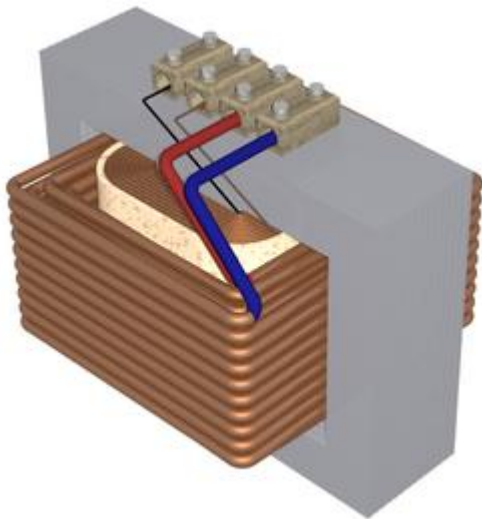


Μετασχηματιστής

Ο **μετασχηματιστής** είναι μια συσκευή η οποία μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια μεταξύ δύο κυκλωμάτων, μέσω επαγωγικά συζευγμένων ηλεκτρικών αγωγών. Οι μετασχηματιστές είναι ανάμεσα στις πιο αποδοτικές ηλεκτρικές μηχανές, με κάποιες μεγάλες μονάδες να αποδίδουν έως και το 99.75% της ισχύος εισόδου τους στην έξοδό τους. Οι μετασχηματιστές κατασκευάζονται σε ευρεία γκάμα μεγεθών, που κυμαίνονται από μέγεθος νυχιού (όπως αυτοί που βρίσκονται μέσα σε ένα μικρόφωνο) έως τεράστιες μονάδες με βάρος εκατοντάδων τόνων που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση τμημάτων των εθνικών δικτύων ηλεκτροδότησης. Όλοι λειτουργούν με βάση τις ίδιες αρχές, αν και υπάρχει πληθώρα διαφορετικών υλοποιήσεων.



Μετασχηματιστής

Ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στο πρώτο κύκλωμα (το "πρωτεύον") δημιουργεί ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο επάγει μεταβαλλόμενη τάση στο δεύτερο κύκλωμα (το "δευτερεύον"). Το φαινόμενο αυτό καλείται αμοιβαία επαγωγή.

Αν ένας ηλεκτρικός καταναλωτής είναι συνδεδεμένος στο δευτερεύον κύκλωμα, τότε θα υπάρξει ροή ηλεκτρικού φορτίου στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή. Αυτό το φορτίο θα μεταφέρει ενέργεια από το πρωτεύον κύκλωμα, στον καταναλωτή που είναι συνδεδεμένος στο δευτερεύον κύκλωμα.

Η επαγόμενη τάση V_S στο δευτερεύον ενός ιδανικού μετασχηματιστή, είναι ανάλογη της τάσης V_P στο πρωτεύον κατά ένα συντελεστή ίσο με το λόγο του αριθμού N των περιελίξεων του σύρματος στα αντίστοιχα τυλίγματα:

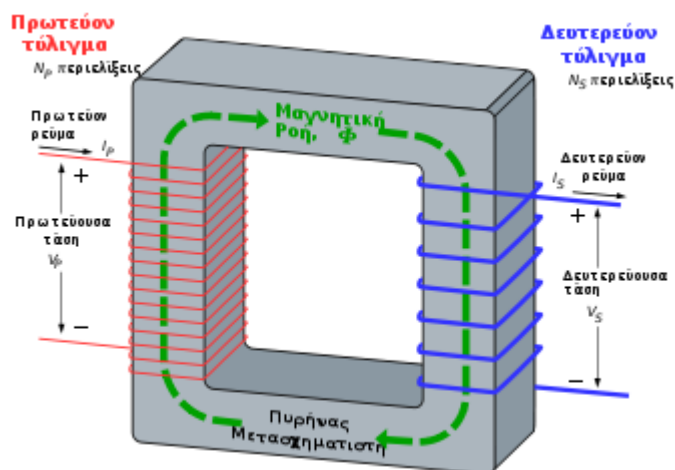
$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Οι δείκτες S,P προέρχονται από τις αγγλικές λέξεις *secondary, primary*, οι οποίες σημαίνουν αντίστοιχα *δευτερεύον* και *πρωτεύον*.

Με κατάλληλη επιλογή του αριθμού των περιελίξεων, ένας μετασχηματιστής επιτρέπει την ανύψωση μιας εναλλασσόμενης τάσης (αν $N_S > N_P$) ή τον υποβιβασμό της (αν $N_S < N_P$).

Βασικές αρχές

Ο μετασχηματιστής βασίζεται σε δύο αρχές: πρώτον, ότι ένα ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να παράγει ένα μαγνητικό πεδίο (ηλεκτρομαγνητισμός) και, δεύτερον, ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο σε ένα τυλιγμένο σύρμα ("τύλιγμα"), επάγει διαφορά δυναμικού στα άκρα του τυλίγματος (ηλεκτρομαγνητική επαγωγή). Μεταβάλλοντας το ρεύμα στο πρωτεύον τύλιγμα, αλλάζει η ένταση του μαγνητικού του πεδίου. Εφόσον το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο εκτείνεται και στο δευτερεύον τύλιγμα, επάγεται διαφορά δυναμικού στα άκρα του δευτερεύοντος.



Ένας ιδανικός μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης με επισημασμένη την μαγνητική ροή στον πυρήνα του

Στο σχήμα φαίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα μετασχηματιστή. Ηλεκτρικό ρεύμα περνάει μέσα από το πρωτεύον τύλιγμα δημιουργώντας μαγνητικό πεδίο. Τόσο το πρωτεύον όσο και το δευτερεύον τύλιγμα περιελίσσονται γύρω από ένα μαγνητικό πυρήνα πολύ υψηλής μαγνητικής διαπερατότητας, π.χ. από σίδηρο. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι όσο το δυνατόν περισσότερες γραμμές του μαγνητικού πεδίου που παράγει το πρωτεύον ρεύμα, βρίσκονται εντός του πυρήνα και περνούν τόσο από το πρωτεύον όσο και το δευτερεύον τύλιγμα.

Νόμος επαγωγής

Το δυναμικό που επάγεται στα άκρα του δευτερεύοντος μπορεί να υπολογιστεί από το νόμο της επαγωγής του Φάραντεϊ, ο οποίος δηλώνει πως:

$$V_S = N_S \frac{d\Phi}{dt}$$

όπου V_S είναι η στιγμιαία τάση, N_S είναι ο αριθμός των περιελίξεων (στροφών) στο δευτερεύον και Φ η μαγνητική ροή σε μία περιέλιξη του τυλίγματος. Αν οι στροφές του τυλίγματος είναι προσανατολισμένες κάθετα προς τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου, η ροή είναι το γινόμενο της έντασης B του μαγνητικού πεδίου και της επιφάνειας A μέσα από την οποία διέρχεται. Η επιφάνεια είναι σταθερή και ίση με την διατομή του πυρήνα του μετασχηματιστή, ενώ το μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται με το χρόνο, ανάλογα με την διέγερση του πρωτεύοντος.

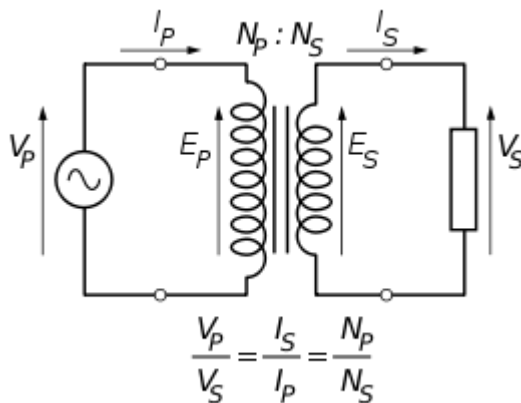
Καθώς σε έναν ιδανικό μετασχηματιστή η ροή που περνά μέσα τόσο από το πρωτεύον όσο και από το δευτερεύον είναι ίδια, η στιγμιαία τάση στα άκρα του πρωτεύοντος τυλίγματος ισούται με:

$$V_P = N_P \frac{d\Phi}{dt}$$

Αν διαιρέσουμε τις δύο πιο πάνω σχέσεις κατά μέλη, παίρνουμε την βασική εξίσωση για την ανύψωση ή τον υποβιβασμό της τάσης:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Ιδανική εξίσωση ισχύος



Ο ιδανικός μετασχηματιστής ως στοιχείο κυκλώματος

Αν το δευτερεύον είναι συνδεδεμένο σε φορτίο που επιτρέπει την ροή ρεύματος, τότε έχουμε μετάδοση ισχύος από το πρωτεύον κύκλωμα στο δευτερεύον κύκλωμα. Ιδανικά ο μετασχηματιστής έχει τέλεια αποδοτικότητα, δηλαδή όλη η εισερχόμενη ενέργεια μεταφέρεται από το πρωτεύον, μέσω του μαγνητικού πεδίου, στο δευτερεύον. Αν αυτή η συνθήκη ισχύει, η εισερχόμενη ηλεκτρική ισχύς πρέπει να ισούται με την εξερχόμενη ισχύ.

$$P_{in} = I_P V_P = P_{out} = I_S V_S$$

δίνοντας την εξίσωση του ιδανικού μετασχηματιστή

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

Αν η τάση αυξηθεί (ανυψωθεί) ($V_S > V_P$), τότε το ρεύμα μειώνεται (υποβιβάζεται) ($I_S < I_P$) κατά τον ίδιο συντελεστή. Οι μετασχηματιστές έχουν υψηλή αποδοτικότητα, οπότε αυτός ο τύπος αποτελεί ρεαλιστική προσέγγιση.

Η αντίσταση στο ένα κύκλωμα μετασχηματίζεται ανάλογα με το τετράγωνο του λόγου περιελίξεων.^[1] Για παράδειγμα, αν μια αντίσταση Z_S είναι συνδεδεμένη στα άκρα του

δευτερεύοντος, εμφανίζεται στο πρωτεύον να έχει αντίσταση $Z_S \left(\frac{N_P}{N_S}\right)^2$. Αυτή η σχέση είναι αμφίδρομη, οπότε η αντίσταση Z_P του πρωτεύοντος εμφανίζεται στο δευτερεύον ως $Z_P \left(\frac{N_S}{N_P}\right)^2$.

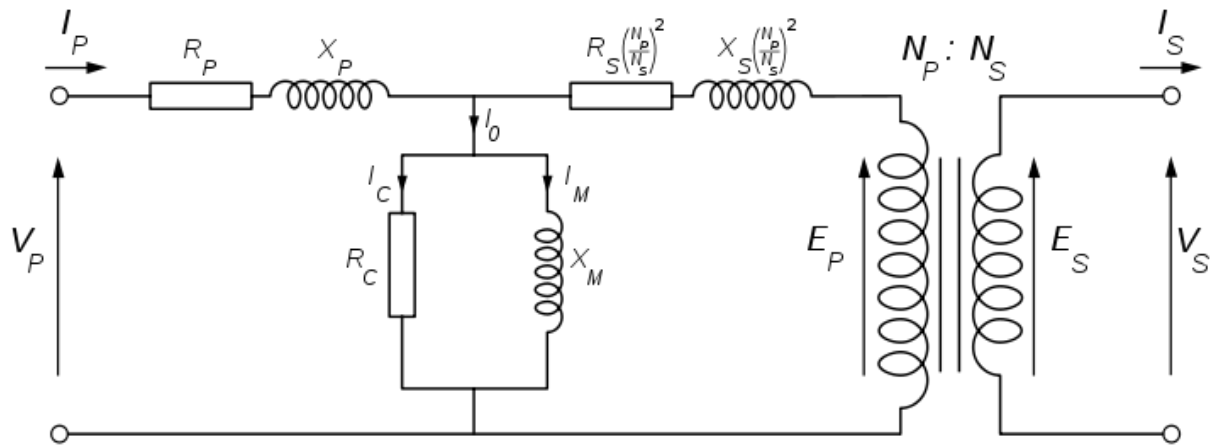
Ισοδύναμο κύκλωμα

Οι φυσικοί περιορισμοί των πραγματικών μετασχηματιστών μπορούν να συνοψιστούν σε ένα μοντέλο ισοδύναμου κυκλώματος, το οποίο "χτίζεται" γύρω από το μοντέλο του ιδανικού, χωρίς απώλειες, μετασχηματιστή. Η απώλεια ισχύος στα τυλίγματα εξαρτάται από το ρεύμα και αναπαρίσταται με τις σε σειρά συνδεδεμένες αντιστάσεις R_P και R_S . Η απώλεια ροής οδηγεί στην πτώση κλάσματος της εφαρμοζόμενης τάσης, πτώση η οποία δεν συνεισφέρει στην αμοιβαία σύζευξη και, κατά συνέπεια, μπορεί να μοντελοποιηθεί με τις επαγωγικές αντιδράσεις X_P και X_S , συνδεδεμένες σε σειρά με την τέλεια συζευγμένη περιοχή.

Οι απώλειες του πυρήνα οφείλονται κυρίως στην υστέρηση και στις επιπτώσεις των δινορευμάτων στον πυρήνα, ενώ είναι ανάλογα του τετραγώνου της ροής του πυρήνα για λειτουργία σε συγκεκριμένη συχνότητα. Καθώς η ροή στον πυρήνα είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης, οι απώλειές του μπορούν να εκφραστούν με μια αντίσταση R_C τοποθετημένη παράλληλα με τον ιδανικό μετασχηματιστή.

Ένας πυρήνας με πεπερασμένη διαπερατότητα απαιτεί ένα ρεύμα μαγνητισμού I_M για να διατηρήσει την αμοιβαία ροή σε αυτόν. Το ρεύμα μαγνητισμού είναι συμφασικό με τη ροή. Φαινόμενα κορεσμού οδηγούν στην μη γραμμικότητα της σχέσης μεταξύ των δύο, για λόγους απλότητας όμως αυτό το φαινόμενο τείνει να αγνοείται στα περισσότερα ισοδύναμα κυκλώματα. Με ένα ημιτονοειδές τροφοδοτικό, η ροή του πυρήνα υστερεί της επαγόμενης ΗΕΔ κατά 90° και αυτό το φαινόμενο μπορεί να μοντελοποιηθεί ως αντίδραση μαγνητισμού X_M παράλληλα με το στοιχείο απώλειας του πυρήνα. Οι R_C και X_M μερικές φορές αναφέρονται από κοινού ως ο "κλάδος μαγνητισμού" του μοντέλου. Αν το δευτερεύον είναι ανοιχτοκυκλωμένο, το ρεύμα I_0 που λαμβάνουμε στον κλάδο μαγνητισμού, αναπαριστά το ρεύμα κενού φορτίου του μετασχηματιστή.

Η δευτερεύουσα σύνθετη αντίσταση R_S και X_S συχνά ανάγεται στην πλευρά του πρωτεύοντος, αφού πολλαπλασιαστεί με τον τελεστή $\left(\frac{N_P}{N_S}\right)^2$.



Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή, με τις δευτερεύουσες σύνθετες αντιστάσεις ανηγμένες στην πλευρά του πρωτεύοντος

Η ανάλυση μπορεί να απλοποιηθεί περαιτέρω μεταφέροντας τον κλάδο μαγνητισμού στα αριστερά της σύνθετης αντίστασης του πρωτεύοντος, μια έμμεση παραδοχή ότι το ρεύμα μαγνητισμού είναι χαμηλό, και με την άθροιση στη συνέχεια των σύνθετων αντιστάσεων του πρωτεύοντος και του ανηγμένου δευτερεύοντος, καταλήγοντας σε μια ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση.

Οι παράμετροι του ισοδύναμου κυκλώματος ενός μετασχηματιστή μπορούν να υπολογιστούν από τα αποτελέσματα δύο δοκιμών στον μετασχηματιστή: της δοκιμής ανοιχτού κυκλώματος και της δοκιμής βραχυκυκλώματος.