q_1 = 4.5 \cdot 1.73 = 7.785$
6	Φωτισμός φθορισμού	$P_1 = 4,2$	$Q_1 = 4.2 \cdot 2.29 = 9.618$
Σύνολο		$P = 41.27$ [kW]	$Q = 42.548$ [kVar]

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα είναι:

$$\text{εφ}\varphi = \frac{P}{Q} = \frac{41.72}{42.548} = 0.96$$

α. Ο συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης προσδιορίζεται από τον πίνακα 2 για την τιμή της $\text{εφ}\varphi = 0,96$. Οπότε: $\text{συν}\varphi = 0,72$

$$\text{συν}\varphi_1 = 0,72$$

Επίσης από τον ίδιο πίνακα, για $\text{συν}\varphi_2 = 0,9$, βρίσκουμε:

$$\text{εφ}\varphi^2 = 0,48$$

β. η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης, υπολογίζεται από την σχέση:

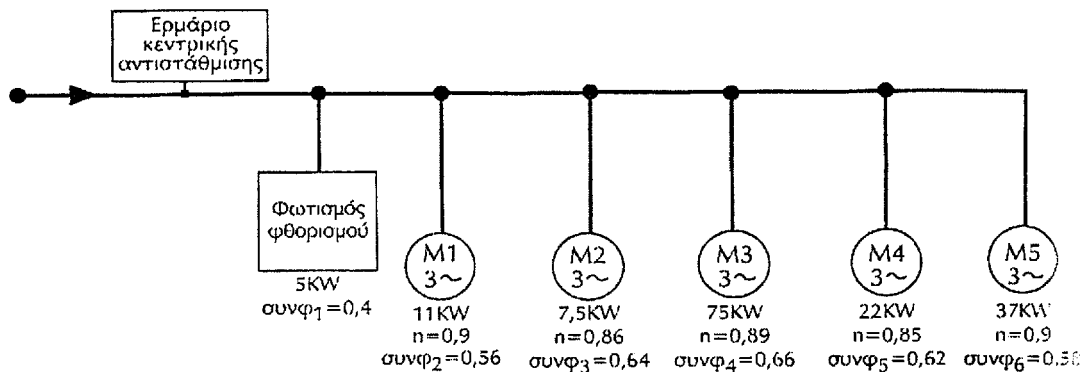
$$Q_C = P_1 (\text{εφ}\varphi_1 - \text{εφ}\varphi_2) = 41,72 (0,96 - 0,48) = 41,27 \cdot 0,48 = 19,8 \text{ kVar}$$

Η επιλεγόμενη άεργη ισχύς ερμαρίου είναι των **20 KVAR**, με βαθμίδες ισχύος (5-5-10) KVAR.

21. Μελέτη αντιστάθμισης μικρής βιομηχανικής εγκατάστασης

Βιομηχανική εγκατάσταση τροφοδοτείται από το δίκτυο της ΔΕΗ (230/400V – 50 Hz) και έχει την ακόλουθη σχηματική διάταξη. Ζητούνται:

1. Η τιμή του συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης.
2. Η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης, ώστε ο συντελεστής ισχύος της να λάβει την τιμή 0,9.



Σχήμα 20 Μονογραμμική σχηματική παράσταση ηλεκτρικής βιομηχανικής εγκατάστασης

Λύση:

Από τον πίνακα 7 για τον συντελεστή ισχύος του κάθε φορτίου της εγκατάστασης προσδιορίζουμε την αντίστοιχη εφφ.

Οπότε έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{συν}\varphi_1 &= 0,4 \Leftrightarrow \text{εφ}\varphi_1 = 2,29 \\ \text{συν}\varphi_2 &= 0,66 \Leftrightarrow \text{εφ}\varphi_2 = 1,14 \\ \text{συν}\varphi_3 &= 0,74 \Leftrightarrow \text{εφ}\varphi_3 = 0,91 \\ \text{συν}\varphi_4 &= 0,64 \Leftrightarrow \text{εφ}\varphi_4 = 1,20 \\ \text{συν}\varphi_5 &= 0,72 \Leftrightarrow \text{εφ}\varphi_5 = 0,96 \\ \text{συν}\varphi_6 &= 0,68 \Leftrightarrow \text{εφ}\varphi_6 = 1,08 \end{aligned}$$

Καταρτίζουμε τον παρακάτω πίνακα για τα διάφορα τμήματα της εγκατάστασης πριν την αντιστάθμισή της:

Πίνακας 17 Υπολογισμοί μελέτης 21			
α/α	Είδος τμήματος εγκατάστασης	Υπολογισμός απορροφούμενης ισχύος	Υπολογισμός άεργης ισχύος
		$P_1 = P/n$ [kW]	$Q_n = P_1 \cdot \text{εφ}\varphi$ [kVar]
1	Τριφασικός	$P_1 = 5$	$Q_1 = 5 \cdot 2,29 = 11,45$

	κινητήρας M1		
2	Τριφασικός κινητήρας M2	$P_1 = 11/0,9 = 12,22$	$Q_1 = 12,22 \cdot 1,14 = 13,93$
3	Τριφασικός κινητήρας M3	$P_1 = 7,5/0,86 = 8,72$	$Q_1 = 8,72 \cdot 0,91 = 7,93$
4	Τριφασικός κινητήρας M4	$P_1 = 75/0,89 = 84,27$	$Q_1 = 84,27 \cdot 1,2 = 101,12$
5	Τριφασικός κινητήρας M5	$P_1 = 22/0,85 = 25,88$	$Q_1 = 25,88 \cdot 0,96 = 24,84$
6	Τριφασικός κινητήρας M6	$P_1 = 37/0,9 = 41,11$	$Q_1 = 41,11 \cdot 1,08 = 44,39$
Σύνολο		$P = 177,2 \text{ [kW]}$	$Q = 203,66 \text{ [kVar]}$

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα είναι:

$$\text{εφ}\phi_1 = \frac{P}{Q} = \frac{177,2}{203,66} = 0,87$$

α. Ο συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης προσδιορίζεται από τον πίνακα 17 για την τιμή της $\text{εφ}\phi_1 = 0,87$ Οπότε:

$$\text{συν}\phi_2 = 0,75$$

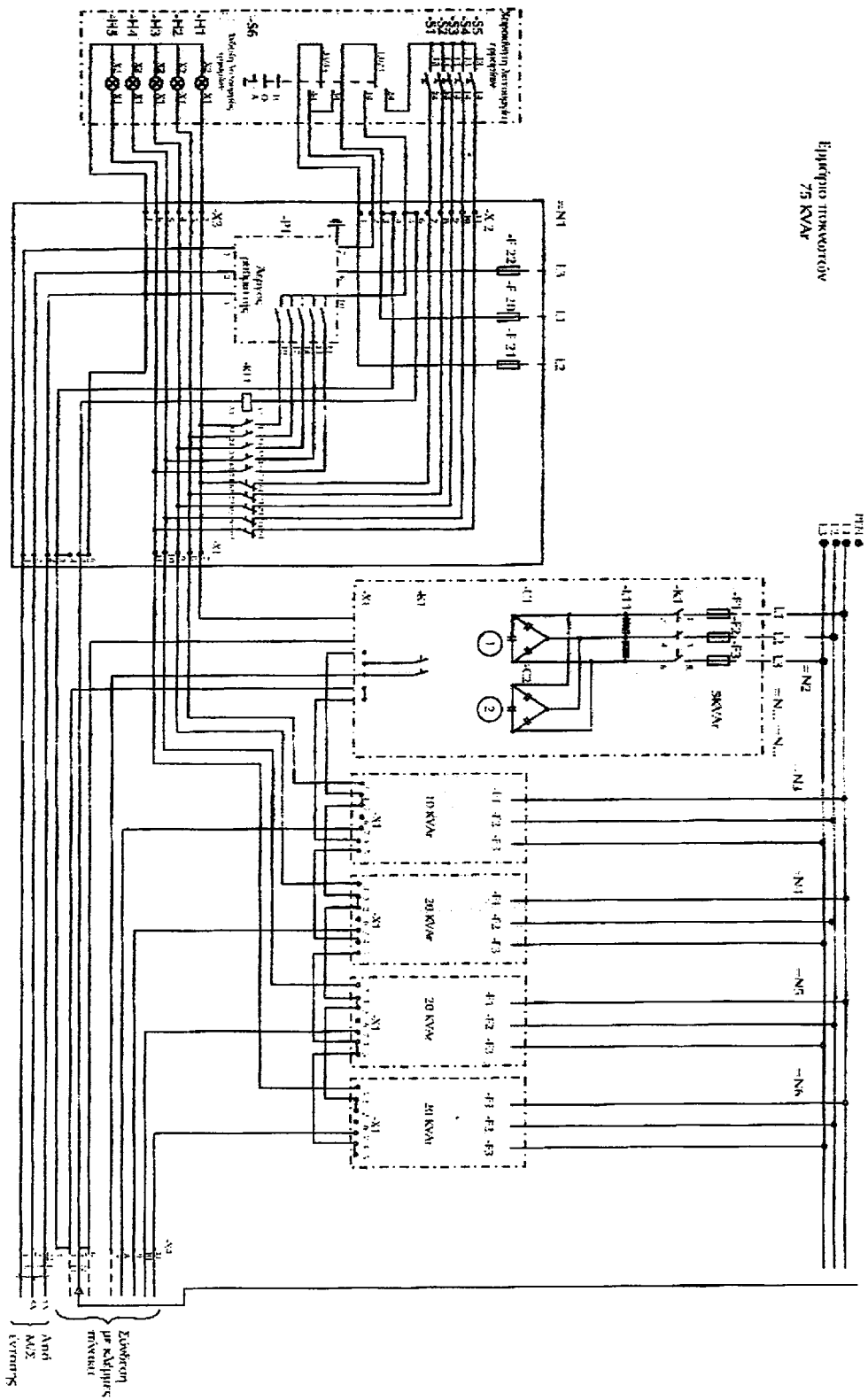
Επίσης από τον ίδιο πίνακα, για $\text{συν}\phi_2 = 0,9$, βρίσκουμε:

$$\text{εφ}\phi_2 = 0,48$$

β. η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης, υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q_C = P_1 (\text{εφ}\phi_1 - \text{εφ}\phi_2) = 177,2(0,87 - 0,48) = 177,2 \cdot 0,39 = 69,108 \text{ KVAr}$$

Η επιλεγόμενη άεργη ισχύς ερμαρίου είναι των **75 KVAr** με βαθμίδες ισχύος (5-10-20-20-20) KVAr.



Σχήμα 21 Ερμάριο κεντρικής αντιστάθμισης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Η μορφή ενός συστήματος έχει προκύψει και διαμορφώνεται συνεχώς με βάση την αρχή:

Η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να διατίθεται με μια λογική αξιοπιστία και ποιότητα κατά τον φτηνότερο τρόπο.

Τα δίκτυα, τα μεγέθη συσκευών, οι τάσεις κλπ. προσδιορίζονται με βάση οικονομικοτεχνικούς υπολογισμούς.

1. Χαρακτηριστικά Της Κατανάλωσης

Η διακύμανση της κατανάλωσης στο διασυνδεδεμένο σύστημα είναι αρκετά εξομαλυσμένη και ο λόγος της ελάχιστης προς τη μέγιστη ισχύ βρίσκεται περίπου στην αναλογία 1:2 έως 1:3. Σε δίκτυα νησιών, οι διακυμάνσεις ισχύος 1:10 ή 1:15 δεν είναι σπάνιες. Η καμπύλη ζήτησης ισχύος σαν συνάρτηση της ώρας της ημέρας, λέγεται καμπύλη φορτίου. Αυτή διαφέρει ανάλογα με την ημέρα, την εποχή, το έτος.

Χαρακτηριστικά μεγέθη καμπύλης φορτίου:

P = ισχύς,

T_0 = χρόνος παράστασης,

P_{max} = μέγιστη ισχύς,

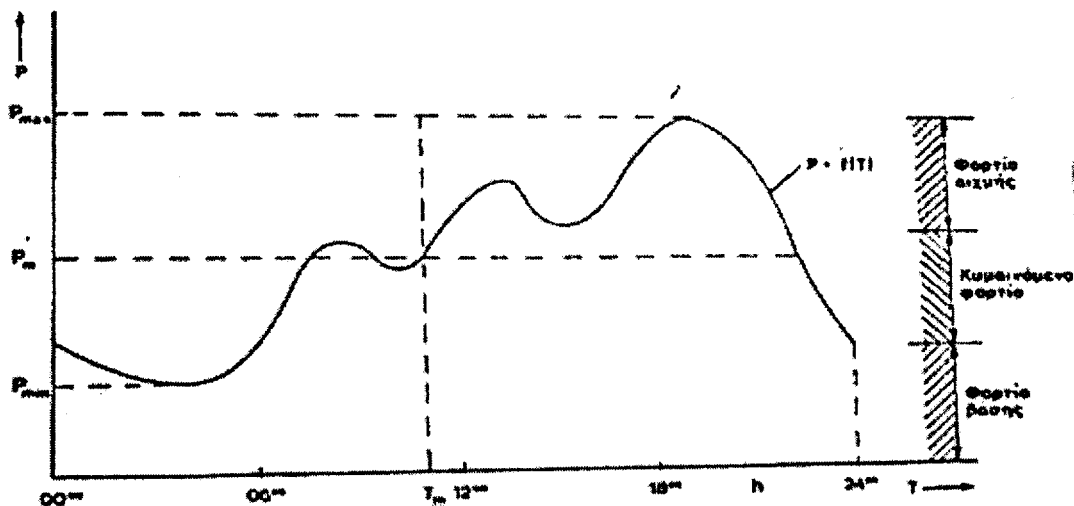
$A = \int_0^{T_0} P dt$ = ενέργεια,

P_m = μέγιστη ισχύς = A/T_0 ,

P_m/n = ελάχιστη ισχύς,

$M = \int_0^{T_0} P \cdot dt / P_{max}$

Το = συντελεστής φόρτισης (χρησιμοποιείται και το γράμμα φ) = P_m / P_{max} ,



Σημαντική εφαρμογή βρίσκει ο συντελεστής φόρτισης m . Αυτός είναι ο λόγος του παραχθέντος έργου προς το έργο που θα μπορούσε να παραχθεί αν το φορτίο ζητούσε συνεχώς τη μέγιστή του ισχύ. Ο συντελεστής m δείχνει πόσο καλά εκμεταλλευόμαστε τις εγκαταστάσεις διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μεταβαλλόμενη ισχύς χωρίζεται σε ζώνες. Είναι η ισχύς βάσης, η κυμαινόμενη ισχύς και η ισχύς αιχμής, όπως στο σχήμα. Το πλάτος των ζωνών δεν είναι απόλυτα καθορισμένο. Συνήθως λαμβάνεται ίσο με $P_{max}/3$.

Παρατηρούμε ότι τις ώρες από:

00:01- 06:00	έχουμε φορτίο βάσης
06:00- 12:00	έχουμε κυμαινόμενο φορτίο
12:00- 21:30	έχουμε φορτίο αιχμής
21:30- 24:00	έχουμε φορτίο βάσης

Το φορτίο βάσης εξυπηρετείται από τα εργοστάσια βάσης, κυρίως ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ), στην Ελλάδα. Για το κυμαινόμενο φορτίο συμφέρει να χρησιμοποιήσουμε υδροηλεκτρικά εργοστάσια, υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ). Για την εξυπηρέτηση της αιχμής γίνεται

χρήση υδροηλεκτρικών, αεροστροβίλων, υδροαντλητικών συγκροτημάτων καθώς και εισαγωγών ενέργειας ή ανταλλαγών.

Η καμπύλη φορτίου είναι χρήσιμη για τον προγραμματισμό της παραγωγής και των εργοστασίων παραγωγής. Για τον προγραμματισμό των κατασκευών, του δικτύου και για υπολογισμούς απωλειών και οικονομικών μεγεθών απαιτείται όμως να ξέρει κανείς και πόσο διαρκεί η ζήτηση μιας δεδομένης ισχύος. Αν πχ., ένα εργοστάσιο πρέπει να εξυπηρετήσει μια διαρκή ζήτηση, τότε πρέπει να προσέξουμε να είναι αποδοτικό έστω και αν επενδύσουμε κάτι παραπάνω από το σύνηθες για να το επιτύχουμε. Αν όμως ένας σταθμός εξυπηρετεί βραχυχρόνιες ανάγκες ο βαθμός ενεργειακής απόδοσης ίσως να μην παίξει τον κυρίαρχο ρόλο στην μελέτη του. Την διάρκεια ζήτησης μιας ορισμένης ισχύος ορίζουμε με την καμπύλη διάρκειας φορτίου.

Αν πρόκειται να υπολογίσουμε απώλειες σε μια γραμμή πρέπει να ληφθεί υπ όψιν η καμπύλη διάρκειας φορτίου της συγκεκριμένης γραμμής ή μετασχηματιστή.

2. Κόστος Της Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το ετήσιο κόστος για την διάθεση της ενέργειας στον καταναλωτή αποτελείται από ένα τμήμα ανεξάρτητο από την ενεργειακή κατανάλωση K , το κόστος ισχύος KP και ένα μέρος Kw το κόστος ενέργειας που μεταβάλλεται με την παρεχόμενη ενέργεια.

$$K = KP + Kw$$

Το κόστος ισχύος από τις επενδύσεις που έχουν γίνει για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή. Είναι κυρίως η εξυπηρέτηση διατεθέντων κεφαλαίων, τα τρέχοντα έξοδα για την διοίκηση, συντήρηση, ενδεχόμενους φόρους, ασφάλειες και λοιπές λειτουργίες της επιχείρησης.

Το κόστος ισχύος διαφέρει ανάλογα με το επίπεδο τάσης του καταναλωτή. Είναι μεγαλύτερο στην Χ.Τ. απ' ότι στην Υ.Τ. και αυτό γιατί το κόστος το δικτύων διανομής είναι σημαντικό. Το κόστος ισχύος

ανάγεται συνήθως στην εξασφαλισμένη ισχύ και στον χρόνο και αναφέρεται σε ένα ορισμένο έτος.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Στο κόστος ισχύος πρέπει να λαμβάνεται πάντα η ισχύς που συμπίπτει με το μέγιστο ζήτησης. Αν πχ. οι απώλειές μας δεν επιβαρύνουν το μέγιστο ισχύος καθόλου, τότε δεν είναι ανάγκη να συνυπολογιστεί το κόστος ισχύος.

3. Υπολογισμός Κόστους

Είναι το κόστος που προκαλείται από την εγκατάσταση και λειτουργία μιας συσκευής ή εγκατάστασης. Βάσει των υπολογισμών κόστους θα είναι τα παρακάτω δυο στοιχεία:

- Ο χρόνος εκμετάλλευση μιας εγκατάστασης. Μετά από ένα χρονικό διάστημα , πχ. 20 έτη, μια εγκατάσταση παλιώνει ή γίνεται τεχνοοικονομικά ασύμφορη, ίσως και λόγω τεχνολογικής προόδου. Μιλάμε για απαξίωση της εγκατάστασης.
- Το επιτόκιο αναγωγής του κόστους και ενδεχομένως ο πληθωρισμός.

Ο πίνακας 1 δείχνει τους χρόνους απαξίωσης για διάφορες εγκαταστάσεις.

Πίνακας 1 Συντελεστής ράντας gn . Αν πρέπει να εξοφληθεί κεφάλαιο K_0 σε n δόσεις με επιτόκιο p τότε η δόση (ράντα) είναι K_0gn

Συσκευή Διάταξη	Χρόνος απαξίωσης (έτη)	Συντελεστής ράντας $gn\%$, για επιτόκιο p = $\%$						
		4	6	8	10	15	20	25
Θερμικοί σταθμοί	15	9,0	10,3	11,7	13,2	17,1	21,4	25,9
Μετασχηματιστές	20	7,4	8,7	10,2	11,8	16,0	20,5	25,3
Γραμμές Δίκτυα	25	6,4	7,9	9,4	11,0	15,8	20,2	25,1
Οικοδομές	50	4,7	6,3	8,2	10,1	15,0	20,0	25,0
		4,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20,0	25,0

Ο χρόνος μετράται από την στιγμή που έχουμε το πρώτο έξοδο $t=0$ σε ακέραιες μονάδες που είναι εξάμηνα ή χρόνια. Χάριν απλότητας θα υπολογίσουμε με χρόνια. Μπορεί κανείς να υπολογίσει με ισότιμες μεθόδους.

- Παρούσα αξία. Υπολογίζεται πόσο κεφάλαιο έπρεπε να είχαμε στην τράπεζα την στιγμή $t=0$ για να πληρώσουμε όλα τα έξοδα που εμπíπτουν στο χρόνο υπολογισμού.
- Ράντα (τοκοχρεολυτική δόση). Υπολογίζεται πόσο σταθερό ποσό , ράντα (δόση), πρέπει να πληρώνεται στην τράπεζα ανά μονάδα χρόνου κατά την διάρκεια του χρόνου απαξίωσης, για να αναλάβει η τράπεζα να πληρώσει όλα τα έξοδα.

4. Υπολογισμός Του Ετήσιου Κόστους Ισχύος

Το κόστος ισχύος συνίσταται από το κόστος της κατασκευής, την μισθοδοσία για την εξυπηρέτηση των εγκαταστάσεων, συντήρηση και λειτουργία, φόρους και ασφάλειες. Τα έξοδα μισθοδοσίας, συντήρησης, ασφάλειες, φόροι μπορούν να θεωρηθούν σαν ποσοστό του επενδυμένου κεφαλαίου.

Πίνακας 2 Ετήσιο κόστος ισχύος f σε % της παρούσης αξίας

Συσκευή	Χρόνος Απαξίωσης (έτη)	R_n ($r=8\%$)	Μισθοί και Λειτουργικά %/a	Συντήρηση %/a	Φόροι Ασφάλειες %/a	Σύνολο f/a
Θερμικοί Σταθμοί	15	11,7	2,4	2,4	1,9	14,3
Μετασχηματιστές	20	10,2	1,7	1,7	1,9	15,5
Γραμμές Δίκτυα	25	9,4	1,1	1,9	1,9	14,3

Το ειδικό κόστος μεταβάλλεται ανάλογα με την τοποθεσία της διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας γιατί παρεμβάλλονται τα έξοδα των δικτύων και υποσταθμών υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης.

Με τα παραπάνω δεδομένα είναι η προσφορά ισχύος στα δίκτυα Υ.Τ. φθηνότερη από ότι στα δίκτυα Χ.Τ. επιβαρύνονται με υποσταθμούς. Επειδή το κόστος που προκαλεί ένας καταναλωτής είναι και ανάλογο της μέγιστης ισχύος του στα διάφορα τιμολόγια, μεγάλων ιδίως των καταναλωτών, γίνεται μέτρηση της μέγιστης ισχύος.

5. Τιμολόγηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οικονομικός στόχος μιας επιχείρησης ηλεκτρισμού είναι, τα έσοδά της όχι μόνο να καλύπτουν τις δαπάνες της αλλά να επιφέρουν και κέρδος, με μια σωστή τιμολόγησή της προς διάθεση ενέργειας. Τιμολόγηση είναι η διαδικασία χρέωσης του πελάτη.

Τιμολόγια

Παράγοντες που λαμβάνονται υπ όψιν κατά την διαμόρφωση των τιμολογίων είναι:

- Η τιμολόγηση πρέπει να είναι δίκαια κατά το εφικτό. Δηλαδή οι καταναλωτές πρέπει να χρεώνονται το κόστος που προκαλούν στην επιχείρηση. Πχ καταναλωτές σε ώρες αιχμής ζήτησης θα χρεώνονται περισσότερο από ότι καταναλωτές σε ώρες μικρής ζήτησης.
- Στα τιμολόγια πρέπει να αντανακλάται η οικονομική και κοινωνική πολιτική της χώρας. Ιδίως πρέπει να ληφθούν υπ όψιν οι οικονομικά ασθενείς τάξεις.

- Τα τιμολόγια πρέπει να οδηγούν στην σωστή διαμόρφωση της κατανάλωσης. Πχ πρέπει να δημιουργούν αντικίνητρα για κατανάλωση σε ώρες αιχμής και κίνητρα για κατανάλωση σε ώρες μειωμένης ζήτησης.

Για να τιμολογηθεί δίκαια ο πελάτης, σύμφωνα με το κόστος που προκαλεί πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

- Η τάση σύνδεσης. Έχουμε τιμολόγια χαμηλής, μέσης και υψηλής τάσης (Χ.Τ., Μ.Τ., Υ.Τ.). Αυτό γιατί το κόστος διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την τάση, εφόσον περιέχει και το κόστος των δικτύων μεταφοράς και διανομής.
- Η ισχύς. Αυτό γιατί πρέπει να καλυφθεί το κόστος κατασκευής των εγκαταστάσεων παραγωγής και διάθεσης ενέργειας.
- Η ενέργεια. Αυτό γιατί πρέπει να καλυφθεί το μεταβλητό κόστος παραγωγής, δηλαδή το κόστος καυσίμου κυρίως.
- Η περίοδος φόρτισης. Το κόστος της νυχτερινής παραγωγής 23:00-07:00 είναι μικρότερο από ότι στην ημερήσια παραγωγή 07:00-23:00. Αυτό γιατί την νύχτα λειτουργούν θερμικοί σταθμοί παραγωγής με μεγάλο βαθμό απόδοσης. Εξάλλου αυτοί οι σταθμοί δεν πρέπει να διακόψουν την νύχτα την λειτουργία τους γιατί προκαλούνται σημαντικά έξοδα στο σταμάτημα και εκκίνηση.
- Η άεργη ισχύς. Αυτή επηρεάζει την λειτουργία του συστήματος και τις απώλειες. Η άεργη ισχύς επηρεάζει την τιμή του Σ.Ι. που αυτός στην συνέχεια επηρεάζει τη Χ.Μ.Ζ. που βασίζεται στον τύπο:

$$\mathbf{X.M.Z. = X.B. \cdot \text{συντελεστή προσαύξησης}}$$

όπου $X.B. = \text{Μέγιστη ζήτηση } X.B. = P(KWh)/24 \cdot 8$

$0,85X$ όπου X είναι το $\cos\phi$ που ο καταναλωτής έχει $X < 0,85$ ενώ $0,85$ το συμφωνημένο συμφ με τη ΔΕΗ.

Η αξία ισχύος εξαρτάται από τη Χρεωστέα Μέγιστη Ζήτηση, επομένως και τον συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$).

$$\mathbf{X.Z. = X.M.Z. \cdot \text{τιμή/KW}}$$

Η τιμολόγηση δεν γίνεται με την ίδια διεξοδικότητα σε μικρούς και μεγάλους καταναλωτές. Σε μεγάλους καταναλωτές Μ.Τ. και Υ.Τ. γίνονται τιμολογήσεις με μεγάλη διεξοδικότητα. Έτσι υπάρχουν όργανα καταγραφής μέγιστης ισχύος και άεργης ισχύος, όργανα πολλαπλής ένδειξης ενέργειας (ημερήσια και νυχτερινή κατανάλωση)

Η χρέωση ισχύος γίνεται με την συμφωνημένη ισχύ ή εναλλακτικά με την μέγιστη καταναλισκόμενη ισχύ, ανάλογα με το είδος του τιμολογίου. Συμφωνημένη ισχύς είναι η ισχύς που αναγράφεται στο συμβόλαιο ηλεκτροδότησης που γίνεται μεταξύ εταιρίας και καταναλωτή. Υπέρβαση της συμφωνημένης ισχύος έχει επιπτώσεις στην χρέωση. Η ισχύς μετράται σαν μέση τιμή ισχύος σε ένα τέταρτο της ώρας, σαν ισχύς τετάρτου.

Η χρέωση ισχύος σε μικρούς καταναλωτές μπορεί να γίνεται με ένα πάγιο ποσό που αντιστοιχεί στην ισχύ υπολογισμένη από την ονομαστική ένταση της ασφάλειας του μετρητή.

Για την χρέωση ενέργειας χρησιμοποιούνται μετρητές διπλής εγγραφής, νυχτερινής και ημερήσιας κατανάλωσης, όπως και μετρητές πολλαπλής εγγραφής, όπου καταγράφεται και η ενέργεια κατά τη διάρκεια Σαββάτου, Κυριακής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ντοκόπουλος Π., «**Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης και Χαμηλής Τάσης**», Εκδόσεις Παρατηρητής, Αθήνα

Παπαδιά Β., «**Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας**».

Τουλόγλου Σ., «**Ηλεκτρικές Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις (κίνησης) και Υποσταθμού (μέσης τάσης)**», Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Τουλόγλου Σ., Στεργίου Β., «**Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις (επίτομο)**», Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Τουλόγλου Σ., Στεργίου Β., «**Ηλεκτρικές Μηχανές**», Τόμοι 1,2, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Τεχνικά φυλλάδια AEG, Βιομηχανικό Υλικό.

Τεχνικά φυλλάδια SIEMENS, Βιομηχανικό Υλικό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
<u>Η ΙΣΧΥΣ ΣΤΟ ΣΥΝΕΧΕΣ ΡΕΥΜΑ</u>	
1. Ισχύς ενέργειας.....	3
2. Μονάδες ισχύος και ενέργειας.....	4
3. Μέτρηση ισχύος.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
<u>Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ</u>	
1. Γενικά.....	7
2. Ισχύς σε ωμική αντίσταση.....	7
3. Ισχύς σε ιδανικό πηνίο και πυκνωτή.....	8
4. Ισχύς σε κύκλωμα R.L.C.....	10
5. Τρίγωνο ισχύος	12
6. Ισχύς στην ημιτονοειδή μόνιμη κατάσταση- μέση ισχύς p	12
7. Φαινομένη ισχύς.....	15
8. Άεργη ισχύς.....	15
9. Σχέση τάσης- έντασης- ισχύς με φορτία.....	16
10. 3-Φασικά συστήματα.....	20
11. Ισχύς συμμετρικών τριφασικών φορτίων.....	21
12. Διεύθυνση ροής ισχύος.....	22
13. Θετική ή αρνητική ισχύς.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
<u>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ</u>	
1. Εισαγωγή.....	28
2. Τι είναι ο συντελεστής ισχύος μιας ηλεκτρικής συσσκευής.....	28

3. Συντελεστής ισχύος των κυριότερων ηλεκτρικών συσκευών.....	30
4. Συνέπειες χαμηλού συντελεστή ισχύος.....	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ Ή ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ (ΣΥΝΦ)

1. Γενικά.....	34
2. Επιπτώσεις από συντελεστή ισχύος μικρής τιμής.....	34
3. Χρήσιμες έννοιες.....	35
4. Ειδικοί όροι τιμολογίων γενικής και βιομηχανικής χρήσης.....	36
5. Αντιμετώπιση του μικρού συντελεστή ισχύος εγκατάστασης.....	36
6. Κατασκευαστικά στοιχεία πυκνωτών αντιστάθμισης.....	38
7. Υπολογισμός χωρητικότητας πυκνωτών αντιστάθμισης	40
8. Ταχεία εκφόρτιση πυκνωτών αντιστάθμισης μέσω αντιστάσεων και πηνίων.....	42
9. Είδη αντιστάθμισης	43
10. Ατομική αντιστάθμιση μετασχηματιστών δικτύου.....	44
11. Ατομική αντιστάθμιση ηλεκτροκινητήρων.....	45
12. Αντιστάθμιση σε ηλεκτρικά κυκλώματα μετατροπέων.....	45
13. Αντιστάθμιση λαμπτήρων φθορισμού.....	46
14. Κεντρική αντιστάθμιση εγκαταστάσεων.....	48
15. Εξαρτήματα και υλικά για μια πλήρη εγκατάσταση αντιστάθμισης.....	49
16. Σχεδιάγραμμα επιλογής πυκνωτών και ερμαρίων.....	52
17. Διάφοροι τρόποι υπολογισμού άεργης ισχύος πυκνωτών αντιστάθμισης.....	53

17.1.	Γενικά.....	53
17.2.	Προσδιορισμός του συντελεστή αντιστοιχίας Συνημίτονων.....	53
17.3.	Από το διάγραμμα του συντελεστή ισχύος.....	55
17.4.	Από πίνακες άμεσου προσδιορισμού αυτής.....	56
17.5.	Από νομογράφημα συντελεστή ισχύος	57
18.	Μελέτη αντιστάθμισης ηλεκτρικής συσκευής.....	60
19.	Μελέτη αντιστάθμισης αίθουσας με φωτισμό λαμπτήρων φθορισμού.....	61
20.	Μελέτη αντιστάθμισης βιοτεχνικής εγκατάστασης.....	63
21.	Μελέτη αντιστάθμισης μικρής βιομηχανικής εγκατάστασης.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.	Χαρακτηριστικά Της Κατανάλωσης.....	68
2.	Κόστος Της Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	70
3.	Υπολογισμός Κόστους.....	71
4.	Υπολογισμός Του Ετήσιου Κόστους Ισχύος.....	72
5.	Τιμολόγηση Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	73

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	76
--------------------------	-----------

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	77
-------------------------	-----------