

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1593

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΑΣΗΣ
(CONSTANT VOLTAGE TRANSFORMER)**

ΚΟΛΛΥΡΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΜ:5934

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Παραδοσιακά, ο δυτικός κόσμος έχει συνηθίσει σε σταθερά υψηλά πρότυπα ποιότητας ενέργειας. Παρόλα αυτά, οι διακυμάνσεις που συμβαίνουν στις καθημερινές πηγές τροφοδοσίας προκαλούν λειτουργικά προβλήματα σε πολλές και διαφορετικές συσκευές. Υπάρχει λοιπόν ακόμα και στις μέρες μας η ανάγκη για χρήση σταθεροποιητών τάσης και μάλιστα είναι επιτακτική η ανάγκη για διατάξεις αξιόπιστες σε περιπτώσεις όχι μόνο διακύμανσης τάσης, αλλά και υπερτάσεων λόγω στιγμιαίων σφαλμάτων, κεραυνών, κτλ. Μια πολύ αξιόπιστη διάταξη προστασίας από τέτοια φαινόμενα είναι ο μετασχηματιστής σταθερής τάσης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παραδοσιακά, ο δυτικός κόσμος έχει συνηθίσει σε σταθερά υψηλά πρότυπα ποιότητας ενέργειας. Παρόλα αυτά, οι διακυμάνσεις που συμβαίνουν στις καθημερινές πηγές τροφοδοσίας προκαλούν λειτουργικά προβλήματα σε πολλές και διαφορετικές συσκευές. Υπάρχει λοιπόν ακόμα και στις μέρες μας η ανάγκη για χρήση σταθεροποιητών τάσης και μάλιστα είναι επιτακτική η ανάγκη για διατάξεις αξιόπιστες σε περιπτώσεις όχι μόνο διακύμανσης τάσης, αλλά και υπερτάσεων λόγω στιγμιαίων σφαλμάτων, κεραυνών, κτλ. Μια πολύ αξιόπιστη διάταξη προστασίας από τέτοια φαινόμενα είναι ο μετασχηματιστής σταθερής τάσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται τα κατασκευαστικά στοιχεία του μετασχηματιστή καθώς και τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά. Επίσης αναλύονται και οι απώλειες που παρουσιάζει ένας μετασχηματιστής.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο μετασχηματιστής σταθερής τάσης. Πιο συγκεκριμένα αναλύεται η δομή του, τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά και αναφέρονται τα πεδία εφαρμογής του. Επίσης πραγματοποιείται μια σύγκριση σε σχέση με τον κλασσικό μετασχηματιστή.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι γενικές αρχές που διέπουν το σχεδιασμό του πυρήνα του μετασχηματιστή. Πιο συγκεκριμένα γίνεται λόγος για τα κριτήρια και τους περιορισμούς που συναντά ο σχεδιαστής κατά το σχεδιασμό.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται ο σχεδιασμός του μετασχηματιστή σταθερής τάσης, όπου παρουσιάζεται βήμα-βήμα ο υπολογισμός όλων των στοιχείων του πρωτεύοντος, του δευτερεύοντος και του σιδηροπυρήνα.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύγκριση του μετασχηματιστή σταθερής τάσης σε σχέση με άλλους σταθεροποιητές.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	II
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	5
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ.....	5
1.1 Γενικές αρχές λειτουργίας μετασχηματιστή.....	5
1.2 Ο σιδηροπυρήνας του μετασχηματιστή - κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.....	7
1.3 Ισοδύναμο Πραγματικού Μονοφασικού Μετασχηματιστή για τη μόνιμη Κατάσταση.....	9
1.4 Ισοδύναμο Πραγματικού Μονοφασικού Μετασχηματιστή για τη μόνιμη Κατάσταση.....	9
1.5 Απώλειες του μετασχηματιστή.....	10
1.5.1 Ροή Σκέδασης.....	10
1.5.2 Απώλειες Χαλκού.....	11
1.5.3 Απώλειες υστέρησης.....	13
1.5.4 Απώλειες Δινορευμάτων.....	14
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	17
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	17
2.1 Αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή σταθερής τάσης.....	17
2.2 Ηλεκτρικές παράμετροι ρυθμιστή γραμμής CVT.....	18
2.3 Εφαρμογές του CVT.....	21
2.4 Πλεονεκτήματα του CVT σε σχέση με τον κλασσικό μετασχηματιστή.....	21
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	23
ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΠΗΡΗΝΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ.....	23
3.1 Περιορισμοί κατά τη σχεδίαση των μετασχηματιστών.....	23
3.2 Δυνατότητα χειρισμού ισχύος.....	25
3.3 Ισχύς εξόδου, P_o έναντι της φαινόμενης ισχύος, P_t	25
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	29
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΝΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	29
4.1 Μετασχηματιστής σταθερής τάσης, εξισώσεις σχεδίασης.....	29
4.2 Μετασχηματιστής σταθερής τάσης, παράδειγμα σχεδίασης.....	33

4.3	Ανακεφαλαίωση.....	42
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	44
	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΤΑΣΗΣ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.....	44
5.1	Μερικά γνωστά τροφοδοτικά.....	44
5.2	Οι χρήσεις ενός σταθεροποιητή.....	45
5.3	Τα οφέλη του CVT έναντι άλλων.....	45
5.4	Το συμπέρασμα.....	46
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	47
7	47

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πολύ καλή προστασία ισχύος προέρχεται από έναν ειδικό τύπο μετασχηματιστή γνωστό ως μετασχηματιστή σταθερής τάσης (CVT). Παρέχοντας ασύγκριτη απόδοση αξιοπιστίας και λειτουργίας, οι αιχμές και ο ηλεκτρικός θόρυβος εξουδετερώνονται με υψηλή εξασθένηση (75dB).

Επιπλέον, το κύκλωμα εισόδου (ή πρωτεύον) και το κύκλωμα εξόδου (ή δευτερεύον) του μετασχηματιστή είναι φυσικά διαχωρισμένα. Ο διαχωρισμός αυτός, γνωστός και ως γαλβανική απομόνωση, εξασφαλίζει ότι δεν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ του δικτύου και του φορτίου.

Συνεπώς, η CVT παρέχει ένα αδιαπέραστο εμπόδιο στις αιχμές και τον ηλεκτρικό θόρυβο υψηλής συχνότητας. Αυτό το φράγμα λειτουργεί επίσης σε αντίστροφη λειτουργία για να αποτρέψει ένα «θορυβώδες» φορτίο από τη μόλυνση του ίδιου του τροφοδοτικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

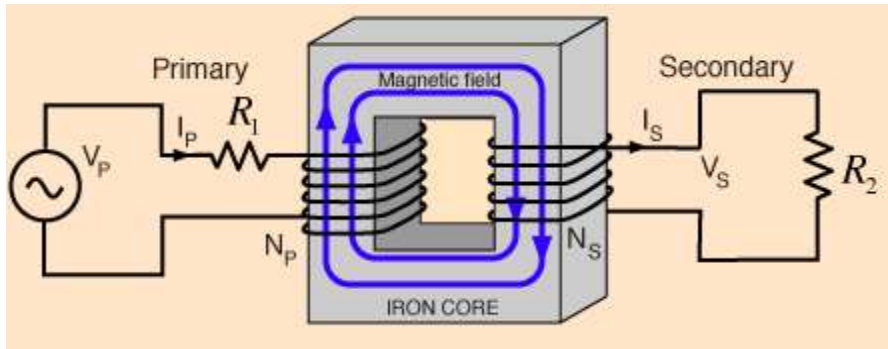
1.1 Γενικές αρχές λειτουργίας μετασχηματιστή

Ο μετασχηματιστής είναι μια ηλεκτρική μηχανή η οποία μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτρικών αγωγών μεταξύ δύο επαγωγικά συζευγμένων ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Οι μετασχηματιστές είναι μία από τις 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 του εθνικού δικτύου ηλεκτροδότησης.

Η αρχή λειτουργίας τους είναι απλή: 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"). 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 (s:secondary) στο δευτερεύον ενός ιδανικού μετασχηματιστή, είναι ανάλογη της τάσης V_p (p:primary) στο πρωτεύον κατά ένα συντελεστή ίσο με το λόγο του αριθμού N των περιελίξεων του σύρματος στα

αντίστοιχα τυλίγματα:
$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

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 $N_s < N_p$).



Σχήμα 1.1: Ένας ιδανικός μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης με επισημασμένη την μαγνητική ροή στον πυρήνα του

Η λειτουργία του μετασχηματιστή βασίζεται σε δύο αρχές:

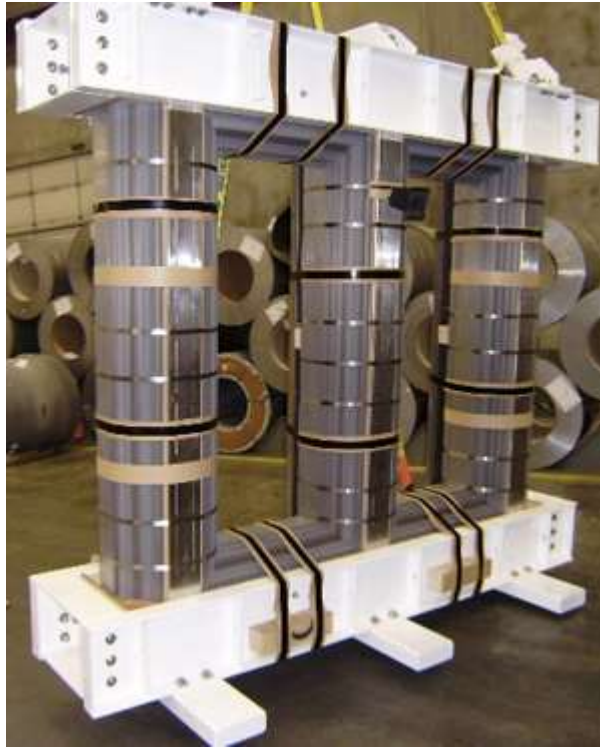
- πρώτον, ότι ένα ηλεκτρικό ρεύμα διερχόμενο από αγωγό μπορεί να παράγει μαγνητικό πεδίο (ηλεκτρομαγνητισμός) και,
- δεύτερον, ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο σε επαφή με ένα τυλιγμένο σύρμα ("τύλιγμα"), επάγει διαφορά δυναμικού στα άκρα του τυλίγματος (ηλεκτρομαγνητική επαγωγή). Μεταβάλλοντας 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.

1.2 Ο σιδηροπυρήνας του μετασχηματιστή - κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Οι απώλειες ενός σιδηροπυρήνα περιορίζονται με την επιλογή κατάλληλου υλικού το οποίο έχει κύκλο υστέρησης με μικρό εμβαδόν. Πρέπει επίσης να έχουν μεγάλη ειδική αντίσταση ρ για τον περιορισμό των δινορευμάτων. Οι απώλειες αυτές περιορίζονται κατασκευάζοντας τον πυρήνα από λεπτά πυριτιούχα ελάσματα, πάχους 0,3 - 0,5 cm ή από μίγμα σκόνης σιδήρου με μονωτικό υλικό που είναι μονωμένα από την μία όψη τους.

Ο πυρήνας του μετασχηματιστή μπορεί να είναι είτε τύπος μανδύα, είτε τύπος πυρήνα. Ο τύπος μανδύα συνηθίζεται σε μετασχηματιστές πολύ μεγάλης ισχύος. Τα πηνία πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγονται στο κεντρικό στέλεχος αυτού, η δε όλη περιέλιξη προφυλάσσεται από δύο απέναντι στελέχη.

Στους μετασχηματιστές με τύπο πυρήνα τα πηνία πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κατανέμονται ομοιόμορφα στα δύο ακραία στελέχη και χρησιμοποιούνται συνήθως σαν μετασχηματιστές υψηλών συχνοτήτων. Οι περιελίξεις διαιρούνται εξίσου στα δύο σκέλη του πυρήνα και στον καθένα περιελίσσεται το μισό κάθε πηνίου. Η περιέλιξη χαμηλής τάσης μπαίνει κοντά στον πυρήνα και η περιέλιξη υψηλής τάσης εξωτερικά της περιέλιξης χαμηλής τάσης, για να μειωθούν οι απαιτήσεις μόνωσης.



Εικόνα 1.1:Σιδηροπυρήνας ΜΣ

Οι συνδέσεις ενός σιδηροπυρήνα γίνονται με συνδετήρες ή βίδες. Οι καλές συνδέσεις περιορίζουν τον μαγνητικό θόρυβο.

Η διάρκεια ζωής ενός μετασχηματιστή εξαρτάται περισσότερο από τις μονώσεις του και από τα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται. Τα μονωτικά υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι το εμποτισμένο χαρτί, η μίκα και ειδικό λάδι.

Τα τυλίγματα του μετασχηματιστή γίνονται συνήθως με σύρμα κυκλικής διατομής, μονωμένο με ειδικό μονωτικό υλικό. Συνήθως στην περιέλιξη τα κενά που δημιουργούνται κατά το τύλιγμα γεμίζονται από ειδικό σκληρυντικό βερνίκι.

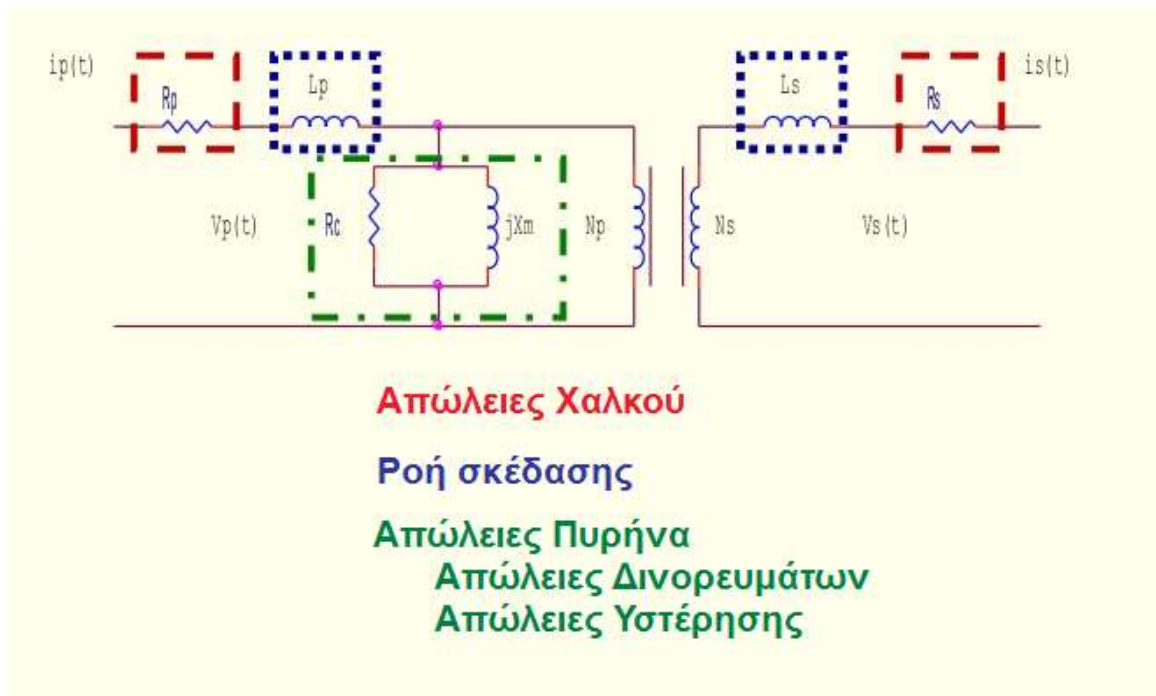
1.3 Ισοδύναμο Πραγματικού Μονοφασικού Μετασχηματιστή για τη μόνιμη Κατάσταση

Στην ενότητα αυτή εξετάζεται η λειτουργία του πραγματικού μετασχηματιστή και από τη μελέτη που θα ακολουθήσει θα εξαχθεί το βασικό ισοδύναμο κύκλωμα της λειτουργίας του. Ωστόσο επειδή η μελέτη που ακολουθεί έχει σαν στόχο την εξαγωγή των βασικών αρχών της λειτουργίας του μετασχηματιστή, η χωρητικότητα των τυλιγμάτων θεωρείται αμελητέα προς αποφυγή της πολυπλοκότητας των σχέσεων που θα εξαχθούν. Η υπόθεση αυτή είναι έγκυρη για όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, εκτός των περιπτώσεων εκείνων κατά τις οποίες η συχνότητα λειτουργίας f , έχει αρκετά υψηλές τιμές. Στις περιπτώσεις αυτές η επίδραση της χωρητικότητας μπορεί να ληφθεί υπ'όψιν με διάφορους προσεγγιστικούς τρόπους.

1.4 Ισοδύναμο Πραγματικού Μονοφασικού Μετασχηματιστή για τη μόνιμη Κατάσταση

Κατά την μελέτη του ιδανικού μονοφασικού μετασχηματιστή που προηγήθηκε, έχουν αμεληθεί εντελώς οι απώλειες που λαμβάνουν χώρα κατά την λειτουργία του πραγματικού μετασχηματιστή. Στην ενότητα αυτή εξετάζεται η λειτουργία του πραγματικού μετασχηματιστή και από τη μελέτη που θα ακολουθήσει θα εξαχθεί το βασικό ισοδύναμο κύκλωμα της λειτουργίας του. Ωστόσο επειδή η μελέτη που ακολουθεί έχει σαν στόχο την εξαγωγή των βασικών αρχών της λειτουργίας του μετασχηματιστή, η χωρητικότητα των τυλιγμάτων θεωρείται αμελητέα προς αποφυγή της πολυπλοκότητας των σχέσεων που θα εξαχθούν. Η υπόθεση αυτή είναι έγκυρη για όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, εκτός των περιπτώσεων εκείνων κατά τις οποίες η συχνότητα λειτουργίας f , έχει αρκετά υψηλές τιμές. Στις περιπτώσεις αυτές η επίδραση της χωρητικότητας μπορεί να ληφθεί υπ'όψιν με διάφορους προσεγγιστικούς τρόπους.

Στην Εικόνα 4.13, φαίνεται το κυκλωματικό διάγραμμα ενός μονοφασικού μετασχηματιστή, στο οποίο δείχνονται οι ωμικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων R_1 και R_2 , οι επαγωγικές αντιστάσεις $X_{\sigma 1}$ και $X_{\sigma 2}$ που εκφράζουν τη σκέδαση της μαγνητικής ροής, καθώς και την X_m η οποία εκφράζει την αμοιβαία μαγνητική ροή Φ_m .



Σχήμα 1.2: Ισοδύναμο κύκλωμα ενός πραγματικού μονοφασικού μετασχηματιστή.

Το ρεύμα μαγνήτισης είναι ανάλογο της τάσης που εφαρμόζεται στον πυρήνα του μετασχηματιστή ενώ η κυματομορφή του έπεται της κυματομορφής της τάσης κατά 90° . Έτσι το ρεύμα αυτό αντιστοιχίζεται σε μία αντίδραση X_m τοποθετημένη παράλληλα στην πηγή τάσης. Τέλος το ρεύμα απωλειών του πυρήνα I_{Fe} (απώλειες οφειλόμενες στο φαινόμενο της υστέρησης και στα δινορεύματα) είναι ανάλογο της τάσης που εφαρμόζεται στον πυρήνα του μετασχηματιστή και η κυματομορφή του είναι σε φάση με την κυματομορφή της τάσης. Έτσι αυτό το ρεύμα είναι δυνατό να παρουσιάζεται με μια αντίσταση R_{Fe} τοποθετημένη παράλληλα στην πηγή τάσης.

1.5 Απώλειες του μετασχηματιστή

1.5.1 Ροή Σκέδασης

Κατά την εξέταση του ιδανικού μετασχηματιστή θεωρήσαμε ότι όλες οι δυναμικές γραμμές της μαγνητικής ροής βρίσκονταν περιορισμένες μέσα στον υψηλής μαγνητικής διαπερατότητας πυρήνα. Στην πραγματικότητα όμως μέρος αυτών των γραμμών διαγράφουν διαμέσου του αέρα κλειστούς βρόγχους, διασχίζοντας έτσι εν μέρει τον αέρα και εν μέρει τα αντίστοιχα τυλίγματα. Έτσι προκύπτουν οι «απώλειες σκεδάσεως».

Ορίζεται «μαγνητική ροή σκεδάσεως $\Phi_{1\sigma}$ » ως το ποσό της

συνολικής μαγνητικής ροής του πρωτεύοντος, η οποία διαρρέει εν μέρει το τύλιγμα αυτό και εν μέρει τον αέρα. Εφ' όσον ο δρόμος ροής της μαγνητικής ροής σκεδάσεως δεν περιορίζεται μέσα στον πυρήνα αλλά επεκτείνεται και στον αέρα, συμβολίζουμε την μαγνητική αντίσταση του δρόμου αυτού ως $X_{1σ}$. Ωστόσο η κατεύθυνση ροής της μαγνητικής ροής σκεδάσεως $\Phi_{1σ}$, καθορίζεται από την φορά ροής του ρεύματος I_1 μέσα στο πρωτεύον τύλιγμα.

Όμοια ορίζεται και η «μαγνητική ροή σκεδάσεως $\Phi_{2σ}$ » ως το ποσό της συνολικής μαγνητικής ροής του δευτερεύοντος τυλίγματος, που διαρρέει εν μέρει το τύλιγμα αυτό και εν μέρει τον αέρα. Η μαγνητική ροή αυτή προκύπτει από την μαγνητεγερτική δύναμη του δευτερεύοντος τυλίγματος και η κατεύθυνση ροής της προκύπτει από την φορά του ρεύματος I_2 μέσα στο δευτερεύον τύλιγμα. Η μαγνητική αντίσταση του δρόμου ροής της μαγνητικής ροής σκεδάσεως $\Phi_{2σ}$ συμβολίζεται με $X_{2σ}$.

1.5.2 Απώλειες Χαλκού

Στους μετασχηματιστές υπάρχουν απώλειες ισχύος που οφείλονται στην αντίσταση των τυλιγμάτων. Οι απώλειες χαλκού εξαρτώνται από τα ρεύματα των τυλιγμάτων γι' αυτό και οι αντιστάσεις που τις δικαιολογούν τοποθετούνται σε σειρά στο ισοδύναμο κύκλωμα.

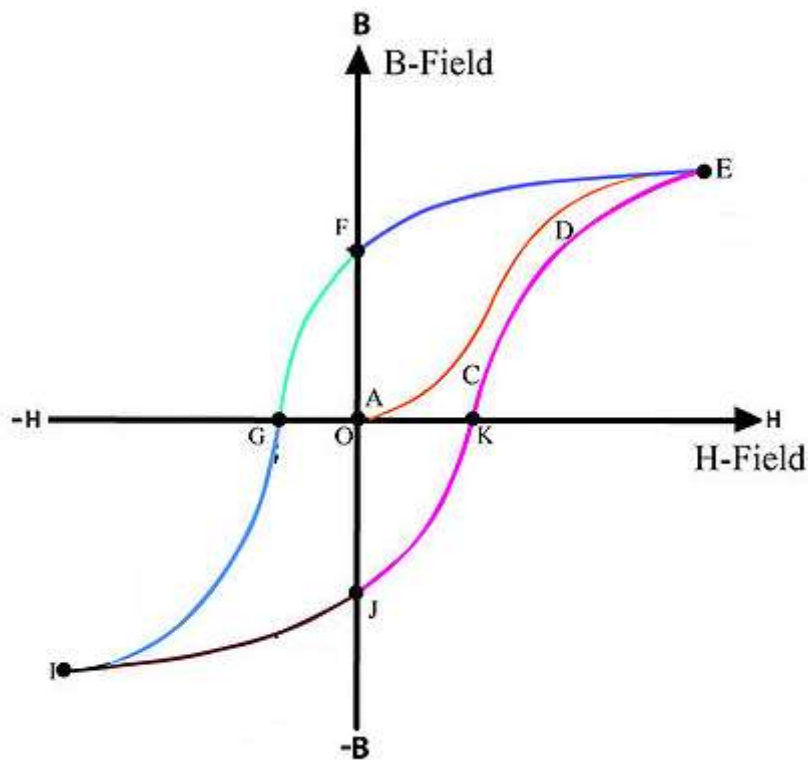
Οι ωμικές αντιστάσεις αφ' ενός προκαλούν πτώσεις τάσεως και αφ' ετέρου απώλειες ισχύος οι οποίες εκδηλώνεται υπό μορφή θερμότητας (φαινόμενο Joule) και είναι γνωστές ως «απώλειες Cu». Για τον περιορισμό αυτών των ωμικών αντιστάσεων, κατά συνέπεια και των απωλειών Cu, είναι αναγκαία η εκλογή της κατάλληλης διατομής των τυλιγμάτων. Επειδή οι μετασχηματιστές απαιτούν μεγάλα μήκη αγωγού, αυτές οι απώλειες μπορεί να είναι σημαντικός παράγοντας. Αυξάνοντας τη διατομή των τυλιγμάτων, επιτυγχάνουμε μείωση των απωλειών, αλλά με ταυτόχρονη σημαντική αύξηση στο κόστος, το μέγεθος και το βάρος.

Το τύλιγμα υψηλής τάσης παρουσιάζει μεγαλύτερη ωμική αντίσταση από το τύλιγμα χαμηλής τάσης, γιατί αποτελείται από μεγαλύτερο αριθμό σπειρών. Στην πράξη, οι αντιστάσεις των δύο τυλιγμάτων εκλέγονται έτσι ώστε να ισχύει: $R_1 I_1^2 \approx R_2 I_2^2$, δηλαδή οι απώλειες Cu στα δύο τυλίγματα να είναι περίπου

ίσες.

1.5.3 Απώλειες υστέρησης

Για τιμές της έντασεως σταθερού - σε τιμή και κατεύθυνση - μαγνητικού πεδίου H καταγράφονται οι αντίστοιχες τιμές της μαγνητικής επαγωγής B του υλικού. Κάνοντας σάρωση των τιμών του H από μια ελάχιστη αρνητική τιμή $[-H]$ έως μια μέγιστη θετική τιμή $[+H]$ τα καταγεγραμμένα σημεία $[H, B]$ απεικονίζονται στο $H-B$ επίπεδο. Όταν ενωθούν τα σημεία αυτά σχηματίζεται ένας βρόχος ο οποίος ονομάζεται στατικός βρόχος υστέρησης ή βρόχος υστέρησης ανεξάρτητος από την συχνότητα ή πιο απλά βρόχος υστέρησης,



Σχήμα 1.3: Βρόχος Υστέρησης

Για κάθε ένα κύκλο περιοδικής μεταβολής της έντασης του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου που επιβάλλεται στον πυρήνα, η ενέργεια που δεσμεύεται μέσα στον πυρήνα καθώς αυξάνεται η ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που αποδεσμεύεται από τον πυρήνα προς το υπόλοιπο κύκλωμα όταν η ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου μειώνεται. Το ποσό αυτό της πυκνότητας ενέργειας που χάνεται καλείται «απώλειες υστέρησης».

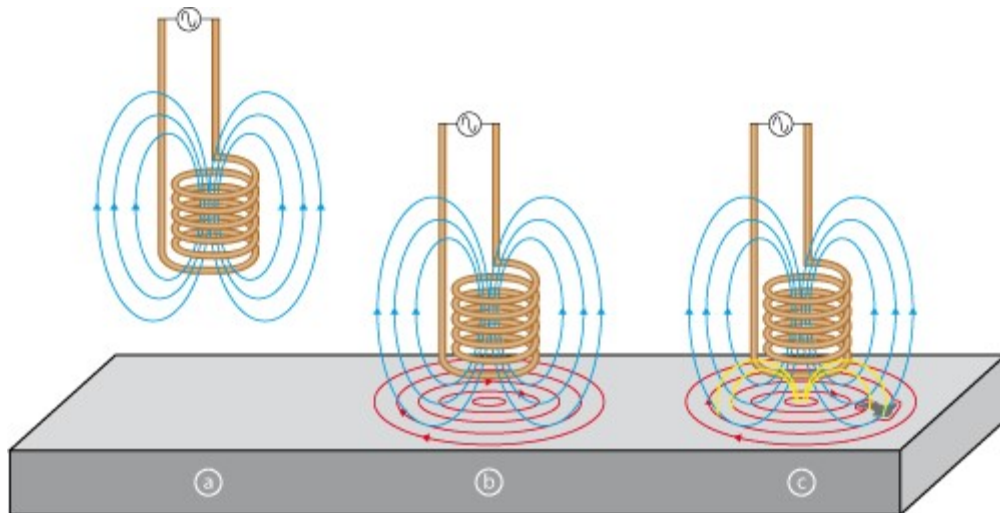
Αυτό το είδος απωλειών μπορεί να μειωθεί μέσα από μια σωστή επιλογή υλικού για τον πυρήνα, διαλέγοντας π.χ. ένα κράμα με χαμηλή υστέρηση, με «λεπτή» δηλαδή καμπύλη υστέρησης B/H, καθώς επίσης και από μια σχεδίαση η οποία **θα επιτρέπει ένα ελάχιστο όριο ανοχής του πυρήνα στην πυκνότητα της μαγνητικής ροής (μεγάλη περιοχή διατομής).**

Η αύξηση της θερμοκρασίας του σιδηρομαγνητικού πυρήνα είναι ανεπιθύμητη, γιατί εξασθενεί τις μαγνητικές του ιδιότητες (μειώνεται η μαγνητική του διαπερατότητα). Ωστόσο όλα τα σιδηρομαγνητικά υλικά έχουν ένα όριο θερμοκρασίας, που καλείται θερμοκρασία Curie, πέραν του οποίου αποκτούν παραμαγνητική συμπεριφορά.

1.5.4 Απώλειες Δινορευμάτων

Ίσως οι πιο σημαντικές από τις «απώλειες πυρήνα» είναι οι απώλειες δινορευμάτων, οι οποίες είναι ωμικές και οφείλονται στη διαδρομή επαγόμενων ρευμάτων μέσα από τον πυρήνα σιδήρου. Όπως ήδη γνωρίζουμε από τον νόμο της επαγωγής του Faraday, όταν μια αγωγίμη μάζα βρεθεί μέσα σε ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο τότε, εξαιτίας της χρονικά μεταβαλλόμενης μαγνητικής ροής που την διαπερνά, επάγεται σ' αυτήν μια ΗΕΔ. Η επαγόμενη αυτή ΗΕΔ αναγκάζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της αγωγίμης μάζας να κινηθούν σε τυρβώδεις τροχιές, σχηματίζοντας κλειστούς βρόγχους ή δίνες, γι' αυτό και τα ρεύματα αυτά ονομάζονται «δινορεύματα».

Η ροή των δινορευμάτων μέσα στον σιδηρομαγνητικό πυρήνα έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση ενέργειας ανάλογη της ποσότητας I^2R , η οποία εκδηλώνεται υπό μορφή θερμότητας μέσα στον σιδηρομαγνητικό πυρήνα (απώλειες Joule) και καλούνται «απώλειες δινορευμάτων». Οι απώλειες δινορευμάτων είναι ανάλογες του γινομένου $I^2 R$ και εξαρτώνται από την ειδική αγωγιμότητα του υλικού πυρήνα και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πυρήνα.



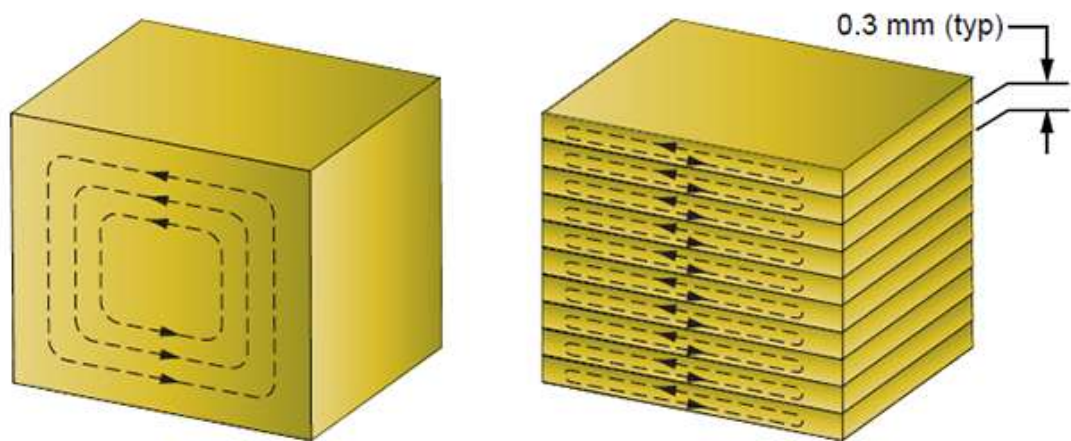
Σχήμα 1.4: Δινορεύματα στον πυρήνα ΜΣ

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα λόγω των απωλειών δινορευμάτων είναι ανεπιθύμητη γιατί προκαλεί αλλοίωση των μαγνητικών ιδιοτήτων του υλικού του πυρήνα (μείωση της μαγνητικής του διαπερατότητας) και κατά συνέπεια μείωση του βαθμού απόδοσης της ηλεκτρομαγνητικής συσκευής. Μια πολύ γνωστή κατηγορία υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των πυρήνων των μετασχηματιστών ονομάζονται φερρίτες τα οποία είναι οξείδια σιδήρου σε κεραμική μορφή (μαγνητικά κεραμικά όπως τα πιάτα κουζίνας).

Συγκριτικά με τα μαγνητικά κράματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μετασχηματιστών, οι φερρίτες παρουσιάζουν μικρότερη μαγνητική διαπερατότητα μ , μικρότερη μέγιστη πυκνότητα μαγνητικής ροής B_{max} και είναι ακριβότερα. Τα παραπάνω μειονεκτήματα όμως αντισταθμίζονται από το πλεονέκτημα της μειωμένης ειδικής αγωγιμότητας που παρουσιάζουν, η τιμή της οποίας ουσιαστικά τα καθιστά απαλλαγμένα από δινορεύματα.

Η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την μείωση των δινορευμάτων είναι η μείωση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του πυρήνα. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με την προσθήκη άλλων υλικών στο βασικό σιδηρομαγνητικό υλικό τον σίδηρο, όπως για παράδειγμα σιλίκονη. Η χρησιμοποίηση όμως ενός κράματος σιδήρου με χαμηλή ειδική αγωγιμότητα δεν μπορεί από μόνη της σαν μέθοδος να μειώσει τα δινορεύματα σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται μια επιπρόσθετη μέθοδος που συνίσταται στον τεμαχισμό του πυρήνα σε πολύ λεπτά φύλλα ή ελάσματα. Ο πυρήνας

συναρμολογείται από ένα μεγάλο αριθμό τέτοιων ελασμάτων, τα οποία μονώνονται μεταξύ τους με ένα στρώμα μονωτικού υλικού (π.χ. βερνίκι ή κατάλληλο χαρτί), εμποδίζοντας έτσι την ροή ρεύματος μεταξύ τους. Στις παρακάτω εικόνες παρατηρούνται οι διαφορές των δινορευμάτων ανάμεσα σε έναν συμπαγή και σε έναν με ελάσματα πυρήνα σιδήρου.



Σχήμα 1.5: Ελάττωση Δινορευμάτων με χρήση πολλαπλών ελασμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

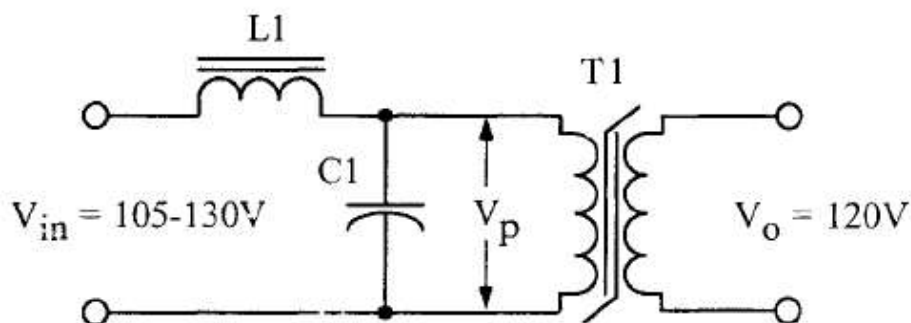
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΑΣΗΣ

Η ευκολία αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων στους πρώιμους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, αναχαιτίστηκε από το σοβαρό πρόβλημα της απώλειας δεδομένων λόγω της διακύμανσης τάσης. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν μετασχηματιστές σταθερής Τάσης (CVTs), οι οποίοι αντιμετώπισαν πολύ αποτελεσματικά τις διακυμάνσεις της τάσης δικτύου. Οι περισσότεροι είναι ελλιπώς ενημερωμένοι σχετικά με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του CVT και τον θεωρούν λανθασμένα ως έναν σταθεροποιητή τάσης.

Ο μετασχηματιστής σταθερής τάσης (Constant Voltage Transformer - CVT) έχει ευρεία εφαρμογή, ιδιαίτερα όπου η αξιοπιστία και η ανάγκη για σταθερή τάση είναι πρωταρχικής σημασίας. Η έξοδος ενός μετασχηματιστή (CVT) είναι ουσιαστικά ένα τετραγωνικό κύμα, το οποίο είναι επιθυμητό για εφαρμογές εξόδου ανορθωτή. Το κύριο μειονέκτημα για έναν μετασχηματιστή σταθερής τάσης είναι η απόδοση και η ρύθμιση για τη συχνότητα και το φορτίο.

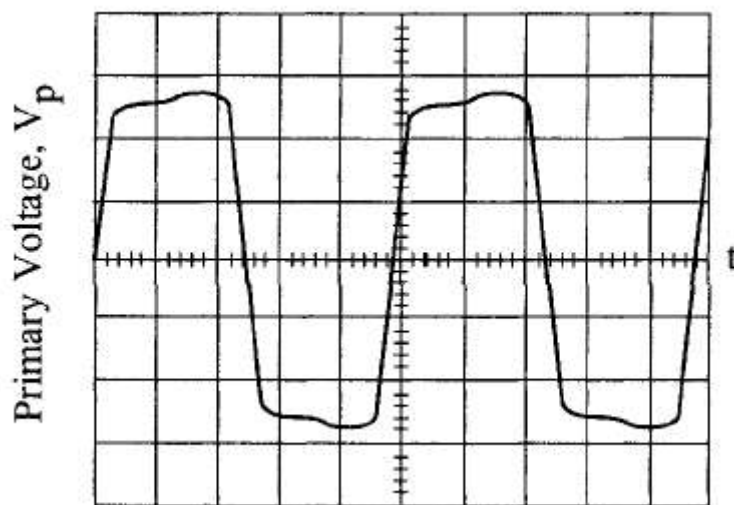
2.1 Αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή σταθερής τάσης

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας σιδηροσυντονιζόμενος (Ferroresonant) ρυθμιστής τάσης. Η επαγωγή $L1$, είναι ένα γραμμικό πηνίο και συνδέεται σε σειρά έναν πυκνωτή $C1$ κατά μήκος της γραμμής εισόδου. Η τάση στον πυκνωτή, $C1$, θα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από την τάση γραμμής, λόγω της συνθήκης συντονισμού μεταξύ $L1$ και $C1$.



Σχήμα 2.1: Σιδηροσυντονιζόμενος ρυθμιστής τάσης

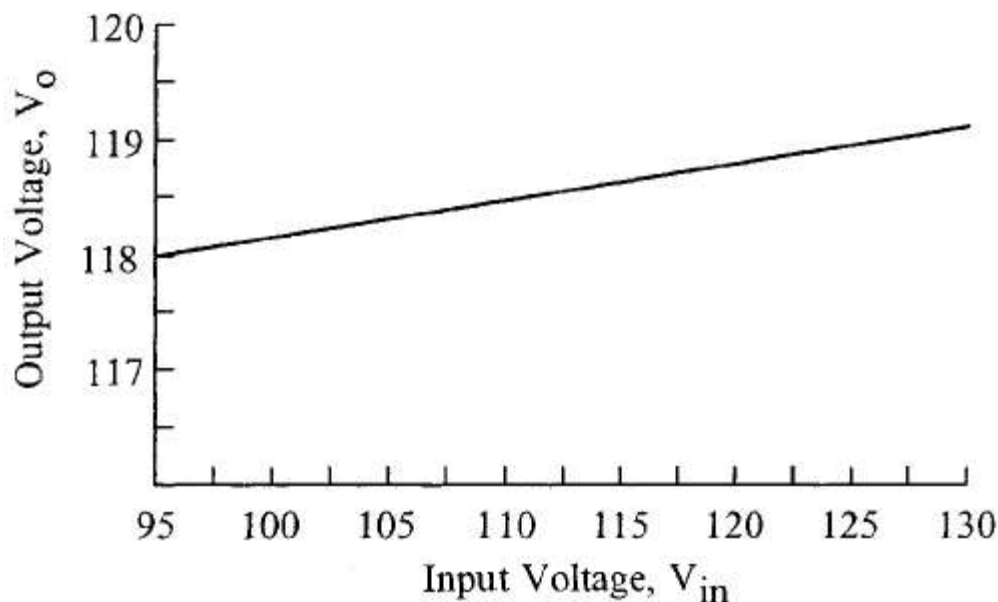
Η τάση, V_p , μπορεί να περιοριστεί σε ένα προκαθορισμένο πλάτος χρησιμοποιώντας έναν μετασχηματιστή αυτο-κορεσμού, T1, που έχει υψηλή αντίσταση, μέχρι να επιτευχθεί ένα ορισμένο επίπεδο πυκνότητας ροής. Σε αυτή την πυκνότητα ροής, ο μετασχηματιστής έχει κορεσθεί και γίνεται μια διαδρομή χαμηλής σύνθετης αντίστασης, η οποία εμποδίζει την περαιτέρω συσσώρευση τάσης στον πυκνωτή. Αυτός ο περιορισμός στην τάση, παράγει μια κυματομορφή τάσης που έχει μια αρκετά επίπεδη κορυφή όπως φαίνεται στο σχήμα



Σχήμα 2.2: Κύκλωμα τάσης πρωτεύοντος ενός μετασχηματιστή σταθερής τάσης.

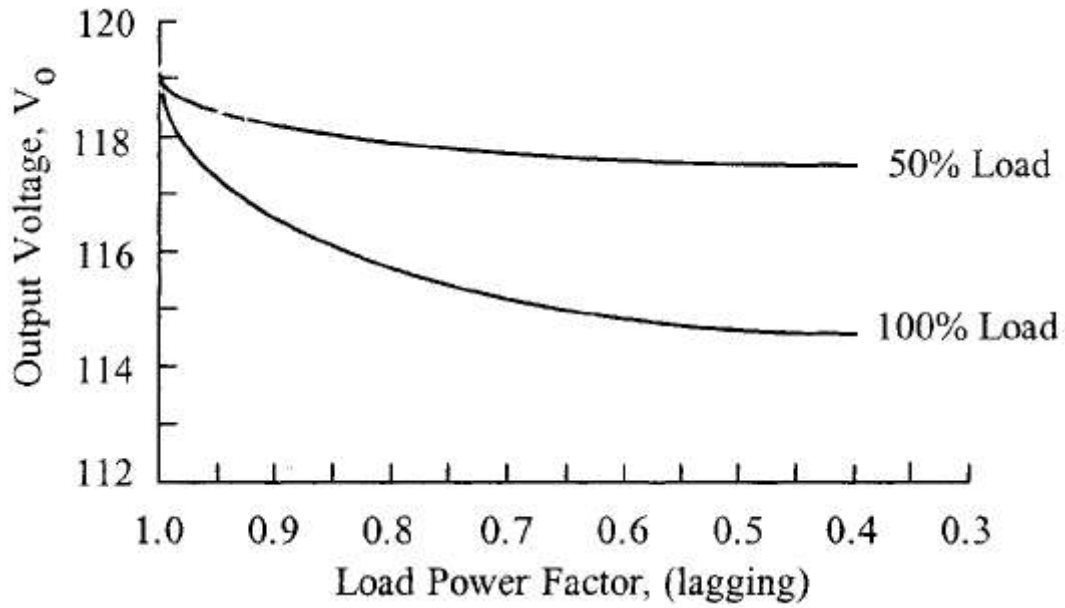
2.2 Ηλεκτρικές παράμετροι ρυθμιστή γραμμής CVT

Όταν ο μετασχηματιστής σταθερής τάσης λειτουργεί ως ρυθμιστής γραμμής, η τάση εξόδου θα ποικίλει ως συνάρτηση της τάσης εισόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα



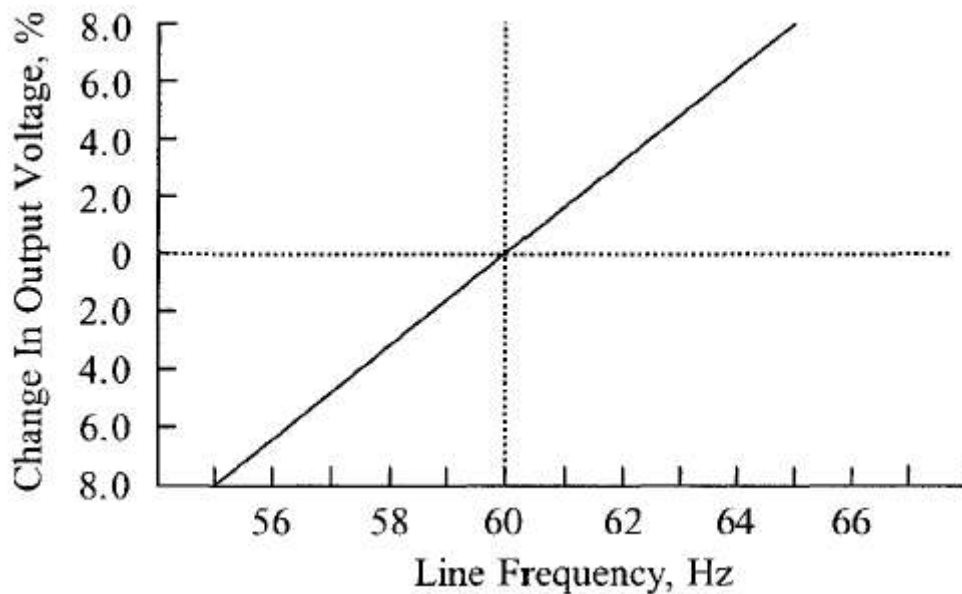
Σχήμα 2.3: Τάση εξόδου σε συνάρτηση με την τάση εισόδου

Το μαγνητικό υλικό που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό του μετασχηματιστή, T1, έχει αντίκτυπο στη ρύθμιση της γραμμής. Οι μετασχηματιστές που σχεδιάζονται με ένα τετράγωνο βρόχο B-H θα έχουν ως αποτέλεσμα καλύτερη ρύθμιση τάσης. Εάν η έξοδος του μετασχηματιστή εφαρμοσθεί σε φορτίο με επαγωγικό συντελεστή ισχύος, η έξοδος θα αλλάξει, όπως φαίνεται στο σχήμα



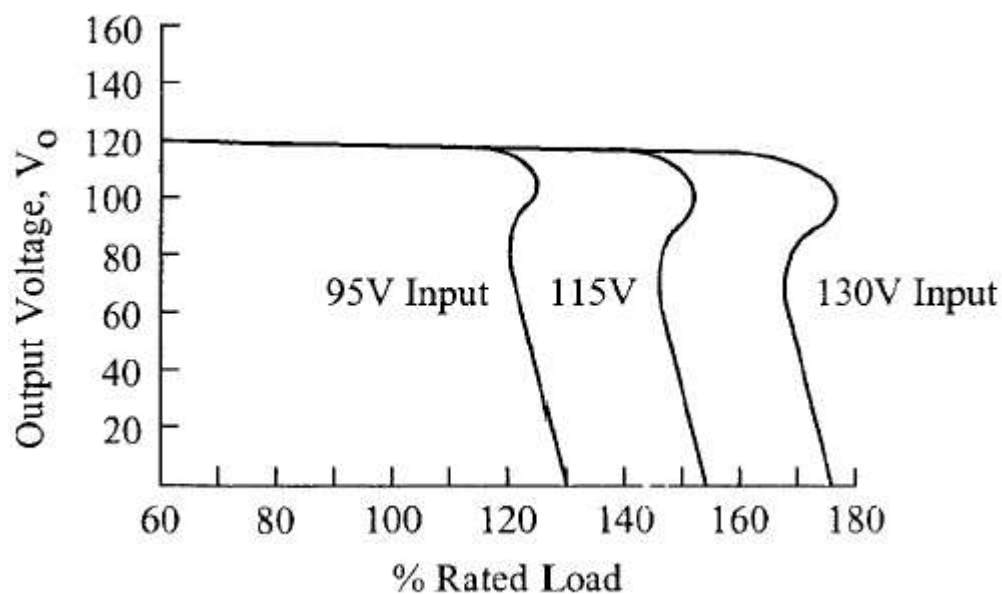
Σχήμα 2.4: Διακύμανση τάσης εξόδου κατά την εφαρμογή της σε επαγωγικό φορτίο

Εάν ο μετασχηματιστής σταθερής τάσης υποβάλλεται σε αλλαγή συχνότητας, η τάση εξόδου θα ποικίλλει, όπως φαίνεται στην Εικόνα



Σχήμα 2.5: Διακύμανση τάσης εξόδου σε συνάρτηση με αλλαγές στη συχνότητα

Η διακύμανση ενός μετασχηματιστή σταθερής τάσης μπορεί να σχεδιαστεί για να είναι μεγαλύτερη από ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 2%. Η ικανότητα αντιμετώπισης ενός βραχυκυκλώματος, αποτελεί εγγενές χαρακτηριστικό του μετασχηματιστή. Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι περιορισμένο και ρυθμίζεται από την επαγωγή σειράς, L . Τα χαρακτηριστικά σε διάφορες γραμμές και φορτία φαίνονται στο σχήμα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μηδενική τάση εξόδου, δεν αυξάνει σημαντικά το ρεύμα φορτίου. ενώ για τους περισσότερους μετασχηματιστές, μηδενική τάση θα ήταν καταστροφική.



Σχήμα 2.6: Διακύμανσης τάσης εξόδου σαν συνάρτηση του φορτίου

2.3 Εφαρμογές του CVT

Υπάρχουν πλήθος εφαρμογών που χρειάζονται CVT και περιλαμβάνουν εξοπλισμό που παρατίθεται παρακάτω:

- Ήχος βίντεο
- Επεξεργασία φωτογραφιών
- Τέλεξ
- Φαξ
- Επεξεργασία δεδομένων
- Βιοϊατρική

2.4 Πλεονεκτήματα του CVT σε σχέση με τον κλασσικό μετασχηματιστή

- Το πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή σταθερής τάσης διαχωρίζονται από ένα μεγάλο διάκενο αέρα και συνδέονται μόνο μαγνητικά. Αυτό οδηγεί σε δραματική μείωση των επαγωγικών και χωρητικών φορτίων. Ο σχεδιασμός ασχολείται αποκλειστικά με τις συχνές μεταβάσεις ισχύος στην κύρια ηλεκτρική γραμμή.
- Υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου ενός CVT που έμμεσα οδηγεί σε εξαιρετική μείωση θορύβου εξόδου.
- Δεδομένου ότι σε ένα CVT τα τυλίγματα είναι απομονωμένα, η συνιστώσα υψηλής συχνότητας του θορύβου κοινής εισόδου ελαχιστοποιείται.
- Στους CVT ένα φαινόμενο που ονομάζεται "συντονισμός σιδηροπύρηνου" αντιμετωπίζεται τέλεια και εξισορροπεί οποιαδήποτε μεταβολή στην τάση εισόδου AC.
- Είναι εξαιρετικά αξιόπιστο με μηδενικά κινούμενα μέρη
- Διαθέτει προστασία από βραχυκύκλωμα
- Μικρό ρεύμα λειτουργίας
- Απομόνωση μεταξύ εισόδου και εξόδου
- Χαμηλό κόστος συντήρησης
- Μπορεί να παράγει τετραγωνική τάση λόγω της ικανότητας κορεσμού της μαγνητικής ροής που διαθέτει
- Η τάση εξόδου ποικίλει ως συνάρτηση της τάσης εισόδου
- Εάν ο μετασχηματιστής σταθερής τάσης υποβάλλεται σε αλλαγή συχνότητας, η τάση εξόδου θα ποικίλλει
- Μηδενική τάση εξόδου, δεν αυξάνει σημαντικά το ρεύμα φορτίου. ενώ για τους περισσότερους μετασχηματιστές, μηδενική τάση θα ήταν καταστροφική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΠΗΡΗΝΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

3.1 Περιορισμοί κατά τη σχεδίαση των μετασχηματιστών

Η διαδικασία μετατροπής τάσης στα ηλεκτρονικά ισχύος απαιτεί τη χρήση μετασχηματιστών που είναι συχνά το βαρύτερο και πιο ογκώδες στοιχείο στο κύκλωμα μετατροπής. Έχουν επίσης σημαντική επίδραση τη συνολική απόδοση και αποτελεσματικότητα του συστήματος. Κατά συνέπεια, ο σχεδιασμός τέτοιων μετασχηματιστών έχει σημαντική επίδραση στο συνολικό βάρος του συστήματος, στην απόδοση μετατροπής ισχύος και στο κόστος. Λόγω της αλληλεξάρτησης και της αλληλεπίδραση των παραμέτρων, οι συμβιβαστικές λύσεις είναι απαραίτητες για την επίτευξη του βέλτιστου σχεδιασμού.

Ο σχεδιαστής αντιμετωπίζει ένα σύνολο περιορισμών που πρέπει να τηρούνται στο σχεδιασμό σε οποιοδήποτε μετασχηματιστή. Ένας από αυτούς τους περιορισμούς είναι η ισχύς εξόδου P_o (τάση λειτουργίας πολλαπλασιαζόμενη με τη μέγιστη τρέχουσα ζήτηση). Η δευτερεύουσα περιέλιξη πρέπει να μπορεί να μεταφέρει την ισχύ στο φορτίο εντός καθορισμένων ορίων ρύθμισης.

Ένας άλλος περιορισμός αφορά την ελάχιστη απόδοση της λειτουργίας, η οποία εξαρτάται από τη μέγιστη απώλεια ισχύος που μπορεί να επιτραπεί στον μετασχηματιστή. Ακόμα ένα άλλος περιορισμός έχει να κάνει με τη μέγιστη επιτρεπτή αύξηση της θερμοκρασίας για τον μετασχηματιστή όταν χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένο περιβάλλον θερμοκρασίας.

Ένα από τα βασικά βήματα στον σχεδιασμό του μετασχηματιστή είναι η επιλογή του σωστού υλικού πυρήνα. Μαγνητικά υλικά που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό μετασχηματιστών χαμηλής και υψηλής συχνότητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-1. Κάθε ένα από αυτά τα υλικά έχει το δικό του ιδανικό χαρακτηριστικό όσον αφορά κόστος, μέγεθος, συχνότητα και απόδοση. Ο σχεδιασμός πρέπει να γίνεται λαμβανομένης υπόψη της διαφοράς κόστους μεταξύ πυριτίου-σιδήρου, νικελίου-

σιδήρου, άμορφου και φερριτικού υλικού. Πολλοί περιορισμοί αφορούν τον όγκο που καταλαμβάνει ο μετασχηματιστής και, ιδιαίτερα στις αεροδιαστημικές εφαρμογές, επειδή η ελαχιστοποίηση του βάρους είναι ένας σημαντικός στόχος στα σημερινά ηλεκτρονικά. Τέλος, η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας είναι πάντα σημαντικό θέμα.

Πίνακας 3-1: Μαγνητικά υλικά

Magnetic Material Properties				
Material Name	Trade Name Composition	Initial Permeability μ_i	Flux Density Tesla B_s	Typical Operating Frequency
Silicon	3-97 SiFe	1500	1.5-1.8	50-2k
Orthonol	50-50 NiFe	2000	1.42-1.58	50-2k
Permalloy	80-20 NiFe	25000	0.66-0.82	1k-25k
Amorphous	2605SC	1500	1.5-1.6	250k
Amorphous	2714A	20,000	0.5-6.5	250k
Amorphous	Nanocrystalline	30,000	1.0-1.2	250k
Ferrite	MnZn	0.75-15k	0.3-0.5	10k-2M
Ferrite	NiZn	0.20-1.5k	0.3-0.4	0.2M-100M

Ανάλογα με την εφαρμογή, θα δοθεί έμφαση σε ορισμένους από τους παραπάνω περιορισμούς. Δεν είναι δυνατόν να βελτιστοποιηθούν όλες οι παράμετροι λόγω της αλληλεπίδρασής τους και της αλληλεξάρτησής τους. Για παράδειγμα, εάν ο όγκος και το βάρος είναι μεγάλης σημασίας, οι μειώσεις και στα δύο μπορεί συχνά να επηρεάσουν τη λειτουργία του μετασχηματιστή σε υψηλότερη συχνότητα με μείωση στην απόδοση. Όταν η συχνότητα δεν μπορεί να αυξηθεί, μπορεί να είναι δυνατή η μείωση του βάρους και του όγκου με την επιλογή ενός αποδοτικότερου υλικού πυρήνα, αλλά, αυτό θα επηρεάσει αρνητικά το κόστος.

Οι σχεδιαστές μετασχηματιστών έχουν χρησιμοποιήσει διάφορες προσεγγίσεις για να φτάσουν σε κατάλληλα σχέδια. Για παράδειγμα, σε πολλές περιπτώσεις, ένας κανόνας χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της πυκνότητας ρεύματος. Συνήθως, γίνεται παραδοχή ότι ένα καλό επίπεδο εργασίας είναι

200amp-ανά-cm² . Αυτό θα λειτουργήσει σε πολλές περιπτώσεις, αλλά το μέγεθος του καλωδίου που απαιτείται για την ικανοποίηση αυτής της απαίτησης μπορεί να παράγει έναν βαρύτερο και ογκώδη μετασχηματιστή από το επιθυμητό ή το απαιτούμενο.

3.2 Δυνατότητα χειρισμού ισχύος

Για χρόνια, οι κατασκευαστές έχουν αναθέσει κωδικούς με νούμερα στους πυρήνες . Αυτοί οι κωδικοί αντιπροσωπεύουν την ικανότητα χειρισμού της ισχύος. Αυτή η μέθοδος αντιστοιχεί σε κάθε πυρήνα έναν αριθμό που είναι το γινόμενο του παραθύρου του πυρήνα, W_a , επί την διατομή του πυρήνα, A_c , και ονομάζεται προϊόν περιοχής, A_p (product area).

Αυτοί οι κωδικοί χρησιμοποιούνται από προμηθευτές πυρήνα για να συνοψίσουν τις διαστατικές και ηλεκτρικές ιδιότητες τους σε καταλόγους.

Η ρύθμιση και η ικανότητα χειρισμού ισχύος ενός πυρήνα σχετίζονται με την γεωμετρία του πυρήνα, K_g . Κάθε πυρήνας έχει το δικό του συντελεστή, K_g . Η γεωμετρία του πυρήνα είναι σχετικά νέα, και οι κατασκευαστές μαγνητικών πυρήνων δεν αναφέρουν αυτόν τον συντελεστή.

Οι συντελεστές A_p και K_g μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως νέα εργαλεία για την απλούστευση και την τυποποίηση της διαδικασίας της σχεδίασης του μετασχηματιστή. Κάνουν δυνατή τη σχεδίαση μετασχηματιστών ελαφρύτερου βάρους και μικρότερου όγκου ή βελτιστοποίησης της απόδοσης τους, χωρίς να χρειαστεί μια διαδικασία σχεδιασμού με κατασκευή και δοκιμές. Αν και οι συντελεστές αυτοί αναπτύχθηκαν ειδικά για οι αεροδιαστημικές εφαρμογές, οι πληροφορίες που προέκυψαν έχουν ευρύτερη χρησιμότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό κοινών εφαρμογών

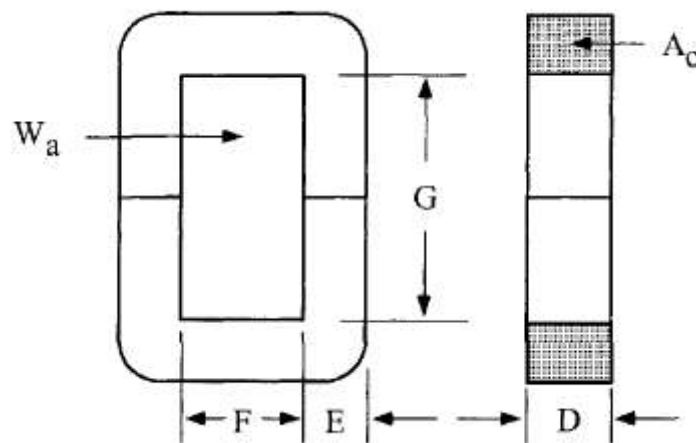
3.3 Ισχύς εξόδου, P_0 έναντι της φαινόμενης ισχύος, P_t

Η ισχύς εξόδου, P_0 , παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τον χρήστη. Όμως στον σχεδιαστή του μετασχηματιστή, η φαινόμενη ισχύς P_t , που σχετίζεται με τη γεωμετρία του μετασχηματιστή, έχει μεγαλύτερη σημασία. Ας υποθέσουμε, για χάρη απλότητας, ότι ο πυρήνας ενός μετασχηματιστή

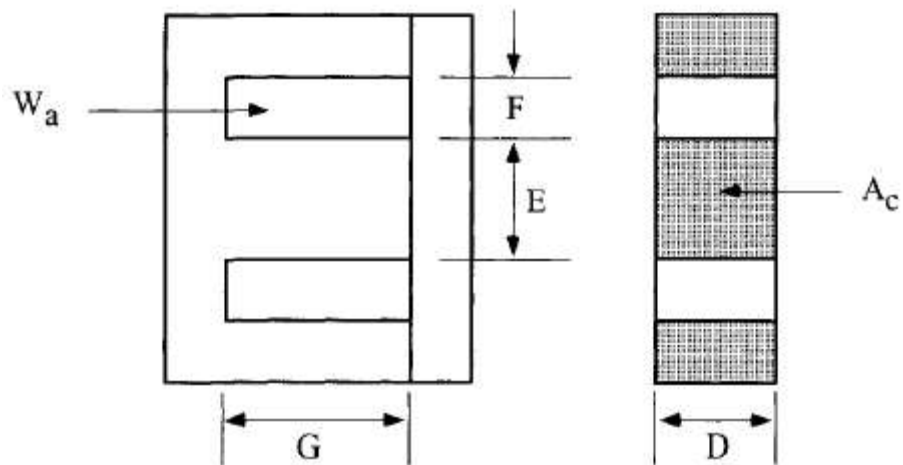
απομόνωσης έχει μόνο δύο τυλίγματα στην περιοχή του παραθύρου, του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος. Επίσης, ως υποθέσουμε ότι η περιοχή παραθύρου, W_a , χωρίζεται ανάλογα με την ικανότητα χειρισμού της ισχύος των τυλιγμάτων, χρησιμοποιώντας την ίδια πυκνότητα ρεύματος. Το πρωτεύον τυλίγμα λαμβάνει ισχύ P_{in} , και το δευτερεύον ισχύ P_0 , στο φορτίο.

Ο σχεδιαστής πρέπει να ασχολείται με την ικανότητα της φαινόμενης ισχύος, P_t και την ικανότητα χειρισμού της ισχύος από τον πυρήνα του μετασχηματιστή και από τα τυλίγματα. Η φαινόμενη ισχύς, μπορεί να ποικίλει κατά έναν παράγοντα, που κυμαίνεται από 2 έως 2.828 φορές την ισχύ εισόδου, P_{in} , ανάλογα με τον τύπο του κυκλώματος στον οποίο χρησιμοποιείται ο μετασχηματιστής. Αν το ρεύμα στο μετασχηματιστή διακόπτεται, η ενεργός του τιμή αλλάζει. Έτσι, το μέγεθος του μετασχηματιστή δεν καθορίζεται μόνο από τη ζήτηση φορτίου, αλλά και από την εκάστοτε εφαρμογή, λόγω των διαφορετικών απωλειών χαλκού που προκαλούνται από τη διαφορετική μορφή του ρεύματος.

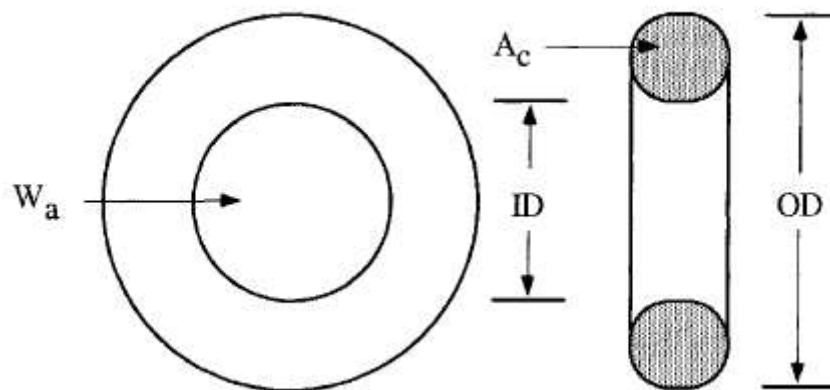
Υπάρχουν διάφοροι σχεδιασμοί (οι οποίοι φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν) που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή των μετασχηματιστών.



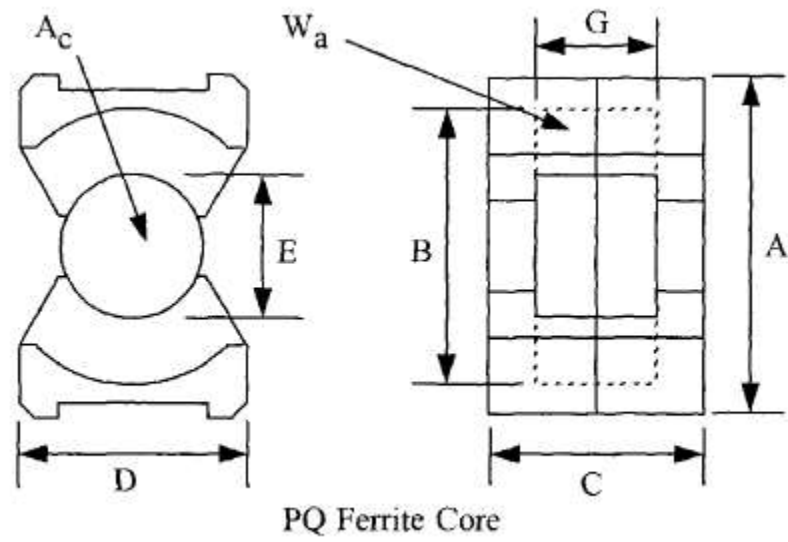
Σχήμα 3.1:Περίγραμμα ενός πυρήνα τύπου C



Σχήμα 3.2:Περίγραμμα ενός πυρήνα με ελάσματα



Σχήμα 3.3:Περίγραμμα ενός τοροειδούς πυρήνα



Σχήμα 3.4:Περίγραμμα ενός πυρήνα από φερρίτη

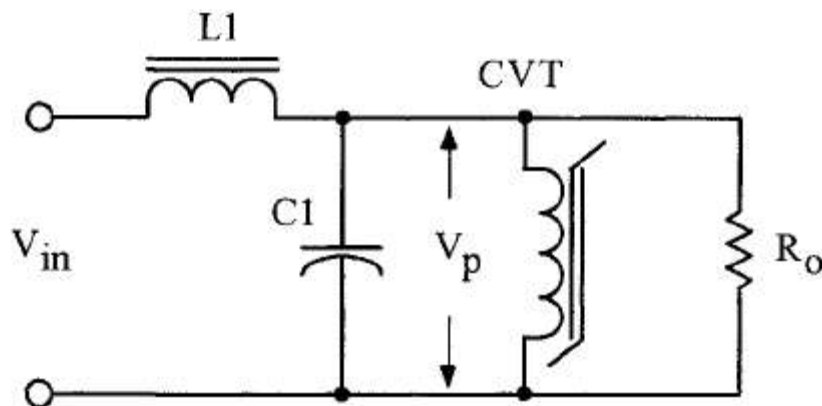
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΝΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΑΣΗΣ

4.1 Μετασχηματιστής σταθερής τάσης, εξισώσεις σχεδίασης

Η σωστή λειτουργία και η ισχύς του μετασχηματιστή σταθερής τάσης (CVT) εξαρτάται από τα εξαρτήματα, L1 και C1, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1. Η εμπειρία έχει δείξει ότι η σχέση LC είναι:

$$LC\omega^2=1.5$$



Σχήμα 4.1: Βασικό κύκλωμα μετασχηματιστή σταθερής τάσης

Η επαγωγή μπορεί να εκφραστεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$L = \frac{R_{o(R)}}{2\omega}, [\text{henrys}]$$

Η χωρητικότητα δίνεται από τη σχέση

$$C = \frac{1}{0.33\omega R_{o(R)}}, [\text{farads}]$$

Αναφερόμενοι στο Σχήμα 4.1, υποθέτουμε ότι υπάρχει μια ημιτονοειδής τάση εισόδου, ένας ιδανικός επαγωγέας εισόδου, L1, και ένας πυκνωτής σειράς, C1. Όλες οι τάσεις και τα ρεύματα είναι ενεργές τιμές. Η τάση V_{in} είναι η τιμή της τάσης ακριβώς

πριν το κύκλωμα αρχίζει να λειτουργεί υπό πλήρες φορτίο. $R_{o(R)}$, είναι η ισοδύναμη αντίσταση πρωτεύοντος, συμπεριλαμβανομένου του βαθμού απόδοσης. n είναι ο βαθμός απόδοσης και P_o είναι η ισχύς εξόδου.

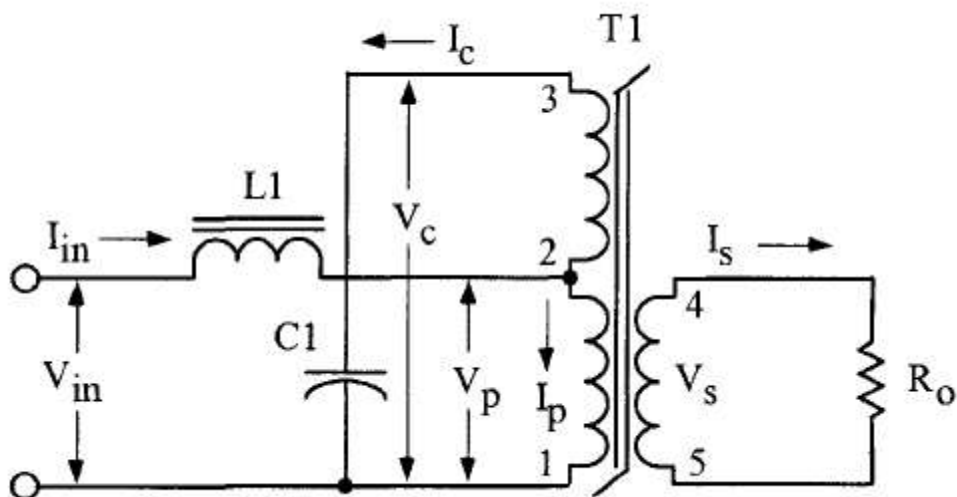
$$P_o = \frac{V_s^2}{R_o}, [\text{watts}]$$

$$R_{o(R)} = \frac{(V_p)^2 n}{P_o}, [\text{ohms}]$$

Είναι συνηθισμένη η πρακτική να απομονώνεται η έξοδος από την είσοδο και να συνδέεται ένας πυκνωτής C1 σε ένα επιπλέον τύλιγμα του μετασχηματιστή σταθερής τάσης (CVT). Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν μικρότερες τιμές πυκνωτών, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα επιπλέον τύλιγμα στο πρωτεύον, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2. Αυτό το επιπλέον τύλιγμα αυξάνει τα VA ή το μέγεθος του μετασχηματιστή. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί στις εξισώσεις παρακάτω. Η ενέργεια σε έναν πυκνωτή είναι:

$$\text{Energy} = \frac{C V^2}{2}, [\text{watt} - \text{seconds}]$$

$$C = \frac{2(\text{Energy})}{V^2}, [\text{farads}]$$



Σχήμα 4.2: CVT, με επιπλέον τύλιγμα στο πρωτεύον

Το ρεύμα δευτερεύοντος I_s εκφράζεται ως εξής:

$$I_s = \frac{P_o}{V_s}, [amps]$$

Με την τοποθέτηση του επιπλέον τυλίγματος, το ρεύμα πρωτεύοντος σχετίζεται με το ρεύμα δευτερεύοντος με την παρακάτω σχέση

$$I_p = \frac{I_s (V_{s(4-5)})}{n (V_{p(1-2)})} \left(1 + \sqrt{\frac{V_{p(1-2)}}{V_{c(1-3)}}} \right), [amps]$$

Το ρεύμα I_c που ρέει στον πυκνωτή, αυξάνεται κατά έναν συντελεστή K_c , λόγω της υψηλότερης συχνότητας. Λόγω της ασταθούς τάσης που φαίνεται στο σχήμα 11-2, η ισοδύναμη αε εμπέδηση του πυκνωτή συντονισμού παίρνει τιμή χαμηλότερη από την κανονική του σε περίπτωση ημιτονικής εισόδου. Αυτό οφείλεται στην αύξηση των αρμονικών περιττής τάξης

$$I_c = K_c V_c \omega C, [amps]$$

Όπου ο συντελεστής K_c παίρνει τιμές από 1.0 μέχρι 1.5

Εμπειρικά, έχει αποδειχθεί ότι προκειμένου για ικανοποιητική απόδοση, η τάση λειτουργίας του πρωτεύοντος πρέπει να είναι:

$$V_p = V_i (0.95), [volts]$$

Όταν ο πυκνωτής συντονισμού συνδέεται με το επιπλέον τύλιγμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.8, υπάρχει η δυνατότητα μείωσης και της τιμής και του όγκου του πυκνωτή. Έτσι C_n είναι η τιμή του νέου πυκνωτή και V_n είναι η νέα τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του

$$C_n V_n^2 = C_{(1-2)} V_{(1-2)}^2$$

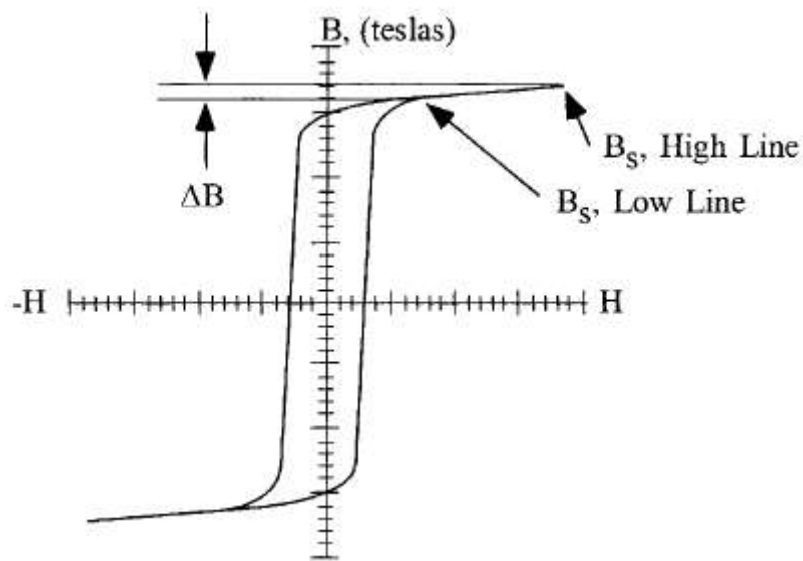
Η φαινόμενη ισχύς P_1 είναι το άθροισμα όλων των τυλιγμάτων

$$P_1 = (VA_{(1-2)}) + (VA_{(2-3)}) + (VA_{(4-5)}), [watts]$$

Η διακύμανση τάσης σε ένα μετασχηματιστή σταθερής τάσης δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$\Delta V_p = 4.44 \Delta B_s A_c f N_p (10^4), [\text{volts}]$$

Η διακύμανση τάσης εξόδου του μετασχηματιστή σταθερής τάσης, είναι συνάρτηση του βρόχου μαγνήτισης B-H, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3. Η μαγνητική επαγωγή κόρου B_s εξαρτάται από τη διαδικασία ανόπτησης του μαγνητικού υλικού. Κάθε κατασκευαστής ακολουθεί τη δική του διαδικασία ανόπτησης που επηρεάζει διαφορετικά τη μαγνητική επαγωγή



Σχήμα 4.3: B-H καμπύλη ενός μετασχηματιστή σταθερής τάσης, στην οποία φαίνεται το άνω (High line) και κάτω (Low line) όριο της μαγνητικής επαγωγής όταν βρισκόμαστε στην περιοχή κορεσμού.

4.2 Μετασχηματιστής σταθερής τάσης, παράδειγμα σχεδίασης

Σχεδιασμός ενός ρυθμιστή γραμμής συνεχούς τάσης (CVT) με τις ακόλουθες προδιαγραφές.

1. Τάση εισόδου: 105-129 Volt
2. Συχνότητα γραμμής: 60 Hertz.
3. Τάση εξόδου, $V_s = 120$ Volt
4. Έξοδος VA= 250 Watt
5. Πυκνότητα ρεύματος μετασχηματιστή, $J = 300$ A / cm²
6. Τάση πυκνωτή, $V_c = 440$ Volt
7. Συντελεστής πυκνωτή, $K_c = 1.5$
8. Βαθμός απόδοσης, $\eta(100) = 85\%$
9. Μαγνητικό υλικό . = πυρίτιο
10. Μαγνητική επαγωγή, $B_s = 1,95$ Tesla
11. Συντελεστής χρησιμοποίησης, $K_u = 0,4$
12. Όριο αύξησης θερμοκρασίας, $T_r = 50^\circ\text{C}$

Βήμα 1° : Υπολογισμός της τάσης πρωτεύοντος, V_p

$$V_p = V_{i(min)} \cdot (0.95) = 105 \cdot 0.95 \Rightarrow V_p = 99.75 [\text{Volts}]$$

Βήμα 2°: Υπολογισμός της ισοδύναμης αντίστασης πρωτεύοντος, συμπεριλαμβανομένου και του βαθμού απόδοσης

$$R_{o(R)} = \frac{(V_p)^2 \cdot n}{P_o} = \frac{(99.75)^2 \cdot 0.85}{250} \Rightarrow R_{o(R)} = 33.8 [\text{Ohms}]$$

Βήμα 3°:Υπολογισμός της απαιτούμενης χωρητικότητας, C_l

$$C = \frac{1}{0.33 \cdot \omega \cdot R_{o(R)}} = \frac{1}{0.33 \cdot 377 \cdot 33.8} \Rightarrow C = 238 \cdot 10^{-6}, [farads]$$

Βήμα 4°:Υπολογισμός της νέας χωρητικότητας, με τη χρήση της υψηλότερης τάσης, V_c

$$C_{(1-3)} = \frac{V_{(1-2)}^2 \cdot C_{(1-2)}}{V_{(1-3)}^2} = \frac{99.75^2 \cdot 238 \cdot 10^{-6}}{440^2} \Rightarrow C_{(1-3)} = 12.3 \cdot 10^{-6}, [farads]$$

Μια τυπική τιμή ενός τέτοιου πυκνωτή είναι 12.5μf/440V

Βήμα 5°:Υπολογισμός του ρεύματος του πυκνωτή, I_c

$$I_c = 1.5 \cdot V_c \cdot \omega \cdot C = 1.5 \cdot 440 \cdot 377 \cdot 12.5 \cdot 10^{-6} \Rightarrow I_c = 3.11, [amps]$$

Βήμα 6°: Υπολογισμός του ρεύματος δευτερεύοντος, I_s

$$I_s = \frac{P_o}{V_s} = \frac{250}{120} \Rightarrow I_s = 2.08, [amps]$$

Βήμα 7°: Υπολογισμός του ρεύματος πρωτεύοντος, I_p

$$I_p = \frac{I_s \cdot V_{s(4-5)}}{n \cdot V_{p(1-2)}} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{V_{p(1-2)}}{V_{c(1-3)}}} \right) = \frac{2.08 \cdot 120}{0.85 \cdot 99.75} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{99.75}{440}} \right) \Rightarrow$$

$$I_p = 4.35, [amps]$$

Βήμα 8°: Υπολογισμός της φαινόμενης ισχύος, P_t

$$V \cdot A_{(1-2)} = V_p \cdot I_p = 99.75 \cdot 4.35 = 434, [\text{watts}]$$

$$V \cdot A_{(2-3)} = (V_c - V_p) \cdot I_c = 340 \cdot 3.11 = 1057, [\text{watts}]$$

$$V \cdot A_{(4-5)} = V_s \cdot I_s = 120 \cdot 2.08 = 250, [\text{watts}]$$

$$P_t = V \cdot A_{(1-2)} + V \cdot A_{(2-3)} + V \cdot A_{(4-5)} = 434 + 1057 + 250 \Rightarrow P_t = 1741 \text{ watts}$$

Βήμα 9°: Υπολογισμός της Area Product, A_p

$$A_p = \frac{10^4 \cdot P_t}{K_f \cdot K_u \cdot f \cdot B_s \cdot J} = \frac{10^4 \cdot 1742}{4.44 \cdot 0.4 \cdot 60 \cdot 1.95 \cdot 300} \Rightarrow A_p = 279 \text{ cm}^4$$

Βήμα 10° : Επιλογή ελάσματος για τον πυρήνα από τον πίνακα 4.1

Πίνακας 4.1: Διαστάσεις πυρήνων ελάσματος

EI, Laminations, (Tempel) 14 mil										
Part No.	W_{tcu} grams	W_{tfe} grams	MLT cm	MPL cm	W_a		W_a cm ²	A_p cm ⁴	K_g cm ⁵	A_t cm ²
					A_c	A_c cm ²				
EI-375	36.1	47.2	6.7	7.3	1.754	0.862	1.512	1.303	0.067	46.2
EI-021	47.6	94.3	8.2	8.3	1.075	1.523	1.638	2.510	0.188	62.1
EI-625	63.5	170.0	9.5	9.5	0.418	2.394	1.890	4.525	0.459	83.2
EI-750	108.8	296.0	11.2	11.4	0.790	3.448	2.723	9.384	1.153	120.0
EI-875	171.0	457.0	13.0	13.3	0.789	4.693	3.705	17.384	2.513	163.0
EI-100	254.0	676.0	14.8	15.2	0.790	6.129	4.839	29.656	4.927	212.9
EI-112	360.0	976.0	16.5	17.2	0.789	7.757	6.124	47.504	8.920	269.4
EI-125	492.0	1343.0	18.3	19.1	0.789	9.577	7.560	72.404	15.162	333.0
EI-138	653.0	1786.0	20.1	21.0	0.789	11.588	9.148	106.006	24.492	403.0
EI-150	853.0	2334.0	22.0	22.9	0.789	13.790	10.887	150.136	37.579	479.0
EI-175	1348.0	3711.0	25.6	26.7	0.789	18.770	14.818	278.145	81.656	652.0
EI-225	2844.0	7976.0	32.7	34.3	0.789	31.028	24.496	760.064	288.936	1078.0

Το καταλληλότερο έλασμα για την υπολογισμένη area product είναι το EI-175 το οποίο έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά

1. Αριθμός πυρήνα : EI-175
2. Μήκος μαγνητικής διαδρομής, MPL = 26,7 cm
3. Βάρος πυρήνα, $W_{\text{tfe}} = 3,71$ κιλά

4. Μέση απόσταση στροφής, $MLT = 25,6 \text{ cm}$
5. Εμβαδό σιδήρου, $A_c = 18,8 \text{ cm}^2$
6. Εμβαδό παραθύρου , $W_a = 14,8 \text{ cm}^2$
7. Area product, $A_p = 278 \text{ cm}^4$
8. Γεωμετρία πυρήνα, $K_g = 81,7 \text{ cm}^5$
9. Εμβαδό επιφάνειας, $A_t = 652 \text{ cm}^2$

Βήμα 11°: Υπολογισμός του πλήθους των τυλιγμάτων του πρωτεύοντος, N_p

$$N_p = \frac{10^4 \cdot V_p}{K_f \cdot B_s \cdot f \cdot A_c} = \frac{10^4 \cdot 99.75}{4.44 \cdot 1.95 \cdot 60 \cdot 18.8} \Rightarrow N_p = 102, [turns]$$

Βήμα 12°: Υπολογισμός διατομής πρωτεύοντος τυλίγματος, $A_{wp(B)}$

$$A_{\varphi(B)} = \frac{I_p}{J} = \frac{4.35}{300} \Rightarrow A_{\varphi(B)} = 0.0145 \text{ cm}^2$$

Βήμα 13°: Επιλογή αγωγού από τον πίνακα 4.2

Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά καλωδίων

Wire Table												
AWG	Bare Area		Resistance μΩ/cm 20°C	Heavy Synthetics								
				Area		Diameter		Turns-Per		Turns-Per		Weight
	cm ² (10 ⁻³)	cir-mil	cm ² (10 ⁻³)	cir-mil	cm	Inch	cm	Inch	cm ²	Inch ²	gm/cm	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	52.6100	10384.00	32.7	55.9000	11046.00	0.2670	0.105	3.9	10	11	69	0.46800
11	41.6800	8226.00	41.4	44.5000	8798.00	0.2380	0.094	4.4	11	13	90	0.37500
12	33.0800	6529.00	52.1	35.6400	7022.00	0.2130	0.084	4.9	12	17	108	0.29770
13	26.2600	5184.00	65.6	28.3600	5610.00	0.1900	0.075	5.5	13	21	136	0.23670
14	20.8200	4109.00	82.8	22.9500	4556.00	0.1710	0.068	6.0	15	26	169	0.18790
15	16.5100	3260.00	104.3	18.3700	3624.00	0.1530	0.060	6.8	17	33	211	0.14920
16	13.0700	2581.00	131.8	14.7300	2905.00	0.1370	0.054	7.3	19	41	263	0.11840
17	10.3900	2052.00	165.8	11.6800	2323.00	0.1220	0.048	8.2	21	51	331	0.09430
18	8.2280	1624.00	209.5	9.3260	1857.00	0.1090	0.043	9.1	23	64	415	0.07474
19	6.5310	1289.00	263.9	7.5390	1490.00	0.0980	0.039	10.2	26	80	515	0.05940
20	5.1880	1024.00	332.3	6.0650	1197.00	0.0879	0.035	11.4	29	99	638	0.04726
21	4.1160	812.30	418.9	4.8370	954.80	0.0785	0.031	12.8	32	124	800	0.03757
22	3.2430	640.10	531.4	3.8570	761.70	0.0701	0.028	14.3	36	156	1003	0.02965
23	2.5880	510.80	666.0	3.1350	620.00	0.0632	0.025	15.8	40	191	1234	0.02372
24	2.0470	404.00	842.1	2.5140	497.30	0.0566	0.022	17.6	45	239	1539	0.01884
25	1.6230	320.40	1062.0	2.0020	396.00	0.0505	0.020	19.8	50	300	1933	0.01498
26	1.2800	252.80	1345.0	1.6030	316.80	0.0452	0.018	22.1	56	374	2414	0.01185
27	1.0210	201.60	1687.0	1.3130	259.20	0.0409	0.016	24.4	62	457	2947	0.00945
28	0.8046	158.80	2142.0	1.0515	207.30	0.0366	0.014	27.3	69	571	3680	0.00747
29	0.6470	127.70	2664.0	0.8548	169.00	0.0330	0.013	30.3	77	702	4527	0.00602
30	0.5067	100.00	3402.0	0.6785	134.50	0.0294	0.012	33.9	86	884	5703	0.00472
31	0.4013	79.21	4294.0	0.5596	110.20	0.0267	0.011	37.5	95	1072	6914	0.00372
32	0.3242	64.00	5315.0	0.4559	90.25	0.0241	0.010	41.5	105	1316	8488	0.00305
33	0.2554	50.41	6748.0	0.3662	72.25	0.0216	0.009	46.3	118	1638	10565	0.00241
34	0.2011	39.69	8572.0	0.2863	56.25	0.0191	0.008	52.5	133	2095	13512	0.00189
35	0.1589	31.36	10849.0	0.2268	44.89	0.0170	0.007	58.8	149	2645	17060	0.00150
36	0.1266	25.00	13608.0	0.1813	36.00	0.0152	0.006	62.5	167	3309	21343	0.00119
37	0.1026	20.25	16801.0	0.1538	30.25	0.0140	0.006	71.6	182	3901	25161	0.00098
38	0.0811	16.00	21266.0	0.1207	24.01	0.0124	0.005	80.4	204	4971	32062	0.00077
39	0.0621	12.25	27775.0	0.0932	18.49	0.0109	0.004	91.6	233	6437	41518	0.00059
40	0.0487	9.61	35400.0	0.0723	14.44	0.0096	0.004	103.6	263	8298	53522	0.00046
41	0.0397	7.84	43405.0	0.0584	11.56	0.0086	0.003	115.7	294	10273	66260	0.00038
42	0.0317	6.25	54429.0	0.0456	9.00	0.0076	0.003	131.2	333	13163	84901	0.00030
43	0.0245	4.84	70308.0	0.0368	7.29	0.0069	0.003	145.8	370	16291	105076	0.00023
44	0.0202	4.00	85072.0	0.0316	6.25	0.0064	0.003	157.4	400	18957	122272	0.00020

AWG= # 16

$$A_{W(B)}=0.0131, [cm^2]$$

$$\left(\frac{\mu\Omega}{cm}\right)=132, [\mu\Omega/cm]$$

Βήμα 14°: Υπολογισμός της αντίστασης πρωτεύοντος, R_p . Χρήση της μέσης απόστασης στροφής, MLT , και την ποσότητα $\mu\Omega/cm$ που υπολογίστηκε στο βήμα 13

$$R_p = (MLT) \cdot (N_p) \cdot \left(\frac{\mu\Omega}{cm} \right) \cdot 10^{-6} = 25.6 \cdot 102 \cdot 132 \cdot 10^{-6} \Rightarrow R_p = 0.345, [ohms]$$

Βήμα 15°: Υπολογισμός των απωλειών χαλκού πρωτεύοντος, P_p

$$P_p = I_p^2 \cdot R_p = 4.35^2 \cdot 0.345 \Rightarrow P_p = 6.53, [watts]$$

Βήμα 16°: Υπολογισμός των απαιτούμενων τυλιγμάτων για τον πυκνωτή ανύψωσης, N_c

$$N_c = \frac{N_p \cdot (V_c - V_p)}{V_p} = \frac{102 \cdot (440 - 99.75)}{99.75} \Rightarrow N_c = 348, [turns]$$

Βήμα 17°: Υπολογισμός του πυκνωτή ανύψωσης της επιφάνειας τυλιγμάτων, $AWC(B)$.

$$A_{wc(B)} = \frac{J_c}{J} = \frac{3.11}{300} \Rightarrow A_{wc(B)} = 0.0104, [cm^2]$$

Βήμα 18°: Επιλογή καλωδίου από τον πίνακα 4.2

$$AWG = \# 17$$

$$A_{W(B)} = 0.0104, [cm^2]$$

$$\left(\frac{\mu\Omega}{cm} \right) = 166, [\mu\Omega/cm]$$

Βήμα 19°: Υπολογισμός της αντίστασης τυλίγματος του πυκνωτή, R_c . Χρήση της μέσης απόστασης στροφής, MLT , και της ποσότητας $\mu\Omega/cm$ που υπολογίστηκε στο βήμα 18

$$R_c = (MLT) \cdot (N_c) \cdot \left(\frac{\mu\Omega}{cm} \right) \cdot 10^{-6} = 25.6 \cdot 348 \cdot 166 \cdot 10^{-6} \Rightarrow R_c = 1.48, [ohms]$$

Βήμα 20°: Υπολογισμός των απωλειών χαλκού του πυκνωτή ανύψωσης της επιφάνειας τυλιγμάτων, P_c

$$P_c = I_c^2 \cdot R_c = 3.11^2 \cdot 1.48 \Rightarrow P_c = 14.3, [watts]$$

Βήμα 21°: Υπολογισμός των τυλιγμάτων του δευτερεύοντος, N_s

$$N_s = \frac{N_p \cdot V_s}{V_p} = \frac{102 \cdot 120}{99.75} \Rightarrow N_s = 123, [turns]$$

Βήμα 22°: Υπολογισμός της διατομής τους δευτερεύοντος τυλίγματος, $A_{ws(B)}$

$$A_{ws(B)} = \frac{J_c}{J} = \frac{2.08}{300} \Rightarrow A_{ws(B)} = 0.00693, [cm^2]$$

Βήμα 23°: Επιλογή καλωδίου από τον πίνακα 4.2

$$AWG = \# 19$$

$$A_{W(B)} = 0.00653, [cm^2]$$

$$\left(\frac{\mu\Omega}{cm} \right) = 264, [\mu\Omega/cm]$$

Βήμα 24°:Υπολογισμός της αντίστασης δευτερεύοντος, R_s .
Χρήση της μέσης απόστασης στροφής, MLT , και της ποσότητας $\mu\Omega/cm$ που υπολογίστηκε στο βήμα 23

$$R_s = (MLT) \cdot (N_s) \cdot \left(\frac{\mu\Omega}{cm} \right) \cdot 10^{-6} = 25.6 \cdot 123 \cdot 264 \cdot 10^{-6} \Rightarrow R_c = 0.831, [ohms]$$

Βήμα 25°: Υπολογισμός των απωλειών χαλκού του δευτερεύοντος τυλίγματος, P_s

$$P_s = I_s^2 \cdot R_s = 2.08^2 \cdot 0.831 \Rightarrow P_s = 3.59, [watts]$$

Βήμα 26°:Υπολογισμός των συνολικών απώλειων χαλκού, P_{cu}

$$P_{cu} = P_p + P_s + P_c = 6.53 + 3.59 + 14.3 \Rightarrow P_{cu} = 24.4, [watts]$$

Βήμα 27° :Υπολογισμός της ποσότητας watts/kilogram, W/K , για την κατάλληλο υλικό του πυρήνα (Οι συντελεστές επιλέγονται από τον πίνακα 4.3).

Πίνακας 4.3:Συντελεστές απωλειών πυρήνα

Core Loss Equation Factors					
Iron Alloy					
Material	Thickness mil's	Frequency Range	Coefficient k	Coefficient (m)	Coefficient (n)
50/50 Ni-Fe	1.00		0.0028100	1.210	1.380
	2.00		0.0005590	1.410	1.270
	4.00		0.0006180	1.480	1.440
Supermendur	2.00	400 Hz	0.0236000	1.050	1.300
	4.00		0.0056400	1.270	1.360
Permalloy 80	1.00		0.0000774	1.500	1.800
	2.00		0.0001650	1.410	1.770
	4.00		0.0002410	1.540	1.990
Supermalloy	1.00		0.0002460	1.350	1.910
	2.00		0.0001790	1.480	2.150
	4.00		0.0000936	1.660	2.060
Silicon	1.00		0.0593000	0.993	1.740
	2.00		0.0059700	1.260	1.730
	4.00		0.0035700	1.320	1.710
	12.00		0.0014900	1.550	1.870
	14.00		0.0005570	1.680	1.860
	24 M27 non-or	50-60 Hz	0.0386000	1.000	2.092

$$W/K = 0.000557 \cdot f^{1.68} \cdot B_s^{1.86} = 0.000557 \cdot 60^{1.68} \cdot 1.95^{1.86} \vec{\square}$$

$$W/K = 1.87, [\text{watts} - \text{per} - \text{kilogram}]$$

Βήμα 28°: Υπολογισμός των απωλειών σιδήρου, P_{fe}

$$P_{fe} = \left(\frac{W}{K} \right) \cdot W_{tfe} = 1.87 \cdot 3.71 \vec{\square} P_{fe} = 6.94, [\text{watts}]$$

Βήμα 29°: Υπολογισμός των συνολικών απωλειών, P_{Σ}

$$P_{\Sigma} = P_{cu} + P_{fe} = 24.4 + 6.94 \vec{\square} P_{\Sigma} = 31.34, [\text{watts}]$$

Βήμα 30°: Υπολογισμός της επιφανειακής πυκνότητας ισχύος του μετασχηματιστή, ψ

$$\psi = \frac{P_{\Sigma}}{A_t} = \frac{31.34}{652} \vec{\square} \psi = 0.0481, [\text{watts} - \text{per} - \text{cm}^2]$$

Βήμα 31°: Υπολογισμός της αύξησης της θερμοκρασίας, T_r

$$T_r = 450 \cdot \psi^{0.826} = 450 \cdot 0.0481^{0.826} \Rightarrow T_r = 36.7, [^{\circ}\text{C}]$$

Βήμα 32°: Υπολογισμός του βαθμού απόδοσης τους μετασχηματιστή, n

$$n = \frac{P_o}{P_o + P_{\Sigma}} \cdot 100 = \frac{250}{250 + 31.3} \cdot 100 \Rightarrow n = 88.9, [\%]$$

Βήμα 33°: Υπολογισμός του συντελεστή χρησιμοποίησης, K_u

$$K_u = \frac{N_p \cdot A_{\phi(B)\#16} + N_c \cdot A_{wc(B)\#17} + N_s \cdot A_{ws(B)\#19}}{W_a} = \frac{102 \cdot 0.0131 + 348 \cdot 0.0104 + 123 \cdot 0.00653}{14.6} \approx$$

$$K_u = 0.394$$

4.3 Ανακεφαλαίωση

Συγκεντρωτικά οι προδιαγραφές του παραπάνω μετασχηματιστή είναι οι ακόλουθες

- Τάση πρωτεύοντος: $V_p = 99.75 \text{ Volts}$
- Ισοδύναμη αντίσταση πρωτεύοντος: $R_{o(R)} = 33.8 \text{ Ohms}$
- Απαιτούμενη χωρητικότητα: $CI = 238 \cdot 10^{-6} \text{ F}$
- Νέα χωρητικότητα με τη χρήση της υψηλότερης τάσης, V_c :
 $C_{(1-3)} = 12.3 \cdot 10^{-6} \text{ F}$
- Ρεύμα του πυκνωτή: $I_c = 3.11 \text{ A}$
- Ρεύμα δευτερεύοντος: $I_s = 2.08 \text{ A}$
- Ρεύμα πρωτεύοντος: $I_p = 4.35 \text{ A}$
- Φαινόμενη ισχύς: $P_t = 1741 \text{ Watt}$
- Area Product: $A_p = 279 \text{ cm}^4$
- Έλασμα πυρήνα: EI-175
- Πλήθος τυλιγμάτων του πρωτεύοντος: $N_p = 102 \text{ turns}$
- Διατομή πρωτεύοντος: $A_{\phi(B)} = 0.0145 \text{ cm}^2$
- Επιλογή αγωγού: $AWG = \# 16$, $A_{W(B)} = 0.0131, [\text{cm}^2]$,
 $\left(\frac{\mu\Omega}{\text{cm}}\right) = 132, [\mu\Omega/\text{cm}]$
- Αντίσταση πρωτεύοντος: $R_p = 0.345 \text{ ohm}$
- Απώλειες χαλκού πρωτεύοντος: $P_p = 6.53, [\text{watts}]$
- Απαιτούμενα τυλίγματα για τον πυκνωτή ανύψωσης:
 $N_c = 348 \text{ turns}$
- Πυκνωτής ανύψωσης της επιφάνειας τυλιγμάτων:
 $A_{wc(B)} = 0.0104 \text{ cm}^2$
- Επιλογή καλωδίου: $AWG = \# 17$, $A_{W(B)} = 0.0104, [\text{cm}^2]$

$$\left(\frac{\mu\Omega}{\text{cm}}\right) = 166, [\mu\Omega/\text{cm}]$$

- Αντίσταση τυλίγματος του πυκνωτή: $R_c = 1.48 \text{ ohm}$
- Απώλειες χαλκού του πυκνωτή ανύψωσης της επιφάνειας τυλιγμάτων: $P_c = 14.3 \text{ watt}$
- Τυλίγματα δευτερεύοντος: $N_s = 123 \text{ turns}$
- Διατομή του δευτερεύοντος τυλίγματος, $A_{ws(B)} = 0.00693, [cm^2]$
- Επιλογή καλωδίου: $AWG = \# 19$, $A_{w(B)} = 0.00653, [cm^2]$,

$$\left(\frac{\mu\Omega}{cm}\right) = 264, [\mu\Omega/cm]$$

- Αντίσταση δευτερεύοντος: $R_s = 0.831 \text{ ohm}$
- Απώλειες χαλκού δευτερεύοντος τυλίγματος: $P_s = 3.59 \text{ Watt}$
- Συνολικές απώλειες χαλκού: $P_{cu} = 24.4 \text{ watt}$
- Ποσότητα watts/kilogram, W/K, για την κατάλληλο υλικό του πυρήνα: $\frac{W}{K} = 1.87 \text{ watts-per-kilogram}$
- Απώλειες σιδήρου: $P_{fe} = 6.94 \text{ watt}$
- Συνολικές απώλειες: $P_\Sigma = 31.34 \text{ watt}$
- Επιφανειακή πυκνότητα ισχύος του μετασχηματιστή: $\psi = 0.0481 \text{ watts-per-cm}^2$
- Αύξηση της θερμοκρασίας: $T_r = 36.7, [^\circ C]$
- Βαθμός απόδοσης του μετασχηματιστή: $n = 88.9\%$
- Συντελεστής χρησιμοποίησης: $K_u = 0.394$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΤΑΣΗΣ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Ο Μετασχηματιστής Σταθερής Τάσης [CVT] είναι ένας μη γραμμικός μετασχηματιστής ο οποίος παρέχει ρυθμιζόμενη τάση εξόδου μέσω ενός ηλεκτρομαγνητικού φαινομένου που ονομάζεται σιδηροσυντονισμός. Χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές οι οποίες απαιτούν σταθερές τάσεις εξόδου, ιδίως όταν η τάση εισόδου είναι πιθανόν να ποικίλει λόγω αστάθειας και διαταραχών της γραμμής τροφοδοσίας.

5.1 Μερικά γνωστά τροφοδοτικά

- Τροφοδοτικό διακοπών [SMPS:Switched Mode Power Supply] - Το SMPS είναι ένα ηλεκτρονικό τροφοδοτικό που λειτουργεί μέσω ενός ρυθμιστή διακοπών για να μετατρέψει αποτελεσματικά την ηλεκτρική ενέργεια. Το SMPS από πηγή DC ή AC, φορτία DC, όπως ένας προσωπικός υπολογιστής, ενώ μετατρέπει τα χαρακτηριστικά της τάσης και του ρεύματος.
- Αυτόματος Μετασχηματιστής Τάσης [AVT:Automatic Voltage Transformer] -Το AVT είναι ένας σταθεροποιητής που χρησιμοποιείται για τροφοδοσία ανάγκης, σε πετρελαιοφόρα, σε γεννήτριες και ούτω καθεξής. Είναι μια ηλεκτρονική συσκευή ισχύος που χρησιμοποιείται για μεταβλητή τάση και αυτό μπορεί να γίνει χωρίς να αλλάξει ο συντελεστής ισχύος. Εάν η τάση της τροφοδοσίας είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής με βήμα προς τα κάτω και εάν η τάση είναι μικρότερη χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής βαθμίδας.
- Ηλεκτρομηχανικός ρυθμιστής: Ο ηλεκτρομηχανικός ρυθμιστής χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της τάσης στις γραμμές διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτοί οι σταθεροποιητές ονομάζονται επίσης σταθεροποιητές τάσης ή μετασχηματιστές τάσης. Προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη σύνδεση από τον αυτόματο μετασχηματιστή, αυτοί οι σταθεροποιητές τάσης χρησιμοποιούν λειτουργία σερβομηχανισμού.

5.2 Οι χρήσεις ενός σταθεροποιητή

Ο σταθεροποιητής τάσης χρησιμοποιείται για την παροχή σταθερού ρεύματος στις ηλεκτρικές συσκευές και επίσης τους προστατεύει από ζημιές λόγω διακυμάνσεων της τάσης. Μερικές από τις κύριες χρήσεις είναι:

- Σε αναπτυσσόμενες χώρες του τρίτου κόσμου, η παροχή σταθερής και αδιάλειπτης ενέργειας αποτελεί πρόβλημα. Αυτή η διακοπόμενη παροχή ρεύματος και οι διακυμάνσεις τάσης οδηγούν σε απώλειες ζωτικής σημασίας. Σε τέτοιες καταστάσεις, οι σταθεροποιητές έρχονται να βοηθήσουν.
- Ακόμα και οι πιο μικρές διακυμάνσεις στην τροφοδοσία εναλλασσόμενου ρεύματος μπορούν να προκαλέσουν βλάβη σε ζωτικής σημασίας εξοπλισμό (όπως ιατρικά μηχανήματα) και σε απώλεια δεδομένων στους υπολογιστές.
- Οι περισσότερες από τις ηλεκτρονικές συσκευές μπορούν να λειτουργούν σε χαμηλές τάσεις, αλλά μερικές φορές εμφανίζονται προβλήματα όπως βυθίσεις τάσης και υπερτάσεις που προκαλούν τεράστια προβλήματα.
- Οι αιχμές είναι βραχυχρόνιες ηλεκτρικές μεταβάσεις στην τάση, προκαλούνται συνήθως από κεραυνό, διακοπή ρεύματος, βραχυκύκλωμα και δυσλειτουργία στην εταιρεία παροχής ενέργειας. Συνήθως, όλες οι ηλεκτρονικές συσκευές μπορούν να χειριστούν αιχμές 100V, αλλά περισσότερο από αυτό μπορεί να οδηγήσει στη συντριβή του υλικού.

5.3 Τα οφέλη του CVT έναντι άλλων

- Ρύθμιση καλύτερης τάσης: Η διακύμανση της τάσης εισόδου ενός CVT φτάνει έως και 40% και παρέχει ρύθμιση τάσης από 1 έως 4% στην έξοδο.
- Όριο ρεύματος: Ο έλεγχος του ρεύματος στην εκάστοτε εγκατάσταση ανάλογα με την ανάγκη είναι το κύριο πλεονέκτημα της CVT.
- Ανθεκτικότητα: Το CVT δεν έχει κανένα κινητό μέρος, επομένως είναι εύκολο να συντηρηθεί και να εργαστεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από άλλους μετασχηματιστές.

- Μπορεί να ανιχνεύσει τις μικρές διακυμάνσεις τάσης και να παρέχει σταθερή παροχή τάσης για την αδιάκοπη ροή εργασίας.

5.4 Το συμπέρασμα

Το CVT είναι ένας από τους καλύτερους σταθεροποιητές στη βιομηχανία. Η αξιοπιστία και η απλότητα της CVT την καθιστούν δημοφιλή επιλογή. Είναι μια ανθεκτική συσκευή και μπορεί να είναι σε συνεχή χρήση για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις. Ένα CVT είναι μια συσκευή που προστατεύει τόσο την παροχή όσο και το φορτίο που συνδέεται με αυτό. Συνεπώς, ο Μετασχηματιστής Σταθερής Τάσης είναι η τέλεια επιλογή για κάθε ευαίσθητη ηλεκτρονική συσκευή που απαιτεί σταθερή τροφοδοσία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- TRANSFORMER AND INDUCTOR DESIGN HANDBOOK,
COLONEL WM.T. McLYMAN
- <https://www.nantech.in/the-efficiency-of-constant-voltage-transformer-compared-to-other-stabilizers/>
- <https://www.brighthubengineering.com/commercial-electrical-applications/62113-how-a-constant-voltage-transformer-is-more-efficient/>
- <http://www.aelgroup.co.uk/faq/faq001.php>