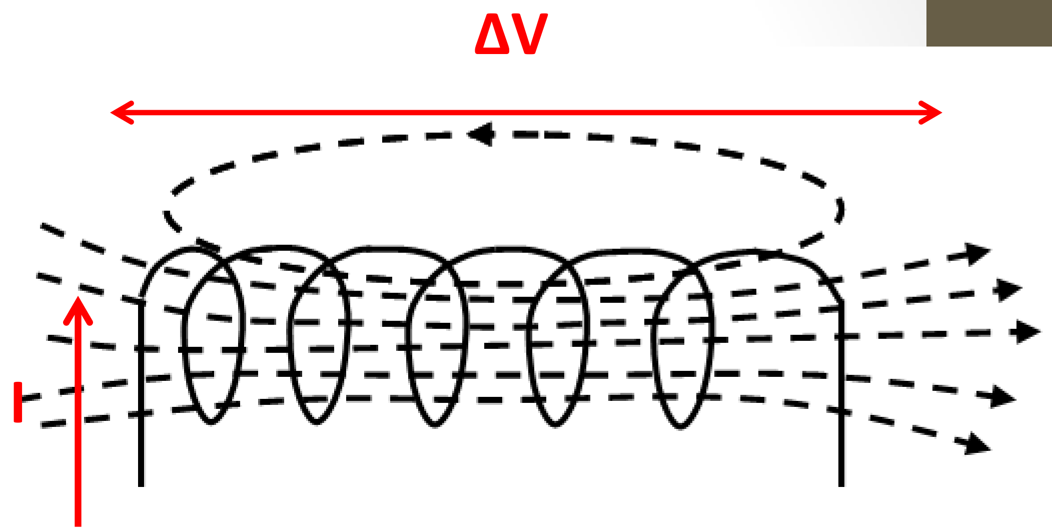
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών &
Μηχανικών Υπολογιστών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Διαλέξεις
Ηλεκτρικές Μετρήσεις

Άννα Τασολάμπρου

Κεφάλαιο 10 : Μέτρηση αυτεπαγωγής

*Πηνίο με **N** σπείρες που διαρρέεται από ρεύμα **I**, οπότε σαν αποτέλεσμα έχουμε κάθε σπείρα να διαπερνάται από μαγνητική ροή **ΦB***



Ορισμός αυτεπαγωγής

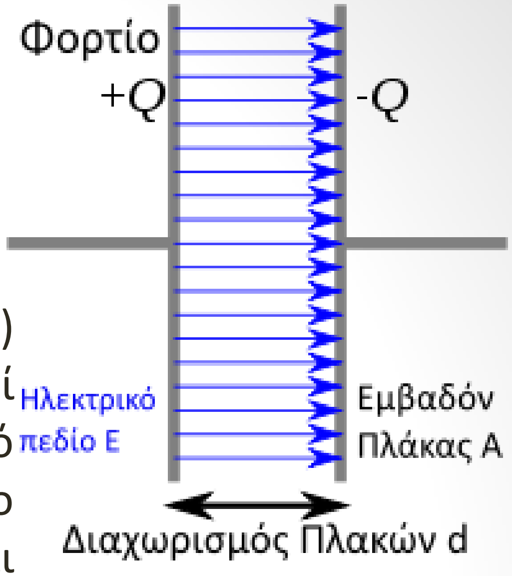
$$L=N\Phi_B/I$$

$$N\frac{d\Phi_B}{dt}=L\frac{di}{dt}\Rightarrow E=-L\frac{di}{dt}$$

$$V=L(di/dt)$$

Ο συντελεστής αυτεπαγωγής έχει μονάδες Henry και ένα τμήμα του κυκλώματος με αυτεπαγωγή ονομάζεται πηνίο

Κεφάλαιο 11 : Μέτρηση χωρητικότητας



Πυκνωτή ονομάζουμε τη διάταξη δύο αγωγών (οπλισμών) που διαχωρίζονται από κάποιο μονωτή. Οι δύο αγωγοί έχουν ίσο και αντίθετο φορτίο, όπου ο αγωγός με το θετικό φορτίο έχει μεγαλύτερο δυναμικό. Το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των οπλισμών άρα και η διαφορά δυναμικού είναι ανάλογο του φορτίου (νόμος Gauss). Επομένως ο λόγος (φορτίο)/(διαφορά δυναμικού) είναι σταθερή ποσότητα που ονομάζεται χωρητικότητα C **(C=Q/V)** με μονάδα στο SI το ***Farad (F).*** Ο απλούστερος τύπος πυκνωτή είναι ο επίπεδος πυκνωτής: δύο παράλληλες επίπεδες αγώγιμες πλάκες, με εμβαδόν A και σε απόσταση d (με A>>d). Λόγω έλξης των αντιθέτων φορτίων, τα περισσότερα φορτία θα είναι στις απέναντι εσωτερικές επιφάνειες των πλακών. Το ηλεκτρικό πεδίο E στο χώρο μεταξύ των πλακών είναι Επυκν=σ/ε0, άρα η χωρητικότητα μπορεί να υπολογιστεί σε:

$$V_{AB} = E_{\pi\upsilon\kappa\nu} d = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} d = \frac{Q/A}{\varepsilon_0} d \Rightarrow C = \frac{Q}{V_{AB}} = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ

$I = Ae^{i\omega t}, V = Be^{i(\omega t + \vartheta)}$

$$\frac{V}{I} = \frac{B}{A}e^{i\vartheta} = \frac{B}{A}(\cos\vartheta + j\sin\vartheta) = \overset{\substack{\alpha\nu\tau\iota\sigma\tau\alpha\sigma\eta \\ resistance}}{\alpha} + j\overset{\substack{\alpha\nu\tau\iota\delta\rho\alpha\sigma\eta \\ reactance}}{\beta} = \varepsilon\mu\pi\varepsilon\delta\eta\sigma\eta \ impedance$$

Αντίσταση πηνίου: 0 Ω

Αντίδραση πηνίου (επαγωγική): $X_L = \omega L$

Αντίσταση πυκνωτή: 0 Ω

Αντίδραση πυκνωτή (χωρητική): $X_C = -\frac{1}{\omega C}$

Το μέτρο της εμπέδησης καλείται σύνθετη αντίσταση

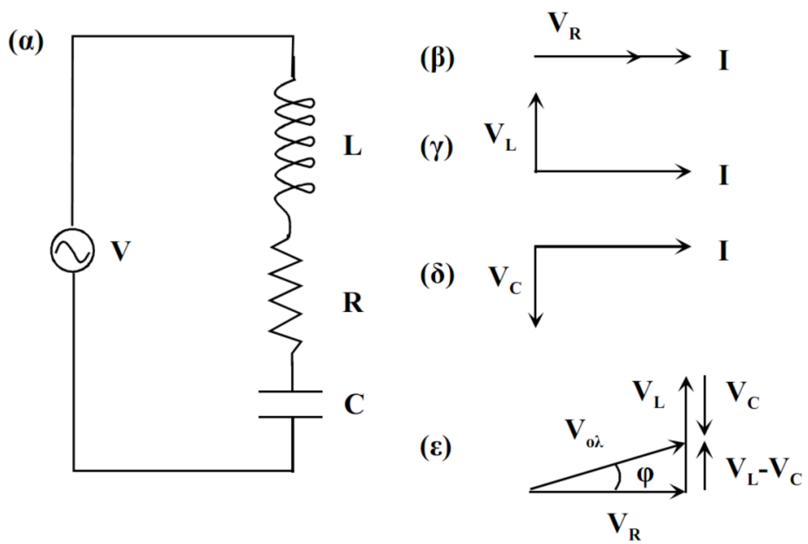
Σύνθετη αντίσταση πηνίου : $\|j\omega L\| = \sqrt{\omega^2 L^2} = \omega L$

Σύνθετη αντίσταση πυκνωτή : $\left\|-j\frac{1}{\omega C}\right\| = \sqrt{\frac{1}{\omega^2 C^2}} = \frac{1}{\omega C}$

Κεφάλαιο 12 : Συντονισμός

Κύκλωμα RLC σε σειρά

- πηνίο L,
- ωμική αντίσταση R
- χωρητικότητα C
- πηγή τροφοδοσίας $V=V_0e^{j\omega t}$



Σχήμα 12.1 Κύκλωμα RLC σε σειρά

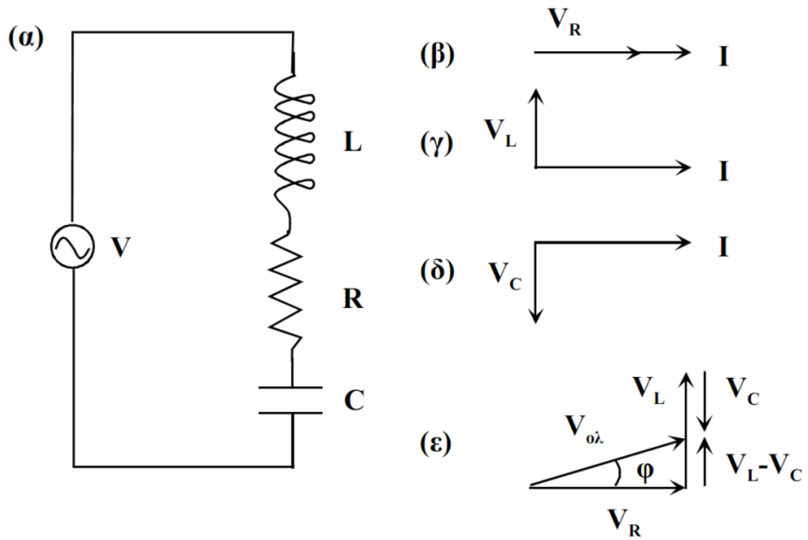
Αν υποθέσουμε ότι το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα I:

- η τάση στα άκρα της ωμικής αντίστασης **θα είναι συμφασική** με το ρεύμα
- η τάση στα άκρα της αυτεπαγωγής **θα προηγείται του ρεύματος κατά π/2**
- η τάση στα άκρα της χωρητικότητας **θα καθυστερεί σε σχέση με το ρεύμα κατά π/2**

Κεφάλαιο 12 : Συντονισμός

Κύκλωμα RLC σε σειρά

- πηνίο L,
- ωμική αντίσταση R
- χωρητικότητα C
- πηγή τροφοδοσίας $V=V_0e^{j\omega t}$



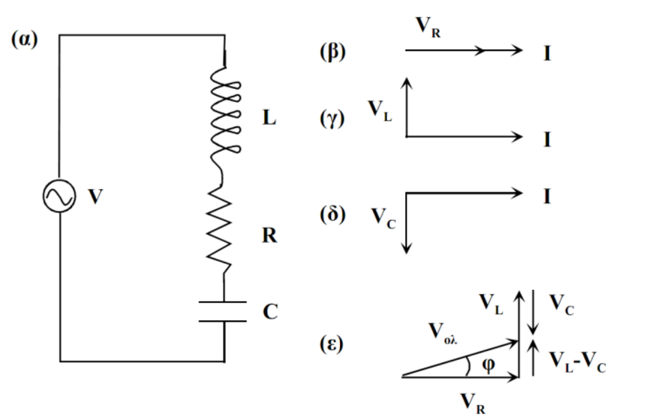
Σχήμα 12.1 Κύκλωμα RLC σε σειρά

Αν το ρεύμα I περιγράφεται από την εξίσωση $I=I_0e^{j\omega t}$, ο νόμος τάσεων Kirchhoff

$$V_0e^{j\omega t}-L\frac{di}{dt}-\frac{1}{C}\int idt=iR\Rightarrow V_0e^{j\omega t}-j\omega LI_0e^{j\omega t}-\frac{1}{j\omega C}I_0e^{j\omega t}=RI_0e^{j\omega t}$$

$$I_0=\frac{V_0}{R+j\left(\omega L-{}^{1}\!/_{\omega C}\right)}$$

Κεφάλαιο 12 : Συντονισμός



Σχήμα 12.1 Κύκλωμα RLC σε σειρά

Κύκλωμα RLC σε σειρά

$$I_0 = \frac{V_0}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

$$I = \frac{V_0}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} e^{j\omega t} = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} e^{j\omega t - \varphi} \qquad \varepsilon\varphi\varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$$

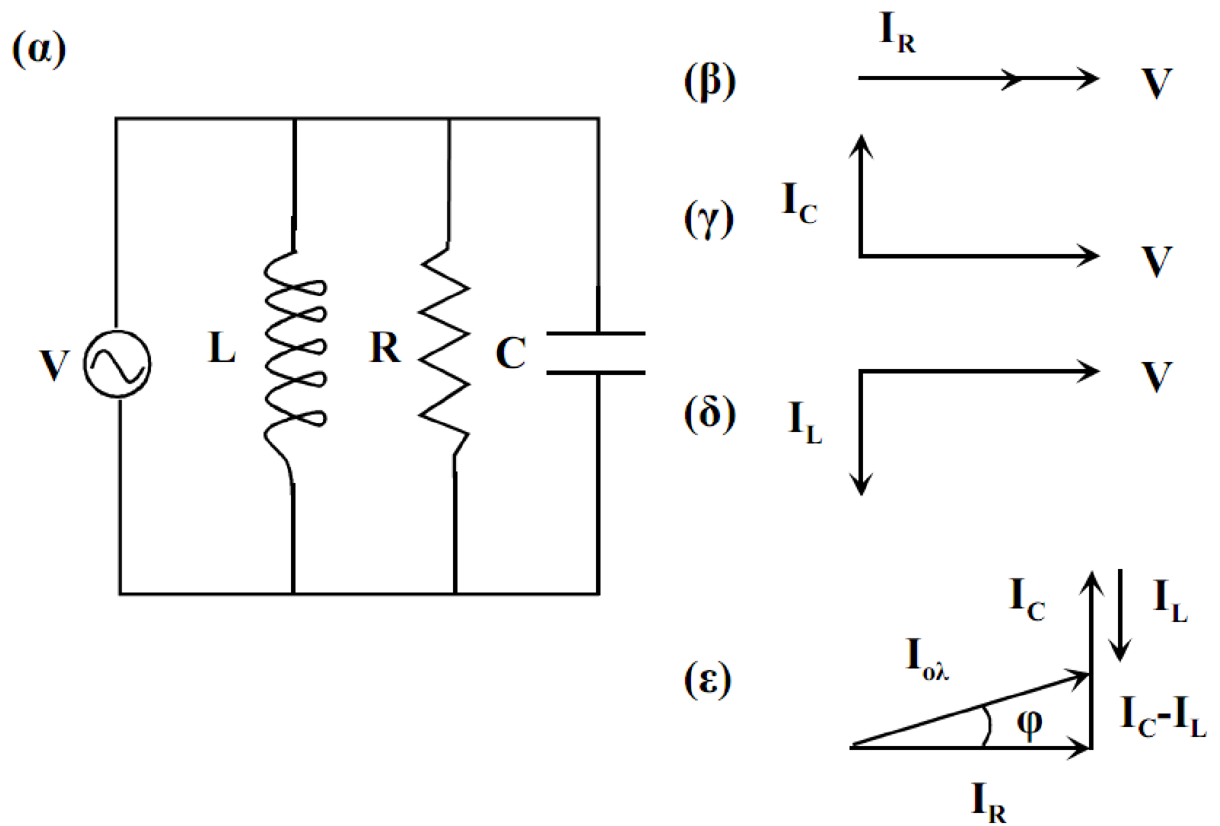
Στο κύκλωμα RLC, η εμπέδηση του κυκλώματος είναι συνδυασμός της **ωμικής, της επαγωγικής και της χωρητικής αντίστασης** και δίνεται από τη σχέση

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$ η μιγαδική μορφή είναι $z = R + j(\omega L - 1/\omega C)$

Επομένως, αν η επαγωγική αντίσταση είναι μεγαλύτερη από την χωρητική, η τάση θα προηγείται του ρεύματος και το κύκλωμα θα έχει επαγωγική συμπεριφορά ενώ θα έχει χωρητική συμπεριφορά για μεγαλύτερη χωρητική αντίσταση.

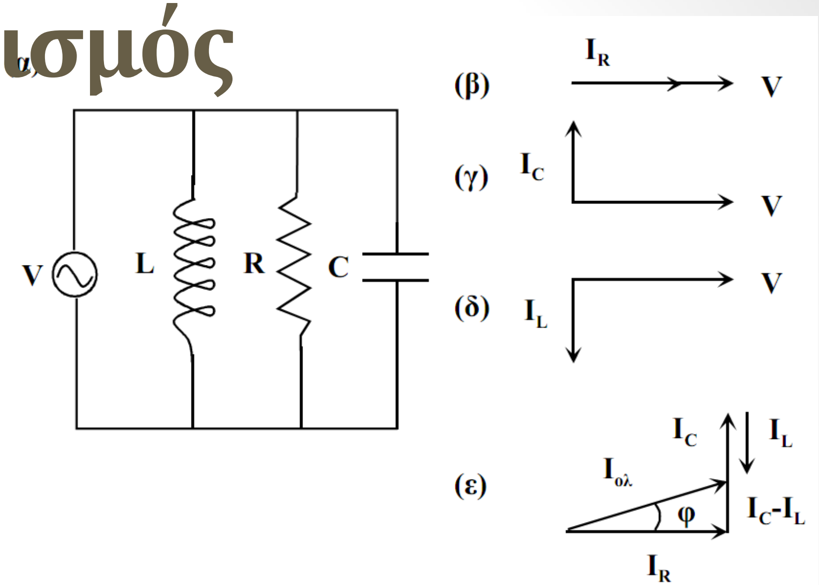
Κεφάλαιο 11 : Συντονισμός

Κύκλωμα RLC παράλληλα



Σχήμα 12.2 Κύκλωμα RLC σε σειρά

Κεφάλαιο 12 : Συντονισμός



Σχήμα 12.2 Κύκλωμα RLC σε σειρά

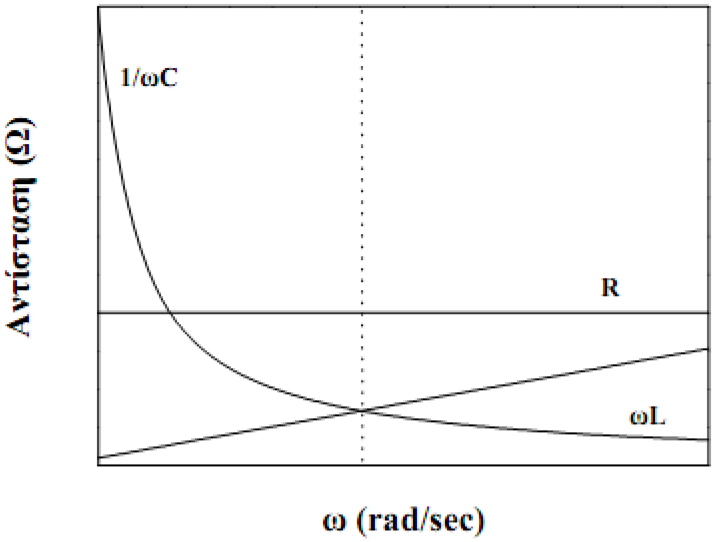
Κύκλωμα RLC παράλληλα

- πηνίο L,
- ωμική αντίσταση R
- χωρητικότητα C
- πηγή τροφοδοσίας $V=V_0e^{j\omega t}$

$$\frac{1}{z}=\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2+\left(\frac{1}{\omega L}-\omega C\right)^2}\,,\quad \varepsilon\varphi\varphi=\frac{\omega C-1/\omega L}{1/R}$$

αν η επαγωγική αντίσταση είναι μεγαλύτερη από την χωρητική, τότε η διαφορά φάσης είναι θα θετική (δηλαδή το ρεύμα θα προηγείται της τάσης) και το κύκλωμα εμφανίζει θα χωρητική συμπεριφορά.

Κεφάλαιο 12 : Συντονισμός

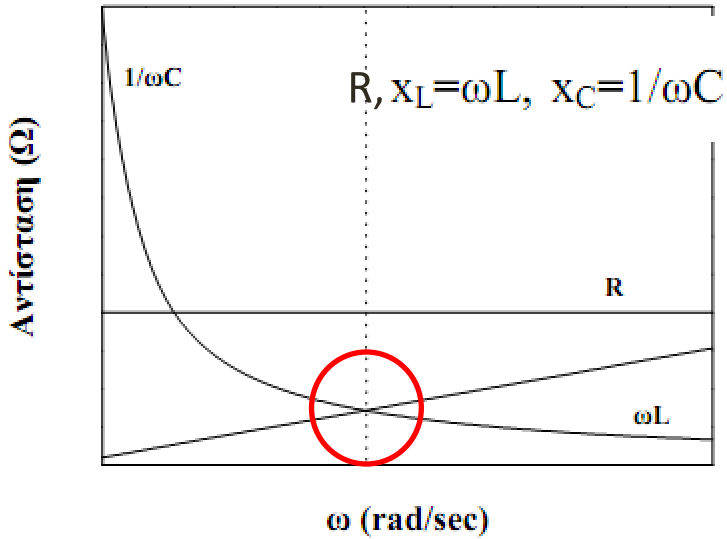


Σχήμα 12.3 Μεταβολή της αντίστασης με τη συχνότητα

R, $x_L = \omega L$, $x_C = 1/\omega C$

Η ωμική αντίσταση δεν μεταβάλλεται με την γωνιακή συχνότητα, οι αντίστοιχες επαγωγική και χωρητική εξαρτώνται από την γωνιακή συχνότητα του εναλλασσομένου. Η μεν πρώτη αυξάνεται γραμμικά με την γωνιακή συχνότητα ενώ η άλλη ελαττώνεται υπερβολικά

Κεφάλαιο 12 : Συντονισμός



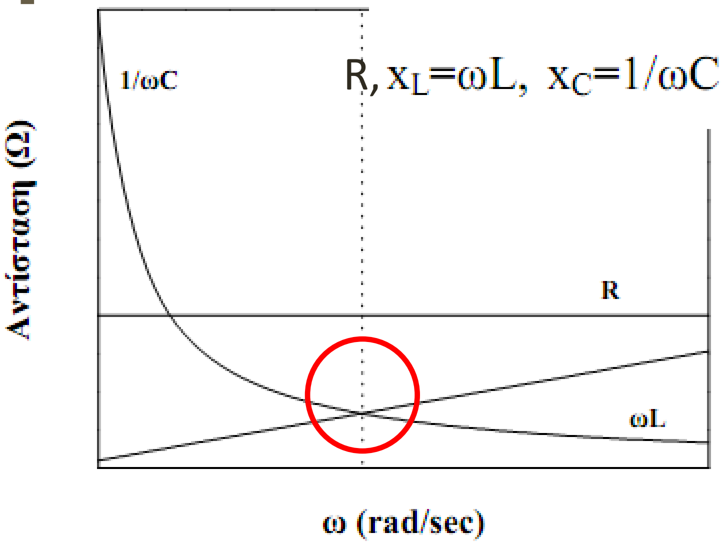
Σχήμα 12.3 Μεταβολή της αντίστασης με τη συχνότητα

Σε κάποια γωνιακή συχνότητα ω0, η τιμή των xL and xc θα **εξισώνεται.**

Στη συχνότητα ω0 **η χωρητική και η επαγωγική αντίσταση θα αλληλοεξουδετερώνονται** και το κύκλωμα θα εμφανίζει καθαρή ωμική συμπεριφορά. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **συντονισμός** και η γωνιακή συχνότητα στην οποία εμφανίζεται δίνεται από την εξίσωση:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Κεφάλαιο 12 : Συντονισμός

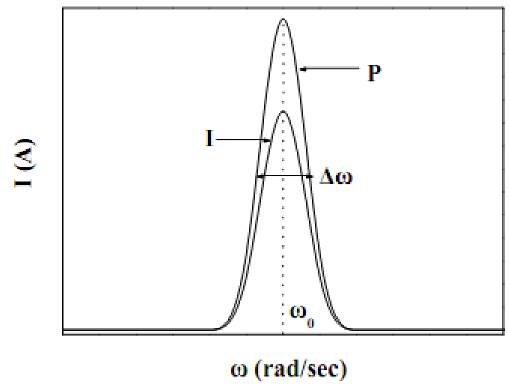


$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

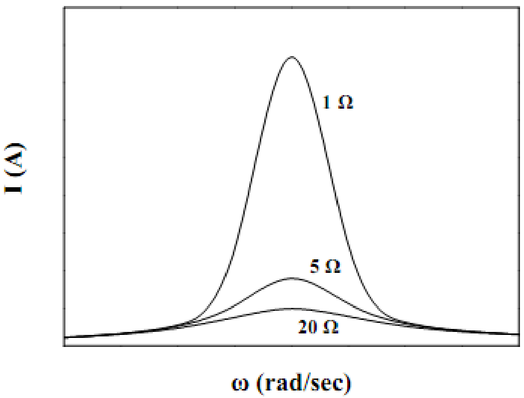
Σχήμα 12.3 Μεταβολή της αντίστασης με τη συχνότητα

Στην περίπτωση συντονισμού **σε κύκλωμα RLC σε σειρά**, η εμπέδηση του κυκλώματος γίνεται ελάχιστη και ίση με την ωμική αντίσταση R και η τάση με το ρεύμα είναι συμφασικά. Όπως φαίνεται από το σχήμα 12.3, για γωνιακές συχνότητες μικρότερες από την συχνότητα συντονισμού το κύκλωμα έχει χωρητική συμπεριφορά ενώ για μεγαλύτερες επαγωγική. Λόγω της ελαχιστοποίησης της εμπέδησης, το ρεύμα μεγιστοποιείται και γίνεται ίσο με V/R.

Κεφάλαιο 12 : Συντονισμός



Σχήμα 12.4 Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σε σειρά



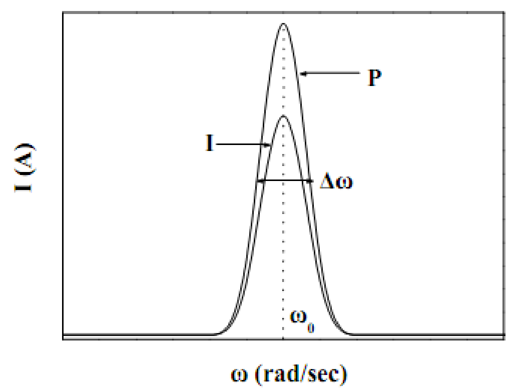
Σχήμα 12.5 Επίδραση της R στο συντονισμό

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

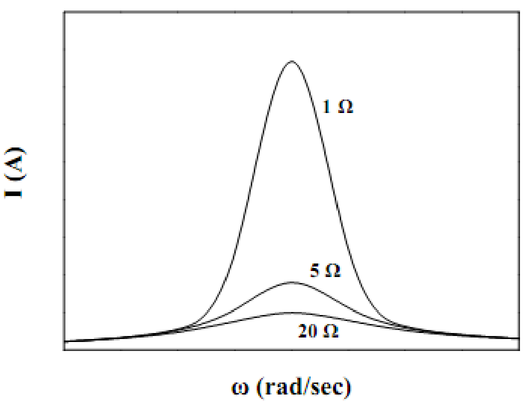
Στο σχήμα 12.4 φαίνεται η καμπύλη συντονισμού για κύκλωμα RLC σε σειρά. Όπως φαίνεται, για κάποια τιμή της κυκλικής συχνότητας **το ρεύμα παρουσιάζει μία ραγδαία αύξηση, μεγιστοποιείται (συντονισμός) και στη συνέχεια ελαττώνεται**. Αν η ωμική αντίσταση γίνει πάρα πολύ μικρή, το ρεύμα γίνεται πολύ μεγάλο (τείνοντας στο άπειρο για R=0) και η καμπύλη συντονισμού πολύ στενή όπως φαίνεται στο σχήμα 12.5. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζει και η ισχύς του κυκλώματος, όμως η καμπύλη συντονισμού είναι πιο στενή λόγω της τετραγωνικής εξάρτησης της ισχύος από το ρεύμα (σχήμα 12.4).

Κεφάλαιο 11 : Συντονισμός

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$



Σχήμα 12.4 Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σε σειρά



Σχήμα 12.5 Επίδραση της R στο συντονισμό

Αν στην καμπύλη συντονισμού της ισχύος ορίσουμε το πλάτος στο μισό της ισχύος Δω, λόγος Q=ω0/Δω δίνει το συντελεστή ποιότητας του συντονισμού. Ο συντελεστής αυτός χαρακτηρίζει την οξύτητα του συντονισμού και στενός συντονισμός συνεπάγεται μεγάλη τιμή του Q. Η τιμή του Q δίνεται επίσης από τις σχέσεις:

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τον συντονισμό σε σειρά εμφανίζονται φαινόμενα υπέρτασης, δηλαδή, η τάση στα άκρα του πυκνωτή και του πηνίου μπορεί να υπερβεί κατά πολύ την τάση του δικτύου. Ο λόγος της τάσης του πυκνωτή ή του πηνίου προς την τάση τροφοδοσίας ισούται με το συντελεστή ποιότητας, ο οποίος ονομάζεται και συντελεστής υπέρτασης.

Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος

13.1 Ορισμός ενεργούς ισχύος

Σε ένα κύκλωμα, το γινόμενο p(t)=v(t)i(t) ορίζει την στιγμιαία ισχύ του κυκλώματος, όπου τα v(t) και i(t) δίνουν τις στιγμιαίες τιμές της τάσης και του ρεύματος αντίστοιχα. Για συνεχή ρεύματα, οι τιμές της τάσης και του ρεύματος παραμένουν σταθερές με το χρόνο, οπότε η ισχύς είναι σταθερή και δίνεται από P=VI (ή $P=I^2R=V^2/R$). Για εναλλασσόμενα ρεύματα όμως, οι τιμές της τάσης και του ρεύματος άρα και της ισχύος μεταβάλλονται συνεχώς. Επομένως, η στιγμιαία ισχύς δεν έχει νόημα στο εναλλασσόμενο και πρέπει να οριστεί η μέση τιμή της ισχύος $\overline{P}$, που δίνεται από:

$$\overline{P} = \overline{v(t)i(t)} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v(t)i(t)d(\omega t) \qquad (13.1)$$

Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος

$$\overline{P}=\overline{v(t)i(t)}=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}v(t)i(t)d(\omega t) \qquad (13.1)$$

Αν θεωρήσουμε ότι η τάση και το ρεύμα περιγράφονται από εξισώσεις της μορφής $v(t)=\sqrt{2}V_{\varepsilon\nu}\eta\mu(\omega t)$ και $i(t)=\sqrt{2}I_{\varepsilon\nu}\eta\mu(\omega t-\varphi)$ αντίστοιχα, η μέση τιμή της ισχύος υπολογίζεται σε:

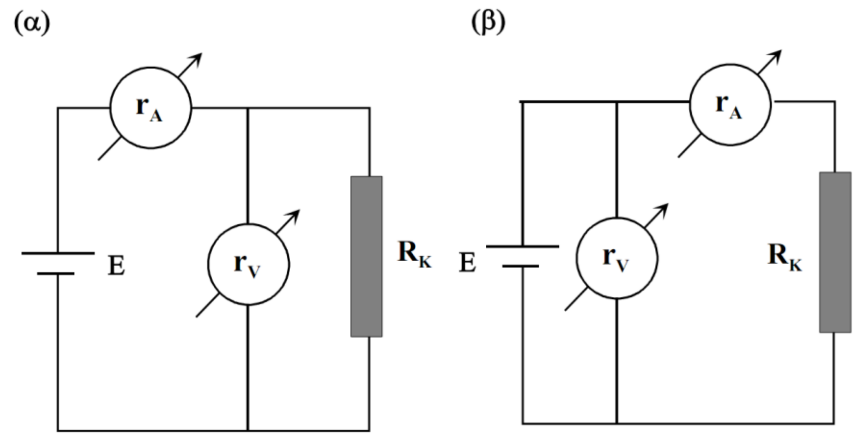
$$\begin{aligned}\overline{P}&=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}v(t)i(t)d(\omega t)=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left(\sqrt{2}V_{\varepsilon\nu}\eta\mu\omega t\right)\left(\sqrt{2}I_{\varepsilon\nu}\eta\mu(\omega t-\varphi)\right)d(\omega t)=\\&=\frac{V_{\varepsilon\nu}I_{\varepsilon\nu}}{\pi}\int_0^{2\pi}\frac{1}{2}[\sigma\upsilon\nu\varphi-\sigma\upsilon\nu(2\omega t-\varphi)]d(\omega t)=\\&=\frac{V_{\varepsilon\nu}I_{\varepsilon\nu}}{2\pi}\left[\int_0^{2\pi}\sigma\upsilon\nu\varphi d(\omega t)-\int_0^{2\pi}\sigma\upsilon\nu(2\omega t-\varphi)d(\omega t)\right]=\\&=\frac{V_{\varepsilon\nu}I_{\varepsilon\nu}\sigma\upsilon\nu\varphi}{2\pi}\left(\omega t\Big|_0^{2\pi}\right)=V_{\varepsilon\nu}I_{\varepsilon\nu}\sigma\upsilon\nu\varphi\end{aligned} \qquad (13.2)$$

Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος

$$\overline{P} = \frac{V_{\varepsilon\nu} I_{\varepsilon\nu} \sigma\upsilon\nu\varphi}{2\pi}\left(\omega t\Big|_0^{2\pi}\right) = V_{\varepsilon\nu} I_{\varepsilon\nu} \sigma\upsilon\nu\varphi$$

Βλέπουμε δηλαδή ότι η μέση ισχύς στο εναλλασσόμενο δίνεται από το γινόμενο των ενεργών τιμών της τάσης και του ρεύματος επί το συνημίτονο της διαφοράς φάσης μεταξύ τους. Η ισχύς αυτή είναι η χρήσιμη ισχύς που ονομάζεται και πραγματική ισχύς ή ενεργός ισχύς και έχει μονάδες W. Ο ορισμός της σχέσης 13.2 δείχνει ότι για καθαρό ωμικό καταναλωτή (συνφ=1), η ισχύς περιγράφεται με την ίδια εξίσωση όπως το συνεχές (P=VI). Αντίστοιχα, για καθαρούς (ιδανικούς) επαγωγικούς ή χωρητικούς καταναλωτές (συνφ=0) η μέση ισχύς είναι μηδέν. Φυσικά αυτό δεν σημαίνει ότι τα πηνία και οι πυκνωτές δεν καταναλώνουν κάποια ισχύ αλλά ότι η ισχύ έχει κάποια άλλη μορφή (άεργος ισχύς) όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

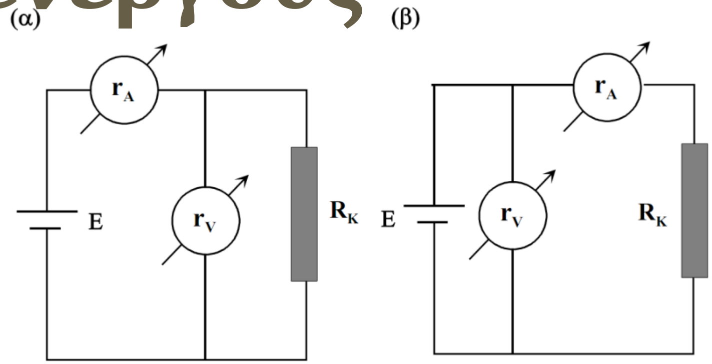
Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος



Σχήμα 13.1 Μέτρηση ισχύος στο συνεχές ή στο εναλλασσόμενο για ωμικό καταναλωτή

Για συνεχές ρεύμα ή ωμικό καταναλωτή στο εναλλασσόμενο, η ισχύς μπορεί να μετρηθεί απλά με τη χρήση ενός αμπερομέτρου και ενός βολτομέτρου (σχήμα 13.1), 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 (σχήμα 13.1α) και β) το αμπερόμετρο συνδέεται στην αντίσταση (σχήμα 13.1β). Στην περίπτωση (α), το αποτέλεσμα επηρεάζεται από την ισχύ που καταναλώνει το βολτόμετρο ενώ στην περίπτωση (β) από την ισχύ στο αμπερόμετρο. Αναλυτικότερα:

Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος



Σχήμα 13.1 Μέτρηση ισχύος στο συνεχές ή στο εναλλασσόμενο για ωμικό καταναλωτή

α) Στην πρώτη περίπτωση, η τάση που βλέπει το βολτόμετρο είναι ίση με την τάση του καταναλωτή $V=V_K$, ενώ το αμπερόμετρο μετρά το ρεύμα του καταναλωτή αλλά και το ρεύμα στο βολτόμετρο $I=I_K+V_K/r_V$. Επομένως η μετρούμενη ισχύς είναι:

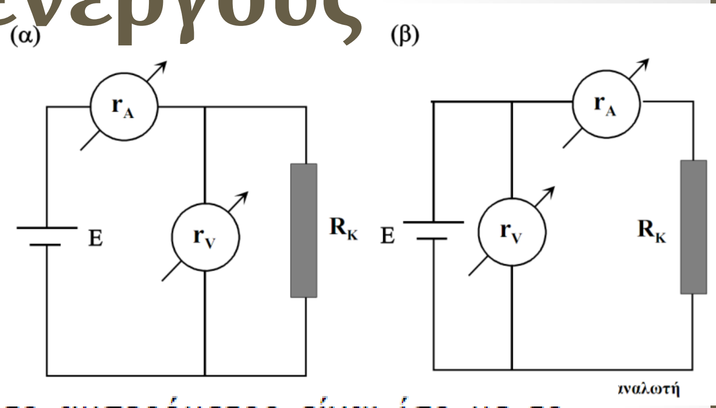
$$P = VI = V_K\left(I_K + {}^{V_K}\!/_{r_V}\right) = V_K I_K + {}^{V_K^2}\!/_{r_V} \qquad (13.3)$$

Δηλαδή, για να έχουμε σωστό αποτέλεσμα στην περίπτωση που το βολτόμετρο συνδέεται επάνω στον καταναλωτή, θα πρέπει να αφαιρέσουμε από την ένδειξη την κατανάλωση ισχύος στην εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου. Αν δεν γίνει αυτό θα έχουμε λάθος αποτέλεσμα και το σχετικό σφάλμα της μέτρησης θα δίνεται από:

$$\frac{\Delta P}{P} = \left|\frac{P_{\pi\rho\alpha\gamma} - P_{\varepsilon\nu\delta}}{P_{\pi\rho\alpha\gamma}}\right| = \left|\frac{V_K I_K - \left(V_K I_K + V_K^2/r_V\right)}{V_K I_K}\right| = \frac{V_K}{I_K r_V} \qquad (13.4)$$

Επομένως, κατά τη μέτρηση της ισχύος, η σύνδεση του βολτομέτρου στον καταναλωτή συνίσταται για μεγάλα ρεύματα και μικρές τάσεις.

Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος



β) Στην δεύτερη περίπτωση, το ρεύμα που βλέπει το αμπερόμετρο είναι ίσο με το ρεύμα του καταναλωτή $I=I_K$, ενώ το βολτόμετρο μετρά την τάση του καταναλωτή αλλά και την πτώση τάσης στο αμπερόμετρο $V=V_K+I_K r_A$. Επομένως η μετρούμενη ισχύς είναι:

$$P = VI = I_K\left(V_K + I_K r_A\right) = V_K I_K + I_K^2 r_A \qquad (13.5)$$

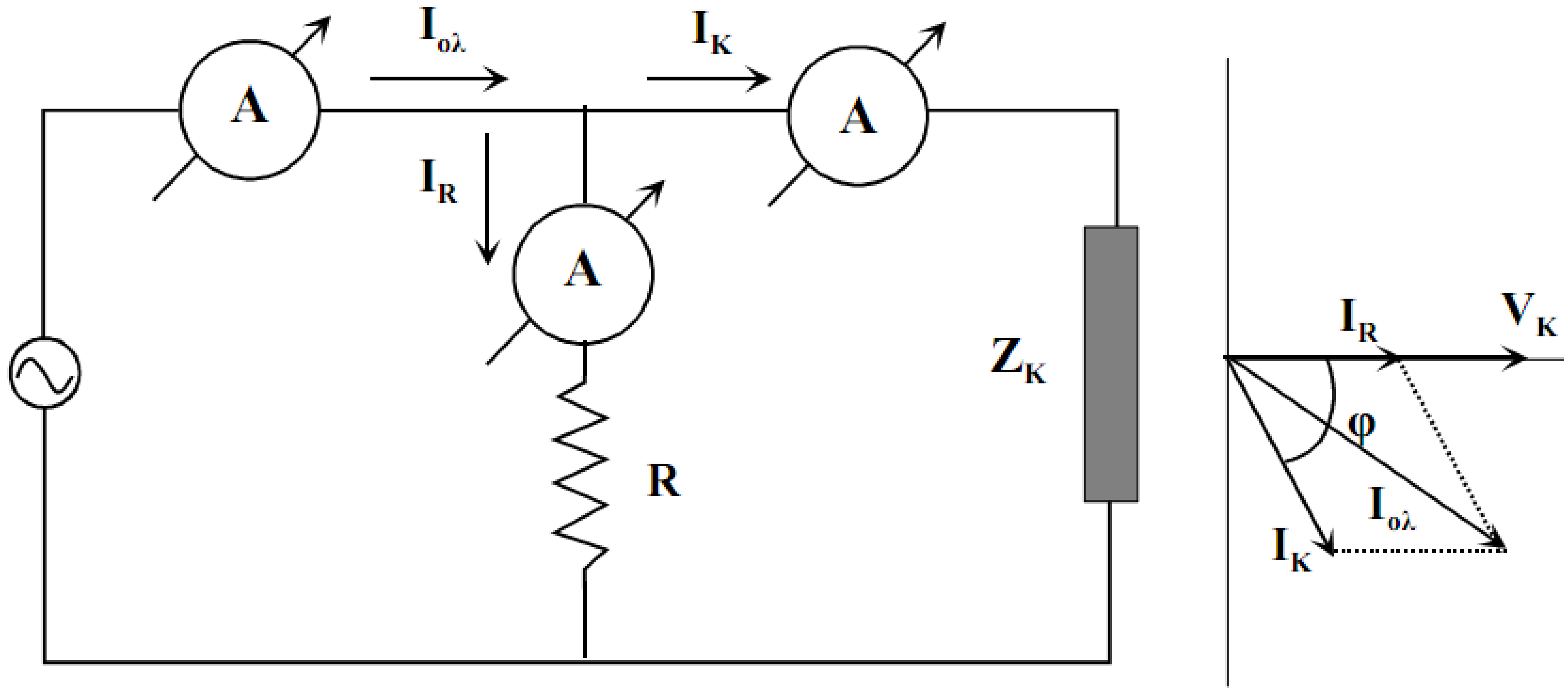
Δηλαδή, για να έχουμε σωστό αποτέλεσμα στην περίπτωση που το αμπερόμετρο συνδέεται επάνω στον καταναλωτή, θα πρέπει να αφαιρέσουμε από την ένδειξη την κατανάλωση ισχύος στην εσωτερική αντίσταση του αμπερομέτρου. Αν δεν γίνει αυτό θα έχουμε λάθος αποτέλεσμα και το σχετικό σφάλμα της μέτρησης θα δίνεται από:

$$\frac{\Delta P}{P} = \left|\frac{P_{\pi\rho\alpha\gamma} - P_{\epsilon\nu\delta}}{P_{\pi\rho\alpha\gamma}}\right| = \left|\frac{V_K I_K - \left(V_K I_K + I_K^2 r_A\right)}{V_K I_K}\right| = \frac{I_K r_A}{V_K} \qquad (13.6)$$

Επομένως, κατά τη μέτρηση της ισχύος, η σύνδεση του αμπερομέτρου στον καταναλωτή συνίσταται για μικρά ρεύματα και μεγάλες τάσεις.

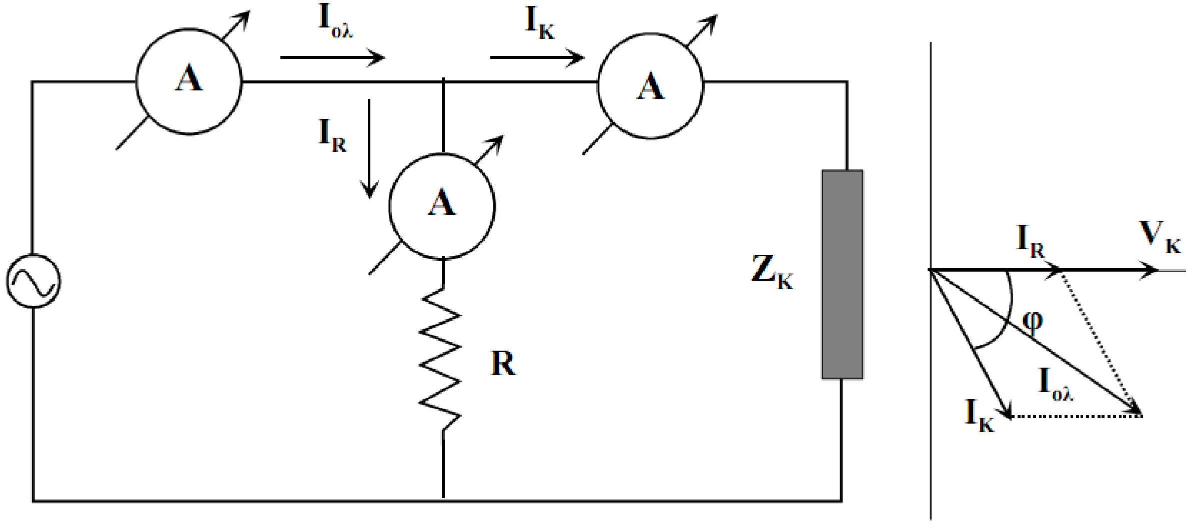
Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος

13.2.2 Με τρία αμπερόμετρα



Σχήμα 13.2 Μέτρηση της ενεργούς ισχύος με τρία αμπερόμετρα

Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος



Σχήμα 13.2 Μέτρηση της ενεργούς ισχύος με τρία αμπερόμετρα

$$I_{ολ}^2 = I_K^2 + I_R^2 + 2I_K I_R συνφ \Rightarrow 2I_K I_R συνφ = I_{ολ}^2 - I_K^2 - I_R^2 \qquad (13.7)$$

Όμως, $V_K=V_R=I_R R$ και $P=V_K I_K συνφ$. Επομένως, $P=RI_K I_R συνφ$ και η σχέση (13.7) γράφεται ως:

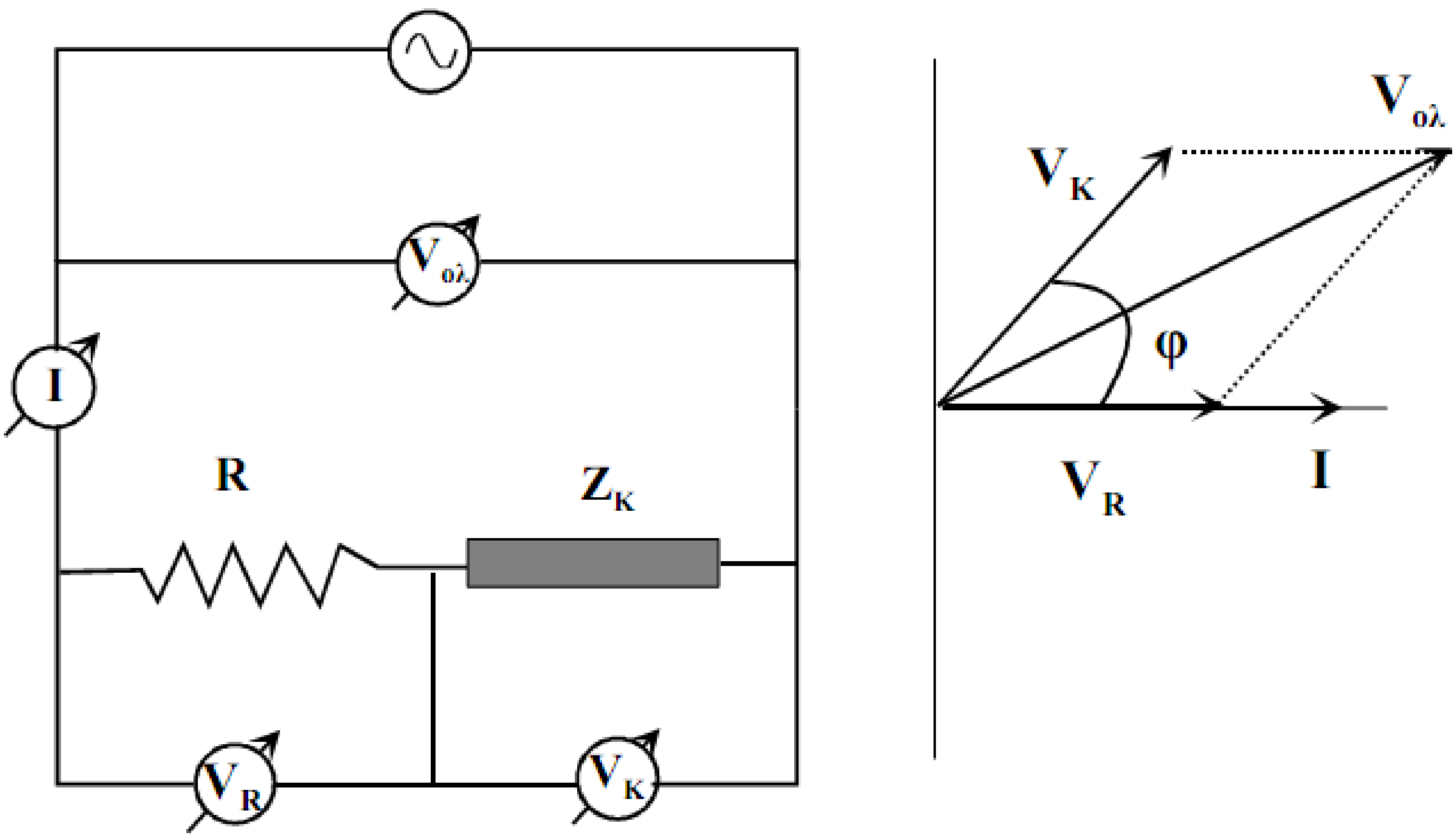
$$P = {}^{R}\!/_{2}\left(I_{ολ}^2 - I_K^2 - I_R^2\right) \qquad (13.8)$$

Δηλαδή, η ενεργός ισχύς μπορεί να υπολογιστεί από τις ενδείξεις των τριών αμπερομέτρων και την τιμή της ωμικής αντίστασης.

Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος

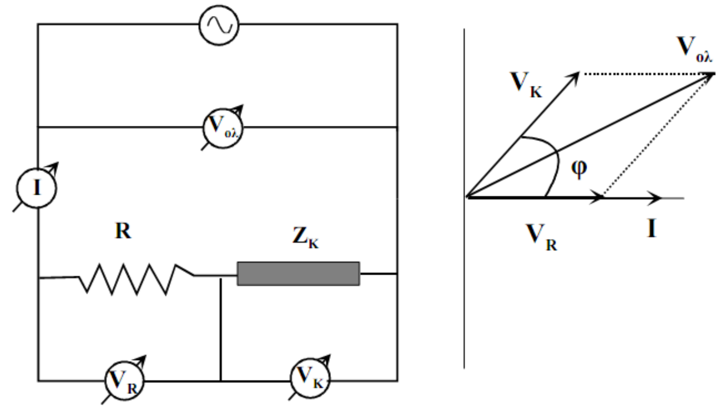
13.2.3 Με τρία βολτόμετρα

Μία άλλη προσέγγιση για τον υπολογισμό της ενεργούς ισχύος καταναλωτή μέσω



Σχήμα 13.3 Μέτρηση της ενεργούς ισχύος με τρία βολτόμετρα

Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος



Σχήμα 13.3 Μέτρηση της ενεργούς ισχύος με τρία βολτόμετρα

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 13.3. Τα βολτόμετρα μετρούν τις τάσεις στον καταναλωτή V_K, στην ωμική αντίσταση V_R και την ολική τάση $V_{ολ}$. Στο σχήμα 13.2 δεξιά φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων όπου έχει υποτεθεί ότι ο καταναλωτής εμφανίζει επαγωγική συμπεριφορά. Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι:

$$V_{ολ}^2 = V_K^2 + V_R^2 + 2V_K V_R συνφ \Rightarrow 2V_K V_R συνφ = V_{ολ}^2 - V_K^2 - V_R^2 \qquad (13.9)$$

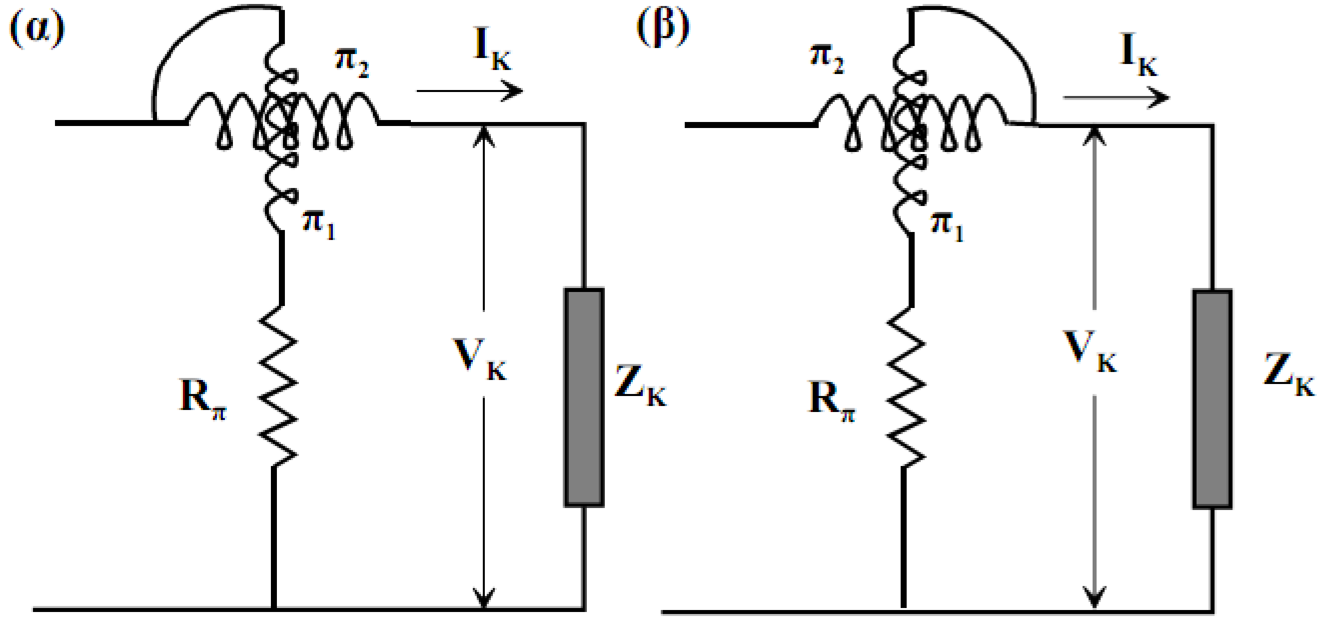
Όμως, $I_K=I_R=V_R/R$ και $P=V_K I_K συνφ$. Επομένως, $P=(1/R)V_K V_R συνφ$ και η σχέση (13.9) γράφεται ως:

$$P = \frac{1}{2R}\left(V_{ολ}^2 - V_K^2 - V_R^2\right) \qquad (13.10)$$

Δηλαδή, η ενεργός ισχύς μπορεί να υπολογιστεί από τις ενδείξεις των τριών βολτομέτρων και την τιμή της ωμικής αντίστασης.

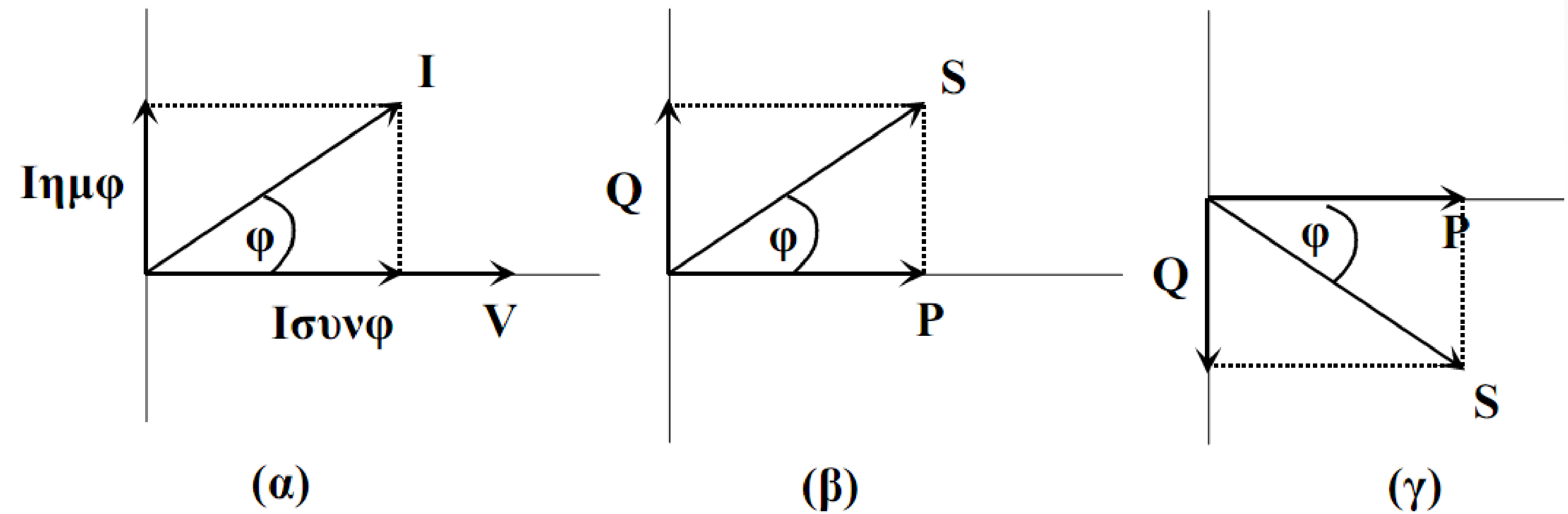
Κεφάλαιο 13 : Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος

13.2.4 Με βατόμετρο.



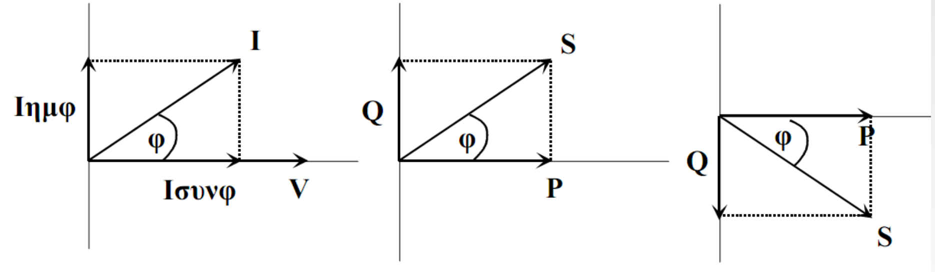
Σχήμα 13.4 Συνδεσμολογία βατομέτρου για την μέτρηση της ενεργούς ισχύος

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος-Διόρθωση συντελεστή ισχύος



Σχήμα 14.1 Ορισμοί αβατικής συνιστώσας ρεύματος (α) και αέργου ισχύος με ρεύμα σε προπορεία (β) ή καθυστέρηση (γ)

Κεφάλαιο 14 : Μέ…
Διόρθωση συντελ…



Σχήμα 14.1 Ορισμοί αβατικής συνιστώσας ρεύματος (α) και αέργου ισχύος με ρεύμα σε προπορεία (β) ή καθυστέρηση (γ)

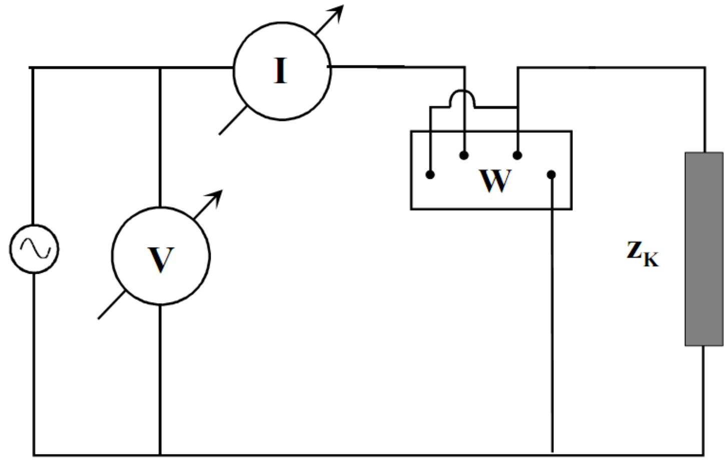
η ενεργός ισχύς ορίζεται από τη σχέση P=VIσυνφ. Ουσιαστικά δηλαδή, η πραγματική (χρήσιμη) ισχύς σε ένα κύκλωμα δίνεται από το γινόμενο της τάσης επί την συνιστώσα του ρεύματος που είναι σε φάση με την τάση (I_φ=Iσυνφ). Υπάρχει όμως και μία άλλη συνιστώσα του ρεύματος (I_α=Iημφ) η οποία έχει διαφορά φάσης π/2 από την τάση και που ονομάζεται αβατική ή μαγνητίζουσα συνιστώσα (σχήμα 14.1α). Αυτή η συνιστώσα ρεύματος ορίζει την άεργο ισχύ Q η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$Q = VI\eta\mu\varphi \qquad (14.1)$$

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. Τέλος, το γινόμενο VI αντιστοιχεί στην φαινόμενη ισχύ S (S=VI), η οποία έχει μονάδες VA. Από τα διαγράμματα των σχημάτων 14.1β και 14.1γ (όπου στην περίπτωση β ρεύμα είναι σε προπορεία σε σχέση με την τάση ενώ σε καθυστέρηση για την περίπτωση γ) έχουμε τις σχέσεις:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \qquad P = S\sigma\upsilon\nu\varphi \qquad Q = S\eta\mu\varphi \qquad (14.2)$$

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος-Διόρθωση συντελεστή ισχύος



Σχήμα 14.2 Μέτρηση ισχύος με βολτόμετρο, αμπερόμετρο και βατόμετρο

14.2.1 Με βολτόμετρο, αμπερόμετρο και βατόμετρο.

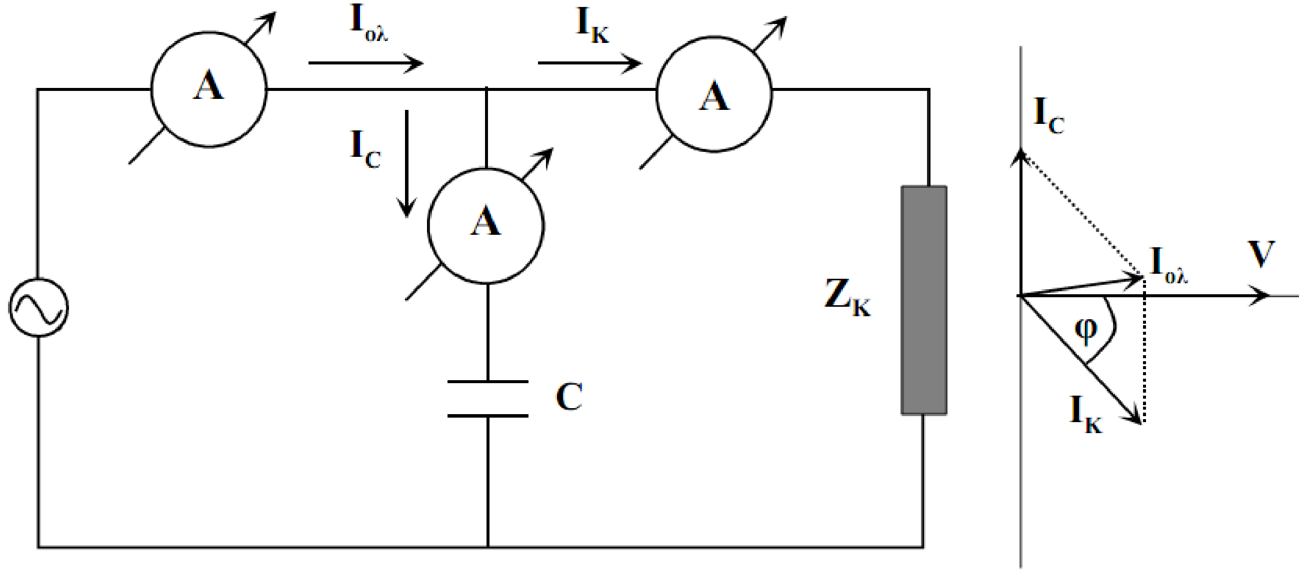
Ένας απλός τρόπος μέτρησης της αέργου ισχύος είναι με χρήση βολτομέτρου, αμπερομέτρου και βατομέτρου (σχήμα 14.2). Το γινόμενο των ενδείξεων βολτομέτρου, αμπερομέτρου δίνουν την φαινόμενη ισχύ ενώ το βατόμετρο την ενεργό ισχύ. Επομένως η άεργος ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \sqrt{(VI)^2 - P^2} \qquad (14.3)$$

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος-Διό

14.2.2 Με τρία αμπερόμετρα

Μία άλλη απλή μέθοδος μέτρησης της αέργου ισχύος είναι η σύγκριση της

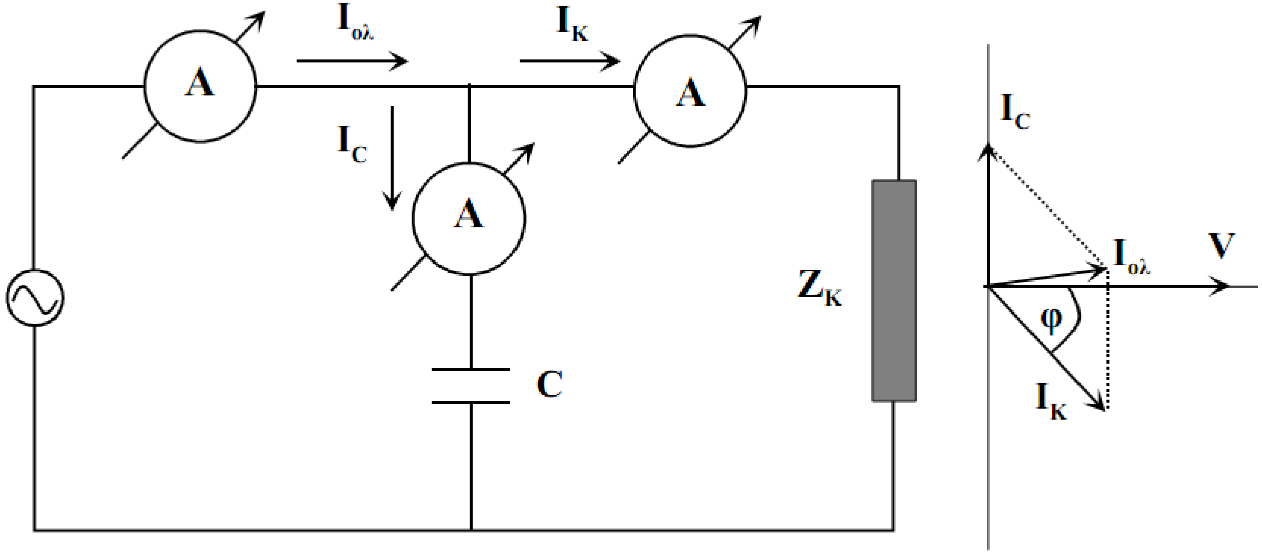


Σχήμα 14.3 Μέτρηση της αέργου ισχύος με τρία αμπερόμετρα

απόκρισης του καταναλωτή με αυτή ενός πυκνωτή C (σχήμα 14.3). Η σύγκριση, για πυκνωτή συνδεμένο παράλληλα στον καταναλωτή, μπορεί να γίνει με τη χρήση τριών αμπερομέτρων τα οποία μετρούν τα ρεύματα στον καταναλωτή I_K, στον πυκνωτή I_C και το ολικό ρεύμα $I_{ολ}$. Στο σχήμα 14.3 δεξιά φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα των τριών ρευμάτων όπου έχει υποτεθεί ότι ο καταναλωτής εμφανίζει επαγωγική συμπεριφορά. Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι:

$$I_{ολ}^2 = I_K^2 + I_C^2 + 2I_K I_C συν\left(\frac{\pi}{2}+\varphi\right) \Rightarrow 2I_K I_C ημφ = I_C^2 + I_K^2 - I_{ολ}^2 \quad (14.4)$$

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος-Διόρθωση συντελεστή ισχύος



Σχήμα 14.3 Μέτρηση της αέργου ισχύος με τρία αμπερόμετρα

Όμως, $V_K=V_C=I_C/\omega C$ και $Q=V_K I_K ημφ$. Επομένως, $Q=(1/\omega C)I_K I_C ημφ$ και η σχέση (14.4) γράφεται ως:

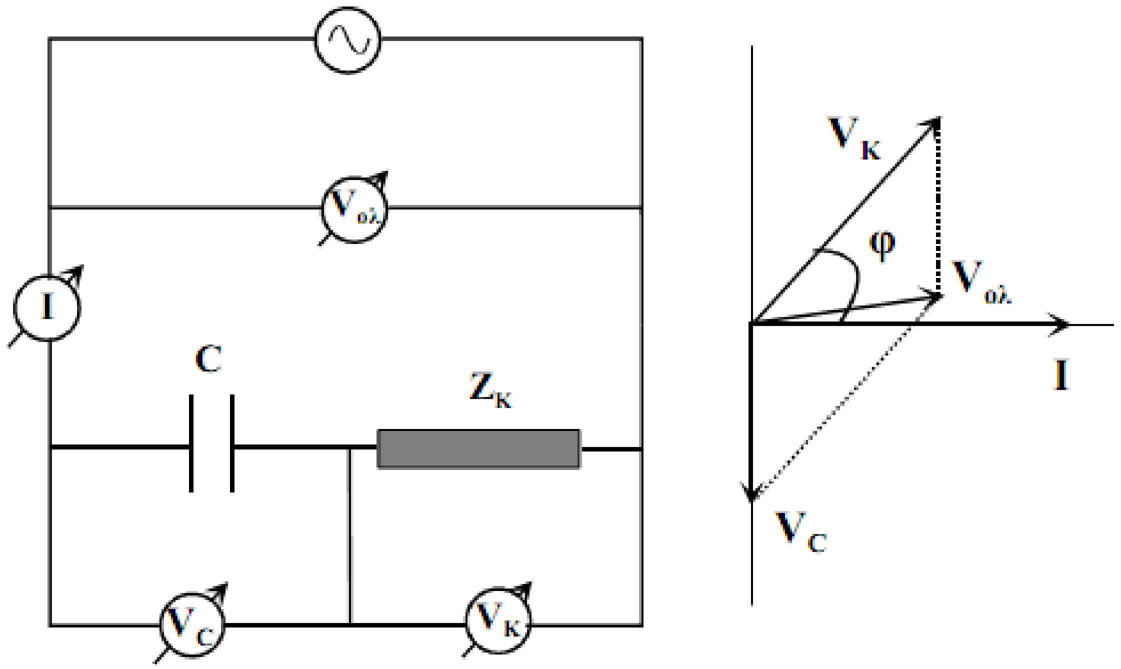
$$Q=\left(1/2\omega C\right)\left(I_C^2+I_K^2-I_{ολ}^2\right) \qquad (14.5)$$

Δηλαδή, η άεργος ισχύς μπορεί να υπολογιστεί από τις ενδείξεις των τριών αμπερομέτρων και την τιμή της χωρητικότητας.

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος-Διόρθωση συντελεστή ισχύος

14.2.3 Με τρία βολτόμετρα

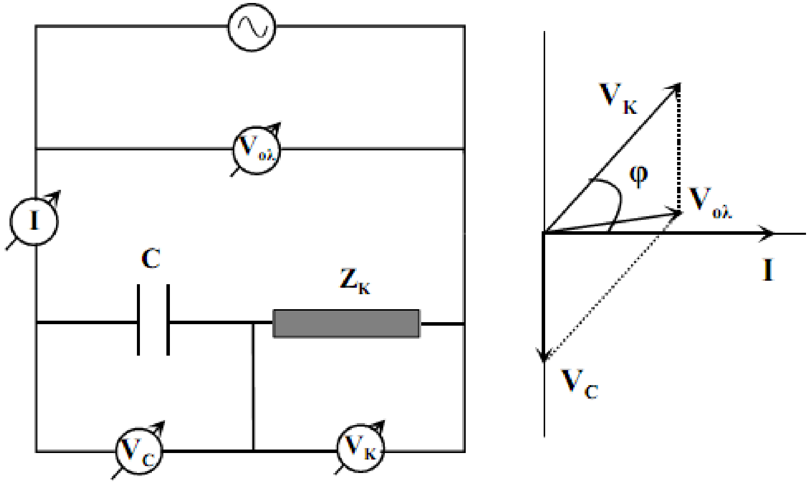
Μία άλλη προσέγγιση για τον υπολογισμό της αέργου ισχύος καταναλωτή μέσω



Σχήμα 14.4 Μέτρηση της αέργου ισχύος με τρία βολτόμετρα

σύγκρισης της απόκρισης του με αυτή πυκνωτή C, είναι η χρήση τριών βολτομέτρων (με τον πυκνωτή συνδεμένο σε σειρά στον καταναλωτή) όπως φαίνεται στο σχήμα 14.4. Τα βολτόμετρα μετρούν τις τάσεις στον καταναλωτή V_K, στον πυκνωτή V_C και την ολική τάση $V_{ολ}$. Στο σχήμα 14.4 δεξιά φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων όπου έχει υποτεθεί ότι ο καταναλωτής εμφανίζει επαγωγική συμπεριφορά.

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος- Διόρθωση συντελεστή ισχύος



Σχήμα 14.4 Μέτρηση της αέργου ισχύος με τρία βολτόμετρα

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι:

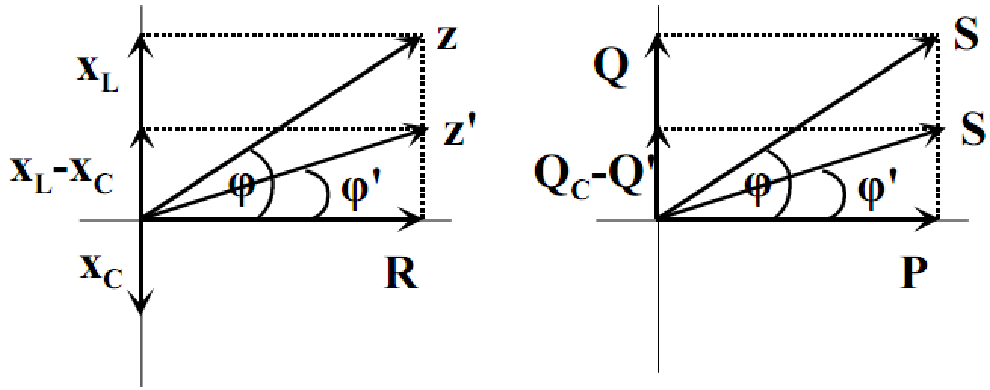
$$V_{ολ}^2 = V_K^2 + V_C^2 + 2V_K V_C συν\left(\frac{\pi}{2}+\varphi\right) \Rightarrow 2V_K V_C ημφ = V_C^2 + V_K^2 - V_{ολ}^2 \quad (14.6)$$

Όμως, $I_K=I_C=V_C\omega C$ και $Q=V_K I_K ημφ$. Επομένως, $Q=\omega C V_K V_C ημφ$ και η σχέση (14.6) γράφεται ως:

$$Q = {}^{\omega C}\!/_{2}\left(V_C^2 + V_K^2 - V_{ολ}^2\right) \qquad (14.7)$$

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

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος- Διόρθωση συντελ

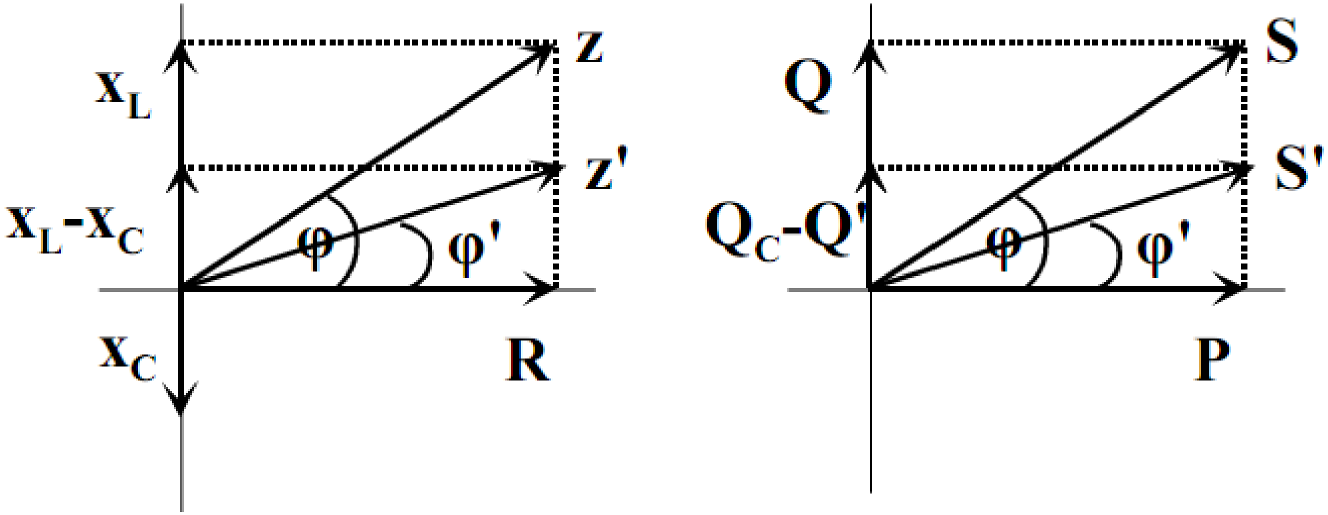


Σχήμα 14.6 Διανυσματικά διαγράμματα για την διόρθωση συνημιτόνου

14.3 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 συνφ 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/(Vσυνφ), επομένως, το ρεύμα είναι αντιστρόφως ανάλογο του συντελεστή ισχύος. Μικρή τιμή του συντελεστή ισχύος σημαίνει μεγάλο ρεύμα, συνθήκη αντιοικονομική καθώς θα απαιτούνται αγωγοί μεγάλης διαμέτρου για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και θα υπάρχουν μεγάλες απώλειες σε αυτούς. Για όλους τους παραπανω λογους, η ΔΕΗ επιβαλλει ο συντελεστης ισχυος να εχει τιμη μεγαλύτερη από 0.95.

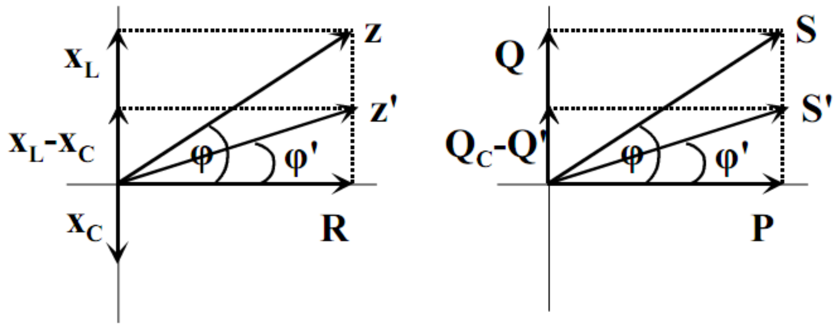
Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος-Διόρθωση συντελεστή ισχύος



Σχήμα 14.6 Διανυσματικά διαγράμματα για την διόρθωση συνημιτόνου

Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος, δηλαδή η μεταβολή της τιμής του συνφ έτσι ώστε να μεγαλώσει η τιμή του, επιτυγχάνεται με την προσθήκη παράλληλα στον καταναλωτή ενός κατάλληλου πυκνωτή. Με αυτόν τον τρόπο, όπως φαίνεται στο σχήμα 14.6, η χωρητική αντίσταση ελαττώνει την γωνία φ. Σαν αποτέλεσμα, η πραγματική ισχύς παραμένει η ίδια ενώ ελαττώνεται η άεργος και η φαινόμενη ισχύς.

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος-Διόρθωση συντελεστή ισχύος



Σχήμα 14.6 Διανυσματικά διαγράμματα για την διόρθωση συνημιτόνου

Σχετικά με τον υπολογισμό της χωρητικότητας του πυκνωτή που απαιτείται για μία συγκεκριμένη διόρθωση συνημιτόνου, αυτή μπορεί να προκύψει από τα διαγράμματα του σχήματος 14.6 ως εξής: ισχύουν

$$\varepsilon\varphi\varphi' = \frac{Q'}{P} = \frac{Q - Q_C}{P} \Rightarrow Q_C = Q - P\varepsilon\varphi\varphi' \qquad (14.10)$$

$$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{Q}{P} =\Rightarrow Q = P\varepsilon\varphi\varphi \qquad (14.12)$$

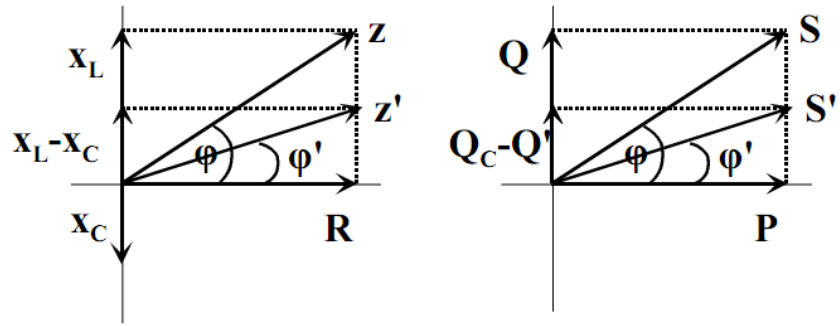
άρα από τις (14.10) και (14.11) έχουμε:

$$Q_C = P(\varepsilon\varphi\varphi - \varepsilon\varphi\varphi') \qquad (14.13)$$

Η σχέση (14.13) τελικά μας δίνει:

$$Q_C = P(\varepsilon\varphi\varphi - \varepsilon\varphi\varphi') \Rightarrow V^2\omega C = P(\varepsilon\varphi\varphi - \varepsilon\varphi\varphi') \Rightarrow C = \frac{P}{V^2\omega}(\varepsilon\varphi\varphi - \varepsilon\varphi\varphi') \qquad (14.14)$$

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος-Διόρθωση συντελεστή ισχύος

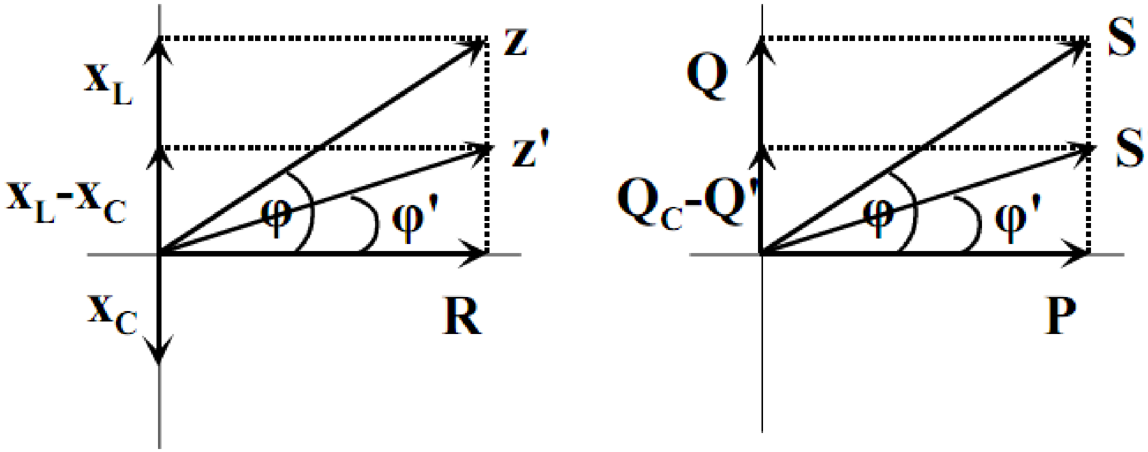


Σχήμα 14.6 Διανυσματικά διαγράμματα για την διόρθωση συνημιτόνου

$$Q_C = P(\varepsilon\varphi\varphi - \varepsilon\varphi\varphi') \Rightarrow V^2\omega C = P(\varepsilon\varphi\varphi - \varepsilon\varphi\varphi') \Rightarrow C = \frac{P}{V^2\omega}(\varepsilon\varphi\varphi - \varepsilon\varphi\varphi') \quad (14.14)$$

Δηλαδή, από τη σχέση (14.14) 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 εξίσωση (14.14) αλλά χρησιμοποιούνται ειδικοί πίνακες και διαγράμματα. Σε αυτά, κάθε μεταβολή από ένα δεδομένο συνφ σε ένα συγκεκριμένο συνφ' 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.

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση αέργου ισχύος-Διόρθωση συντελεστή ισχύος



Σχήμα 14.6 Διανυσματικά διαγράμματα για την διόρθωση συνημιτόνου

14.4 Παράδειγμα.

Έστω λάμπα 60 W που λειτουργεί στα 220V/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.

Κεφάλαιο 17 : Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

17.1 Ορισμός ηλεκτρικής ενέργειας

Στο 13ο κεφάλαιο ορίσαμε την ενεργό ή πραγματική ισχύ η οποία όπως αναφέρθηκε αντιστοιχεί στην ηλεκτρική ισχύ που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε (χρήσιμη ισχύ). Όμως η ισχύς σαν μέγεθος μας δείχνει μόνο τον ρυθμό με τον οποίο παράγεται ή καταναλώνεται ενέργεια και η μέτρηση της ισχύος από μόνη της δεν είναι αρκετή για να βρούμε τις απαιτήσεις ενός συστήματος σε ενέργεια. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί οι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Προτού όμως αναφερθούμε αναλυτικά σε αυτούς, ας δούμε τον ορισμό της ηλεκτρικής ενέργειας. Αν σε ένα ηλεκτρικό σύστημα η στιγμιαία ισχύς είναι p(t), η ενέργεια η οποία καταναλώνεται σε διάστημα $\Delta t=t_2-t_1$ υπολογίζεται από την εξίσωση:

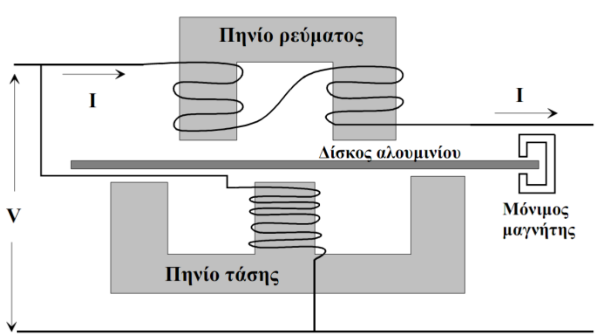
$$W_E = \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} v(t)i(t)dt \qquad (17.1)$$

Κεφάλαιο 14 : Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

$$W_E = \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} v(t)i(t)dt \qquad (17.1)$$

Από την σχέση (17.1) βλέπουμε ότι η καταναλισκόμενη ενέργεια μπορεί να βρεθεί με δύο τρόπους: με την ολοκλήρωση της ισχύος μέσα στο ζητούμενο διάστημα Δt (βατομετρική μέθοδος) ή με την ολοκλήρωση του ρεύματος $i(t)$ στο διάστημα Δt θεωρώντας ότι η τάση είναι σταθερή (αμπερομετρική μέθοδος). Η πιο συνηθισμένη είναι η βατομετρική μέθοδος και οι αντίστοιχοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται βασίζονται στα επαγωγικά ή στα ηλεκτροδυναμικά όργανα.

Κεφάλαιο 17 : Μέτρηση ηλεκ… ενέργειας



Σχήμα 17.1 Κατασκευή επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

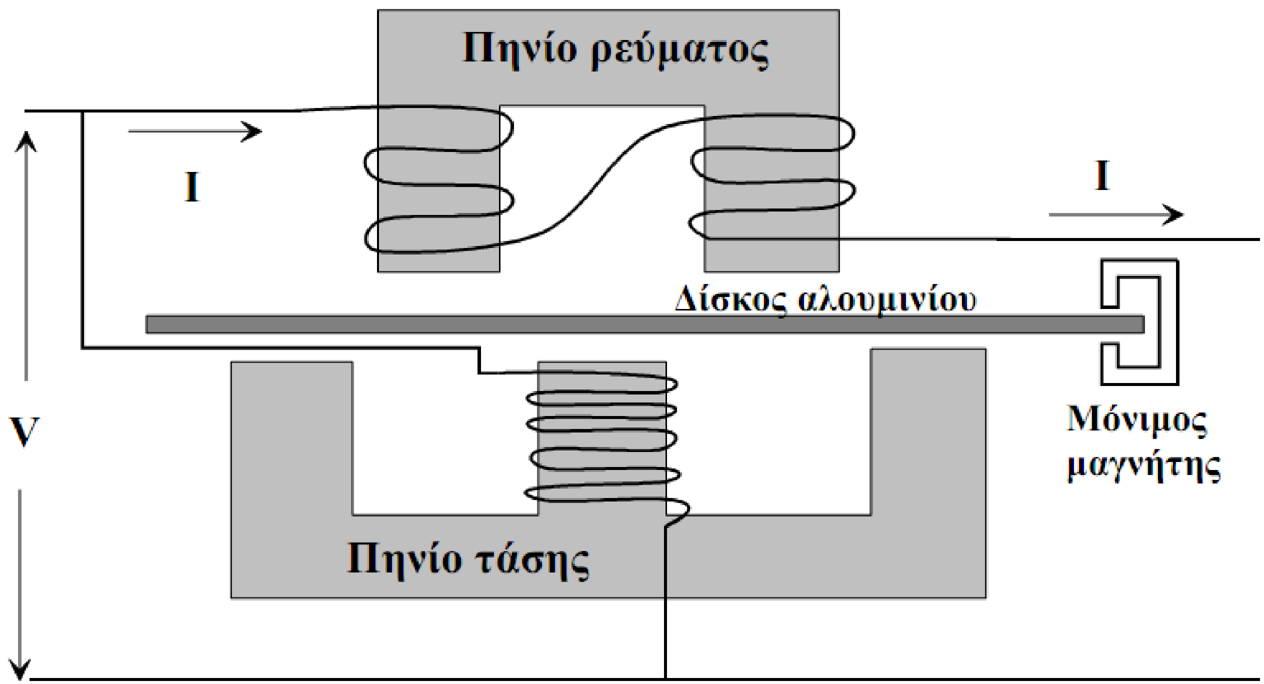
17.2 Μέθοδοι μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας

17.2.1 Επαγωγικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

Η λειτουργία των επαγωγικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στην ίδια αρχή με τα επαγωγικά όργανα (μάθημα 4^{ο}). Υπάρχει όμως μία βασική διαφορά: το κινούμενο μέρος του οργάνου δεν διαθέτει επανατακτικά ελατήρια, άρα μπορεί να κάνει περιστροφή 360°. Κατά τα άλλα, τα βασικά μέρη τους είναι τα ίδια με αυτά των απλών επαγωγικών οργάνων: ένας λεπτός δίσκος αλουμινίου ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους δύο ηλεκτρομαγνητών (σχήμα 17.1). Το πηνίο του ενός ηλεκτρομαγνήτη έχει λίγες χοντρές σπείρες, είναι συνδεμένο σε σειρά στο κύκλωμα (σύστημα έντασης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο του ρεύματος του καταναλωτή. Αντίστοιχα, το άλλο πηνίο έχει πολλές λεπτές σπείρες, συνδέεται παράλληλα στο κύκλωμα (σύστημα τάσης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο της τάσης του καταναλωτή. Λόγω της κατασκευής τους, το σύστημα τάσης παρουσιάζει ωμική αντίσταση ενώ το σύστημα έντασης επαγωγική αντίσταση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι μαγνητικές ροές των δημιουργούμενων πεδίων να έχουν φασική απόκλιση μεταξύ τους και να επάγουν ένα συνιστάμενο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

Κεφάλαιο 17 : Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

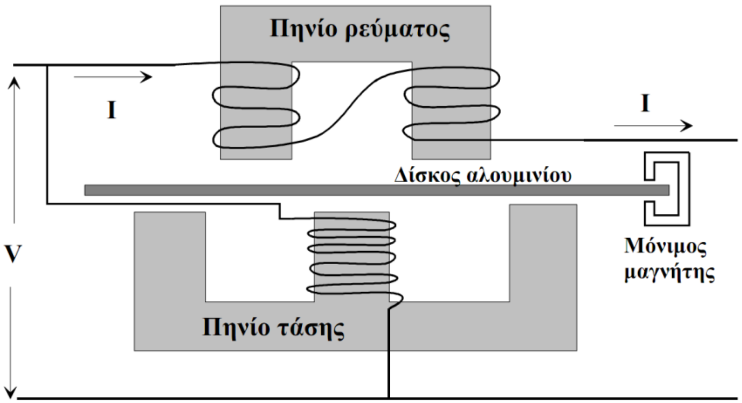
Λόγω φαινομένων επαγωγής, δημιουργείται σύστημα δινορευμάτων γύρω από το σημείο που διαπερνά κάθε μαγνητική ροή τον δίσκο. Τα δινορεύματα που οφείλονται στο σύστημα τάσης τέμνουν την μαγνητική ροή του συστήματος έντασης και αντίστροφα. Άρα στο δίσκο θα ασκούνται δυνάμεις Laplace που θα επάγουν ροπή κίνησης η οποία θα δίνεται από μία σχέση της μορφής:



Σχήμα 17.1 Κατασκευή επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

$$M_K = KVI\text{συν}\varphi \qquad (17.2)$$

Κεφάλαιο 17 : Μέτρηση ηλε… ενέργειας



Σχήμα 17.1 Κατασκευή επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

$$M_K = KVI\text{συνφ} \qquad (17.2)$$

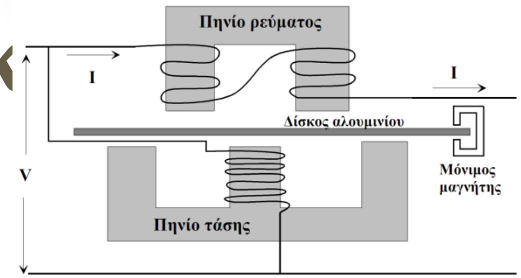
όπου V, I η τάση και το ρεύμα του καταναλωτή, φ η διαφορά φάσης μεταξύ τους και K μία σταθερά που εξαρτάται από την κατασκευή του οργάνου. Όμως το γινόμενο VIσυνφ δίνει την ισχύ του καταναλωτή άρα η ροπή κίνησης θα είναι ανάλογη της ισχύος:

$$M_K = KP_K \qquad (17.3)$$

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το όργανο δεν διαθέτει επανατακτικά ελατήρια και ο δίσκος μπορεί να κάνει πλήρη περιστροφή λόγω της ροπής κίνησης. Για τον έλεγχο της περιστροφής αυτής, ο δίσκος περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους ενός μόνιμου μαγνήτη. Τα συνεπαγόμενα δινορεύματα του σταθερού μαγνητικού πεδίου λειτουργούν σαν φρένο επάγοντας μία ροπή αντιτιθέμενη στην κίνηση που θα δίνεται από μία σχέση της μορφής:

$$M_\alpha = C_1\omega = C_2N \qquad (17.4)$$

Κεφάλαιο 17 : Μέτρηση ηλεκτρικ ενέργειας



Σχήμα 17.1 Κατασκευή επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

$$M_\alpha = C_1\omega = C_2 N \qquad (17.4)$$

όπου C_1 και C_2 σταθερές εξαρτώμενες από την κατασκευή του οργάνου, ω η γωνιακή συχνότητα περιστροφής και N ο αριθμός των στροφών. Όταν οι δύο ροπές γίνουν ίσες, ο δίσκος θα περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και θα ισχύει:

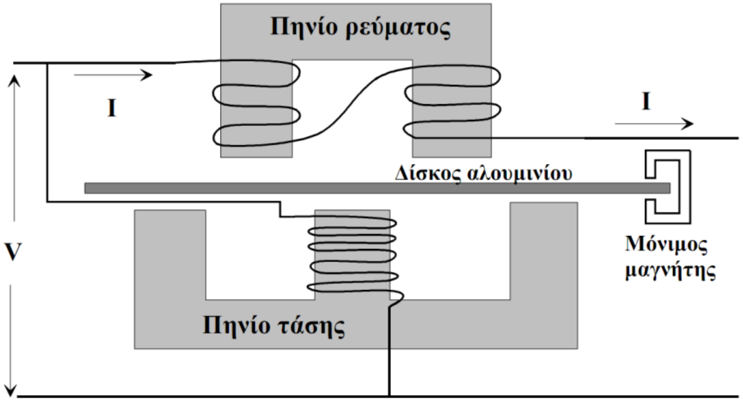
$$M_K = M_\alpha \Rightarrow KP_K = C_2 N \Rightarrow P_K = C_3 N \qquad (17.5)$$

όπου C_3 σταθερά. Δηλαδή, για σταθερή γωνιακή ταχύτητα περιστροφής, η ισχύς θα είναι ανάλογη του αριθμού των στροφών. Αν η τροφοδοσία ισχύος πραγματοποιηθεί για χρόνο t, η αντίστοιχη ενέργεια που απορροφά ο καταναλωτής θα σχετίζεται με τον ολικό αριθμό των στροφών μέσω της σχέσης:

$$P_K t = C_3 N t \Rightarrow W_K = C_3 N_{o\lambda} \Rightarrow N_{o\lambda} = C W_K \qquad (17.6)$$

όπου $N_{o\lambda}$ ο συνολικός αριθμός των στροφών σε χρόνο t. Από την σχέση (17.6) φαίνεται ότι ο συνολικός αριθμός των στροφών του μετρητή μέσα σε χρονικό διάστημα t είναι απ' ευθείας ανάλογος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώθηκε το διάστημα αυτό. Επομένως, μετρώντας τον αριθμό των στροφών του επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να μετρήσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε. Η σταθερά C ονομάζεται σταθερά του μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας και έχει μονάδες στροφές/kWh.

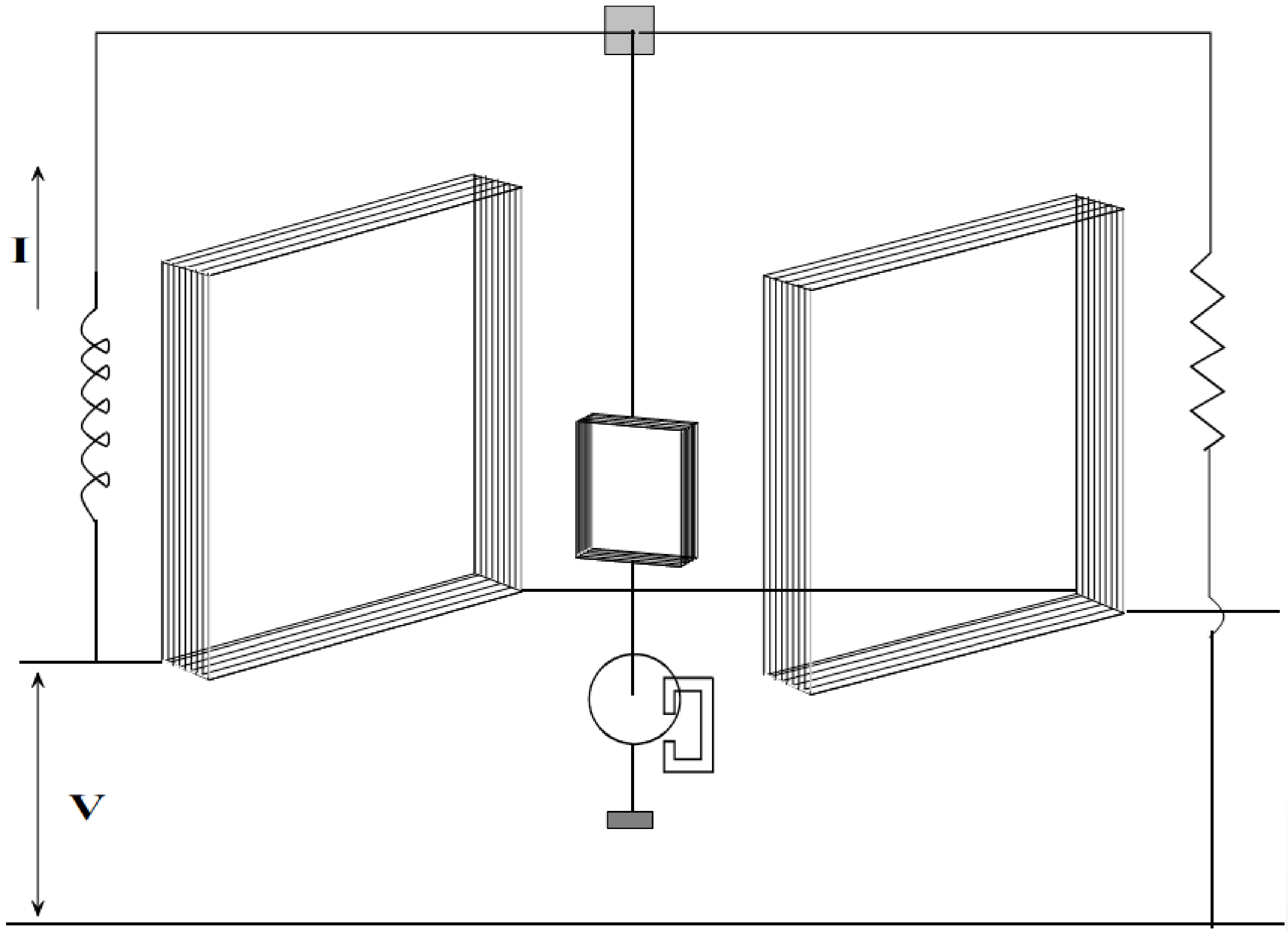
Κεφάλαιο 17: Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 17.1 Κατασκευή επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι επαγωγικοί μετρητές είναι οι πλέον διαδεδομένοι για μετρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο εναλλασσόμενο καθώς είναι φτηνοί και απλοί. Το βασικό τους όμως μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορούν να μετρήσουν την κατανάλωση (απώλειες) ενέργειας σε άεργους καταναλωτές. Όπως φαίνεται από την εξίσωση (17.2), για $\varphi=\pi/2$ η ροπή κίνησης του δίσκου είναι μηδέν, άρα ο δίσκος δεν περιστρέφεται.

Κεφάλαιο 17 : Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας



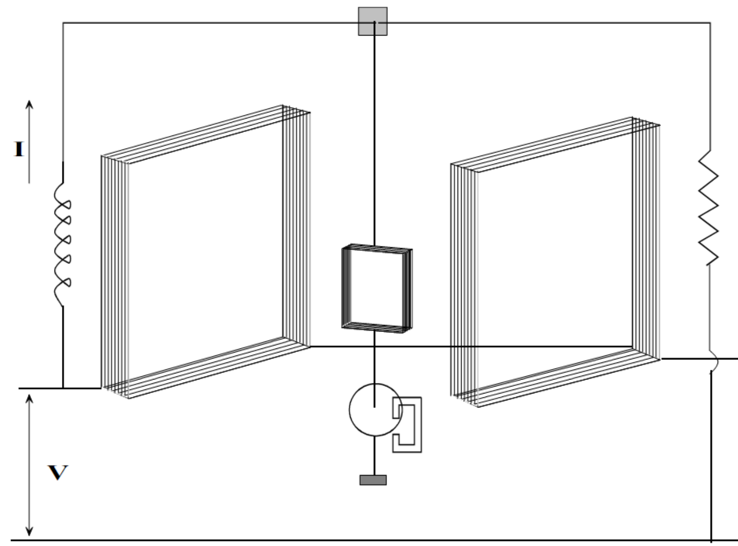
Σχήμα 17.2 Αρχή λειτουργίας ηλεκτροδυναμικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

Κεφάλαιο 17 : Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

17.2.2 Ηλεκτροδυναμικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

Μία άλλη εκδοχή μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στα ηλεκτροδυναμικά όργανα, με τη βασική διαφορά ότι το κινούμενο μέρος του οργάνου μπορεί να κάνει περιστροφή 360°. Κατά τα άλλα, τα βασικά μέρη του μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ίδια με αυτά των απλών ηλεκτροδυναμικών οργάνων: ένα κινούμενο πηνίο μπορεί να περιστρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ένα μεγάλο ακίνητο πηνίο. Το ακίνητο πηνίο έχει λίγες χοντρές σπείρες, είναι συνδεμένο σε σειρά στο κύκλωμα (πηνίο έντασης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο του ρεύματος του καταναλωτή. Αντίστοιχα, το κινούμενο πηνίο έχει πολλές λεπτές σπείρες, συνδέεται παράλληλα στο κύκλωμα (πηνίο τάσης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο της τάσης του καταναλωτή. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, όπως ήδη είπαμε στο μάθημα 4, η ροπή κίνησης που ασκείται στο κινούμενο πηνίο είναι απ' ευθείας ανάλογη της ενεργούς ισχύος. Κατά τρόπο αντίστοιχο με τους επαγωγικούς μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχει μικρός δίσκος αλουμινίου που περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους μόνιμου μαγνήτη για τον έλεγχο της περιστροφής του κινούμενου πηνίου. Τα συνεπαγόμενα δινορεύματα λειτουργούν σαν φρένο με μία ροπή που αντιτίθεται στην κίνηση. Σαν αποτέλεσμα, η λειτουργία του οργάνου περιγράφεται από την εξίσωση (17.6), δηλαδή μετρώντας τον αριθμό των στροφών του ηλεκτροδυναμικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να μετρήσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε.

Οι ηλεκτροδυναμικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται κυρίως στο συνεχές.



Σχήμα 17.2 Αρχή λειτουργίας ηλεκτροδυναμικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

Κεφάλαιο 17 : Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

17.3 Παράδειγμα

Κατά τη λειτουργία ενός καταναλωτή για χρόνο $\Delta t=1$ h, ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας με σταθερά C=600 στροφές/kWh διέγραψε 60 στροφές. Πόση είναι η ισχύς του καταναλωτή;

$$P_K t = C_3 N t \Rightarrow W_K = C_3 N_{\text{ολ}} \Rightarrow N_{\text{ολ}} = C W_K \qquad (17.6)$$