

# Ηλεκτρικά Κυκλώματα II

Σημειώσεις Εργαστηρίου version 0.8

Α. Δροσόπουλος

3 Απριλίου 2022

## Περιεχόμενα

<b>3 Άσκηση - Διόρθωση Συντελεστή Ισχύος σε Μονοφασικό Καταναλωτή</b>	<b>2</b>
3.1 Θεωρία . . . . .	2
3.1.1 Ορισμός συντελεστή ισχύος . . . . .	2
3.1.2 Συνέπειες ροής αέργου ισχύος στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας . . . . .	2
3.1.3 Διόρθωση συντελεστή ισχύος . . . . .	3
3.1.4 Μέτρηση συντελεστή ισχύος . . . . .	5
3.1.5 Είδη αντιστάθμισης . . . . .	5
3.2 Πειραματική διαδικασία . . . . .	6
3.3 Ερωτήσεις – Υπολογισμοί . . . . .	7

### 3 Άσκηση - Διόρθωση Συντελεστή Ισχύος σε Μονοφασικό Καταναλωτή

**Αντικείμενο:** Μετρήσεις ισχύος σε μονοφασικό RL φορτίο, διόρθωση συντελεστή ισχύος στο φορτίο και διερεύνηση των συνεπειών της διόρθωσης για το δίκτυο.

**Όργανα που θα χρησιμοποιηθούν:** Αμπερόμετρο, βολτόμετρο, βαττόμετρο, φορτία, συνδετικοί αγωγοί.

#### 3.1 Θεωρία

##### 3.1.1 Ορισμός συντελεστή ισχύος

Ορίζεται ο συντελεστής ισχύος στους ακροδέκτες ενός φορτίου ως

$$PF = \frac{P}{S}$$

Για κυκλώματα με ημιτονοειδείς κυματομορφές, όπως είναι αυτά που εξετάζουμε, προκύπτει ότι

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{UI \cos \phi}{UI} = \cos \phi$$

Ο συντελεστής ισχύος είναι αδιάστατο μέγεθος. Έχει μέγιστη τιμή τη μονάδα και είναι πάντα θετικός. Όταν το ρεύμα του φορτίου έπεται της τάσης χαρακτηρίζεται ως επαγωγικός, ενώ όταν προηγείται ως χωρητικός.

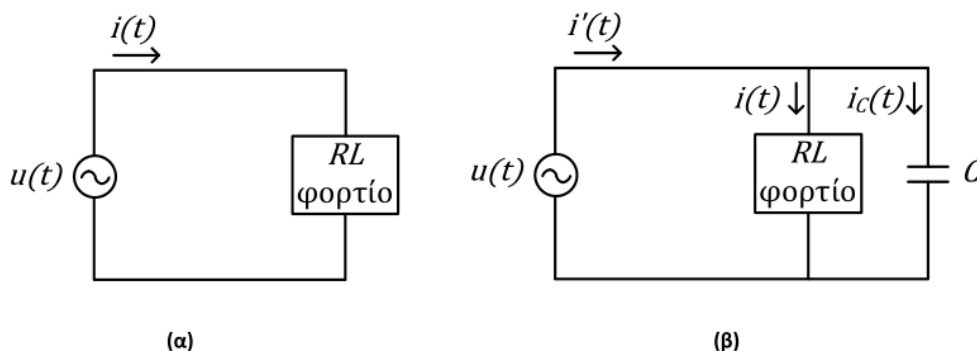
Ο συντελεστής ισχύος δείχνει τι ποσοστό της φαινομένης είναι η ενεργός ισχύς. Όσο μικρότερη είναι η άεργος του φορτίου τόσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής ισχύος του και αντίστροφα.

Πρέπει εδώ να διευκρινιστεί ότι ο όρος «φορτίο» έχει ευρύτατη έννοια και μπορεί για παράδειγμα να αναφέρεται σε ένα από τα φορτία του πάγκου σας στο εργαστήριο, ένα συνδυασμό αυτών των φορτίων, έναν κινητήρα, μια ομάδα λαμπτήρων φθορισμού ή ακόμη και ολόκληρη την εγκατάσταση ενός καταναλωτή. Σε κάθε περίπτωση για να βρούμε το συντελεστή εξετάζουμε την τάση και το ρεύμα στους ακροδέκτες που μας ενδιαφέρουν.

##### 3.1.2 Συνέπειες ροής αέργου ισχύος στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Επειδή οι καταναλωτές που συνδέονται στο δίκτυο έχουν συνήθως επαγωγική συμπεριφορά, θα θεωρήσουμε στην ανάλυση που ακολουθεί  $RL$  φορτίο. Παρόμοια ανάλυση μπορεί να γίνει για  $RC$  φορτίο, μόνο που για την αντιστάθμιση της αέργου ισχύος θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί επαγωγός αντί για πυκνωτή.

Η άεργος ισχύς που απορροφά ένα  $RL$  φορτίο από το δίκτυο (Σχ. 1(α)) έχει ως αποτέλεσμα τη ροή αέργου ρεύματος μέσω των γραμμών, με αποτέλεσμα το συνολικό ρεύμα στις γραμμές να αυξάνεται. Περιορίζονται έτσι οι δυνατότητες μεταφοράς ενέργειας από το δίκτυο και αυξάνονται οι απώλειες, αφού αυτές εξαρτώνται από το συνολικό ρεύμα που ρέει στις γραμμές.

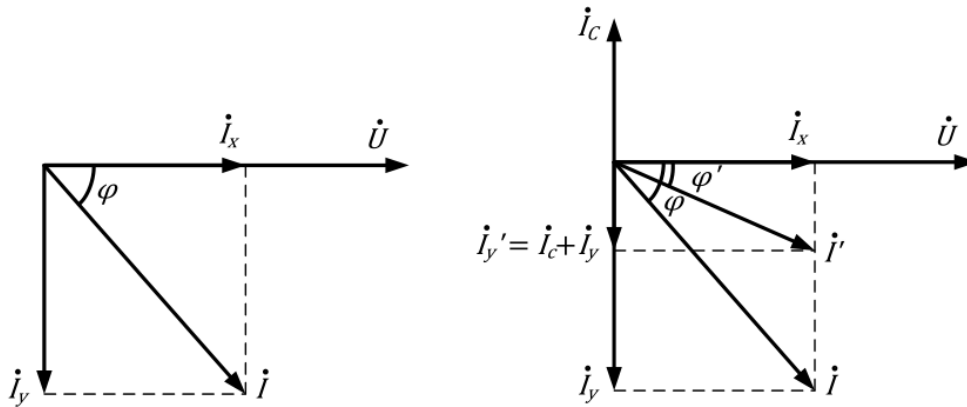


Σχήμα 1: (α) Κύκλωμα με φορτίο  $RL$ , (β) Κύκλωμα με πυκνωτή αντιστάθμισης παράλληλα στο φορτίο.

Πράγματι, ο φάσοντας του ρεύματος του φορτίου  $\dot{I}$  στο Σχ. 1(α) μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες όπως φαίνεται στο Σχ. 2(α). Από τις συνιστώσες αυτές, η  $\dot{I}_x$  είναι παράλληλη προς την τάση και η  $\dot{I}_y$  είναι κάθετη στην τάση.

Όπως προκύπτει από το ορθογώνιο τρίγωνο που σχηματίζουν το διάνυσμα του ρεύματος στο Σχ. 2(α) και οι δύο συνιστώσες του, τα μέτρα των συνιστωσών αυτών είναι

$$I_x = I \cos \phi$$



Σχήμα 2: (α) Φάσορες της τάσης  $\dot{U}$  και του ρεύματος  $\dot{I}$  για το κύκλωμα με  $RL$  φορτίο και ανάλυση του ρεύματος σε ενεργό και άεργο συνιστώσα. (β) Φάσορες της τάσης  $\dot{U}$  και του ρεύματος  $\dot{I}$  του φορτίου  $RL$ , του ρεύματος  $\dot{I}_C$  του πυκνωτή και του συνολικού ρεύματος  $\dot{I}'$  όταν τοποθετηθεί πυκνωτής αντίσταθμησης παράλληλα στο  $RL$  φορτίο.

και

$$I_y = I \sin \phi$$

Παρατηρούμε ότι η συνιστώσα  $I_x = I \cos \phi$  σχετίζεται με την  $P = UI \cos \phi$  και ότι η συνιστώσα  $I_y = I \sin \phi$  σχετίζεται με την  $Q = UI \sin \phi$ . Για το λόγο αυτό η  $\dot{I}_x$  χαρακτηρίζεται και ως ενεργός συνιστώσα του ρεύματος ενώ η  $\dot{I}_y$  χαρακτηρίζεται ως άεργος. Το συνολικό ρεύμα έχει rms τιμή

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$$

Δηλαδή η συνιστώσα του ρεύματος που σχετίζεται με την άεργο ισχύ (την οποία δεν αξιοποιούμε) αποτελεί μέρος του συνολικού ρεύματος που ρέει στο κύκλωμα.

Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί το εξής. Στο κύκλωμα που εξετάζουμε θεωρήσαμε ότι οι αγωγοί είναι ιδανικοί, όμως αυτό στην πραγματικότητα δεν ισχύει. Οι αγωγοί που τροφοδοτούν το φορτίο έχουν και αυτοί μια σύνθετη αντίσταση. Το συνολικό ρεύμα  $I$  που ρέει στη γραμμή προκαλεί πτώση τάσης στη σύνθετη αντίσταση της γραμμής και θερμικές απώλειες της μορφής  $I^2 R$ .

Οι διατομές των αγωγών και ο υπόλοιπος εξοπλισμός του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζονται με βάση αυτό το συνολικό ρεύμα. Άρα στο κόστος μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο σε έναν καταναλωτή συμβάλλει και η άεργος.

Για το λόγο αυτό η Επιχείρηση Ηλεκτρισμού επιβάλλει (σε μέσους και μεγάλους καταναλωτές) ο συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης να είναι μεγαλύτερος ή ίσος από μια συγκεκριμένη τιμή. Με τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης θα μειώσουμε την άεργο ισχύ που απορροφά η εγκατάσταση από το δίκτυο. Ταυτόχρονα θα μειώσουμε την άεργο συνιστώσα του ρεύματος, άρα και το συνολικό ρεύμα που ρέει στους αγωγούς.

### 3.1.3 Διόρθωση συντελεστή ισχύος

Θεωρούμε ότι το φορτίο είναι δεδομένο και δεν μπορούμε να επέμβουμε στην ενεργό ισχύ  $P$  που απορροφά, ούτε και στην τάση  $U$  του δικτύου. Για να μειώσουμε το ρεύμα που ρέει στη γραμμή πρέπει να βρούμε έναν τρόπο να μειώσουμε την άεργο ισχύ που απορροφά το φορτίο από το δίκτυο, δηλαδή να αυξήσουμε το συντελεστή ισχύος του. Αυτό λέγεται αντίσταθμηση αέργου ισχύος ή διόρθωση του συντελεστή ισχύος.

Τα περισσότερα οικιακά αλλά και βιομηχανικά φορτία έχουν επαγωγικό χαρακτήρα. Αυτό σημαίνει ότι απορροφούν άεργο από το δίκτυο. Ένα  $RL$  φορτίο καταναλώνει άεργο ( $Q > 0$ ) ενώ ένας πυκνωτής παράγει ( $Q < 0$ ). Αν συνδέσουμε λοιπόν παράλληλα στο φορτίο πυκνωτή, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β), τότε ο συνδυασμός τους θα απορροφά λιγότερη άεργο ισχύ από το δίκτυο.

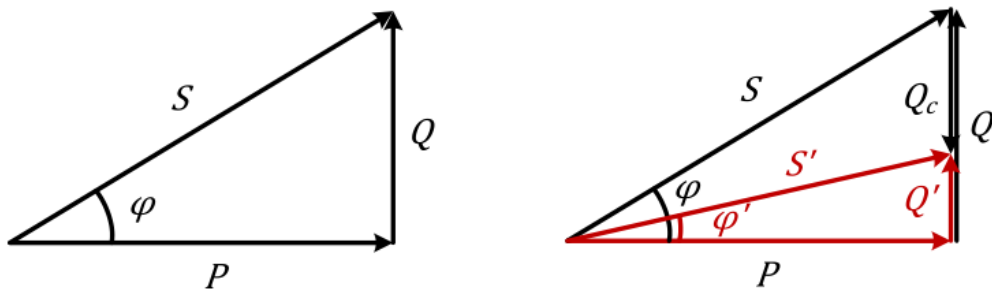
Πρέπει να τονίσουμε εδώ ότι η σύνθετη αντίσταση του φορτίου και η τάση στα άκρα του δεν μεταβάλλονται με τη σύνδεση του πυκνωτή, επομένως το φορτίο εξακολουθεί να διαρρέεται από το ίδιο ρεύμα  $\dot{I}$ . Αυτό ισχύει βέβαια επειδή θεωρούμε ότι οι αγωγοί που συνδέουν το φορτίο με την πηγή δεν έχουν εσωτερική αντίσταση. Επιπλέον η ενεργός ισχύς που απορροφά ο συνδυασμός φορτίου-πυκνωτή οφείλεται μόνο στο  $RL$  φορτίο. Αφού η τάση και το ρεύμα στο φορτίο δεν αλλάζουν, η ενεργός ισχύς παραμένει ίδια.

Το συνολικό ρεύμα του κυκλώματος  $\dot{I}'$  με τον πυκνωτή συνδεδεμένο παράλληλα στο φορτίο φαίνεται στο Σχ. 2(β). Προκύπτει ως συνισταμένη του ρεύματος φορτίου  $\dot{I}$  (που είναι ίδιο με πριν) και του ρεύματος του πυκνωτή  $\dot{I}_C$ . Από αυτό το διανυσματικό διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι το μέτρο του φάσoρα  $\dot{I}'$  είναι μικρότερο από το μέτρο του φάσoρα  $\dot{I}$ , δηλαδή το συνολικό ρεύμα που ρέει στους αγωγούς που τροφοδοτούν τον παράλληλο συνδυασμό φορτίου-πυκνωτή είναι μειωμένο σε σχέση με το ρεύμα στο κύκλωμα χωρίς τον πυκνωτή.

Στο Σχ. 3(α) έχει σχεδιαστεί το τρίγωνο ισχύος του κυκλώματος χωρίς τον πυκνωτή και στο Σχ. 3(β) με τον πυκνωτή παράλληλα στο φορτίο  $RL$ . Η ενεργός ισχύς  $P$  θεωρούμε ότι παραμένει σταθερή, οπότε είναι ίδια και στα δύο τρίγωνα.

Έστω  $Q$  και  $S$  η άεργος και η φαινομένη ισχύς που απαιτεί το φορτίο από το δίκτυο στο κύκλωμα του Σχ. 1(α). Επίσης έστω  $Q'$  και  $S'$  η άεργος και η φαινομένη που απαιτεί ο παράλληλος συνδυασμός φορτίου-πυκνωτή από το δίκτυο στο κύκλωμα του Σχ. 1(β). Παρατηρούμε ότι ο συνδυασμός φορτίου-πυκνωτή απορροφά λιγότερη άεργο ισχύ από το δίκτυο, η φαινομένη έχει μειωθεί, το ρεύμα έχει μειωθεί, η διαφορά φάσης τάσης ρεύματος  $\phi$  έχει μειωθεί και επομένως το  $\cos \phi$  (που ισούται με το συντελεστή ισχύος) έχει αυξηθεί.

Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι η άεργος ισχύς που απορροφά το φορτίο δεν μεταβλήθηκε με την τοποθέτηση του πυκνωτή. Απλώς στο κύκλωμα του Σχ. 1(β) μέρος της παράγεται τοπικά από τον πυκνωτή και δεν χρειάζεται να μεταφέρεται από το δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι στους αγωγούς από το σημείο της αντιστάθμισης μέχρι το φορτίο εξακολουθεί να ρέει το αρχικό ρεύμα, άρα εξακολουθούν να εμφανίζονται τα προβλήματα που προκαλεί ο χαμηλός συντελεστής ισχύος.



Σχήμα 3: (α) Τρίγωνο ισχύος για το  $RL$  φορτίο. (β) Τρίγωνο ισχύος για το κύκλωμα για το  $RL$  φορτίο με πυκνωτή αντιστάθμισης συνδεδεμένο παράλληλα.

Μπορούμε να υπολογίσουμε τον πυκνωτή που χρειάζεται για συγκεκριμένη διόρθωση του συντελεστή ισχύος ως εξής. Αν διαιρέσουμε κατά μέλη τις σχέσεις  $Q = UI \sin \phi$  και  $P = UI \cos \phi$  προκύπτει ότι

$$Q = P \tan \phi$$

Έστω ότι με την τοποθέτηση του πυκνωτή ο αρχικός συντελεστής ισχύος  $\cos \phi$  αυξάνεται σε  $\cos \phi'$ . Η άεργος που απορροφά ο παράλληλος συνδυασμός από το δίκτυο μειώνεται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, από  $Q$  σε  $Q'$ . Ο πυκνωτής πρέπει να παράγει την άεργο  $Q_C$  που απαιτείται έτσι ώστε το φορτίο να εξακολουθήσει να απορροφά άεργο  $Q$ . Επομένως

$$Q = Q' + Q_C \Rightarrow Q_C = Q - Q' = P \tan \phi - P \tan \phi' \Rightarrow Q_C = P(\tan \phi - \tan \phi')$$

Αν μας ζητηθεί, μπορούμε από την τιμή αυτή της άεργου  $Q_C$  να υπολογίσουμε τη χωρητικότητα του πυκνωτή.

Το ρεύμα του πυκνωτή προκύπτει ως εξής:

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}}{1} = j\omega C \dot{U} \Rightarrow I_C = \omega C U$$

Η άεργος που παράγει είναι

$$Q_C = UI_C \sin 90^\circ = UI_C = \omega C U^2$$

Επομένως

$$C = \frac{Q_C}{\omega U^2}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αν το φορτίο είναι  $RC$ , τότε η διαδικασία είναι παρόμοια, όμως τότε απαιτείται σύνδεση επαγωγού αντί για πυκνωτή για διόρθωση του συντελεστή ισχύος και ο υπολογισμός γίνεται με παρόμοια λογική.

### 3.1.4 Μέτρηση συντελεστή ισχύος

Μέτρηση του συντελεστή ισχύος μπορεί να πραγματοποιηθεί με ειδικό όργανο (συνημιτονόμετρο), όπως αυτά που φαίνονται στο Σχ. 4. Το συνημιτονόμετρο ως προς την αρχή λειτουργίας του είναι ηλεκτροδυναμικό όργανο διασταυρωμένων πηνίων.



(α)



(β)

Σχήμα 4: (α) Μετρητές συντελεστή ισχύος, (β) σύμβολο.

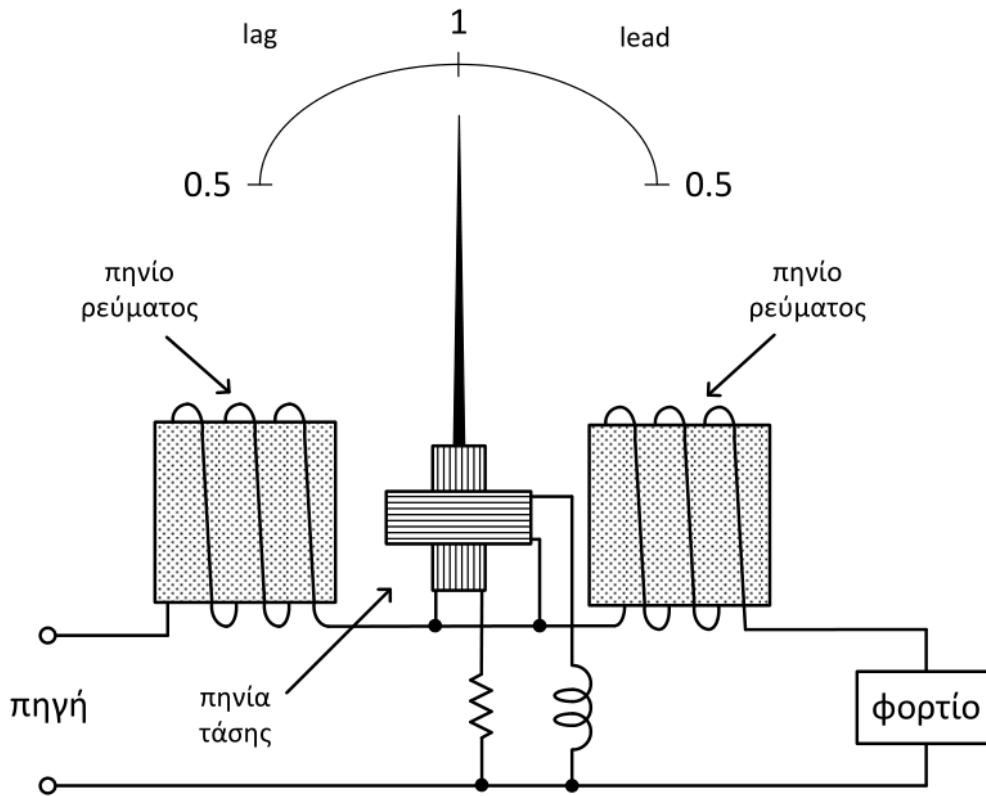
Το όργανο μέτρησης του  $\cos \phi$  αποτελείται από δύο σταθερά πηνία εντάσεως, όπως φαίνεται στο Σχ. 5, και από κινητό σύστημα από δύο διασταυρωμένα πηνία τάσεως που έχουν τον ίδιο αριθμό σπειρών. Τα σταθερά πηνία διαρρέονται από το ρεύμα του φορτίου. Τα πηνία της τάσης συνδέονται ως εξής. Σε σειρά με το ένα από αυτά είναι συνδεδεμένη αυτεπαγωγή  $L$  ενώ σε σειρά με το δεύτερο ωμική αντίσταση  $R$ . Ο εν σειρά συνδυασμός του πηνίου τάσης με  $L$  ή  $R$  συνδέεται παράλληλα στο φορτίο. Οι τιμές των  $L$  και  $R$  είναι τέτοιες ώστε για την ονομαστική συχνότητα του δικτύου τα ρεύματα στα πηνία τάσης να είναι ίσα και να διαφέρουν κατά  $90^\circ$  περίπου. Όταν η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και του ρεύματος του φορτίου είναι μηδέν, τότε επειδή το ρεύμα της αντίστασης  $R$  είναι συμφασικό με την τάση θα είναι συμφασικό και με το ρεύμα του φορτίου. Το ρεύμα της αυτεπαγωγής  $L$  θα υστερεί ως προς την τάση άρα και ως προς το ρεύμα του φορτίου κατά  $90^\circ$ . Λόγω του πεδίου των σταθερών πηνίων θα ασκείται στο πηνίο με την  $R$  μηδενική ροπή, ενώ στο πηνίο με την  $L$  θα ασκείται ροπή που θα τείνει να το καταστήσει κάθετο στο μαγνητικό πεδίο των σταθερών πηνίων. Ο δείκτης λοιπόν θα λάβει κατακόρυφη θέση.

Όταν η τάση και το ρεύμα παρουσιάζουν διαφορά φάσης  $90^\circ$ , τότε στο πηνίο με την  $L$  θα ασκείται μηδενική ροπή, ενώ στο πηνίο με την  $R$  θα ασκείται ροπή που θα τείνει να το καταστήσει κάθετο στο μαγνητικό πεδίο των σταθερών πηνίων. Αν το φορτίο είναι χωρητικό τότε ο δείκτης θα λάβει οριζόντια θέση με κατεύθυνση προς τα δεξιά, ενώ αν είναι επαγωγικό θα έχει αντίθετη κατεύθυνση. Για ενδιάμεση τιμή της διαφοράς φάσης ο δείκτης λαμβάνει ενδιάμεση θέση.

Πέρα όμως από την άμεση μέτρηση με το παραπάνω όργανο είναι δυνατός και ο έμμεσος υπολογισμός του συντελεστή ισχύος εφόσον είναι διαθέσιμες οι τιμές της τάσης, του ρεύματος και της ενεργού ισχύος που απορροφά το φορτίο.

### 3.1.5 Είδη αντιστάθμισης

Η πιο απλή λύση είναι αυτή της ατομικής αντιστάθμισης, δηλαδή της τοποθέτησης διάταξης αντιστάθμισης πλησίον του φορτίου που να συνδέεται και να αποσυνδέεται ταυτόχρονα με αυτό.



Σχήμα 5: Μηχανισμός ηλεκτροδυναμικού οργάνου διασταυρωμένων πηνίων.

Επίσης σε περιπτώσεις πολλών φορτίων με παρόμοια χαρακτηριστικά που λειτουργούν ταυτόχρονα, όπως είναι για παράδειγμα μια ομάδα φωτιστικών λαμπτήρων φθορισμού, εφαρμόζεται ομαδική αντιστάθμιση, δηλαδή υπάρχει μία διάταξη αντιστάθμισης για την ομάδα των φορτίων αυτών. Εξασφαλίζεται με αυτόν τον τρόπο μείωση του κόστους της αντιστάθμισης.

Η αντιστάθμιση μπορεί επίσης να γίνεται σε κάποιο κεντρικό σημείο της εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη τη μέτρηση του συνολικού συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης αυτής. Μια κεντρική μονάδα λαμβάνει την τιμή του συντελεστή ισχύος που μετρήθηκε και αναλόγως συνδέει ή αποσυνδέει πυκνωτές αντιστάθμισης προκειμένου να βελτιώσει την τιμή αυτή χρησιμοποιώντας ως αναφορά την τιμή που έχουμε θέσει ως στόχο. Η λύση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε βελτιστοποίηση της κατανάλωσης αέργου της εγκατάστασης από την πλευρά του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, ωστόσο έχει και μειονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, η ροή αέργου από τα φορτία μέχρι και τη θέση της διάταξης αντιστάθμισης παραμένει στα αρχικά επίπεδα και επομένως ο ίδιος ο καταναλωτής εξακολουθεί να έχει τα ίδια προβλήματα αυξημένων απωλειών, πτώσης τάσης κλπ που είχε και πριν την αντιστάθμιση.

Επίσης εφαρμόζεται και συνδυασμός των παραπάνω λύσεων, όπως για παράδειγμα σε βιομηχανική εγκατάσταση που μπορεί να περιλαμβάνει κάποια μεγάλα φορτία με σημαντικές απαιτήσεις σε άεργο. Συνδυασμός κεντρικής αντιστάθμισης με ατομική στην περίπτωση των φορτίων αυτών μπορεί να είναι η βέλτιστη λύση στην περίπτωση αυτή.

### 3.2 Πειραματική διαδικασία

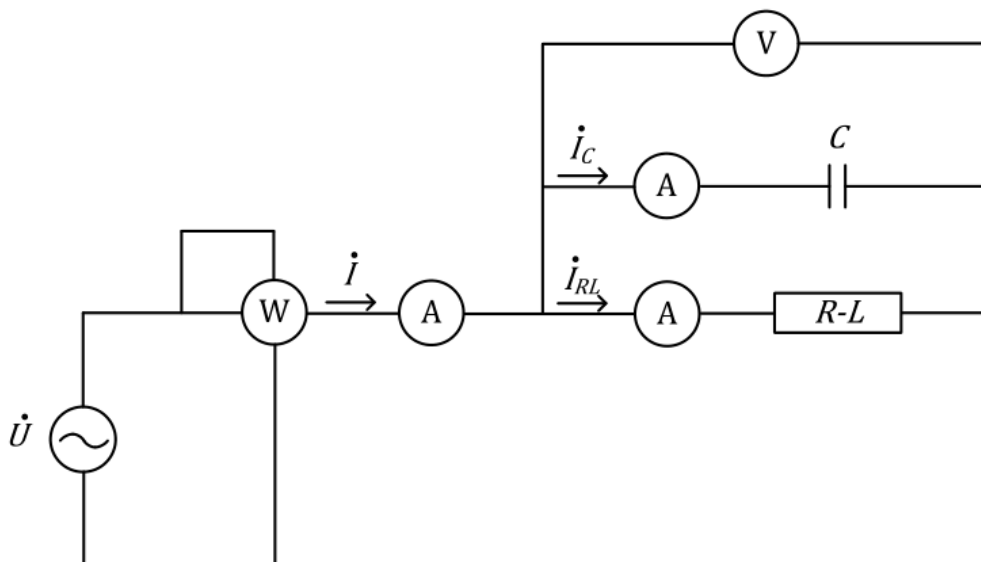
1. Να συνδέσετε στην πηγή το  $R-L$  φορτίο. Προσοχή: Πρόκειται για το 4ο φορτίο στον εργαστηριακό πάγκο σας. Να συνδέσετε κατάλληλα όργανα ώστε να μετράτε την τάση, το ρεύμα και την ενεργό ισχύ που απορροφά το φορτίο. Να συμπληρώσετε την πρώτη γραμμή του πίνακα 1. Σημείωση: Το φορτίο αυτό στην πραγματικότητα είναι ένας λαμπτήρας φθορισμού. Για τη λειτουργία τέτοιων λαμπτήρων απαιτείται βοηθητικό κύκλωμα με υψηλή αυτεπαγωγή με αποτέλεσμα, όπως θα διαπιστώσετε και εσείς, ο συντελεστής ισχύος του συνολικού φορτίου να είναι χαμηλός.
2. Να υπολογίσετε τη φαινομένη ισχύ, την άεργο ισχύ, το συντελεστή ισχύος και τη διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και του ρεύματος του φορτίου.
3. Να σχεδιάσετε το τρίγωνο ισχύος.
4. Να συνδέσετε παράλληλα στο  $R-L$  φορτίο πυκνωτή  $C$  (πρόκειται για το 5ο φορτίο στον εργαστηριακό σας πάγκο),

όπως φαίνεται στο Σχ. 6. Να συνδέσετε κατάλληλα όργανα ώστε να μετράτε την τάση στο φορτίο, το συνολικό ρεύμα, το ρεύμα του  $R - L$  φορτίου, το ρεύμα στον πυκνωτή και τη συνολική ενεργό ισχύ που απορροφάται. Να συμπληρώσετε τη δεύτερη γραμμή του πίνακα 1.

5. Να υπολογίσετε τη φαινομένη ισχύ, την άεργο ισχύ, το συντελεστή ισχύος και τη διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και του συνολικού ρεύματος στην περίπτωση του παράλληλου συνδυασμού φορτίου και πυκνωτή αντιστάθμισης.
6. Να σχεδιάσετε το νέο τρίγωνο ισχύος μαζί με το αρχικό.
7. Να υπολογίσετε τη χωρητικότητα του πυκνωτή που συνδέσατε παράλληλα στο φορτίο.

**Πίνακας 1:** Τάση, ρεύμα και ενεργός ισχύς στο φορτίο

Είδος Φορτίου	U (V)	I (A)	$I_{RL}$ (A)	$I_C$ (A)	P (W)	S (VA)	Q (Var)	PF	$\phi$
R-L φορτίο									
R-L//C φορτίο									



Σχήμα 6: Συνδεσμολογία βήματος 4.

### 3.3 Ερωτήσεις – Υπολογισμοί

1. Για ποιο λόγο δεν επιλέγεται πλήρης αντιστάθμιση αέργου ισχύος ώστε ο συντελεστής να γίνει μονάδα;
2. Για τις τιμές ενεργού ισχύος, αέργου ισχύος και συντελεστή ισχύος του φορτίου  $R - L$  που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις να υπολογίσετε τη χωρητικότητα του πυκνωτή που απαιτείται ώστε ο συντελεστής ισχύος να γίνει 0.92