

Εργαστήριο Ηλεκτρικών Μηχανών

Σημειώσεις του διδάσκοντα :

Παλάντζα Παναγιώτη

Email επικοινωνίας:

palantzaspan@gmail.com

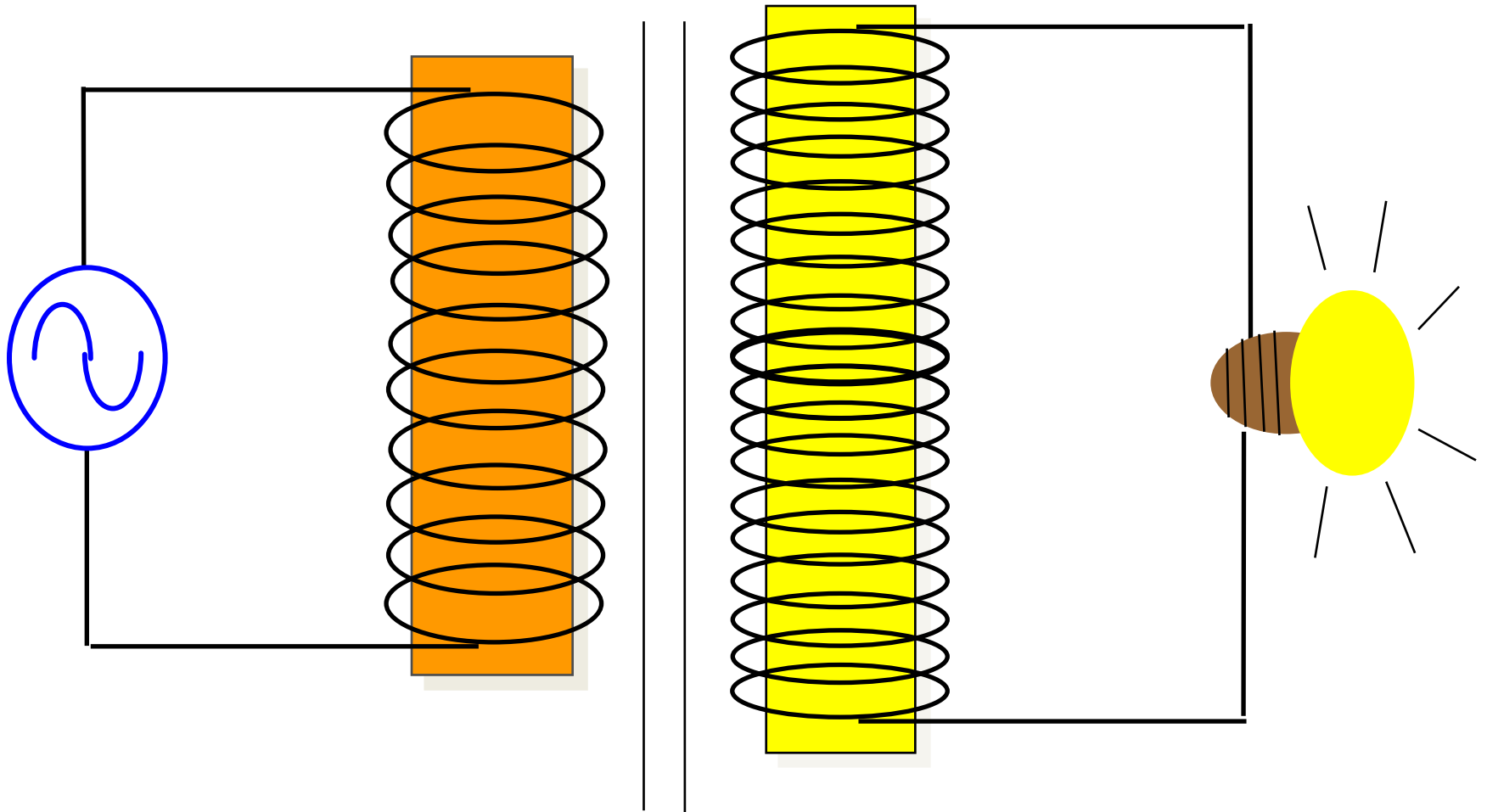
Μετασχηματιστές

- Οι μετασχηματιστές είναι ηλεκτρομαγνητικές συσκευές (μηχανές) που μπορούν όταν τροφοδοτηθούν με **εναλλασσόμενη τάση**, να δίνουν στην έξοδό τους , επίσης εναλλασσόμενη τάση ίδιας συχνότητας αλλά συνήθως διαφορετικού πλάτους.
- Χρησιμοποιούνται ευρέως στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για ανύψωση της παραγόμενης τάσης, στους υποσταθμούς διανομής για υποβιβασμό της τάσης προς τους καταναλωτές, σαν όργανα μέτρησης, σαν προστατευτικές διατάξεις κ.ά.

Χαρακτηριστικά ενός μετασχηματιστή

- Ένας μετασχηματιστής (Μ/Σ) αποτελείται από 2 τυλίγματα (πηνία), ηλεκτρικά **μονωμένα το ένα από το άλλο** και τυλιγμένα σε ένα κοινό πυρήνα. Το πηνίο που παίρνει την τάση προς μετασχηματισμό ονομάζεται **πρωτεύον τύλιγμα** ενώ το τύλιγμα που δίνει την μετασχηματισμένη τάση ονομάζεται **δευτερεύον τύλιγμα**.

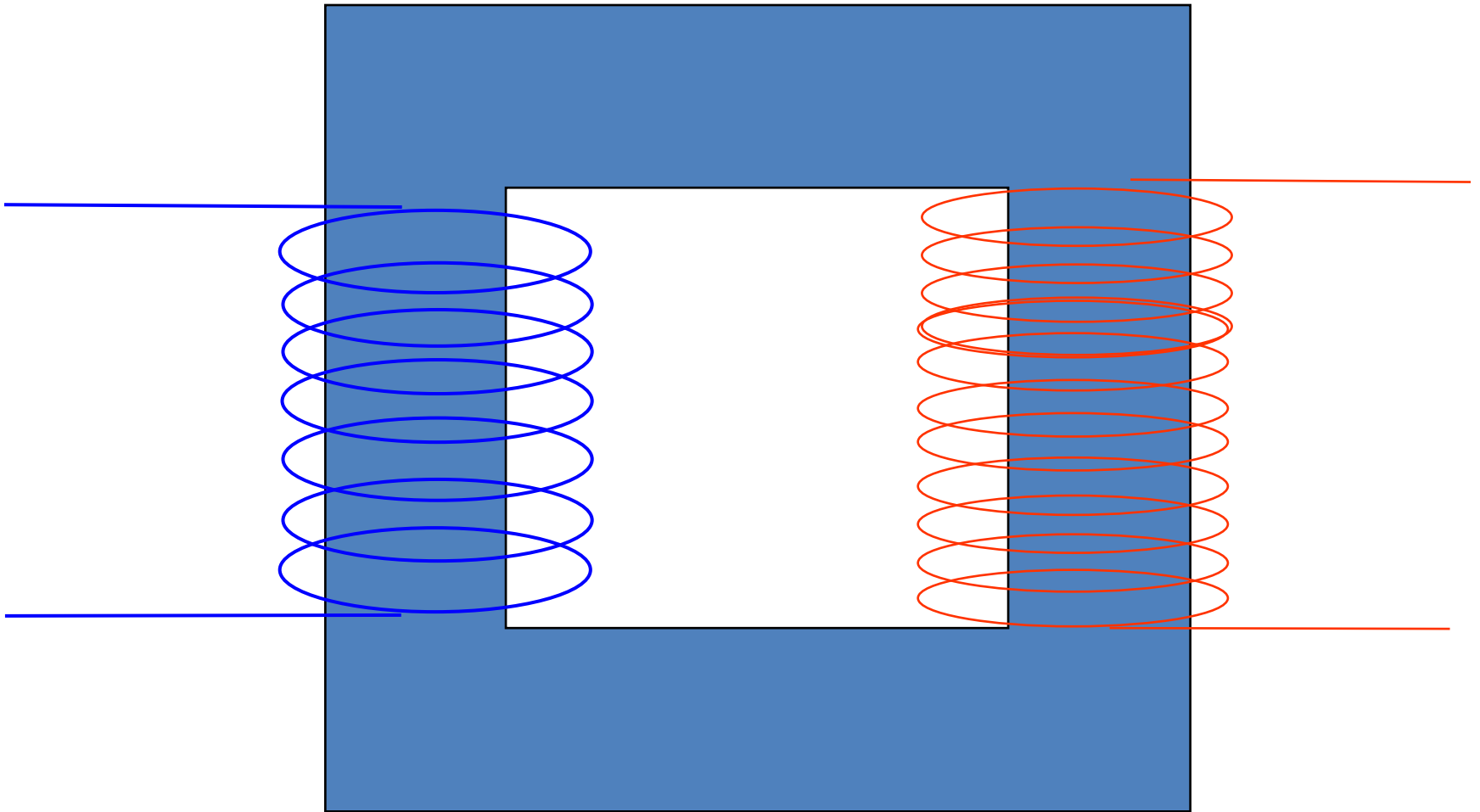
Πηνία Μ/Σ



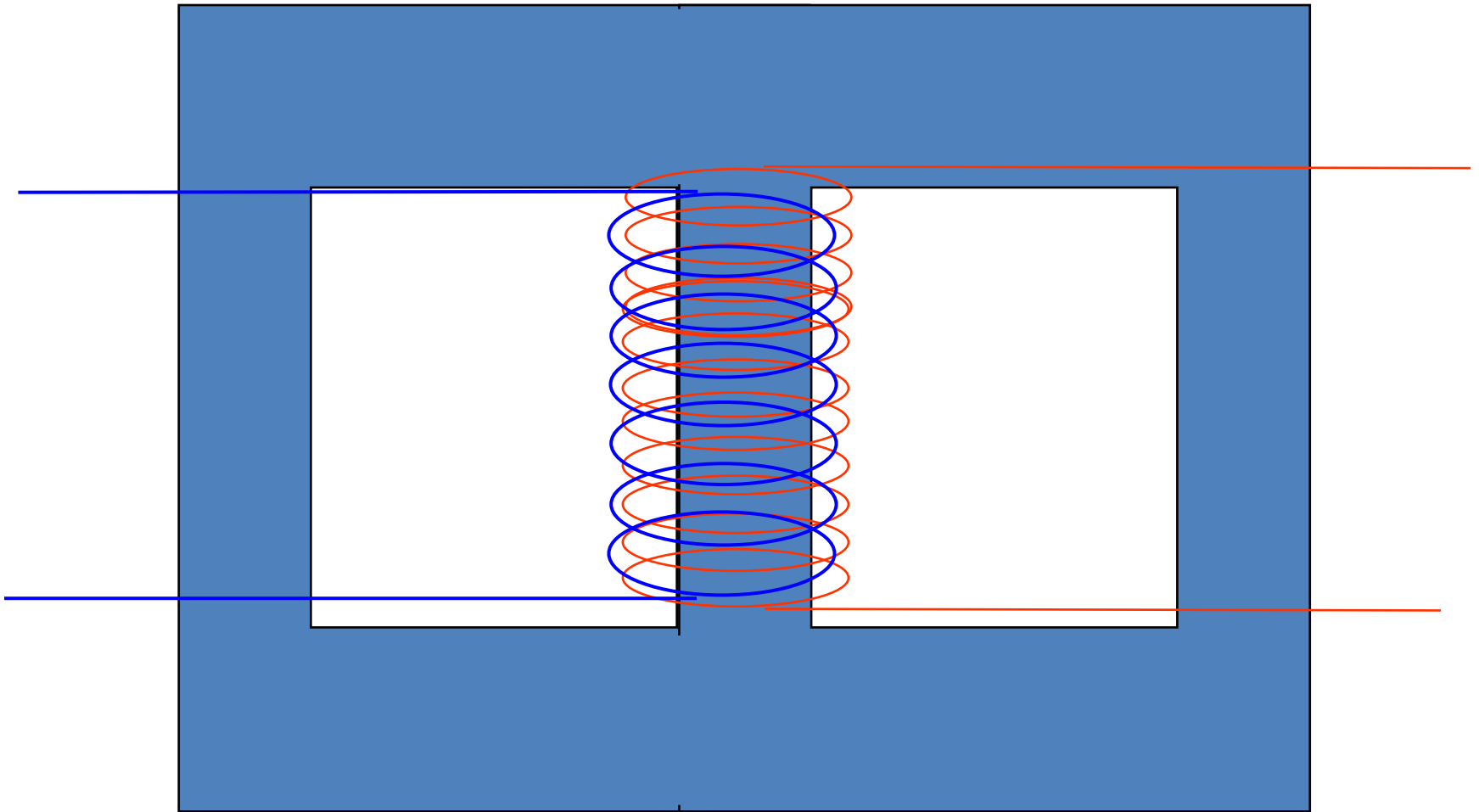
Πυρήνες Μ/Σ

- Οι πυρήνες των μετασχηματιστών είναι κατασκευασμένοι από μαγνητικό υλικό, συνήθως χαλύβδινα ελάσματα μονωμένα μεταξύ τους , για τον περιορισμό των μαγνητικών απωλειών λόγω δινορρευμάτων (ρεύματα Eddy).

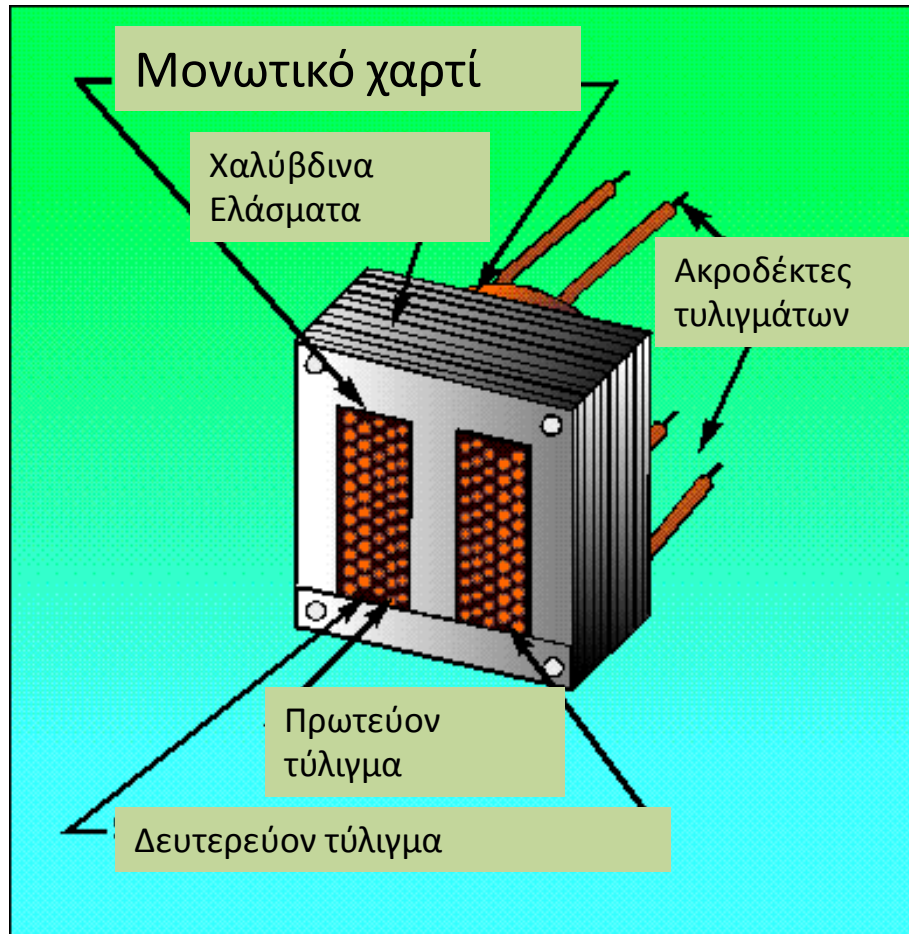
Μετασχηματιστής τύπου πυρήνα ή Π



Μετασχηματιστής τύπου μανδύα



Τελική μορφή (τομή των πηνίων)



Αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή

- Τα δύο πηνία που απαρτίζουν τον Μ/Σ, όπως είδαμε, βρίσκονται σε τέτοια θέση ώστε η μαγνητική ροή Φ του ενός να εμπλέκεται στο άλλο τύλιγμα.
- Εάν λοιπόν εφαρμόσουμε εναλλασσόμενη τάση στο πρωτεύον τύλιγμα, δημιουργείται **μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή**, η οποία εμπλέκεται με το δευτερεύον τύλιγμα και επάγει τάση σε αυτό. (νόμος Faraday **$e = N \cdot d\Phi/dt$**):
- όπου N ο αριθμός σπειρών του τυλίγματος, $d\Phi/dt$ ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής και e η τάση που επάγεται στο δευτερεύον.

Λόγος μετασχηματισμού ή σχέση μεταφοράς

- Οι τάσεις στα άκρα των τυλιγμάτων είναι ανάλογες με τους αριθμούς των σπειρών των τυλιγμάτων:

- $\alpha = U_p / U_s = N_p / N_s$

α \longrightarrow ο λόγος μετασχηματισμού

U_p \longrightarrow η τάση του πρωτεύοντος

U_s \longrightarrow η τάση του δευτερεύοντος

N_p \longrightarrow ο αριθμός σπειρών του πρωτεύοντος

N_s \longrightarrow ο αριθμός σπειρών του δευτερεύοντος

Παράδειγμα υπολογισμού τάσεων ή σπειρών ενός μετασχηματιστή από τον λόγο μετασχηματισμού

- Παράδειγμα 1

Ένας μετασχηματιστής μετατρέπει την τάση 240 V που παίρνει στο πρωτεύον τύλιγμα σε τάση 24 V στο δευτερεύον. Αν το δευτερεύον έχει 10 σπείρες, πόσες σπείρες έχει το πρωτεύον;

- Λύση

- Από τον λόγο των τάσεων $U_p / U_s = 240 / 24 = 10$
- Άρα και $N_p / N_s = 10 \rightarrow N_p = N_s \cdot 10 \rightarrow N_p = 10 \cdot 10 \rightarrow N_p = 100$ σπείρες

- Παράδειγμα 2

- Ένας μετασχηματιστής παίρνει τάση 240 V και έχει 500 σπείρες στο πρωτεύον τύλιγμα. Αν το δευτερεύον έχει 100 σπείρες, πόση τάση δίνει;

- Λύση

- Από τον λόγο των σπειρών $N_p / N_s = 500 / 100 = 5$
- Άρα και $U_p / U_s = 5 \rightarrow U_s = U_p / 5 \rightarrow U_s = 240 / 5 \rightarrow U_s = 48$ V

Λόγος ρευμάτων

- Σε έναν ιδανικό μετασχηματιστή δεχόμαστε ότι δεν υπάρχουν απώλειες. Άρα η ισχύς εισόδου είναι ίδια με την ισχύ εξόδου

$$S_p = S_s$$

(φαινομένη ισχύς στο πρωτεύον) $S_p = U_p \cdot I_p$ (VA)

(φαινομένη ισχύς στο δευτερεύον) $S_s = U_s \cdot I_s$ (VA)

$$U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s \rightarrow U_p / U_s = I_s / I_p$$

Λόγος ρευμάτων (συνέχεια)

- Παράδειγμα 3
- Ένας μετασχηματιστής με λόγο σπειρών 1:12 , δίνει ρεύμα εντάσεως 3 A σε φορτίο που συνδέεται στο δευτερεύον τύλιγμα του. Ποιο είναι το ρεύμα του πρωτεύοντος του;
- Λύση
- $\alpha = U_p / U_s = N_p / N_s = I_s / I_p = 1 / 12 \rightarrow I_p = 12 \cdot I_s \rightarrow$
- $\rightarrow I_p = 12 \cdot 3 \rightarrow I_p = 36 \text{ A}$

Ισχύς μετασχηματιστή

$$S_p = U_p \cdot I_p \text{ (VA) και } S_s = U_s \cdot I_s \text{ (VA)}$$

Επειδή η ισχύς σε ένα κύκλωμα εναλλασσομένου ρεύματος εξαρτάται από τον συντελεστή ισχύος του φορτίου (συνφ), υπάρχουν και η πραγματική ισχύς καθώς και η άεργος ισχύς.

- Πραγματική ισχύς :

$$P_p = U_p \cdot I_p \cdot \text{συνφ (W) και } P_s = U_s \cdot I_s \cdot \text{συνφ (W)}$$

και η άεργος ισχύς:

$$Q_p = U_p \cdot I_p \cdot \text{ημφ (VAR) και } Q_s = U_s \cdot I_s \cdot \text{ημφ (VAR)}$$

Βαθμός απόδοσης μετασχηματιστή

- Βαθμός απόδοσης ενός μετασχηματιστή καλείται ο λόγος της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου: $\% \eta = P_s / P_p \cdot 100$
- Επειδή ένας πραγματικός μετασχηματιστής έχει απώλειες στους αγωγούς ($P_{\text{ηλεκτρικές}}$) και στον πυρήνα ($P_{\text{μαγνητικές}}$), ο βαθμός απόδοσης δεν μπορεί να γίνει 100%.
- $P_s = P_p - P_{\text{απωλειών}}$

Απώλειες μετασχηματιστή

- Οι **ηλεκτρικές απώλειες ή απώλειες χαλκού** αποτελούνται από τις ηλεκτρικές απώλειες στο πρωτεύον και τις ηλεκτρικές απώλειες στο δευτερεύον:
- $P_{\text{ηλεκτρικές}} = I_p^2 \cdot R_p + I_s^2 \cdot R_s$
- Οι **μαγνητικές απώλειες** προκαλούνται από δύο παράγοντες :
- 1) απώλειες υστέρησης και
- 2) απώλειες δινορρευμάτων

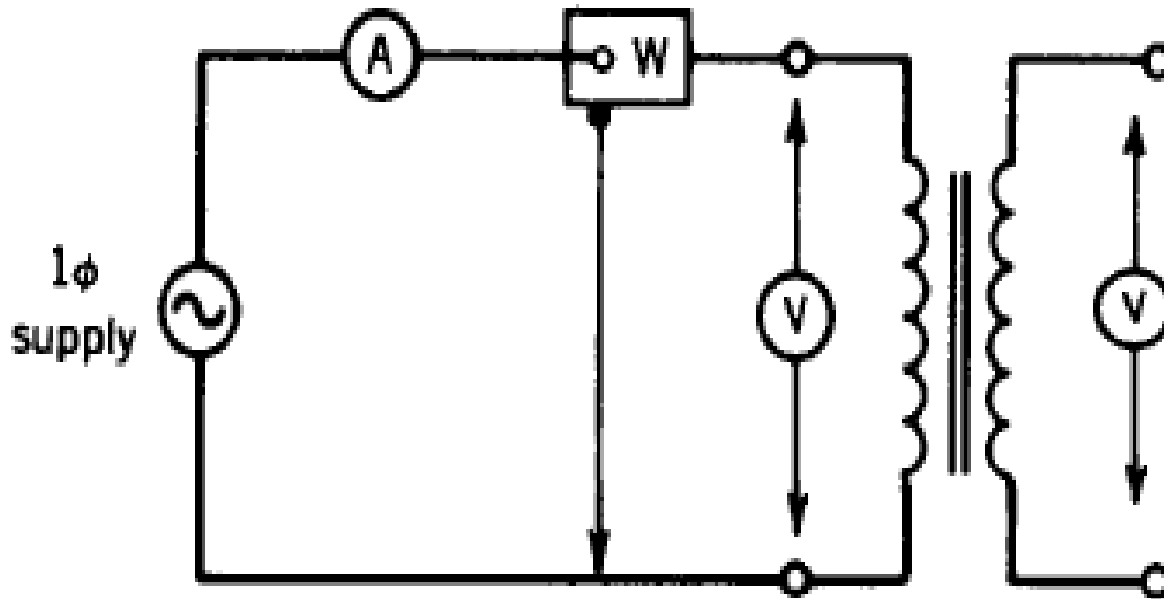
Μαγνητικές απώλειες

- Οι **απώλειες υστέρησης** προκαλούνται από τον παραμένοντα μαγνητισμό ο οποίος πρέπει να υπερνικηθεί κάθε φορά που αλλάζει η πολικότητα της τάσης. Όσο πιο σκληρό είναι το υλικό του σιδηροπυρήνα τόσο περισσότερο παραμένοντα μαγνητισμό έχει και άρα περισσότερες απώλειες υστέρησης.
- Τα ελάσματα του σιδηροπυρήνα κατασκευάζονται από πυριτιούχο χάλυβα για τον περιορισμό των απωλειών υστέρησης.
- Τα **δινορρέυματα** ή ρεύματα **Eddy**, είναι ρεύματα που δημιουργούνται στο εσωτερικό του πυρήνα και τον θερμαίνουν . Μειώνουμε αυτές τις απώλειες με ελασματοποίηση του πυρήνα και μόνωση αυτών δημιουργώντας έτσι μεγαλύτερη αντίσταση στην ροή αυτών των ρευμάτων.

Λειτουργία των μετασχηματιστών ΕΝ ΚΕΝΩ (χωρίς φορτίο)

- Όταν ο μετασχηματιστής λειτουργεί εν κενώ, ένα μικρό μόνο ποσοστό του ονομαστικού ρεύματος περνάει από το πρωτεύον τύλιγμα.
- Από το δευτερεύον τύλιγμα δεν περνάει καθόλου ρεύμα και άρα ισχύει:
- $I_s = 0$ $I_s^2 \cdot R_s = 0$
- $P_s = 0$ $I_p^2 \cdot R_p \approx 0$ και άρα
- $P_{\text{ηλεκτρικές}} = I_p^2 \cdot R_p + I_s^2 \cdot R_s \approx 0$
- Κατά την λειτουργία χωρίς φορτίο λοιπόν, θα μπορούσαμε με την βοήθεια ενός βαττομέτρου να μετρήσουμε τις μαγνητικές απώλειες.

Πείραμα εν κενώ (συνδεσμολογία)



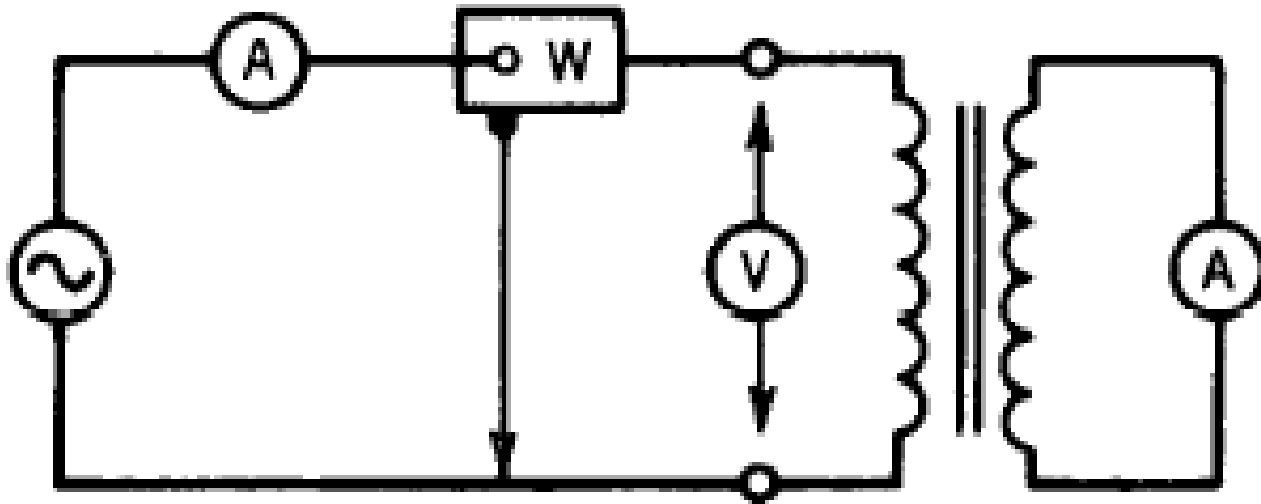
Διαδικασία μετρήσεων

- Δίνουμε την ονομαστική τάση του πρωτεύοντος και μετράμε :
- U_p , I_p , P_p και U_s .

U_p (V)	
I_p (A)	
P_p (W)	
U_s (V)	

- Κατόπιν υπολογίζουμε:
- 1) τον λόγο μετασχηματισμού α
- 2) το $\cos\phi$ και
- 3) τις μαγνητικές απώλειες P_{fe}

Πείραμα βραχυκύκλωσης (συνδεσμολογία)



Διαδικασία μετρήσεων

- Μια αρκετά χαμηλή τάση εισόδου εφαρμόζεται στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή. Αυτή η τάση ρυθμίζεται έως ότου το ρεύμα στο δευτερεύον τύλιγμα γίνει ίσο με το ονομαστικό του. Η τάση εισόδου, το ρεύμα, και η ισχύς μετριοούνται πάλι.

Κατόπιν υπολογίζεται η τάση βραχυκύκλωσης :

$$U_{SC} \% = U_{p.s.c} / U_p \cdot 100$$

$U_{p.s.c}$	
$I_{p.s.c}$	
$P_{p.s.c}$	
$I_{s.s.c}$	

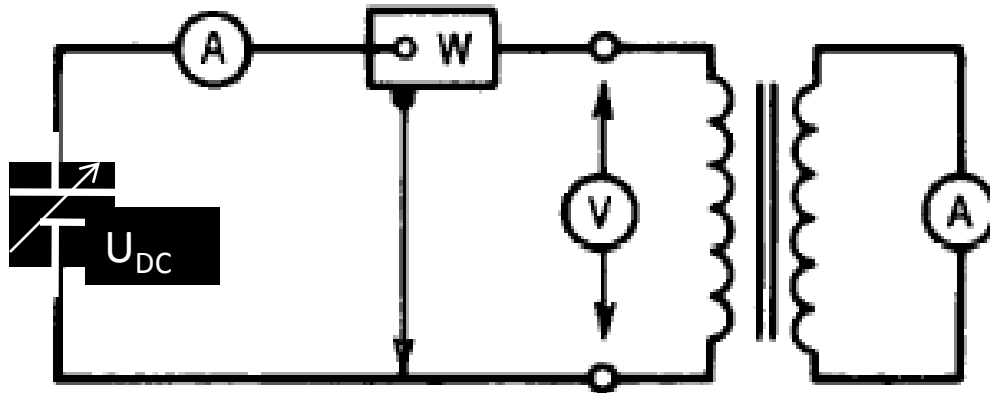
Οι μέγιστες ηλεκτρικές απώλειες είναι:

$$P_{cu} \approx P_{p.s.c}$$

Διαδικασία

- Δεδομένου ότι η τάση εισόδου είναι χαμηλή, όλη η πτώση τάσης στο μετασχηματιστή οφείλεται στα στοιχεία σειράς στο κύκλωμα. Το μέγεθος της σύνθετης αντίστασης που αναφέρεται στην αρχική πλευρά του μετασχηματιστή είναι:
- $Z_{sc} = U_{sc} / I_{sc}$
- $Z_{sc} = R_{sc} + jX_{sc}$
- Για να βρούμε την R_{sc} πρέπει να συνδέσουμε το κύκλωμα σε DC τάση τροφοδοσίας και να την μετρήσουμε καθώς και το DC ρεύμα που διαρρέει σε αυτήν την περίπτωση το πρωτεύον τύλιγμα

Υπολογισμός της ωμικής και της επαγωγικής αντίστασης



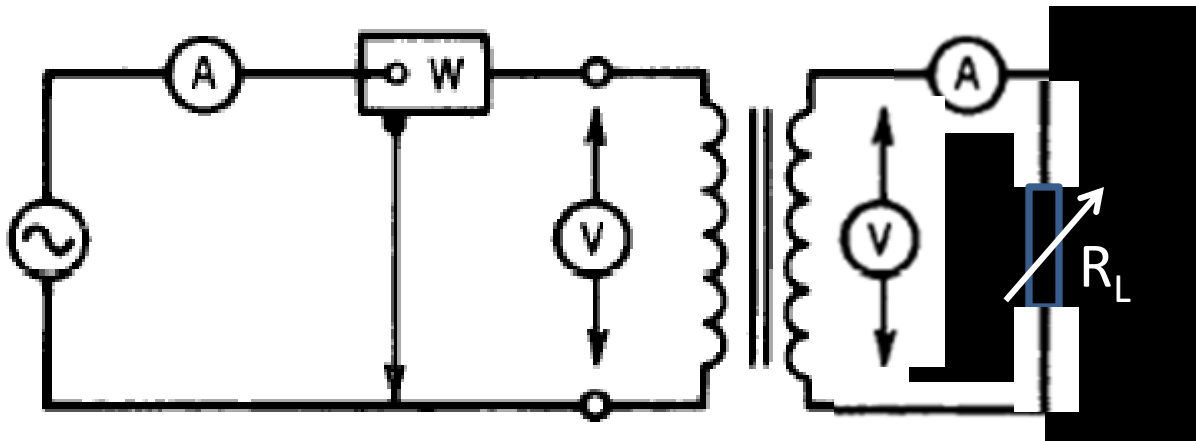
$Z_{sc} (\Omega)$	
$R_{sc} (\Omega)$	
$X_{sc} (\Omega)$	

$$R_{sc} = U_{DC} / I_{DC}$$

$$Z_{sc} = R_{sc} + jX_{sc}$$

$$X_{sc} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{sc}^2}$$

Λειτουργία με φορτίο



Μεταβάλλοντας την αντίσταση φορτίου R_L , καταγράφουμε τις ενδείξεις των οργάνων και εξάγουμε συμπεράσματα για όλα τα μεγέθη.

Μετρήσεις

Μέγεθος	R_{L1}	R_{L2}	R_{L3}
U_p (V)			
I_p (A)			
P_p (W)			
I_s (A)			
U_s (V)			
$\cos\phi$			
P_s (W)			
$P_{\text{απωλειών}}$ (W)			
η (%)			