

7 ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ – ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΗΜΙΤΟΝΟΥ φ

Το μεγαλύτερο μέρος των ηλεκτρικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία, αποτελείται από επαγωγικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού. Ο κινητήρας αυτός έχει τη χαρακτηριστική ιδιότητα να απορροφά από το δίκτυο σημαντική άεργη ισχύ, ιδιαίτερα όταν λειτουργεί με χαμηλό φορτίο. Έτσι ο συντελεστής ισχύος, που είναι από 0,8 – 0,7 επαγωγικός για ονομαστική φόρτιση, πέφτει μέχρι 0,5 για μικρά φορτία.

Άλλες συσκευές που απορροφούν άεργη ισχύ είναι οι λαμπτήρες φθορισμού λόγω των πηνίων εξομάλυνσης (ballast) που διαθέτουν, οι ηλεκτροσυγκολλήσεις, οι ηλεκτροσυγκολλητικές συσκευές τόξου (ηλεκτροπόντες) κλπ.

Επιπλέον είναι πιθανό αλλά όχι συνηθισμένο να υπάρχουν χωρητικής συμπεριφοράς καταναλωτές σε μία βιομηχανία. Στην περίπτωση αυτή ο καταναλωτής λειτουργεί σαν παραγωγός αέργου ισχύος, η οποία διοχετεύεται στο δίκτυο της ηλεκτροδότησης.

Η άεργη ισχύς παράγεται από το μεταβαλλόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Όπως υποδηλώνει και το όνομα της, δεν παράγει ωφέλιμο έργο όπως η ενεργή ισχύς. Η μεταφορά αέργου ισχύος από τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνει το ρεύμα που ρέει σε αυτές, με αποτέλεσμα να αυξάνονται και οι απώλειες σε ενεργή ισχύ πάνω στις ωμικές αντιστάσεις των γραμμών μεταφοράς από τη σχέση.

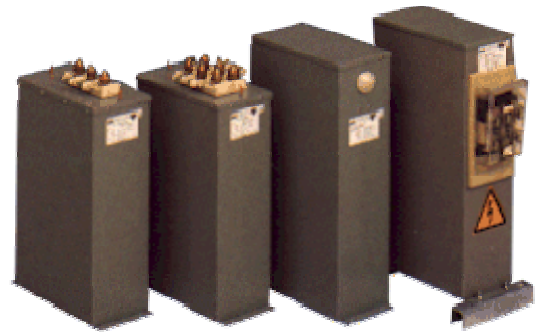
$$P_{loss} = 3RI^2 \quad (7.1)$$

Η άεργη ισχύς όμως μπορεί να παράγεται ή να καταναλώνεται από απλά κυκλωματικά (παθητικά) στοιχεία, τους πυκνωτές και τα πηνία αντίστοιχα, όταν αυτά βρεθούν υπό τάση. Εάν λοιπόν ένα εργοστάσιο χρειάζεται άεργη ισχύ για τους κινητήρες του μπορεί να την πάρει από το δίκτυο ηλεκτροδότησης, οπότε η άεργη ισχύς θα παραχθεί από τις γεννήτριες του παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας και θα ταξιθέψει μέχρι τον καταναλωτή μέσα από τις γραμμές μεταφοράς με συνεπακόλουθες απώλειες, ή να την παράγει τοπικά χρησιμοποιώντας κατάλληλες διατάξεις πυκνωτών. Τέτοιοι πυκνωτές κατάλληλοι για διάφορες εφαρμογές φαίνονται στο Σχήμα 7.1.

Η εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με κατάλληλη τιμολογιακή πολιτική, πρακτικά επιβάλλει στους καταναλωτές να παρουσιάζουν σχεδόν ωμική συμπεριφορά, να εμφανίζουν δηλαδή $\cos\varphi = 1$, χρησιμοποιώντας κατάλληλες τεχνικές για την **αντιστάθμιση (compensation)** των άεργων φορτίων τους.



α



β

γ



δ

Σχήμα 7.1. Πυκνωτές για διάφορες εφαρμογές βελτίωσης συντελεστή ισχύος. α,β) Πυκνωτές μέσης τάσης και χαμηλής τάσης, γ) Πυκνωτές για λαμπτήρες και κινητήρες, δ) Πυκνωτές χαμηλής τάσης.

7.1 Υπολογισμός απαιτούμενης αντιστάθμισης

Έστω ότι ένας καταναλωτής έχει εγκατεστημένη ισχύς P και απορροφά άεργη ισχύ λειτουργώντας με ένα συντελεστή ισχύος $\cos\varphi_1$. Η άεργη ισχύς που απορροφά είναι:

$$Q_1 = P \tan \varphi_1 \quad (7.2)$$

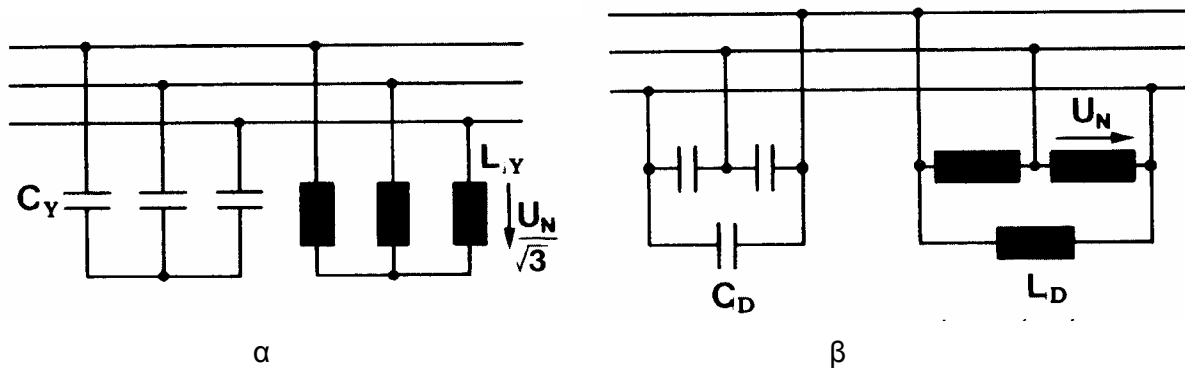
Εάν είναι επιθυμητή η βελτίωση του συντελεστή ισχύος σε $\cos\varphi_2$, ο καταναλωτής θα απορροφά

$$Q_2 = P \tan \varphi_2 \quad (7.3)$$

Η διαφορά αυτή της αέργου ισχύος,

$$Q_1 - Q_2 = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (7.4)$$

εάν είναι θετική πρέπει να δοθεί από πυκνωτές που θα συνδεθούν παράλληλα με τον καταναλωτή. Εάν η διαφορά της αέργου ισχύος (7.4) είναι αρνητική, τότε η πλεονάζουσα άεργη ισχύς πρέπει να καταναλωθεί από πηνία που θα συνδεθούν παράλληλα με τον καταναλωτή.



Σχήμα 7.2. Συνδεσμολογίες αντιστάθμισης.

Τα μέσα αντιστάθμισης είναι τριφασικά και συνεπώς είναι δυνατό να συνδέονται είτε σε αστέρα είτε σε τρίγωνο (Σχ.7.2α και 7.2β αντίστοιχα). Στην περίπτωση της συνδεσμολογίας σε αστέρα, ο κάθε πυκνωτής λειτουργεί με φασική τάση. Η άεργη ισχύς του κάθε πυκνωτή θα δίνεται από τη σχέση

$$Q_{CY} = \frac{V_\varphi^2}{X} = V_\varphi^2 C_Y \omega = \frac{V_{\text{πολ}}^2 C_Y \omega}{3} = \frac{V^2 C_Y \omega}{3} \quad (7.5)$$

και η συνολική 3φασική άεργη ισχύς της συστοιχίας των πυκνωτών

$$Q_{AC} = 3Q_{CY} = V^2 C_Y \omega \quad (7.6)$$

Οι αντίστοιχες σχέσεις για αντιστάθμιση με πηνία είναι

$$Q_{LY} = \frac{V_\varphi^2}{X} = \frac{V_\varphi^2}{L_Y \omega} = \frac{V^2}{3L_Y \omega} \quad (7.7)$$

και

$$Q_{AL} = 3Q_{LY} = \frac{V^2}{L_Y} \omega \quad (7.8)$$

Στην περίπτωση της σύνδεσης σε τρίγωνο, κάθε πυκνωτής λειτουργεί με πολική τάση, συνεπώς

$$Q_{CA} = \frac{V^2}{X} = V^2 C_{\Delta} \omega \quad (7.9)$$

και η συνολική 3φασική ισχύς της συστοιχίας.

$$Q_{AC} = 3Q_{CA} = 3V^2 C_{\Delta} \omega \quad (7.10)$$

Η αντίστοιχη σχέση για πηνία σε τρίγωνο προκύπτει εύκολα με αντίστοιχο τρόπο και είναι:

$$Q_{AL} = \frac{3V^2}{L_{\Delta}} \omega \quad (7.11)$$

Η απαιτούμενη ισχύς αντιστάθμισης είναι δεδομένη και ίση με Q_{AC} ή Q_{AL} ανεξάρτητα εάν αυτή προέρχεται από άεργα παθητικά στοιχεία αστέρα ή σε τρίγωνο. Από την εξίσωση των (7.6) και (7.10) ή των (7.8) και (7.11) αντίστοιχα, προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3} \quad (7.12\alpha)$$

$$L_{\Delta} = 3L_Y \quad (7.12\beta)$$

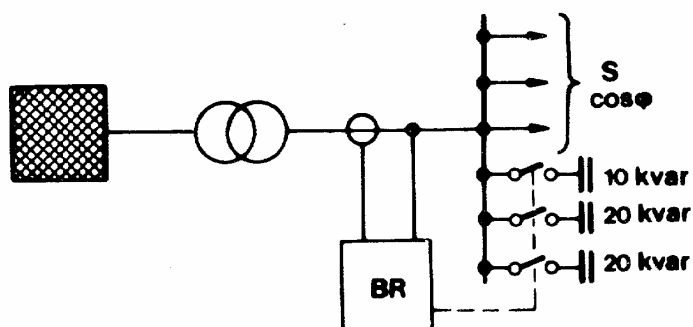
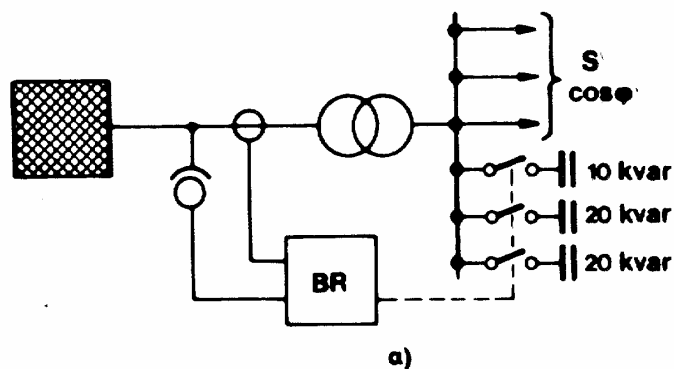
7.2 Μέθοδοι αντιστάθμισης

Η άεργη ισχύς ενός καταναλωτή μπορεί να αντισταθμιστεί με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των καταναλώσεων. Έτσι έχουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

Τοπική αντιστάθμιση. Γίνεται τοπικά και ξεχωριστά για κάθε κινητήρα στο σημείο της τροφοδοσίας του. Η αντιστάθμιση αυτή ενεργοποιείται όταν λειτουργεί ο κινητήρας. Εφαρμόζεται κυρίως σε περιπτώσεις μικρών κινητήρων.

Ομαδική αντιστάθμιση. Εφαρμόζεται σε ομάδες όμοιων καταναλωτών, π.χ. πολλοί κινητήρες σε ένα τμήμα της παραγωγής.

Γενική αντιστάθμιση. Είναι η πιο συνηθισμένη μορφή αντιστάθμισης και εφαρμόζεται στην είσοδο της εγκατάστασης, στον υποσταθμό του καταναλωτή, είτε στη μέση τάση πριν τον μετασχηματιστή, είτε στη χαμηλή τάση. Στην πρώτη περίπτωση αντισταθμίζονται και οι απώλειες του μετασχηματιστή. Καθώς το φορτίο είναι μεταβαλλόμενο, η γενική αντιστάθμιση γίνεται με χρήση συστοιχιών πυκνωτών που συνδέονται και αποσυνδέονται αυτόματα (Σχ.7.3).



Σχήμα 7.3. Γενική αντιστάθμιση καταναλωτή.

Συστοιχίες και διατάξεις αντιστάθμισης φαίνονται και στο Σχήμα 7.4.

Οι πυκνωτές που χρησιμοποιούνται για αντιστάθμιση απαιτούν ειδικούς διακόπτες και παραμένουν φορτισμένοι μετά την απόζευξή τους. Άρα απαιτείται ειδική διάταξη εκφόρτισης των πυκνωτών.

Τέλος, υπενθυμίζεται ότι ο σύγχρονος κινητήρας μπορεί με κατάλληλη ρύθμιση της διέγερσής του να λειτουργεί σαν πυκνωτής ή σαν πηνίο (στρεφόμενος πυκνωτής). Έτσι σε περίπτωση που υπάρχουν σύγχρονοι κινητήρες σε μία εγκατάσταση, αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν μέσα αντιστάθμισης.



Σχήμα 7.4. Διατάξεις αντιστάθμισης και όργανο μέτρησης συντελεστή ισχύος.