

Εργαστηριακή Άσκηση 6

Μέτρηση Ισχύος

Ηλεκτρική Ισχύς

Στιγμιαία Ισχύς

Στιγμιαία ηλεκτρική ισχύς στα άκρα ενός στοιχείου ορίζεται το γινόμενο του ρεύματος που το διαρρέει επί την τάση στα άκρα του.

$$p(t) = V(t)I(t)$$

Εάν το στοιχείο είναι καθαρά ωμικό και R η ισοδύναμη αντίσταση του

$$p(t) = I^2(t)R$$

Κατά σύμβαση η ισχύς θεωρείται θετική εάν «εισέρχεται» στο στοιχείο και αρνητική εάν «εξέρχεται» από το στοιχείο.

Εάν η τάση είναι εναλλασσόμενη $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$

Τότε το ρεύμα θα είναι γενικώς $I(t) = I_0 \sin(\omega t \pm \phi)$, $0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}$

Και η στιγμιαία ισχύς $p(t) = V_0 I_0 \sin(\omega t) \sin(\omega t \pm \phi)$

Προς το παρόν θα περιοριστούμε σε ένα στοιχείο επαγωγικού χαρακτήρα

$$p(t) = V_0 I_0 \sin(\omega t) \sin(\omega t - \phi)$$

Με βάση την τριγωνομετρική ταυτότητα

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

Η στιγμιαία ισχύς γράφεται ως:

$$p(t) = V_0 I_0 \sin(\omega t) \sin(\omega t - \phi) = \frac{1}{2} V_0 I_0 [\cos(\phi) - \cos(2\omega t - \phi)]$$

Η μέση τιμή της στιγμιαίας ισχύος σε μια περίοδο είναι:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt, T = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow P = \underline{\underline{V_{rms} I_{rms} \cos(\phi)}}$$

Η μέση τιμή της στιγμιαίας ισχύος σε μια περίοδο ονομάζεται πραγματική ισχύς (Real Power) η

Ενεργός ισχύς (*Active Power*)

Εάν λάβουμε υπόψη την τριγωνομετρική ταυτότητα:

$$\cos(A+B) = \cos(A)\cos(B) - \sin(A)\sin(B)$$

Η στιγμιαία ισχύς γράφεται:

$$\begin{aligned} P(t) &= \frac{1}{2} V_0 I_0 [\cos(\phi) - \cos(2\omega t - \phi)] = \\ &= \frac{1}{2} V_0 I_0 [\cos(\phi) - \cos(2\omega t)\cos(\phi) - \sin(2\omega t)\sin(\phi)] = \\ &= \frac{1}{2} V_0 I_0 [(1 - \cos(2\omega t))\cos(\phi) - \sin(2\omega t)\sin(\phi)] = \\ &= \frac{1}{2} V_0 I_0 (1 - \cos(2\omega t))\cos(\phi) - \frac{1}{2} V_0 I_0 \sin(2\omega t)\sin(\phi) = \\ &= \underbrace{V I (1 - \cos(2\omega t))\cos(\phi)}_{1^{\text{ος}} \text{ όρος}} - \underbrace{V I \sin(2\omega t)\sin(\phi)}_{2^{\text{ος}} \text{ όρος}} \end{aligned}$$

Ο πρώτος όρος περιγράφει την ταλάντωση της ισχύος στην αντίσταση του στοιχείου όπως φαίνεται από τις παρακάτω σχέσεις.

$$\begin{aligned} p_R(t) &= V_R(t) I_0 \sin(\omega t) = V_0 \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin(\omega t) I_0 \sin(\omega t) = \\ &= V_0 I_0 \cos(\phi) \sin^2(\omega t) = \frac{1}{2} V_0 I_0 \cos(\phi) [1 - \cos(2\omega t)] = \\ &= V_{rms} I_{rms} \cos(\phi) [1 - \cos(2\omega t)] \end{aligned}$$

Γενικά, παρατηρούμε ότι το πλάτος των ταλαντώσεων της ισχύος στην αντίσταση του στοιχείου ισούται με την πραγματική ισχύ.

Ο δεύτερος όρος περιγράφει την ταλάντωση της ισχύος στην αντίδραση του στοιχείου.

$$\begin{aligned} p_L(t) &= V_L(t) I_0 \sin(\omega t) = V_0 \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cos(\omega t) I_0 \sin(\omega t) = \\ &= \frac{1}{2} V_0 I_0 \sin(\phi) \sin(2\omega t) = \\ &= V_{rms} I_{rms} \sin(\phi) \sin(2\omega t) \end{aligned}$$

Το πλάτος των ταλαντώσεων στην αντίδραση του στοιχείου ονομάζεται άεργος ισχύς (Reactive Power)

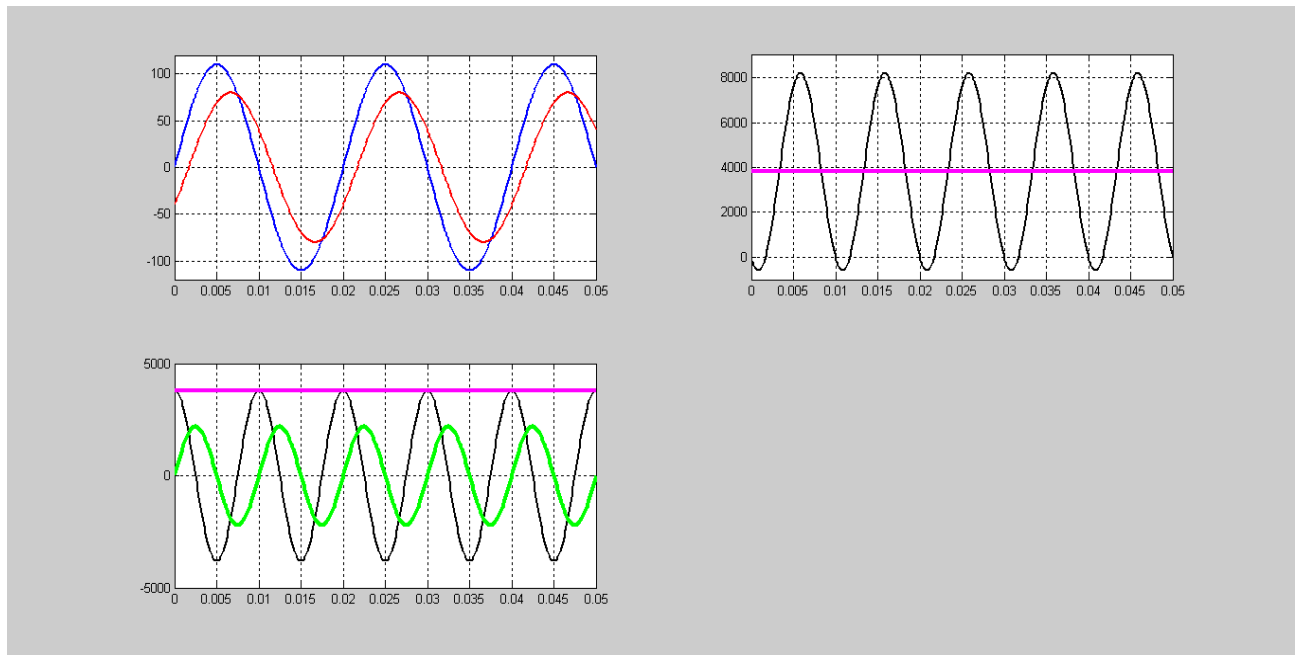
$$Q = V_{rms} I_{rms} \sin(\phi)$$

Η οντότητα $V_{rms} I_{rms}$ ονομάζεται φαινόμενη ισχύς. $S = V_{rms} I_{rms}$

Προφανώς ισχύει ότι:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Τα παραπάνω συνοψίζονται στα διαγράμματα:



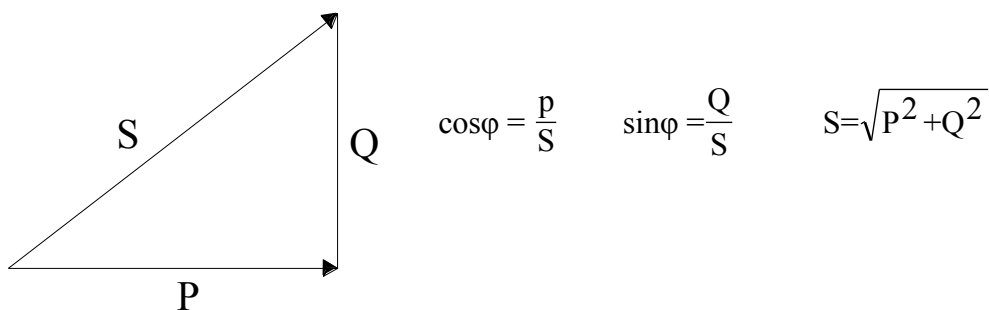
Σχήμα 6.1. Στο πρώτο διάγραμμα εικονίζονται η τάση (μπλε) και το ρεύμα (κόκκινο) στο στοιχείο.

Στο δεύτερο η στιγμιαία ισχύς (μαύρο) και η μέση τιμή της (φούξια).

Στο τρίτο οι ταλαντώσεις της ισχύος στην αντίσταση (μαύρο) στην αντίδραση (πράσινο) καθώς και η μέση τιμή μέση τιμή της στιγμιαίας ισχύος (φούξια).

Μέτρηση Ισχύος σε μονοφασικό καταναλωτή

Η πραγματική, η άεργος και η φαινόμενη ισχύς συνδέονται μεταξύ τους με τις σχέσεις :



Σχήμα 6. 2 Τρίγωνο Ισχύος

Η ενεργός ισχύς είναι ο χρονικός μέσος όρος της ισχύος που παρέχεται συνολικά από την πηγή .

Η άεργος ισχύς είναι το πλάτος της ημιτονοειδούς ταλαντώσεως της ισχύος που διατίθεται στις αντιδράσεις του κυκλώματος .

Η φαινόμενη ισχύς είναι ένα μέγεθος που ορίζεται από το διανυσματικό άθροισμα της ενεργούς και της άεργου ισχύος ή διαφορετικά το γινόμενο των μετρούμενων τιμών τάσης και ρεύματος όπως είδαμε παραπάνω.

Πολλαπλάσια του Watt είναι :

$$\text{KW (Kilowatt)} = 10^3 \text{ ή } 1.000 \text{ Watt}$$

$$\text{MW (Megawatt)} = 10^6 \text{ ή } 1.000.000 \text{ Watt}$$

$$\text{G W (Gigawatt)} = 10^9 \text{ ή } 1.000.000.000 \text{ Watt}$$

Υποπολλαπλάσια του Watt είναι :

$$\text{m W (miliwatt)} = 10^{-3} \text{ ή } 0,001 \text{ Watt}$$

$$\mu\text{W (microwatt)} = 10^{-6} \text{ ή } 0,000001 \text{ Watt}$$

Συντελεστής Ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος $\cos\phi$ είναι το συνημίτονο της γωνίας ϕ που σχηματίζεται μεταξύ της τάσεως η οποία εφαρμόζεται στα άκρα του καταναλωτή και της εντάσεως του ρεύματος που διέρχεται από αυτόν.

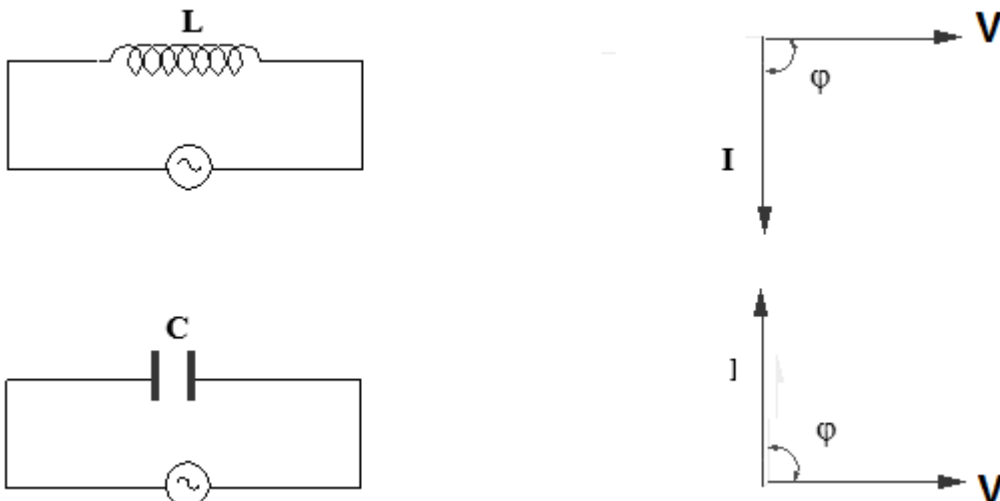
Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής ισχύος είναι :

- Η μονάδα για καθαρά ωμικά φορτία .



Σχήμα 6. 3 Γωνία ϕ μεταξύ τάσης και ρεύματος για καθαρά ωμικό καταναλωτή.

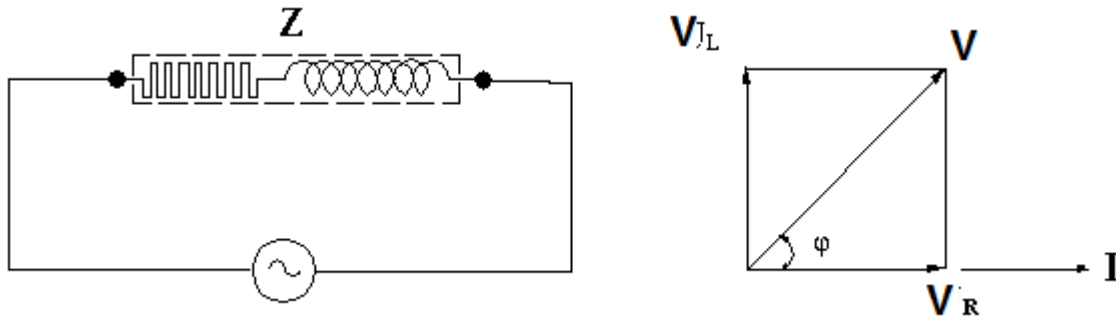
- Μηδέν για καθαρά επαγωγικά ή χωρητικά φορτία .



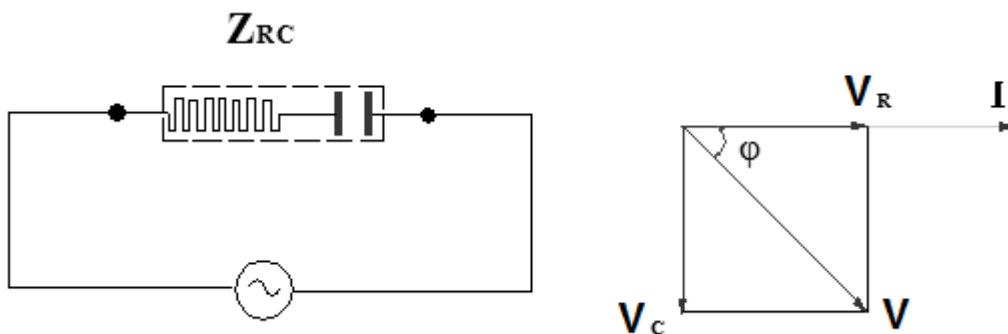
Σχήμα 6. 4 Γωνία ϕ μεταξύ τάσης και ρεύματος για καθαρά επαγωγικό και χωρητικό καταναλωτή.

Σε σύνθετους καταναλωτές :

Η τιμή που μπορεί να πάρει είναι ενδιάμεση και εμφανίζει ανάλογα με το είδος του φορτίου επαγωγική ή χωρητική συμπεριφορά.



Σχήμα 6. 5 Γωνία ϕ μεταξύ τάσης και ρεύματος για σύνθετο επαγωγικό καταναλωτή.



Σχήμα 6. 6 Γωνία ϕ μεταξύ τάσης και ρεύματος για σύνθετο χωρητικό καταναλωτή.

Επιδιώκεται πάντα ο συντελεστής ισχύος να έχει την μεγαλύτερη δυνατή τιμή αφενός μεν για να μην καταπονούνται οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και αφετέρου η πηγή με μεγάλα άεργα ρεύματα .

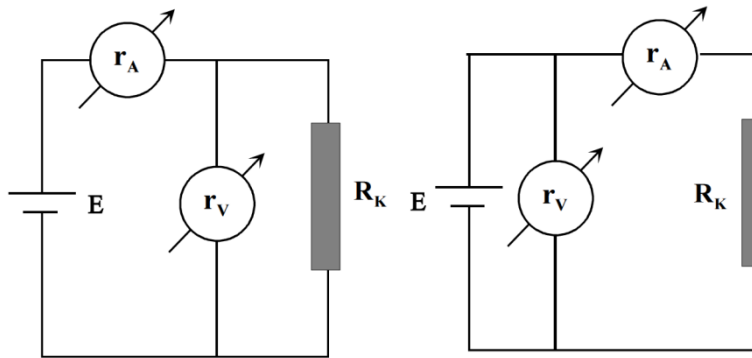
Μέθοδοι μέτρησης ενεργούς ισχύος

Με βολτόμετρο και αμπερόμετρο (DC και AC σε ωμικό καταναλωτή)

Για συνεχές ρεύμα ή ωμικό καταναλωτή στο εναλλασσόμενο, η ισχύς μπορεί να μετρηθεί απλά με τη χρήση ενός αμπερομέτρου και ενός βολτομέτρου, όπου η ισχύς δίνεται από το γινόμενο των ενδείξεων των δύο οργάνων. Η μέτρηση όμως μπορεί να επηρεαστεί από τις συνδέσεις καθώς υπάρχουν δύο εφικτές συνδεσμολογίες: α) το βολτόμετρο συνδέεται στην αντίσταση και β) το αμπερόμετρο συνδέεται στην αντίσταση.

Στην περίπτωση (α), το αποτέλεσμα είναι $P = V \cdot I + \frac{V^2}{r_V}$ και επηρεάζεται από την ισχύ που καταναλώνει το βολτόμετρο ενώ στην περίπτωση

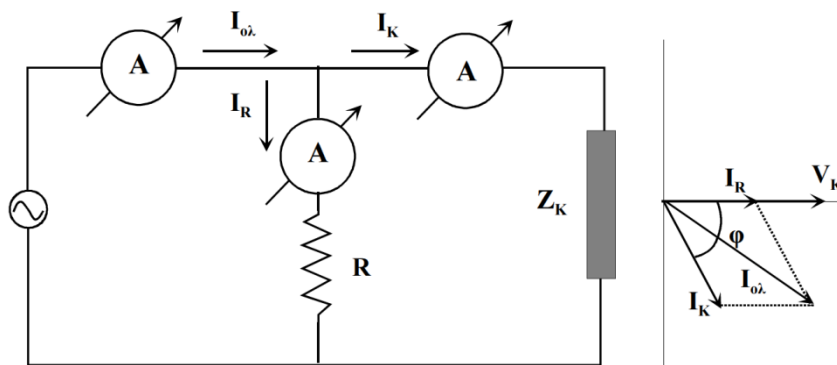
(β) το αποτέλεσμα είναι $P = V \cdot I + I^2 r_A$ και επηρεάζεται από την ισχύ στο αμπερόμετρο.



Εικόνα 6.7 Μέτρηση ενεργούς ισχύος με βολτόμετρο και αμπερόμετρο

Με τρία αμπερόμετρα

Για εναλλασσόμενα ρεύματα και πραγματικούς καταναλωτές, μία απλή μέθοδος μέτρησης της ισχύος είναι η σύγκριση της απόκρισης του καταναλωτή με αυτή μίας ωμικής αντίστασης R . Η σύγκριση, για ωμική αντίσταση συνδεμένη παράλληλα στον καταναλωτή, μπορεί να γίνει με τη χρήση τριών αμπερομέτρων τα οποία μετρούν τα ρεύματα στον καταναλωτή I_K , στην ωμική αντίσταση I_R και το ολικό ρεύμα $I_{ολ}$.

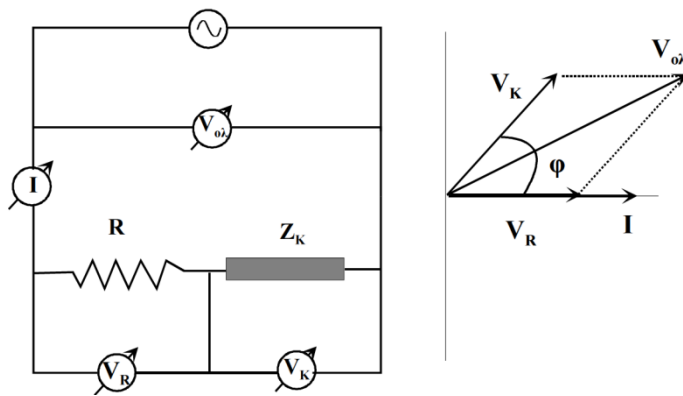


Εικόνα 6.8 Μέτρηση ενεργούς ισχύος με 3 αμπερόμετρα

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι:
$$P = \frac{R}{2} (I_{ολ}^2 - I_K^2 - I_R^2)$$

Με τρία βολτόμετρα

Μία άλλη προσέγγιση για τον υπολογισμό της ενεργούς ισχύος καταναλωτή μέσω σύγκρισης της απόκρισης του με αυτή ωμικής αντίστασης R είναι η χρήση τριών βολτομέτρων (με την ωμική αντίσταση συνδεμένη σε σειρά στον καταναλωτή) όπως φαίνεται στο σχήμα. Τα βολτόμετρα μετρούν τις τάσεις στον καταναλωτή V_K , στην ωμική αντίσταση V_R και την ολική τάση $V_{ολ}$



Εικόνα 6.8 Μέτρηση ενεργούς ισχύος με 3 βολτόμετρα

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι:
$$P = \frac{1}{2R} (V_{ol}^2 - V_K^2 - V_R^2)$$

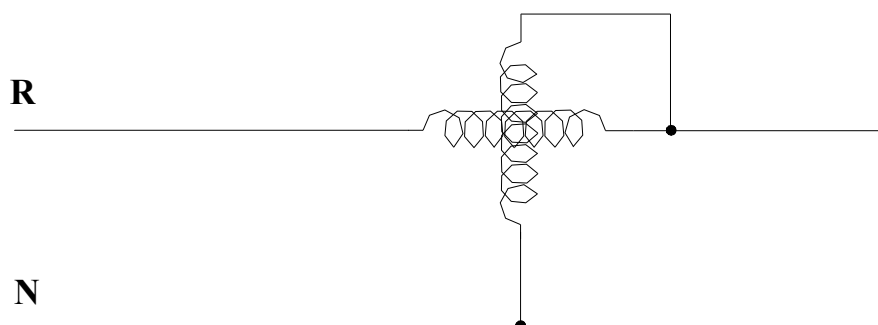
Με βατόμετρο

Το βατόμετρο είναι ένα ηλεκτροδυναμικό όργανο διασταυρωμένων πηνίων, αποτελείται από δύο πηνία το ένα είναι κατασκευασμένο από λεπτό σύρμα με πολλές σπείρες και ονομάζεται πηνίο τάσεως ($R_N \gg \gg$) συνδέεται παράλληλα με την κατανάλωση και το άλλο από χονδρό σύρμα, ονομάζεται πηνίο εντάσεως ($R_a \ll \ll$) και συνδέεται σε σειρά με την κατανάλωση.

Η κατασκευή του βαττομέτρου είναι κατά τέτοιο τρόπο ώστε η ροπή κινήσεως να είναι ανάλογη του γινομένου των ενεργών τιμών V , I και του $\cos\phi$ της σχηματιζόμενης γωνίας.

Το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα στο οποίο γίνεται η μέτρηση της ισχύος, διέρχεται από το ακίνητο πηνίο της εντάσεως και η τάση του κυκλώματος εφαρμόζεται στα άκρα του κινητού πηνίου που συνήθως έχει σε σειρά μια προστατευτική αντίσταση R .

Το βατόμετρο μετράει την ισχύ στο εναλλασσόμενο καθώς και στο συνεχές ρεύμα.



Σχήμα 6.9 Εσωτερική συνδεσμολογία βαττομέτρου

Χαρακτηριστικά ενός βαττομέτρου είναι :

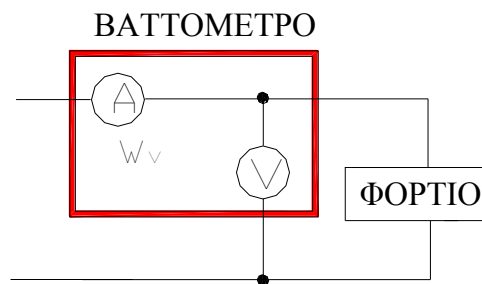
- Το μέγιστο ρεύμα για το οποίο είναι κατασκευασμένο το πηνίο της εντάσεως.
- Η μέγιστη τάση που μπορεί να εφαρμοσθεί στα άκρα του πηνίου της τάσεως.

! Προσοχή

Το βαττόμετρο χρειάζεται μεγάλη προσοχή κατά την σύνδεση του. Δηλαδή πρέπει το πηνίο εντάσεως να συνδεθεί σε σειρά με το προς μέτρηση στοιχείο και το πηνίο τάσεως να συνδεθεί παράλληλα. Λάθος σύνδεση του οργάνου σε κύκλωμα υπό τάση θα προκαλέσει την καταστροφή του. Για την αποφυγή σφάλματος οι κατασκευαστές αναγράφουν τα σύμβολα της τάσεως και του ρεύματος στις υποδοχές του βαττομέτρου.

Για την μέτρηση της ισχύος με βαττόμετρο υπάρχει η δυνατότητα πραγματοποίησης δύο συνδεσμολογιών με διαφορετικό σφάλμα μέτρησης για κάθε μια το οποίο και πρέπει να υπολογίζεται σε μετρήσεις ακριβείας.

1^η συνδεσμολογία μέτρησης ισχύος με βαττόμετρο



Σχήμα 6. 10 1^{ος} Τρόπος σύνδεσης βαττομέτρου

Με την συνδεσμολογία αυτή το βαττόμετρο μετρά την ενεργό ισχύ του φορτίου συν την ισχύ απωλειών που καταναλίσκεται στο πηνίο τάσεως του βαττομέτρου. ($P = P_{WL} + P_{WV}$)

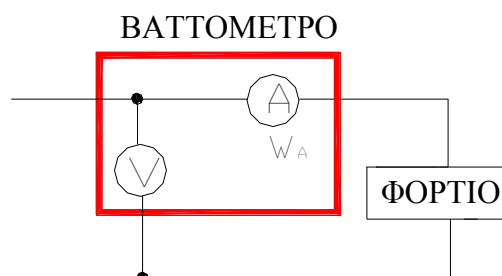
Το σφάλμα δίνεται από την σχέση:

$$\sigma = \frac{P - P_{WL}}{P_{WL}} = \frac{V^2}{P_{WL} R_V} = \frac{V}{R_V I \cos \phi}$$

όπου R_V η εσωτερική αντίσταση του πηνίου τάσεως του βαττομέτρου.

Σημείωση : Η συνδεσμολογία ενδείκνυται για περιπτώσεις κατά τις οποίες η ισχύς παρέχεται υπό μικρή τάση και μεγάλη ένταση.

2^η συνδεσμολογία μέτρησης ισχύος με βαττόμετρο



Σχήμα 6. 11 2^{ος} Τρόπος σύνδεσης βαττομέτρου

Στη συνδεσμολογία αυτή το βαττόμετρο μετρά την ισχύ του φορτίου συν την ισχύ απωλειών στο πηνίο έντασης του βαττομέτρου. ($P = P_{WL} + P_{WA}$)

Το σφάλμα δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma = \frac{P - P_{WL}}{P_{WL}} = \frac{R_A I^2}{P_{WL}} = \frac{R_A I}{V \cos \phi}$$

όπου R_A η εσωτερική αντίσταση του πηνίου εντάσεως του βατομέτρου.

Σημείωση : Η συνδεσμολογία αυτή ενδείκνυται για περιπτώσεις που η ισχύς παρέχεται υπό υψηλή τάση και μικρή ένταση.



Εικόνα 6.12 Βατόμετρο

Μέθοδοι μέτρησης αέργου ισχύος

Όπως ορίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ενεργός ισχύς ορίζεται από τη σχέση $P = VI \cos \phi$. Ουσιαστικά δηλαδή, η πραγματική (χρήσιμη) ισχύς σε ένα κύκλωμα δίνεται από το γινόμενο της τάσης επί την συνιστώσα του ρεύματος που είναι σε φάση με την τάση ($I_\phi = I \cos \phi$). Υπάρχει όμως και μία άλλη συνιστώσα του ρεύματος ($I_\alpha = I \sin \phi$) η οποία έχει διαφορά φάσης $\pi/2$ από την τάση και που ονομάζεται αβατική ή μαγνητίζουσα συνιστώσα. Αυτή η συνιστώσα ρεύματος ορίζει την άεργο ισχύ Q η οποία δίνεται από τη σχέση: $Q = VI \sin \phi$.

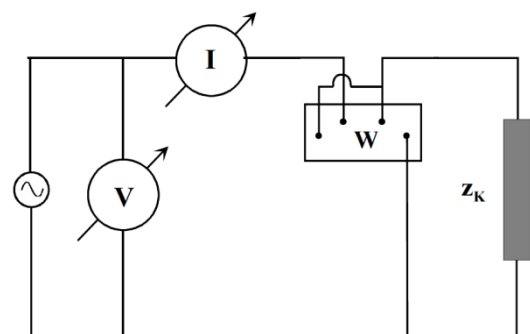
Η άεργος ισχύς, που έχει μονάδες VAR (Volt Ampere Reactive), σχετίζεται με απώλειες ισχύος-ενέργειας στους πυκνωτές και στα πηνία υπό μορφή ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων αντίστοιχα.

Με βολτόμετρο, αμπερόμετρο και βατόμετρο.

Ένας απλός τρόπος μέτρησης της αέργου ισχύος είναι με χρήση βολτομέτρου, αμπερομέτρου και βατομέτρου. Το γινόμενο των ενδείξεων βολτομέτρου, αμπερομέτρου δίνουν την φαινόμενη ισχύ ενώ το βατόμετρο την ενεργό ισχύ.

Επομένως η άεργος ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \sqrt{(VI)^2 - P^2}$$

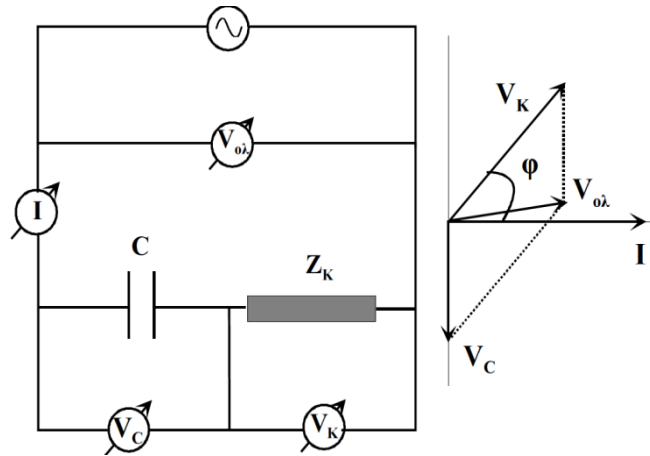


Εικόνα 6.13 Μέτρηση αέργου ισχύος με βολτόμετρο, αμπερόμετρο και βατόμετρο

Με τρία βολτόμετρα

Μία άλλη προσέγγιση για τον υπολογισμό της αέργου ισχύος καταναλωτή μέσω σύγκρισης της απόκρισης του με αυτή πυκνωτή C, είναι η χρήση τριών βολτομέτρων (με τον πυκνωτή συνδεδεμένο σε σειρά στον καταναλωτή) όπως φαίνεται παρακάτω

Τα βολτόμετρα μετρούν τις τάσεις στον καταναλωτή V_K , στον πυκνωτή V_C και την ολική τάση $V_{ολ}$. Στο σχήμα δεξιά φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων όπου έχει υποθεθεί ότι ο καταναλωτής εμφανίζει επαγωγική συμπεριφορά. Από το διάγραμμα



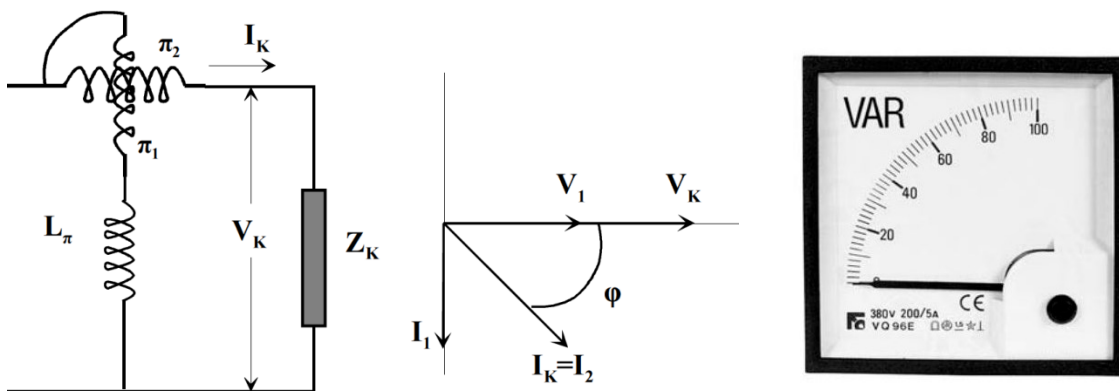
Εικόνα 6.14 Μέτρηση αέργου ισχύος με τρία βολτόμετρα

αυτό προκύπτει ότι: $Q = \omega C/2 (V_C^2 + V_K^2 - V_{ολ}^2)$

Δηλαδή, η αέργος ισχύς μπορεί να υπολογιστεί από τις ενδείξεις των τριών βολτομέτρων και την τιμή της χωρητικότητας

Με βάρμετρο

Ένας βασικός τρόπος μέτρησης αέργου ισχύος είναι η χρήση βάρμετρου. Η λειτουργία και η διάταξη του βάρμετρου είναι ακριβώς η ίδια με αυτές του βατομέτρου με μόνη διαφορά την αντικατάσταση της αντίστασης R_{π} με ένα πηνίο L_{π} μεγάλης αυτεπαγωγής ($\omega L_{\pi} \gg R_1$, όπου R_1 η ωμική αντίσταση του πηνίου τάσης). Η ένδειξη του οργάνου είναι απ' ευθείας ανάλογη της αέργου ισχύος.



Εικόνα 6.15 Μέτρηση αέργου ισχύος με βάρμετρο

Έμμεση μέτρηση αέργου ισχύος

Η αέργος ισχύς $Q = V I \sin\phi$ μπορεί να προσδιορισθεί έμμεσα με δύο τρόπους :

- Εάν γνωρίζουμε την φαινόμενη και την ενεργό ισχύ με βάση την σχέση :

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

- Εάν γνωρίζουμε τον συντελεστή ισχύος $\cos\phi$ της κατανάλωσης και την φαινόμενη ισχύ δηλαδή (βρίσκουμε την γωνία και στη συνέχεια το $\sin\phi$).

$$Q = VI \sin \phi$$

Μέθοδοι μέτρησης συντελεστή ισχύος $\cos\phi$

Έμμεση μέτρηση συντελεστή ισχύος

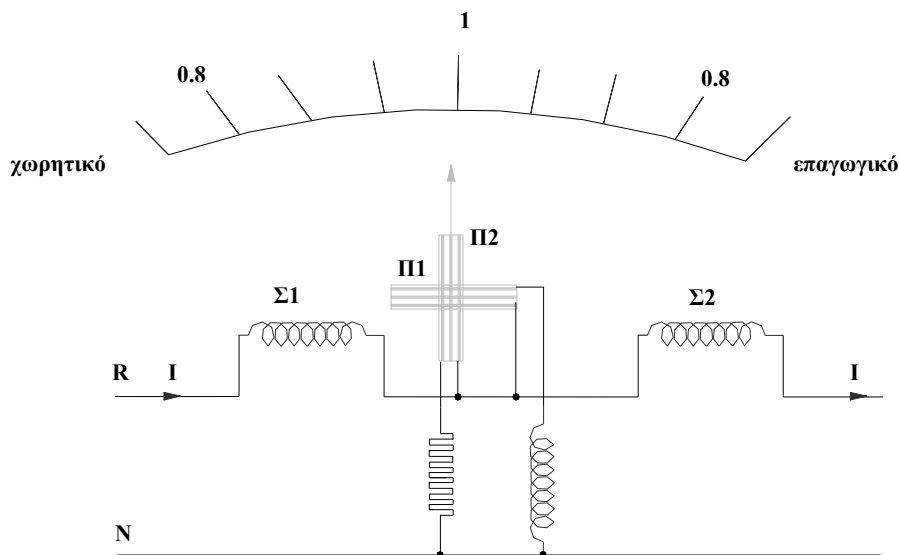
Ο συντελεστής ισχύος μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$\cos\phi = \frac{P}{VI}$$

όπου P , V , I είναι οι ενδείξεις του βαττομέτρου, βολτομέτρου και αμπερομέτρου αντίστοιχα. Για να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια πρέπει η μέτρηση της ισχύος, της τάσεως και της εντάσεως να γίνονται ταυτόχρονα.

Με συνημιτόμετρο

Ο συντελεστής ισχύος $\cos\phi$ μπορεί να μετρηθεί άμεσα με κατάλληλο όργανο το συνημιτονόμετρο, το οποίο εκτός από την τιμή του συνημίτονου μας πληροφορεί για την συμπεριφορά του κυκλώματος δηλαδή επαγωγική ή χωρητική.



Σχήμα 16 Συνημιτόμετρο

Το συνημιτονόμετρο αποτελείται όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχήμα από δυο πηνία το $\Sigma 1$ και το $\Sigma 2$ τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά, από τα πηνία αυτά περνάει το ρεύμα της κατανάλωσης και για το λόγο αυτό είναι κατασκευασμένα από λίγες σπείρες χονδρού σύρματος.

Μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν τα δυο αυτά πηνία τοποθετούνται δύο διασταυρωμένα πηνία Π_1 και Π_2 , με πολλές σπείρες και λεπτό σύρμα, το πηνίο Π_1 συνδέεται μέσω μίας ωμικής αντίστασης παράλληλα με την κατανάλωση το δε πηνίο Π_2 μέσω μιας επαγωγικής αντίστασης παράλληλα με την κατανάλωση.

Ανάλογα με την φύση της κατανάλωσης δημιουργείται συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο το οποίο και στρέφει την βελόνη του οργάνου τότε προς την επαγωγική πλευρά και τότε προς την χωρητική πλευρά .

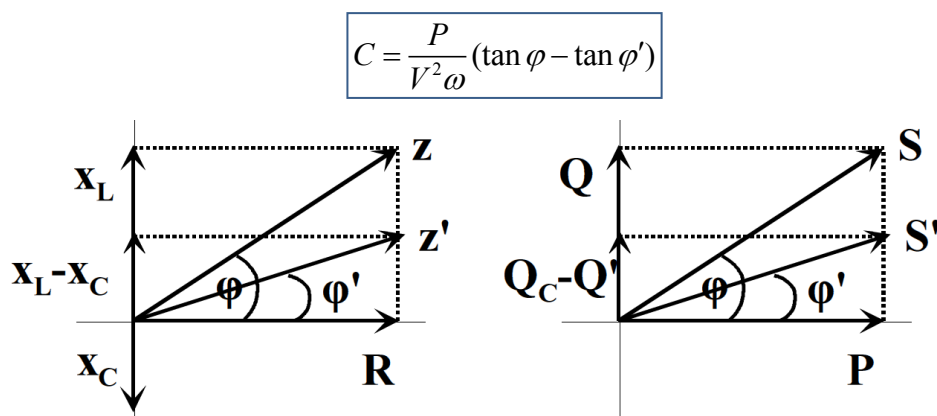
Στην περίπτωση του ωμικού καταναλωτή η βελόνη του οργάνου παραμένει στη μέση.

Διόρθωση συνημίτονου

Πολλοί καταναλωτές εμφανίζουν επαγωγική συμπεριφορά (κινητήρες, μετασχηματιστές κλπ) με αποτέλεσμα, λόγω της συνεπαγόμενης αέργου ισχύος, να υπάρχουν απώλειες στο δίκτυο παραγωγής-διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός τις απώλειες αυτές όμως, η επαγωγική συμπεριφορά σημαίνει ότι ο συντελεστής ισχύος $\cos\phi$ θα είναι μικρότερος της μονάδας. Σε δίκτυα ηλεκτρική ενέργειας που λειτουργούν με σταθερή τάση, το ρεύμα σε ένα καταναλωτή ισχύος P δίνεται από: $I=P/(V\cos\phi)$, επομένως, το ρεύμα είναι αντιστρόφως ανάλογο του συντελεστή ισχύος. Μικρή τιμή του συντελεστή ισχύος σημαίνει μεγάλο ρεύμα, συνθήκη αντικοινωνική καθώς θα απαιτούνται αγωγοί μεγάλης διαμέτρου για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και θα υπάρχουν μεγάλες απώλειες σε αυτούς. Για όλους τους παραπάνω λόγους, η ΔΕΗ επιβάλλει ο συντελεστής ισχύος να έχει τιμή μεγαλύτερη από 0.95.

Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος, δηλαδή η μεταβολή της τιμής του $\cos\phi$ έτσι ώστε να μεγαλώσει η τιμή του, επιτυγχάνεται με την προσθήκη παράλληλα στον καταναλωτή ενός κατάλληλου πυκνωτή. Με αυτόν τον τρόπο, η χωρητική αντίσταση ελαττώνει την γωνία ϕ . Σαν αποτέλεσμα, η πραγματική ισχύς παραμένει η ίδια ενώ ελαττώνεται η άεργος και η φαινόμενη ισχύς.

Σχετικά με τον υπολογισμό της χωρητικότητας του πυκνωτή που απαιτείται για μία συγκεκριμένη διόρθωση συνημίτονου, αυτή μπορεί να προκύψει ως εξής:



Εικόνα 6.16 Διόρθωση συνημίτονου

Δηλαδή, μπορούμε να υπολογίσουμε την χωρητικότητα για μία αλλαγή της γωνίας φάσης από ϕ σε ϕ' για καταναλωτή με ισχύ P και τάση V . Στην πράξη, για μία διόρθωση του συντελεστή ισχύος δεν απαιτούνται υπολογισμοί με την παραπάνω εξίσωση αλλά χρησιμοποιούνται ειδικοί πίνακες και διαγράμματα. Σε αυτά, κάθε μεταβολή από ένα δεδομένο $\cos\phi$ σε ένα συγκεκριμένο $\cos\phi'$ αντιστοιχεί σε ένα συντελεστή K ο οποίος είναι ίσος με τον λόγο της απαιτούμενης για διόρθωση

άεργης ισχύος προς την ενεργό ισχύ του καταναλωτή. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόβλημα της διόρθωσης συνημιτόνου είναι ένα ιδιαίτερα δύσκολο εγχείρημα στην βιομηχανία όπου η ύπαρξη μεγάλων μονάδων με επαγωγική συμπεριφορά απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.

cosφ που υπάρχει	cosφ που επιθυμούμε									
	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
0,25	3,87	3,67	3,58	3,51	3,44	3,39	3,25	3,12	2,99	2,85
0,30	3,18	2,98	2,89	2,82	2,75	2,69	2,56	2,42	2,29	2,15
0,35	2,67	2,47	2,38	2,31	2,24	2,19	2,05	1,92	1,79	1,65
0,40	2,29	2,09	2,00	1,93	1,86	1,81	1,67	1,54	1,41	1,27
0,45	1,99	1,79	1,70	1,63	1,56	1,51	1,37	1,24	1,11	0,97
0,50	1,73	1,53	1,44	1,37	1,30	1,25	1,11	0,98	0,85	0,71
0,55	1,52	1,32	1,23	1,16	1,09	1,04	0,90	0,77	0,64	0,50
0,60	1,33	1,13	1,04	0,97	0,90	0,85	0,71	0,58	0,45	0,31
0,65	1,17	0,97	0,88	0,81	0,74	0,69	0,55	0,42	0,29	0,15
0,70	1,02	0,82	0,73	0,66	0,59	0,54	0,40	0,27	0,14	
0,75	0,88	0,68	0,59	0,52	0,45	0,40	0,26	0,13		
0,80	0,75	0,55	0,46	0,39	0,32	0,27	0,13			
0,85	0,62	0,42	0,33	0,26	0,19	0,14				

Παράδειγμα 1

Έστω λάμπα 60 W που λειτουργεί στα 230V/50Hz με συντελεστή ισχύος 0.4. Να βρεθεί η τιμή της χωρητικότητας που πρέπει να συνδεθεί παράλληλα έτσι ώστε ο συντελεστής ισχύος να γίνει 0.9.

Απάντηση

$$\cos \varphi = 0,4 \Rightarrow \varphi = 66,42^\circ$$

$$\cos \varphi = 0,9 \Rightarrow \varphi = 25,84^\circ$$

$$C = \frac{P}{V^2 \omega} (\tan \varphi - \tan \varphi') = \frac{60}{230^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} (\tan 66,42 - \tan 25,84) = 6,52 \mu F$$

Παράδειγμα 2

Συνδέσαμε ένα μονοφασικό καταναλωτή σε δίκτυο συχνότητας 50 Hz και πήραμε τις παρακάτω μετρήσεις: $V_{rms} = 230 V$, $I_{rms} = 15 A$ και $\cos \varphi = 0,8$ επαγωγικό

Να υπολογισθούν η ενεργός, η άεργος και η φαινόμενη ισχύς που απορροφά ο καταναλωτής από το δίκτυο.

Απάντηση

Η ενεργός ισχύς είναι: $P = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos \varphi = 230 \times 15 \times 0,8 = 2760 W$

Η άεργος ισχύς είναι: $Q = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \sin \varphi = 230 \times 15 \times 0,6 = 2070 Var.$

Η φαινόμενη ισχύς είναι: $S = V_{rms} \cdot I_{rms} = 230 \times 15 = 3450 VA$

Παράδειγμα 3

Έστω ότι έχουμε ένα μονοφασικό κινητήρα ισχύος 1200 W , ο οποίος λειτουργεί σε δίκτυο 230 V, συχνότητας 50 Hz και ζητείται να διορθωθεί το $\cos\phi$ από 0,55 στην τιμή των 0,90 με την χρησιμοποίηση κατάλληλων πυκνωτών. (Να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 6.17)

Απάντηση

Από τον παραπάνω πίνακα βρίσκουμε ότι για το υπάρχων $\cos\phi = 0,55$ και από την κατακόρυφη στήλη για επιθυμητό $\cos\phi = 0,90$ τον συντελεστή $K = 1,04$

$$Q_c = P \cdot K = 1200 \times 1,04 = 1248 \text{ Var}$$

Άρα

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V^2} = 75,1 \mu\text{f}$$

Στην περίπτωση που οι επιθυμητές τιμές διαφέρουν με αυτές του πίνακα συνήθως παίρνουμε την αμέσως πλησιέστερη τιμή.

Άρα για να επιτύχουμε διόρθωση του $\cos\phi$ από την τιμή του 0,55 στην τιμή 0,90 πρέπει να τοποθετήσουμε παράλληλα στον κινητήρα ένα πυκνωτή 82 μf .

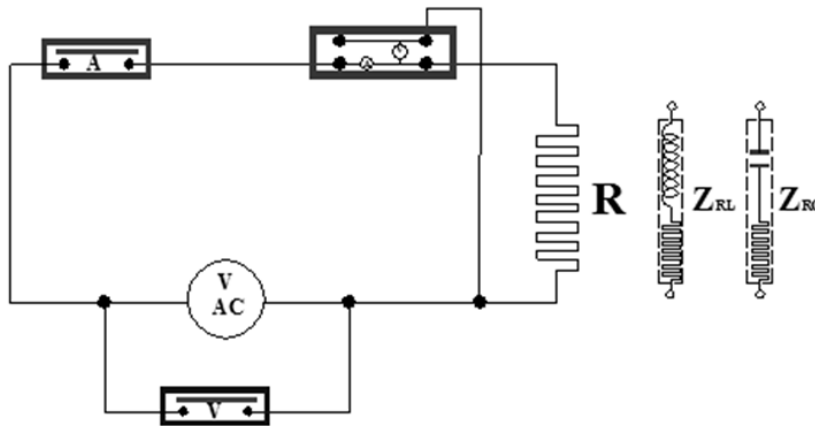
Εργαστηριακή Άσκηση 5

Απαιτούμενος εξοπλισμός για την διεξαγωγή της άσκησης

- AC μονοφασική τάση από τον πάγκο του εργαστηρίου
- Πηνίο από τον πάγκο του εργαστηρίου
- Πυκνωτής από τον πάγκο του εργαστηρίου
- Πολύμετρο ψηφιακό τεμ τουλάχιστον 2
- Βαττόμετρο

1) Πραγματοποιήστε την συνδεσμολογία του σχήματος χρησιμοποιώντας ως φορτίο :

- Την αντίσταση των 290Ω .
- Σύνθετο επαγωγικό καταναλωτή (χρησιμοποιείτε ένα πηνίο από την κονσόλα χειρισμών σε σειρά με την αντίσταση των 290Ω)
- Σύνθετο χωρητικό καταναλωτή (χρησιμοποιείτε ένα πυκνωτή από την κονσόλα χειρισμών σε σειρά με την ωμική αντίσταση των 290Ω)



2) Να καταχωρήσετε τις μετρήσεις σας στον πίνακα μετρήσεων

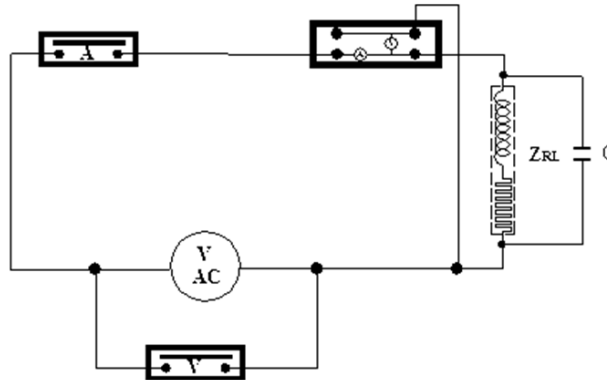
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ-ΟΡΓΑΝΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ	R	Z _{RL}	Z _{RC}
ΒΑΤΤΟΜΕΤΡΟ			
ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ			
ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ			

3) Να υπολογίσετε για κάθε φορτίο :

- i) Την ενεργό ισχύ,.....
- ii) Την φαινόμενη ισχύ,.....
- iii) Την άεργο ισχύ.....
- iv) Το $\cos\phi$

4) Να σχεδιάσετε το διανυσματικό διάγραμμα I-V για κάθε φορτίο.

5) Στην περίπτωση του σύνθετου καταναλωτή Z_{RL} (με αντίσταση 290Ω και πηνίο από τον πάγκο του εργαστηρίου) επιθυμώ να διορθώσω το $\cos\phi$ στο 0,85. Να υπολογίσετε τον πυκνωτή οποίος πρέπει να τοποθετηθεί παράλληλα με τον επαγωγικό καταναλωτή Z_{RL} για να έχουμε την επιθυμητή τιμή του 0.85.



6) Να καταχωρήσετε τις μετρήσεις σας στον πίνακα μετρήσεων

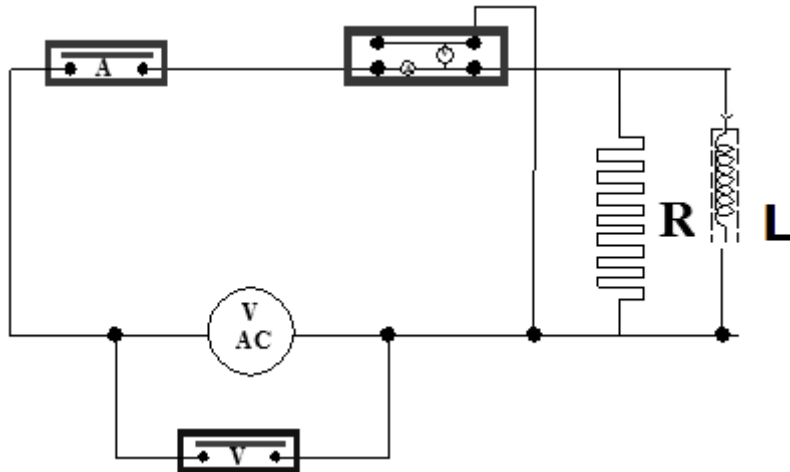
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ-ΟΡΓΑΝΩΝ	Z_{RL}
ΒΑΤΤΟΜΕΤΡΟ	
ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ	
ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ	

7) Να υπολογίσετε για τα παρακάτω πριν και μετά την διόρθωση του συντελεστή ισχύος :

- i) Την ενεργό ισχύ,.....
- ii) Την φαινόμενη ισχύ,.....
- iii) Την άεργο ισχύ.....
- iv) Το $\cos\phi$

8) Να σχεδιάσετε το διανυσματικό διάγραμμα I-V για το συνολικό φορτίο Z, καθώς και για κάθε επιμέρους φορτίο. και τέλος το διάγραμμα ισχύος του κυκλώματος.

9) Στην συνέχεια τοποθετείστε ένα νέο σύνθετο καταναλωτή Z_{RL} (με αντίσταση 290Ω παράλληλα με το πηνίο από τον πάγκο του εργαστηρίου) και διορθώστε το $\cos\phi$ σε 0.95. Να υπολογίσετε τον πυκνωτή οποίος πρέπει να τοποθετηθεί παράλληλα με τον επαγωγικό καταναλωτή Z_{RL} για να έχουμε την επιθυμητή τιμή του 0.95.



10) Να καταχωρήσετε τις μετρήσεις σας στον πίνακα μετρήσεων

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ-ΟΡΓΑΝΩΝ	Z_{RL}
ΒΑΤΤΟΜΕΤΡΟ	
ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ	
ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ	

11) Να υπολογίσετε για τα παρακάτω πριν και μετά την διόρθωση του συντελεστή ισχύος :

- i) Την ενεργό ισχύ,.....
- ii) Την φαινόμενη ισχύ,.....
- iii) Την άεργο ισχύ.....
- iv) Το $\cos\phi$

12) Να σχεδιάσετε το διανυσματικό διάγραμμα I-V για το συνολικό φορτίο Z, καθώς και για κάθε επιμέρους φορτίο. και τέλος το διάγραμμα ισχύος του κυκλώματος.