



**Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών &
Μηχανικών Υπολογιστών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο**

Διαλέξεις Ηλεκτρικές Μετρήσεις

Διδάσκουσα: Άννα Τασολάμπρου

Κεφάλαιο 1 : Χαρακτηριστικά αναλογικών ηλεκτρικών οργάνων

- **Σφάλματα μετρήσεων:** σε διάφορους παράγοντες και μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά μία μέτρηση

Απόλυτο σφάλμα

$$\Delta X = X_{\text{ενδ}} - X_{\text{πραγ}}$$

Σχετικό σφάλμα

$$\Delta x / x_{\text{πραγ}} \quad \Delta x / x_{\text{ενδ}}$$

$$X_{\text{ενδ}} \approx X_{\text{πραγ}}$$

Παράδειγμα...

Κεφάλαιο 1 : Βασικές έννοιες και χαρακτηριστικά οργάνων

- θ) Κλάση οργάνου. Η κλάση G ενός οργάνου ορίζεται από την σχέση:

$$G = 100 \frac{ΜΑΣ}{ΜΕ}$$

όπου **ΜΑΣ** είναι το μέγιστο απόλυτο σφάλμα του οργάνου και **ΜΕ** είναι η μέγιστη ένδειξη. Δηλαδή η κλάση του οργάνου μας δίνει το επί τοις εκατό σφάλμα στη μέγιστη ένδειξη κατά την μέτρηση με το όργανο.

-έστω βολτόμετρο με κλάση 2 και μέγιστη ένδειξη 100 V.

Το μέγιστο απόλυτο σφάλμα του οργάνου υπολογίζεται σε ΜΑΣ?

Αντίστοιχα αν η μέτρηση μας είναι 50 V, το μέγιστο σχετικό σφάλμα?

$$\Delta x / x_{\text{πραγ}}$$

Κεφάλαιο 2 : Σφάλματα

α) αν θέλουμε να μετρήσουμε μέγεθος x , πραγματοποιούμε n μετρήσεις και βρίσκουμε την μέση τιμή των μετρήσεων που ορίζεται ως:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

β) υπολογίζουμε την μέση απόκλιση D ορίζεται ως:

$$D = \frac{\sum_{j=1}^n |x_j - \bar{x}|}{n}$$

γ) υπολογίζουμε το πιθανό σφάλμα E της μέσης τιμής

$$E = \frac{D}{\sqrt{n}} 0.845$$

Κεφάλαιο 2 : Σφάλματα

-Σφάλμα αθροίσματος

Έστω ότι με δύο όργανα μετράμε δύο ποσότητες A και B με απόλυτα σφάλματα ΔA και ΔB αντίστοιχα. Στη συνέχεια υπολογίζουμε το άθροισμα $S=A+B$ και θέλουμε να βρούμε το απόλυτο ΔS και το σχετικό $S/\Delta S$ σφάλμα στον υπολογισμό μας. Θεωρώντας ότι ο δείκτης ε αντιστοιχεί στην μέτρηση ενώ ο δείκτης α στην πραγματική τιμή έχουμε:

$$\Delta S = S_{\varepsilon} - S_{\alpha} = (A_{\varepsilon} + B_{\varepsilon}) - (A_{\alpha} + B_{\alpha}) = (A_{\varepsilon} - A_{\alpha}) + (B_{\varepsilon} - B_{\alpha}) = \Delta A + \Delta B$$

$$\frac{\Delta S}{S_{\varepsilon}} = \frac{\Delta A + \Delta B}{A_{\varepsilon} + B_{\varepsilon}}$$

Κεφάλαιο 2 : Σφάλματα

-Σφάλμα πολλαπλασιασμού

Έστω ότι με δύο όργανα μετράμε δύο ποσότητες A και B με απόλυτα σφάλματα ΔA και ΔB αντίστοιχα. Στη συνέχεια υπολογίζουμε το γινόμενο $S=AB$ και θέλουμε να βρούμε το απόλυτο ΔS και το σχετικό $S/\Delta S$ σφάλμα στον υπολογισμό μας. Θεωρώντας ότι ο δείκτης ε αντιστοιχεί στην μέτρηση ενώ ο δείκτης α στην πραγματική τιμή έχουμε:

$$\begin{aligned}\Delta S &= S_{\varepsilon} - S_{\alpha} = A_{\varepsilon} B_{\varepsilon} - A_{\alpha} B_{\alpha} = A_{\varepsilon} B_{\varepsilon} - (A_{\varepsilon} - \Delta A)(B_{\varepsilon} - \Delta B) = \\ &= A_{\varepsilon} \Delta B + B_{\varepsilon} \Delta A - \Delta A \Delta B \approx B_{\varepsilon} \Delta A + A_{\varepsilon} \Delta B\end{aligned}$$

$$\frac{\Delta S}{S_{\varepsilon}} = \frac{B_{\varepsilon} \Delta A + A_{\varepsilon} \Delta B}{A_{\varepsilon} B_{\varepsilon}} = \frac{\Delta A}{A_{\varepsilon}} + \frac{\Delta B}{B_{\varepsilon}}$$

Σαν παράδειγμα χρήσης των παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί η περίπτωση υπολογισμού της ισχύος. **Αν $P=VI$ και το απόλυτο σφάλμα των επιμέρους μεγεθών είναι ΔV και ΔI αντίστοιχα, τότε $\Delta P= I\Delta V+V\Delta I$.**

Κεφάλαιο 2 : Σφάλματα

-Γενικός τύπος

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} dx_n = \sum_{j=1}^n \frac{\partial y}{\partial x_j} dx_j$$

$$|\Delta y| = \left| \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n \right| = \sum_{j=1}^n \left| \frac{\partial y}{\partial x_j} \Delta x_j \right|$$

$$\left| \frac{\Delta y}{y} \right| = \frac{1}{|y|} \sum_{j=1}^n \left| \frac{\partial y}{\partial x_j} \Delta x_j \right|$$

Κεφάλαιο 2 : Σφάλματα

Ας δούμε ένα ρεαλιστικό παράδειγμα Ισχύς

$$P = V \cdot I \quad \text{αν εφαρμόσουμε την γενική σχέση} \quad |\Delta P| = \left| \frac{\partial P}{\partial V} \Delta V \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial I} \Delta I \right|$$

$$\Delta P = I \cdot \Delta V + V \Delta I \Leftrightarrow \frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I}$$

$$\Delta X = (G \times ME) / 100 \quad \text{και} \quad \Delta X / X = (G \times ME) / (100 \times X_{\text{ενδ}}).$$

Έστω ότι μετράμε με βολτόμετρο $ME=400 \text{ V}$, $G=2$ & Αμπερόμετρο $ME=3 \text{ A}$, $G=2$

Αν $V=200\text{V}$ & $I=2 \text{ A}$ Να βρεθεί το μέγιστο και το σχετικό σφάλμα

$$\left. \begin{aligned} \Delta V &= \frac{G_v \cdot ME_v}{100} = \frac{2 \cdot 400}{100} = 8\text{V} \\ \Delta I &= \frac{G_I \cdot ME_I}{100} = \frac{2 \cdot 3}{100} = 0.06\text{A} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta P = 2\text{A} \cdot 8\text{V} + 200\text{V} \cdot 0.06\text{A} = 28\text{W}$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{28}{400} = 0.07 \quad \text{ή} \quad 7\%$$

Κεφάλαιο 3 : Όργανο στρεπτού πηνίου

Κεφάλαιο 3 : Όργανο στρεπτού πηνίου

Βασική αρχή λειτουργίας του οργάνου

Το όργανο στρεπτού πηνίου είναι ίσως το πιο διαδεδομένο από τα κλασσικά αναλογικά όργανα. Η λειτουργία του βασίζεται στην κίνηση ενός πηνίου που διαρρέεται από ρεύμα μέσα σε ένα σταθερό ακτινικό μαγνητικό πεδίο λόγω δυνάμεων Laplace.

Πλεονεκτήματα:

η μεγάλη ευαισθησία και ακρίβεια

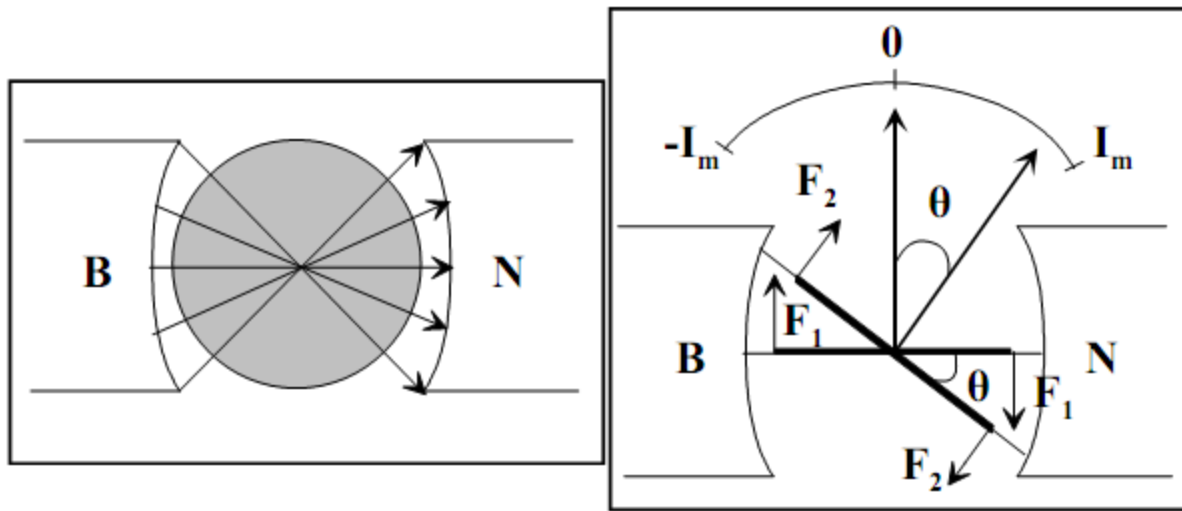
η απλή κατασκευή και η ελάχιστη κατανάλωση ισχύος, ενώ

Μειονέκτημα:

αδυναμία του να μετρήσει εναλλασσόμενα μεγέθη.

Κεφάλαιο 3 : Όργανο στρεπτού πηνίου

Βασική αρχή λειτουργίας του οργάνου

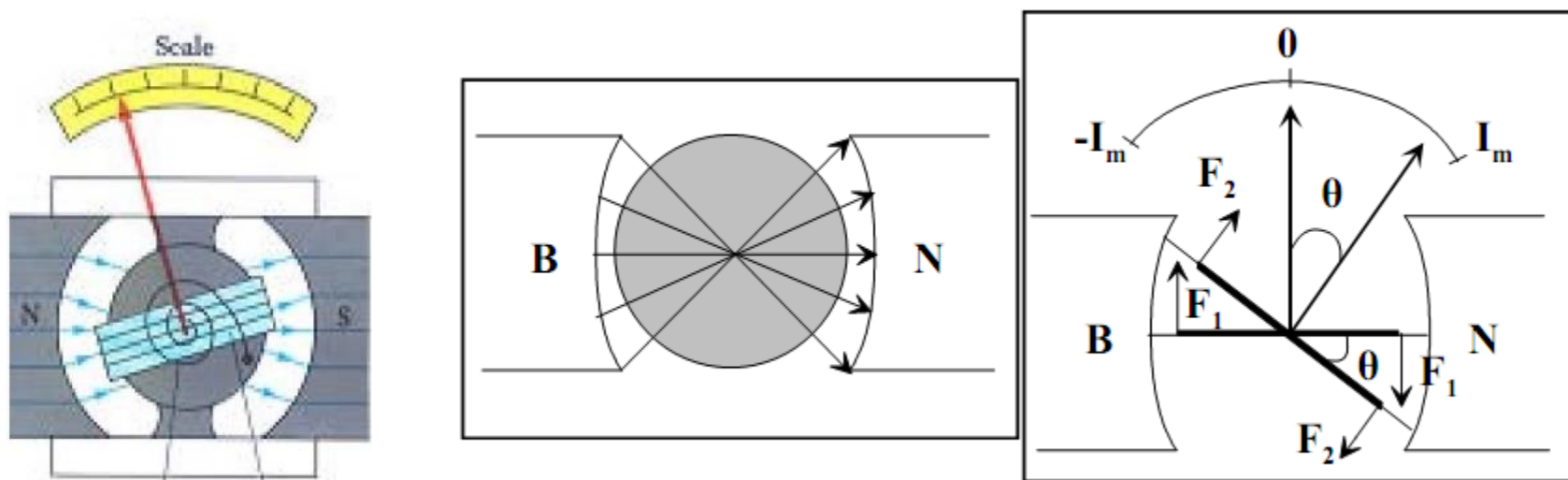


Σχήμα 3.1 Βασική αρχή λειτουργίας του οργάνου στρεπτού πηνίου

Το βασικό μέρος του οργάνου είναι ένα πηνίο με N σπείρες στο οποίο είναι στερεωμένος ο δείκτης και το οποίο μπορεί να περιστρέφεται μέσα σε ένα ακτινικό μαγνητικό πεδίο

Κεφάλαιο 3 : Όργανο στρεπτού πηνίου

Βασική αρχή λειτουργίας του οργάνου

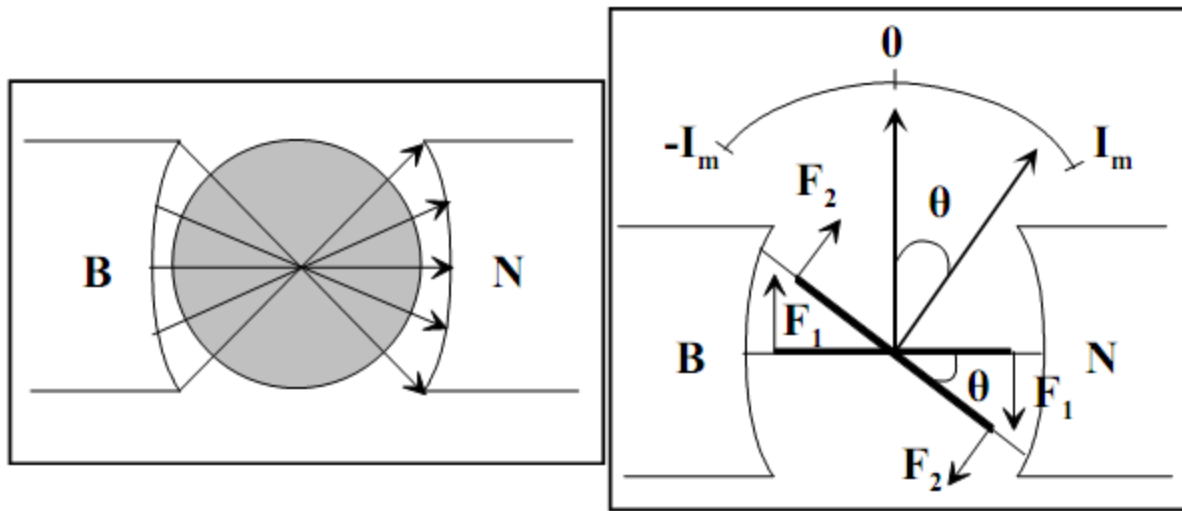


Σχήμα 3.1 Βασική αρχή λειτουργίας του οργάνου στρεπτού πηνίου

Αρχικά το πηνίο είναι οριζόντιο (θέση μηδέν του οργάνου) και έστω ότι κάποια χρονική στιγμή το πηνίο αρχίζει να διαρρέεται από συνεχές ρεύμα I το οποίο προχωρά από δεξιά προς τα μέσα και επιστρέφει από αριστερά. Τα δύο τμήματα του πηνίου μήκους L που είναι κάθετα στο χαρτί είναι κάθετα στις μαγνητικές γραμμές και ασκείται σε κάθε ένα από αυτά δύναμη Laplace: $F_1 = NBIL$ όπου N ο αριθμός των σπειρών.

Κεφάλαιο 3 : Όργανο στρεπτού πηνίου

Βασική αρχή λειτουργίας του οργάνου



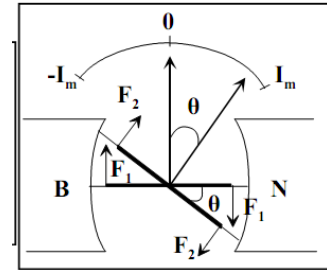
Σχήμα 3.1 Βασική αρχή λειτουργίας του οργάνου στρεπτού πηνίου

Η κίνηση του πηνίου θα οδηγείται από ροπή

$$M = F_1 \ell = NBIL\ell = NBIS = C_1 I$$

Κεφάλαιο 3 : Όργανο στρεπτού πηνίου

Η κίνηση του πηνίου θα οδηγείται από ροπή



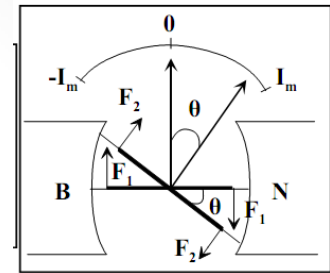
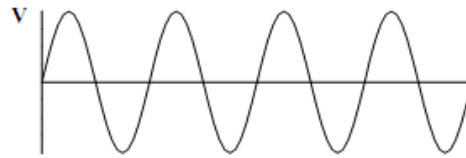
$$M = F_1 \ell = NBIL\ell = NBIS = C_1 I$$

Πως όμως θα σταματήσει το πηνίο σε κάποια θέση ώστε ο δείκτης να μας δώσει ένδειξη;

Το όργανο έχει διάταξη ανασταλτική που σχηματίζεται από σύστημα σπειροειδών ελατηρίων, τα επανατακτικά ελατήρια. Τα ελατήρια αυτά ασκούν μία ροπή αντίθετη στην ροπή κίνησης η οποία είναι ανάλογη της γωνίας στροφής του πηνίου:

$$M_{\varepsilon\lambda} = C_2 \theta \quad M = M_{\varepsilon\lambda} \Rightarrow C_1 I = C_2 \theta \Rightarrow \theta = \frac{C_1}{C_2} I = KI$$

Κεφάλαιο 3 : Όργανο στρεπτού πηνίου



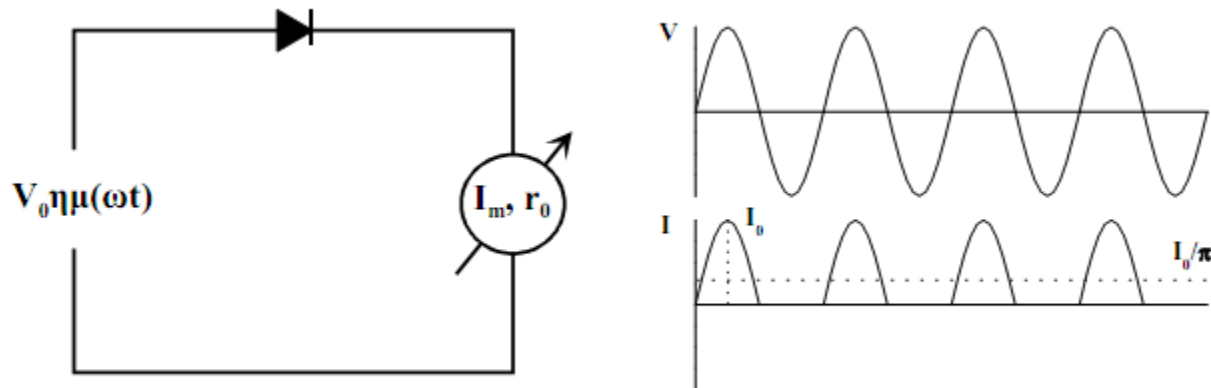
Ας εξετάσουμε τώρα τι θα συμβεί αν το πηνίο του οργάνου στρεπτού πηνίου διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Γενικά, όταν θέλουμε να βρούμε το αποτέλεσμα ενός χρονικά μεταβαλλόμενου μεγέθους πρέπει να υπολογίσουμε την μέση του τιμή μέσα σε μία περίοδο. Για την περίπτωση της κίνησης του πηνίου μέσα στο μαγνητικό πεδίο, πρέπει να υπολογίσουμε την μέση τιμή της ροπής που ασκείται στο πηνίο, άρα της μέσης τιμής του ρεύματος, η οποία υπολογίζεται σε

$$\begin{aligned}\bar{M} \propto \bar{I} &= \frac{1}{T} \int_0^T I dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_0 \eta \mu(\omega t) d(\omega t) = \frac{I_0}{2\pi} \int_0^{2\pi} \eta \mu(\omega t) d(\omega t) = \\ &= \frac{I_0}{2\pi} \left(-\sigma \nu(\omega t) \Big|_0^{2\pi} \right) = \frac{I_0}{\pi} (-\sigma \nu 2\pi + \sigma \nu 0) = 0\end{aligned}$$

η λύση δίνεται από μία ανορθωτική διάταξη

Κεφάλαιο 3 : Όργανο στρεπτού πηνίου

η λύση δίνεται από μία ανορθωτική διάταξη



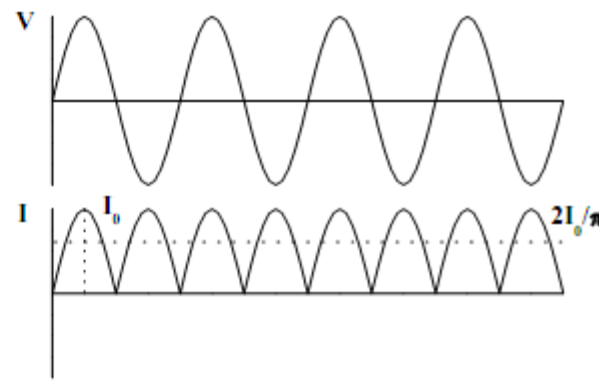
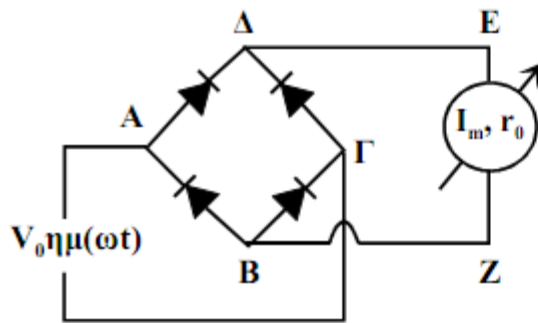
Σχήμα 3.2 Απλή ανόρθωση εναλλασσομένου

η δίοδος άγει μόνο προς την μια διεύθυνση). Σαν αποτέλεσμα, η μέση τιμή του ρεύματος από μηδέν (στο μη ανορθωμένο) να γίνει I_0/π όπως θα αποδείξουμε παρακάτω:

$$\begin{aligned}\bar{I} &= \frac{1}{T} \int_0^T I dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_0 \eta \mu(\omega t) d(\omega t) = \frac{I_0}{2\pi} \int_0^{2\pi} \eta \mu(\omega t) d(\omega t) = \\ &= \frac{I_0}{2\pi} \int_0^{\pi} \eta \mu(\omega t) d(\omega t) = \frac{I_0}{2\pi} \left(-\sigma \upsilon \nu(\omega t) \Big|_0^{\pi} \right) = \frac{I_0}{2\pi} (-\sigma \upsilon \nu \pi + \sigma \upsilon \nu 0) = \frac{I_0}{\pi}\end{aligned}$$

Κεφάλαιο 3 : Όργανο στρεπτού πηνίου

η λύση δίνεται από μία ανορθωτική διάταξη



Σχήμα 3.3 Πλήρη ανόρθωση εναλλασσομένου

$$\begin{aligned}\bar{I} &= \frac{1}{T} \int_0^T I dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_0 \eta\mu(\omega t) d(\omega t) = \frac{I_0}{2\pi} \int_0^{2\pi} \eta\mu(\omega t) d(\omega t) = \\ &= 2 \frac{I_0}{2\pi} \int_0^{\pi} \eta\mu(\omega t) d(\omega t) = \frac{I_0}{\pi} \left(-\sigma\upsilon\nu(\omega t) \Big|_0^{\pi} \right) = \frac{I_0}{\pi} (-\sigma\upsilon\nu\pi + \sigma\upsilon\nu 0) = \frac{2I_0}{\pi}\end{aligned}$$

Κεφάλαιο 4 : Άλλα αναλογικά ηλεκτρικά όργανα

Ηλεκτροδυναμικά όργανα

Λειτουργία : βασίζεται στην κίνηση ενός πηνίου που διαρρέεται από ρεύμα μέσα σε μαγνητικό πεδίο λόγω δυνάμεων Laplace, **όπου σε αυτή τη περίπτωση το μαγνητικό πεδίο δεν είναι σταθερό αλλά δημιουργείται από ένα πηνίο που διαρρέεται από ρεύμα**
Η στροφή του δείκτη **είναι ανάλογη των 2 ρευμάτων και της διαφοράς φάσης μεταξύς.**

Πλεονέκτημα : η ικανότητα τους να μετρήσουν **το γινόμενο δύο ρευμάτων**

ιδιαίτερα διαδεδομένα κυρίως λόγω της χρήσης τους στην μέτρηση ισχύος σαν βατόμετρα.

Κεφάλαιο 4 : Άλλα αναλογικά ηλεκτρικά όργανα

Ηλεκτροδυναμικά όργανα

Η στροφή του δείκτη είναι ανάλογη του $I_1 I_2 \sin \phi$ όπου ϕ η διαφορά φάσης μεταξύ I_1 και I_2 .

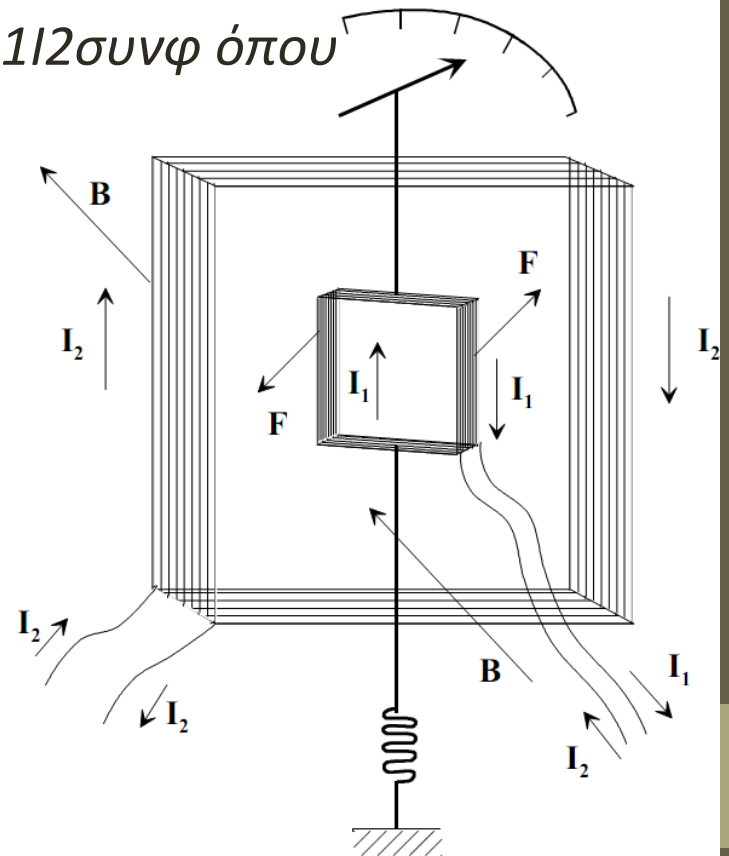
Το **μεγάλο εξωτερικό πηνίο** που διαρρέεται από I_2 είναι ακίνητο και χρησιμεύει στην δημιουργία μαγνητικού πεδίου το οποίο $B = C_1 I_2$

Το **μικρό εσωτερικό πηνίο** που διαρρέεται από ρεύμα I_1 .

$$M_{\text{κιν}} = FL = C_2 B I_1 L = C_2 C_1 I_2 I_1 L = C_3 I_1 I_2$$

...επανατακτικά ελατήρια

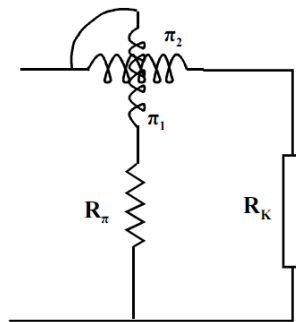
$$M_{\text{κιν}} = M_{\text{ελα}} \Rightarrow C_3 I_1 I_2 = C_4 \Theta \Rightarrow \Theta = K I_1 I_2$$



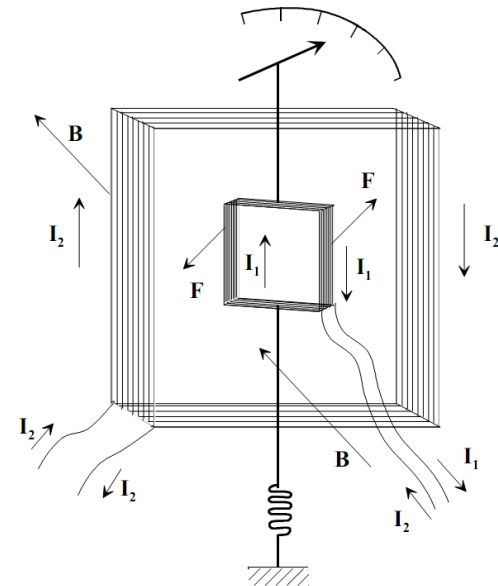
Σχήμα 4.1 Αρχή λειτουργίας ηλεκτροδυναμικών οργάνων

Κεφάλαιο 4 : Άλλα αναλογικά ηλεκτρικά όργανα

Ηλεκτροδυναμικά όργανα



Σχήμα 4.4 Βατόμετρο



Σχήμα 4.1 Αρχή λειτουργίας ηλεκτροδυναμικών οργάνων

Η κυριότερη όμως εφαρμογή των ηλεκτροδυναμικών οργάνων είναι **τα βατόμετρα για τη μέτρηση της ισχύος**. Στην περίπτωση αυτή, το ακίνητο πηνίο π_2 συνδέεται σε σειρά στο κύκλωμα (πηνίο ρεύματος) ενώ το κινούμενο πηνίο π_1 παράλληλα (πηνίο τάσης) μαζί με ωμική αντίσταση R_π . Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η γωνία που θα ισορροπήσει ο δείκτης θα δίνεται

$$\Theta = C I_1 I_2 \cos \varphi = C \frac{V_K}{R_\pi + R_{\pi 1}} I_K \cos \varphi = K P_K$$

P_K , V_K , I_K η ενεργός ισχύς, η τάση και το ρεύμα του καταναλωτή R_K και $R_{\pi 1}$ η αντίσταση του πηνίου τάσης

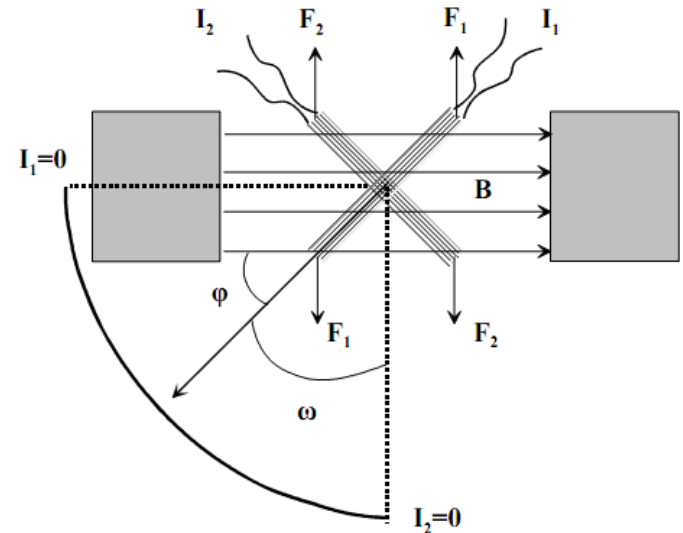
Κεφάλαιο 4 : Άλλα αναλογικά ηλεκτρικά όργανα

Όργανα διασταυρούμενων πηνίων

Ένα άλλο είδος ηλεκτρομαγνητικών οργάνων είναι τα όργανα διασταυρούμενων πηνίων όπου τα κύρια χαρακτηριστικά είναι η **απουσία επανατακτικών ελατηρίων** και η **εξάρτηση της γωνίας που ισορροπεί ο δείκτης από τον λόγο δύο ρευμάτων** (όργανα πηλίκου)

$$\frac{I_2}{I_1} = K \epsilon \phi \omega$$

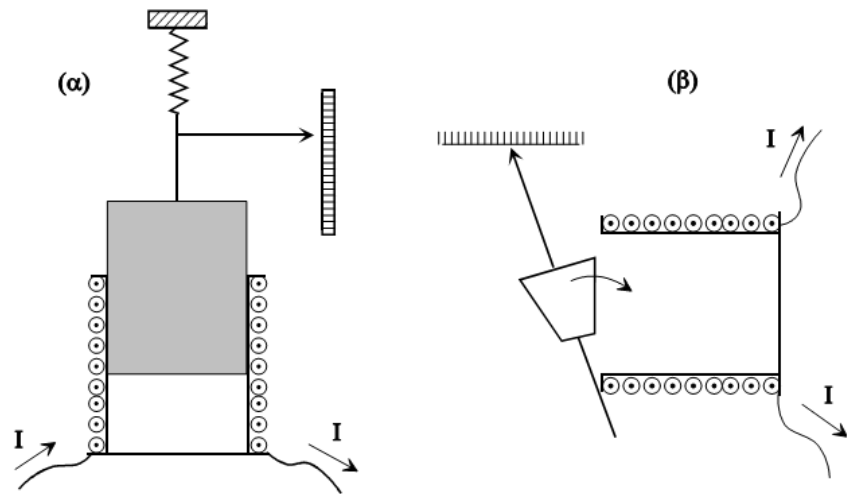
Η κύρια χρήση των οργάνων διασταυρούμενων πηνίων είναι τα ωμόμετρα



Σχήμα 4.5 Αρχή λειτουργία οργάνων διασταυρούμενων πηνίων

Κεφάλαιο 4 : Άλλα αναλογικά ηλεκτρικά όργανα~

Όργανα κινητού σιδήρου

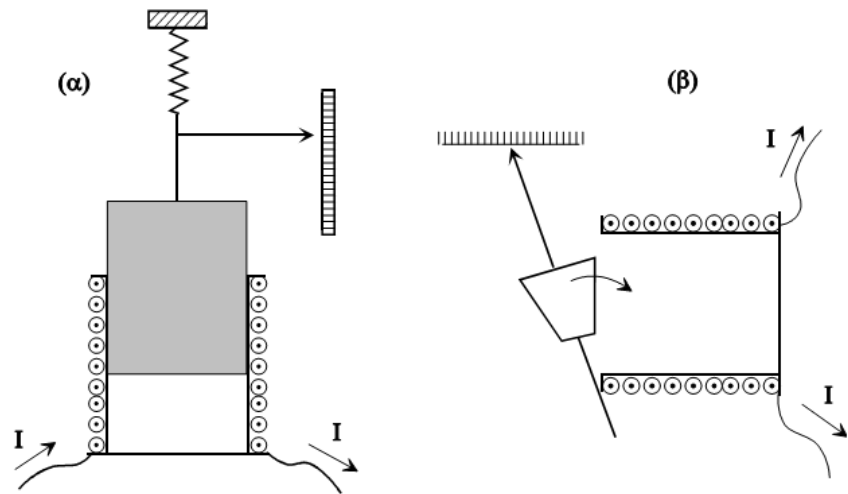


Σχήμα 4.7 Όργανο κινητού σιδήρου (α) βυθιζόμενου πυρήνα και (β) ελκόμενου ελάσματος

Τα όργανα κινητού σιδήρου είναι όργανα για **μετρήσεις μεγάλων ηλεκτρικών μεγεθών (έως 60 A και 600 V), με μεγάλη υπερφόρτιση (αντέχουν 100πλάσιο ρεύμα από την μέγιστη τους ένδειξη)** και χρησιμοποιούνται σε πίνακες. Η λειτουργία τους βασίζεται στην κίνηση ενός πυρήνα μαλακού σιδήρου (στον οποίο είναι προσαρμοσμένος ο δείκτης) σε σχέση με μαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργείται από το υπό μελέτη ρεύμα μέσω ενός πηνίου. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι το κινητό μέρος δεν διαρρέεται από ρεύμα και επομένως δεν υπάρχουν καλώδια σύνδεσης που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την κίνηση. Διακρίνονται σε ελκτικού και απωστικού τύπου.

Κεφάλαιο 4 : Άλλα αναλογικά ηλεκτρικά όργανα~

Όργανα κινητού σιδήρου



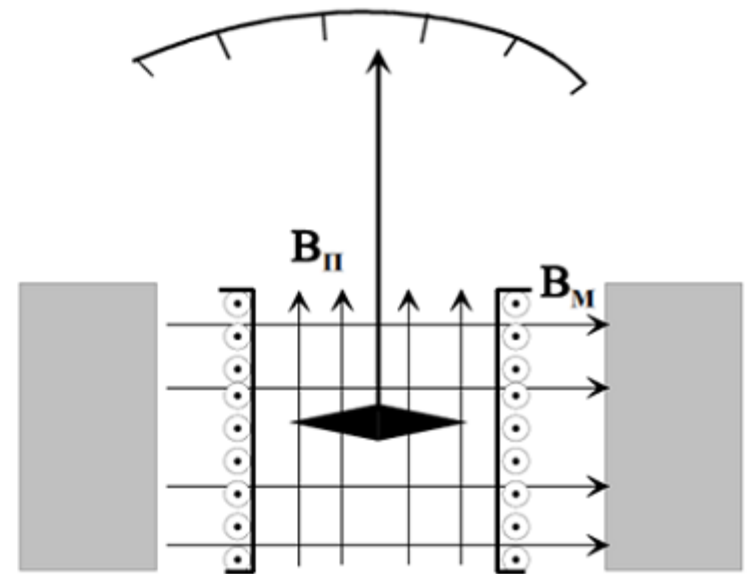
Σχήμα 4.7 Όργανο κινητού σιδήρου (α) βυθιζόμενου πυρήνα και (β) ελκόμενου ελάσματος

Τα όργανα κινητού σιδήρου είναι όργανα για **μετρήσεις μεγάλων ηλεκτρικών μεγεθών (έως 60 A και 600 V), με μεγάλη υπερφόρτιση (αντέχουν 100πλάσιο ρεύμα από την μέγιστη τους ένδειξη)** και χρησιμοποιούνται σε πίνακες. Η λειτουργία τους βασίζεται στην κίνηση ενός πυρήνα μαλακού σιδήρου (στον οποίο είναι προσαρμοσμένος ο δείκτης) σε σχέση με μαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργείται από το υπό μελέτη ρεύμα μέσω ενός πηνίου. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι το κινητό μέρος δεν διαρρέεται από ρεύμα και επομένως δεν υπάρχουν καλώδια σύνδεσης που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την κίνηση. Διακρίνονται σε ελκτικού και απωστικού τύπου.

Κεφάλαιο 4 : Άλλα αναλογικά ηλεκτρικά όργανα

Όργανα κινητού μαγνήτη

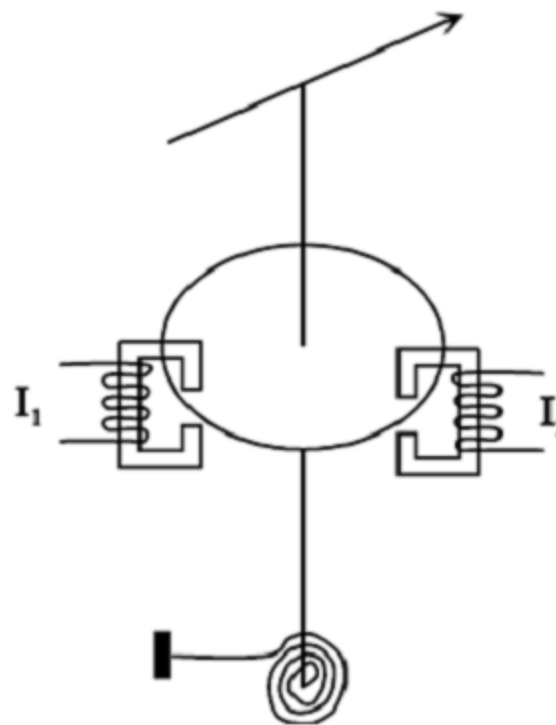
- Κίνηση μιας μαγνητικής βελόνας μέσα σε μαγνητικό πεδίο το οποίο είναι η συνισταμένη δύο επί μέρους πεδίων
- Μικρού μεγέθους, με καλή ευαισθησία, με μεγάλη αντοχή στους κραδασμούς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αμπερόμετρα και βολτόμετρα σε κινούμενες εφαρμογές



Κεφάλαιο 4 : Άλλα αναλογικά ηλεκτρικά όργανα

Επαγωγικά όργανα

- Αρχή λειτουργίας : βασίζεται σε φαινόμενα επαγωγής
- Ένας λεπτό δίσκος αλουμινίου που περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους δύο ηλεκτρομαγνητών
- Αποκλειστικά για εναλλασσόμενα μεγέθη



Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος



Ο παλμογράφος είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την μέτρηση όχι μόνο της τιμής μεγεθών σε ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά κυκλώματα αλλά και της **χρονικής τους εξέλιξης**. Επομένως, η συνεισφορά του είναι μοναδική για την καταγραφή αλλά και την απεικόνιση περιοδικών ή παλμικών σημάτων ακόμα και πολύ μικρής χρονικής διάρκειας (ns).

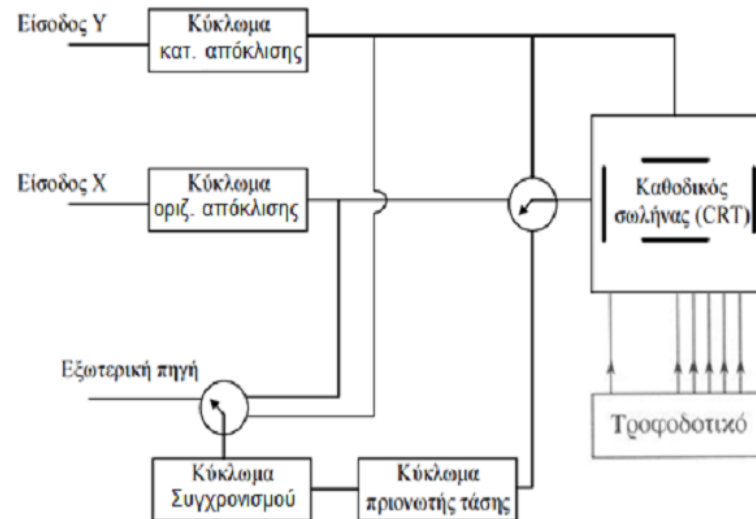
Βασικά χαρακτηριστικά του είναι

- η οπτική απεικόνιση του σήματος,
- η δυνατότητα για ανάλυση και επεξεργασία του σήματος,
- η μεγάλη αντίσταση εισόδου και
- το μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων (διαφορά μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης συχνότητας που μπορεί να απεικονιστεί με ακρίβεια).

Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος

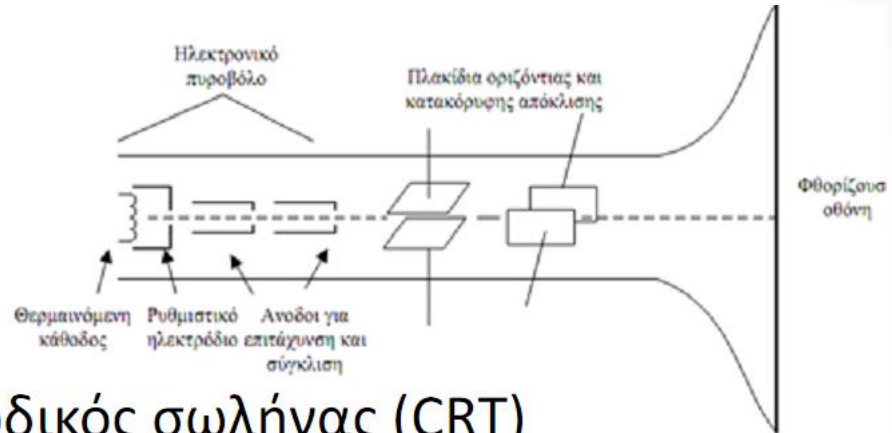
Αναλογικός Παλμογράφος

- Βασικά μέρη ενός παλμογράφου :
 - Καθοδικός σωλήνας (Cathode Ray Tube-CRT)
 - Σύστημα οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης
 - Κύκλωμα παραγωγής πριονωτής τάσης
 - Κύκλωμα συγχρονισμού
 - Τροφοδοτικό



Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος

Αναλογικός Παλμογράφος

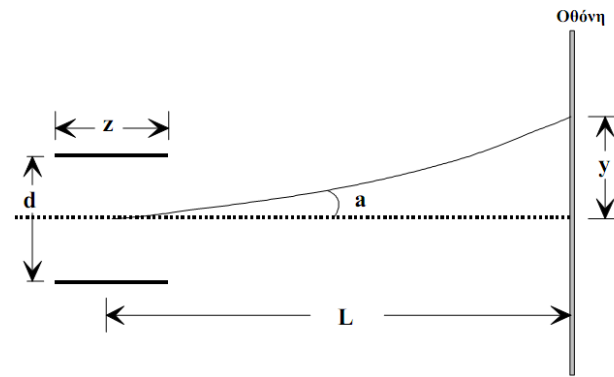


Καθοδικός σωλήνας (CRT)

- κινούνται ηλεκτρόνια, από την θερμαινόμενη κάθοδο έως την οθόνη
- ρυθμιστικό ηλεκτρόδιο (οπή) που καθορίζει τον αριθμό των ηλεκτρονίων άρα και την ένταση του σήματος στην οθόνη
- σύστημα προ-επιτάχυνσης σε τάση μερικών kV
- σύστημα εστίασης με βάση ηλεκτρονικό φακό

Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος

Αναλογικός Παλμογράφος



Σχήμα 5.2 Απόκλιση δέσμης στα πλακίδια

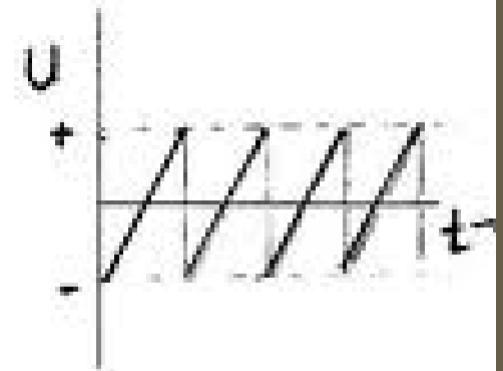
Πλακίδια κάθετης και οριζόντιας εκτροπής

- Ζεύγη πλακιδίων, με επίπεδα κάθετα μεταξύ τους, στα οποία εφαρμόζεται κατάλληλη τάση που προκαλεί μετακινήσεις της δέσμης ηλεκτρονίων σε οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα
- Ενισχυτές - Εξασθενητές οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης

Η οθόνη είναι επιχρισμένη με λεπτό στρώμα από υλικό που φθορίζει και καθώς τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν σε αυτή σχηματίζεται μία φωτεινή κηλίδα.

Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος

Αναλογικός Παλμογράφος



Σχήμα 5.3 Πριονωτή τάση

Κυκλώματα σάρωσης.

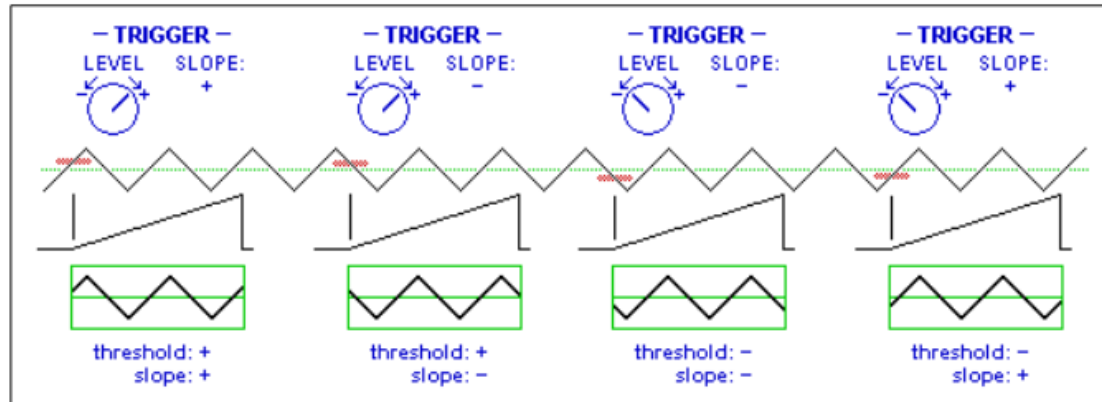
Η περίοδος σάρωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την περίοδο του σήματος και καθορίζει τον αριθμό των περιόδων σήματος που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου. Αν T είναι διπλάσιο από την περίοδο του σήματος, τότε στην οθόνη θα φανούν δύο περίοδοι από το σήμα.

Κύκλωμα σκανδαλισμού

Η σωστή όμως απεικόνιση απαιτεί τον συγχρονισμό του σήματος με την πριονωτή τάση, καθώς σε διαφορετική περίπτωση, η απεικόνιση του σήματος δεν θα είναι σταθερή (τρεμούλιασμα). Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται με το κύκλωμα σκανδαλισμού, το οποίο φροντίζει έτσι ώστε η σάρωση να αρχίζει πάντοτε την ίδια χρονική στιγμή στην περίοδο του σήματος (δηλαδή στην ίδια φάση ή τάση του σήματος).

Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος

Αναλογικός Παλμογράφος



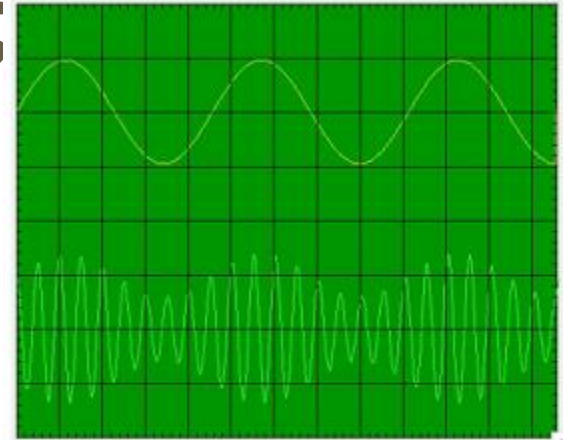
Σχήμα 5.4 Διαδικασία σκανδαλισμού σε διαφορετικές συνθήκες

Κύκλωμα σκανδαλισμού

Η σωστή όμως απεικόνιση απαιτεί τον συγχρονισμό του σήματος με την πριονωτή τάση, καθώς σε διαφορετική περίπτωση, η απεικόνιση του σήματος δεν θα είναι σταθερή (τρεμούλιασμα). Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται με το κύκλωμα σκανδαλισμού, το οποίο φροντίζει έτσι ώστε η σάρωση να αρχίζει πάντοτε την ίδια χρονική στιγμή στην περίοδο του σήματος (δηλαδή στην ίδια φάση ή τάση του σήματος).

Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος

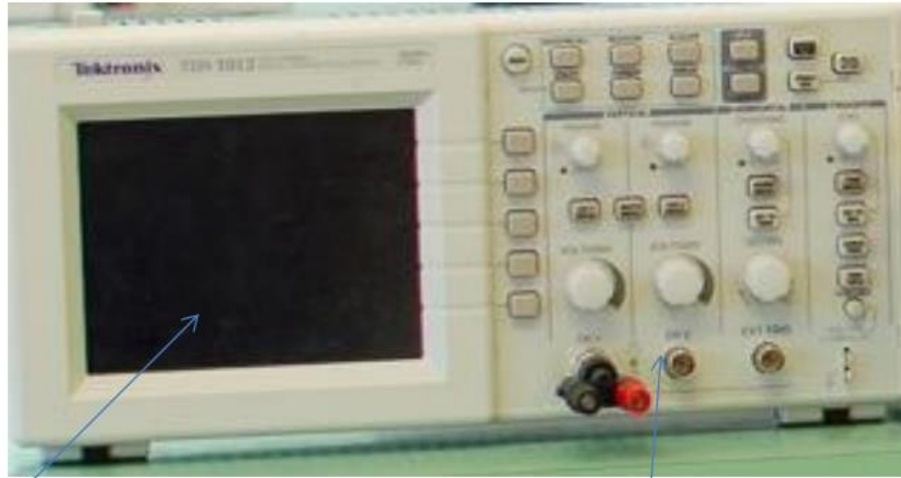
Αναλογικός Παλμογράφος



Σχήμα 5.5 Οθόνη παλμογράφου

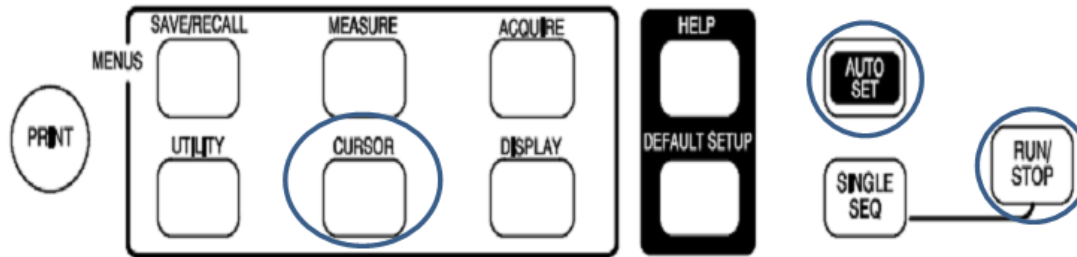
Η απεικόνιση του σήματος χαρακτηρίζεται από το μέγεθος της οθόνης, την φωτεινότητα της δέσμης και τις υποδιαίρέσεις που υπάρχουν στην οθόνη για ευκολία μέτρησης. Η απεικόνιση του ίχνους της δέσμης ηλεκτρονίων βασίζεται στην ύπαρξη φθορίζουσας ουσίας στο πίσω μέρος της οθόνης, η οποία εκπέμπει φως μετά την απορρόφηση ηλεκτρονίων. Με κατάλληλες ρυθμίσεις επιλέγεται η εστίαση και η φωτεινότητα της δέσμης στην οθόνη άρα και του σήματος.

Κεφάλαιο 5 : Πάλμογράφος



- Περιοχή της οθόνης
- Περιοχή όπου περιέχονται
 1. Μενού και οι ρυθμίσεις ελέγχου
 2. Ρυθμίσεις για την κατακόρυφη εκτροπή της δέσμης
 3. Ρυθμίσεις για την οριζόντια εκτροπή της δέσμης

Κεφάλαιο 5 : Πάλμογράφος



- Διακόπτης Autoset : ανανεώνει το περιεχόμενο της οθόνης
- Διακόπτης Run/Stop : αποδίδει ένα στιγμιότυπο της οθόνης σε στοπ-καρε
- Μπουτόν Cursor : τοποθετεί δείκτες στον κατακόρυφο ή τον οριζόντιο άξονα

Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος

Ψηφιακός Παλμογράφος

Όπως είδαμε, ένας αναλογικός παλμογράφος καταγράφει ένα σήμα σε πραγματικό χρόνο μέσω της μετακίνησης στην οθόνη του μιας δέσμης ηλεκτρονίων. Αντίθετα, σε ένα ψηφιακό παλμογράφο, το σήμα μετά την είσοδο του στη συσκευή, υπόκειται σε δειγματοληψία, μετατρέπεται σε ψηφιακό (με ένα A/D converter) και αποθηκεύεται.

Οπότε, η περαιτέρω διαχείριση αφορά μία αποθηκευμένη ψηφιακή πληροφορία, γεγονός που επιτρέπει αφενός την παρουσίαση και μελέτη του οποιαδήποτε στιγμή θέλει ο χρήστης και αφετέρου είναι εφικτή μια τεράστια ποικιλία από επεμβάσεις και απεικονίσεις.

Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος

Χαρακτηριστικά παλμογράφων

(α) αριθμός καναλιών: υπάρχουν παλμογράφοι με ένα, δύο ή τέσσερα κανάλια. Η πλέον συνηθισμένη επιλογή είναι τα δυο κανάλια.

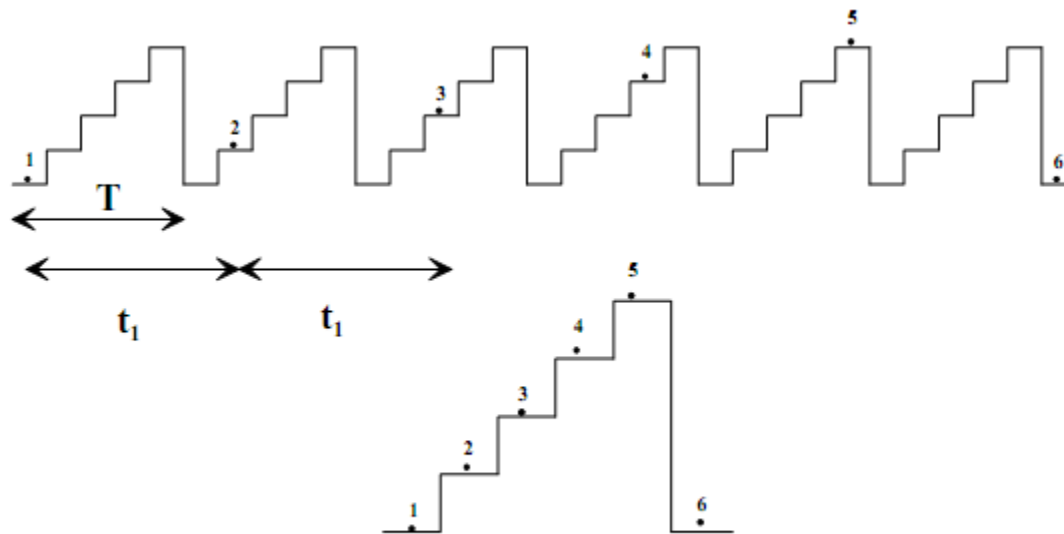
(β) Ευαισθησία εισόδου (τάσης): δίνεται σε μονάδες τάσης ανά υποδιαίρεση της οθόνης και κυμαίνεται από V σε mV ή και μV ανάλογα με την επιλογή στο σχετικό κουμπί αλλά και τον υπό χρήση παλμογράφο. Οι ψηφιακοί παλμογράφοι μπορούν να δώσουν μεγαλύτερη ευαισθησία λόγω των δυνατοτήτων για ενίσχυση σε ένα ψηφιακό σήμα.

(γ) Ταχύτητα σάρωσης (ευαισθησία χρόνου): δίνεται σε μονάδες χρόνου ανά υποδιαίρεση της οθόνης και κυμαίνεται από s σε ms ή μs ή και ns ανάλογα με την επιλογή στο σχετικό κουμπί αλλά και τον υπό χρήση παλμογράφο.

(δ) Εύρος ζώνης συχνοτήτων

(ε) Τρόποι απεικόνισης: αν για παράδειγμα έχω δύο κανάλια και δύο σήματα, επιτρέπεται να δούμε το καθένα χωριστά ή και τα δύο μαζί, αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις το άθροισμα ή την διαφορά τους.

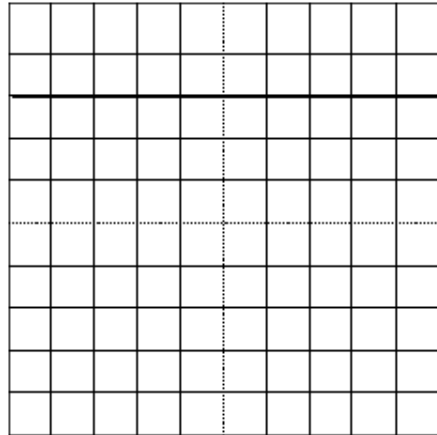
Κεφάλαιο 5 : Πάλμογράφος



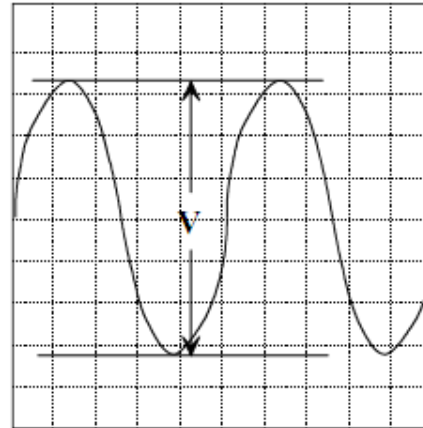
Σχήμα 5.6 Διαδικασία δειγματοληψίας

Αν η χρονική διάρκεια του σήματος είναι πολύ μικρή, οπότε απαιτείται μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, η καταγραφή και παρουσίαση του σήματος γίνεται καλύτερα με την τεχνική της δειγματοληψίας. Η ιδέα της δειγματοληψίας βασίζεται στη λήψη στιγμιότυπων από το σήμα σε χρονικές περιόδους λίγο μεγαλύτερες από την περίοδο του σήματος. Στη συνέχεια, γίνεται ανασύνθεση του σήματος από τα επιμέρους στιγμιότυπα

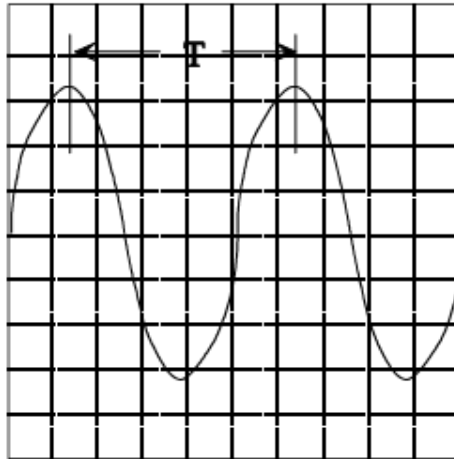
Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος



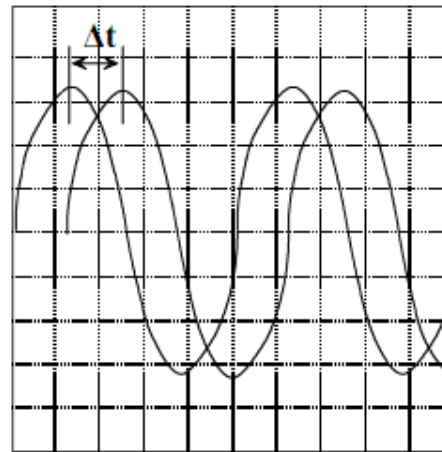
(a)



(b)



(c)



(d)

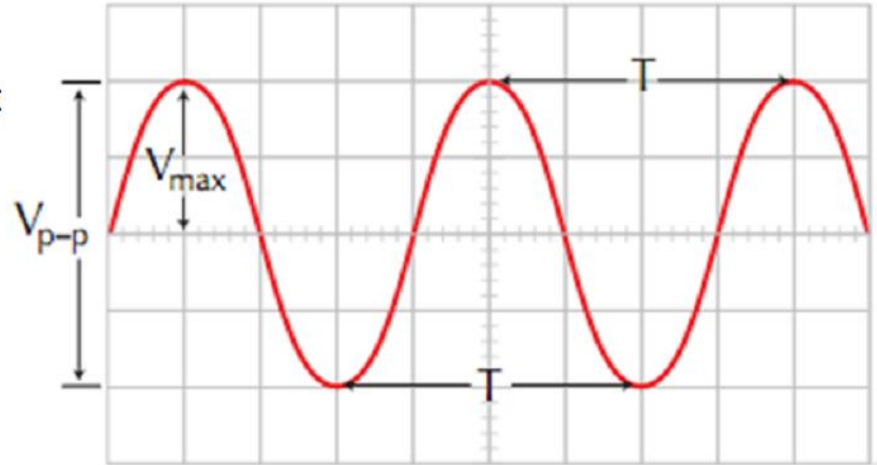
Σχήμα 5.7 Απλές μετρήσεις με χρήση παλμογράφου

Κεφάλαιο 5 : Παλμογράφος

Μέτρηση AC τάσης

- Παλμογράφος σε λειτουργία AC

$$V_{\max} = \frac{V_{p-p}}{2}$$



$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_{\max}^2 \cdot \sin(\omega t)^2 dt} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \cdot V_{\max} \quad f = \frac{1}{T}$$

Κεφάλαιο 9: Μιγαδικοί Αριθμοί

Σε κυκλώματα DC, οι ηλεκτρικές μεγέθη εξαρτώνται αποκλειστικά από τις ωμικές αντιστάσεις, φυσικά μετά την ολοκλήρωση πιθανών μεταβατικών φαινομένων λόγω παρουσίας πηνίων και πυκνωτών, και δεν υφίστανται διαφορές φάσης μεταξύ ρεύματος και τάσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα **τον χειρισμό των DC ηλεκτρικών ποσοτήτων ως μονόμετρων ποσοτήτων**, οπότε για τις σχετικές πράξεις είναι αρκετή η απλή αριθμητική. Σε αντίθεση, στα κυκλώματα AC, ο ρόλος των πηνίων και των πυκνωτών είναι πιο ουσιαστικός καθώς και τα ηλεκτρικά μεγέθη επηρεάζουν και προκαλούν **διαφορές φάσεις μεταξύ ρευμάτων και τάσεων**. Επομένως, ο χειρισμός των ηλεκτρικών μεγεθών σε κυκλώματα AC είναι πιο περίπλοκη και υπάρχουν τρεις δυνατότητες για την περιγραφή τους. Η πρώτη είναι η **ημιτονοειδής**, η **δεύτερη αφορά περιστρεφόμενα διανύσματα**, ενώ η **τρίτη βασίζεται στους μιγαδικούς αριθμούς**

Κεφάλαιο 9: Μιγαδικοί Αριθμοί

Ημιτονοειδής αναπαράσταση

(α) η τιμή του ρεύματος (τάσης) μεταβάλλεται με το χρόνο παίρνοντας θετικές και αρνητικές τιμές,
(β) η περιοδική εξέλιξη με περίοδο T
(γ) το ολοκλήρωμα των βασικών μεγεθών σε μία περίοδο είναι μηδέν.

$$I = I_0 \eta \mu(\omega t + \varphi)$$

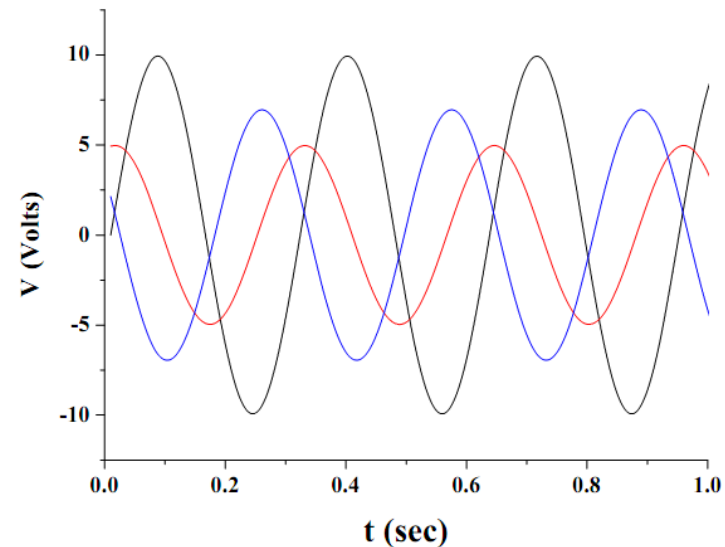
I_0 είναι το μέγιστο πλάτος του ρεύματος

I είναι η στιγμιαία τιμή του ρεύματος σε χρόνο t

ω είναι η κυκλική συχνότητα ($\omega = 2\pi/T$, με $T = 1/f$ όπου f είναι η συχνότητα)

φ είναι η αρχική φάση

$\omega t + \varphi$ είναι η φάση κατά την χρονική στιγμή t



Σχήμα 9.1 Τριγωνομετρική αναπαράσταση εναλλασσόμενων μεγεθών

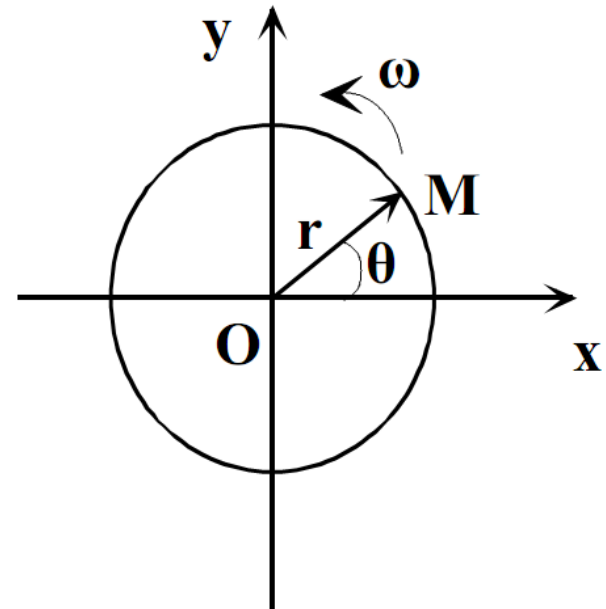
Κεφάλαιο 9: Μιγαδικοί Αριθμοί

Αναπαράσταση με περιστρεφόμενα διανύσματα

Ένας ευκολότερος τρόπος να διαχειριστούμε εναλλασσόμενα μεγέθη είναι τα περιστρεφόμενα διανύσματα. Έστω οριζόντιο σύστημα αξόνων και ένα διάνυσμα OM με μήκος r το οποίο περιστρέφεται αριστερόστροφα με γωνιακή ταχύτητα ω . Σε κάποια χρονική στιγμή t , το διάνυσμα σχηματίζει γωνία θ με τον άξονα x . Τότε, οι x, y προβολές του διανύσματος θα δίνονται:

$$x=r\cos\theta \text{ και } y=r\eta\mu\theta.$$

$$\theta=\omega t.$$



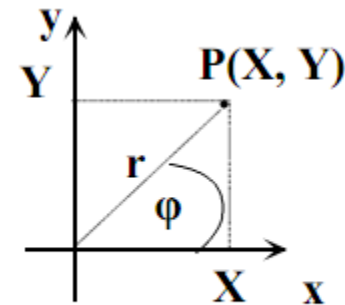
Σχήμα 9.2 Περιστρεφόμενο διάνυσμα

Κεφάλαιο 9: Μιγαδικοί Αριθμοί

Αναπαράσταση με μιγαδικούς αριθμούς

Είναι γνωστό ότι οι πραγματικοί αριθμοί X θεωρούνται σημεία σε μία ευθεία, έστω οριζόντια. Αν προσθέσουμε και μία κατακόρυφη ευθεία και σε κάθε σημείο της αντιστοιχήσουμε ένα φανταστικό αριθμό

jY



Σχήμα 9.5 Αναπαράσταση μιγαδικού αριθμού

Μιγαδικός Αριθμός

$$Z=X+jY$$

Μέτρο

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2} ,$$

Φάση

$$\epsilon\phi\phi=Y/X$$

Ημιτονοειδής μορφή

$$r\sigma\upsilon\nu\phi+jr\eta\mu\phi$$

Πολική μορφή

$$re^{j\phi}$$

Κεφάλαιο 9: Μιγαδικοί Αριθμοί

A) Για πρόσθεση ή αφαίρεση μιγαδικών αριθμών χρησιμοποιούμε την καρτεσιανή μορφή. Στην περίπτωση αυτή ισχύει:

$$Z_1 \pm Z_2 = (X_1 \pm X_2) + j(Y_1 \pm Y_2)$$

B) Για πολλαπλασιασμό και διαίρεση χρησιμοποιούμε την πολική μορφή. Ισχύει:

$$Z_1 Z_2 = (r_1 r_2) e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{r_1}{r_2} e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

Γ) Στο παραπάνω πλαίσιο είναι χρήσιμο να θυμάται κάποιος ποιος μετατρέπεται η μία μορφή στην άλλη:

Καρτεσιανή → Πολική		Πολική → Καρτεσιανή	
$Z = X + jY$	$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$ $\epsilon\varphi\varphi = Y/X$	$r e^{j\varphi}$	$Z = (r \cos\varphi) + j(r \sin\varphi)$

