



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Τομέας Συστημάτων Παραγωγής

Εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Ηλεκτρονικής

**Ανάπτυξη Μεθοδολογίας και Λογισμικού
για τη Σχεδίαση Μετασχηματιστών Ισχύος με Ελάχιστο Αριθμό
Παραμέτρων Εισόδου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΛΙΤΣΟΥ ΕΡΙΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ

ΓΕΩΡΓΙΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ, Επ. Καθηγητής

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΚΟΥΪΚΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, Καθηγητής

ΝΙΚΟΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Λέκτορας

ΓΕΩΡΓΙΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ, Επ. Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2005

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη Διπλωματική μου Εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εκπόνησή της ξεκίνησε το Μάιο του 2004 και ολοκληρώθηκε το Σεπτέμβριο του 2005, υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή κ. Γεωργιλάκη Παύλου.

Αυτούς τους δεκαεπτά μήνες, μετά από σκληρή και χρονοβόρα εργασία, έγινε τελικά εφικτό να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική εργασία η οποία, θα πρέπει να τονίσω ότι δε θα μπορούσε να περατωθεί χωρίς την πολύτιμη βοήθεια του Καθηγητή μου κ. Γεωργιλάκη Παύλου καθώς και του κ. Σουφλάρη Αθανάσιου, μηχανικού μελετών μετασχηματιστών της εταιρίας Σνεντέρ Ελεκτρικ ΑΕ.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γεωργιλάκη Παύλο, ο οποίος μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το αντικείμενο των μετασχηματιστών και με την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που παρείχε, καλλιέργησε άρτιο κλίμα συνεργασίας σε όλη την πορεία της εργασίας, υπογράφοντας την επιτυχή της ολοκλήρωση. Η βοήθεια του κ. Σουφλάρη Αθανάσιου ήταν κάτι παραπάνω από πολύτιμη. Με τις τεχνικές του γνώσεις πάνω στο αντικείμενο των μετασχηματιστών καθόρισε την επιτυχή ολοκλήρωση κρίσιμων βημάτων της εργασίας, καθώς ήταν πάντα παρών σε κάθε προβληματισμό μου παρόλο το φόρτο εργασίας που είχε στο εργοστάσιο.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το συμφοιτητή μου Γκιουλέκα Αλκιβιάδη για την πολύτιμη βοήθειά του στη σύγκριση των δύο λογισμικών.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ και στον κ. Κουϊκόγλου Βασίλειο, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, καθώς και στον κ. Νικολό Ιωάννη, Λέκτορα του Πολυτεχνείου Κρήτης, για το χρόνο που διέθεσαν για την ανάγνωση της διπλωματικής μου εργασίας και για την παρακολούθηση της παρουσιάσής μου.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου είναι το λιγότερο που θα μπορούσα να πω στους ανθρώπους εκείνους, οι οποίοι ανέχτηκαν, την εξαιτή φοίτησή μου στο Πολυτεχνείο. Ελπίζω, τα εφόδια που πήρα τα χρόνια αυτά, αλλά και η μετέπειτα πορεία μου, να φανούν αντάξια της εμπιστοσύνης που απολαμβάνω από αυτούς τους ανθρώπους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στην δημιουργία ενός νέου λογισμικού εύρεσης βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή. Στόχος της εργασίας είναι η μείωση των παραμέτρων εισόδου, που χρειάζονται για την εύρεση ενός βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή, από 137 σε μόλις 12. Η εργασία πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με την εταιρία κατασκευής Μετασχηματιστών ισχύος Σνεντέρ Ελεκτρικ ΑΕ, η οποία είναι θυγατρική του ομίλου Schneider Electric Industries SA.

Στα πλαίσια της εργασίας δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα, το οποίο απευθύνεται στους μηχανικούς πωλήσεων και είναι σε θέση να υπολογίζει έναν βέλτιστο τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή ισχύος, με 12 παραμέτρους και σε λιγότερο από 1.5 λεπτά.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Μετασχηματιστές Ισχύος, Μεταβλητές Επαναληπτικών Δοκιμών, Ελάχιστες Παράμετροι εισόδου, Λογισμικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ	1
1.1.1	Ταξινόμηση Μ/Σ με Βάση τη Χρήση	1
1.1.2	Ταξινόμηση Μ/Σ με Βάση την Ψύξη	2
1.1.3	Ταξινόμηση Μ/Σ με Βάση το Μονωτικό Μέσο	3
1.1.4	Ταξινόμηση Μ/Σ με Βάση την Κατασκευή του Πυρήνα	3
1.2	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ	4
1.3	ΑΝΟΧΕΣ ΚΑΤΑ IEC 76 - 1	5
1.4	ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ	6
1.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ Μ/Σ	7
1.6	ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	7
1.7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

2.1	ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	9
2.1.1	Περιγραφικές Μεταβλητές	10
2.1.2	Μεταβλητές Δύσκολα Μεταβαλλόμενες	10
2.1.3	Μεταβλητές Με Προκαθορισμένες Τιμές	14
2.1.4	Μεταβλητές Κόστους	16
2.1.5	Μεταβλητές Επαναληπτικών Δοκιμών	17
2.1.6	Διάφορες Μεταβλητές	18
2.2	ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΓΩΓΩΝ	19
2.2.1	Απαραίτητες Μεταβλητές Με Κριτήριο Τη Θερμική Δοκιμή Βραχυκύκλωσης	19
2.2.2	Απαραίτητες Μεταβλητές Με Κριτήριο Την Πυκνότητα Ρεύματος	19
2.2.3	Απαραίτητες Μεταβλητές Με Κριτήριο Τις Ειδικές Απώλειες (W/Kgr)	20
2.2.4	Ενδιάμεσες Μεταβλητές Για Τον Υπολογισμό Της Διατομής Των Αγωγών	20
2.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	21
2.3.1	Πηνίο Χαμηλής Τάσης	21
2.3.2	Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης	22
2.3.3	Πηνίο Υψηλής Τάσης	23
2.3.4	Υποπηνίο Υψηλής Τάσης	23
2.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΓΩΓΩΝ	24
2.4.1	Υπολογισμός Διατομής Αγωγών με Κριτήριο τη Θερμική Δοκιμή Βραχυκύκλωσης	24
2.4.1.1	Αλγόριθμος Υπολογισμού Διατομής Αγωγού	24
2.4.1.2	Πηνίο Χαμηλής Τάσης	26
2.4.1.3	Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης	26

2.4.1.4	Πηνίο Υψηλής Τάσης	26
2.4.1.5	Υποπηνίο Υψηλής Τάσης	26
2.4.2	Υπολογισμός Διατομής Αγωγών με Κριτήριο την Πυκνότητα Ρεύματος	27
2.4.2.1	Πηνίο Χαμηλής Τάσης	27
2.4.2.2	Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης	27
2.4.2.3	Πηνίο Υψηλής Τάσης	27
2.4.2.4	Υποπηνίο Υψηλής Τάσης	28
2.4.3	Υπολογισμός Διατομής Αγωγών με Κριτήριο τις Ειδικές Απώλειες	28
2.4.3.1	Πηνίο Χαμηλής Τάσης	28
2.4.3.2	Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης	28
2.4.3.3	Πηνίο Υψηλής Τάσης	29
2.4.3.4	Υποπηνίο Υψηλής Τάσης	29
2.5	ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΓΩΓΩΝ	30
2.5.1	Τυποποίησης Αγωγού Κυκλικής Διατομής	30
2.5.1.1	Αλγόριθμος Τυποποίησης Αγωγού Κυκλικής Διατομής	30
2.5.1.2	Πηνίο Χαμηλής Τάσης	30
2.5.1.3	Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης	31
2.5.1.4	Πηνίο Υψηλής Τάσης	31
2.5.1.5	Υποπηνίο Υψηλής Τάσης	31
2.5.2	Τυποποίησης Ταινίας	32
2.5.2.1	Αλγόριθμος Τυποποίησης Ταινίας	32
2.5.2.2	Πηνίο Χαμηλής Τάσης	32
2.5.2.3	Πηνίο Υψηλής Τάσης	33
2.5.3	Τυποποίηση Αγωγού Ορθογωνικής Διατομής	33
2.5.3.1	Αλγόριθμος Τυποποίησης Αγωγού Ορθογωνικής Διατομής	33
2.5.3.2	Πηνίο Χαμηλής Τάσης	34
2.5.3.3	Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης	34
2.5.3.4	Πηνίο Υψηλής Τάσης	35
2.5.3.5	Υποπηνίο Υψηλής Τάσης	35
2.6	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΥΡΕΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ Μ/Σ (TRANSFORMER DESIGN PROGRAM)	36
2.6.1	Γενικά	36
2.6.2	Είσοδος Μεταβλητών	37
2.6.3	Επίλυση	48
2.7	ΒΙΒΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ Μ/Σ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

3.1	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ	51
3.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	53
3.2.1	Υπολογισμός της Διάστασης D του Πυρήνα	53
3.2.2	Υπολογισμός της Διάστασης G του Πυρήνα	53
3.2.3	Υπολογισμός της Μαγνητικής Επαγωγής B	53
3.2.4	Υπολογισμός των σπειρών n_{LV} του Πηνίου	55
3.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΗΣ ΑΝΑ ΣΠΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΧΟΥΣ ΣΚΕΛΟΥΣ ΠΥΡΗΝΑ	55
3.3.1	Υπολογισμός Τάσης Ανά Σπείρα	55
3.3.2	Υπολογισμός Πάχους Σκέλους Πυρήνα	56
3.4	ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΩΝ ΜΟΝΩΣΗΣ	57
3.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΗΝΙΟΥ	65
3.5.1	Διαστάσεις Πηνίου Χαμηλής Τάσης	65
3.5.2	Διαστάσεις Πηνίου Υψηλής Τάσης	68
3.6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΩΝ	70
3.7	ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΟΡΘΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ	72
3.7.1	Έλεγχος Καταλληλότητας Μονωτικού Μεταξύ Των Στρώσεων Χαμηλής Τάσης	72
3.7.2	Έλεγχος Καταλληλότητας Μονωτικού Μεταξύ Των Στρώσεων Υψηλής Τάσης	73
3.8	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΠΥΡΗΝΑ	73
3.9	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ	77
3.10	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΧΑΛΚΟΥ	81
3.10.1	Απώλειες Χαλκού Χαμηλής Τάσης	81
3.10.2	Απώλειες Χαλκού Υψηλής Τάσης	81
3.11	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΑΓΩΓΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΙ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ	82
3.12	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΩΜΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ	83
3.13	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΗΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ	83
3.14	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΠΗΝΙΟΥ	83
3.14.1	Υπολογισμός Πάχους Καναλιών	84
3.14.2	Υπολογισμός Πάχους Μπαρών Χαμηλής Τάσης	84
3.14.3	Υπολογισμός Πάχους Μπαρών Υψηλής Τάσης	85
3.14.4	Υπολογισμός Λοιπών Παχών και Ανοχών	86
3.14.5	Υπολογισμός Συνολικού Μήκους Πηνίου	87
3.15	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΖΑΝΙΟΥ	87
3.15.1	Υπολογισμός Μήκους Καζανιού	87
3.15.2	Υπολογισμός Πλάτους Καζανιού	88

3.15.3	Υπολογισμός Ελάχιστου Ύψους Καζανιού	88
3.15.4	Υπολογισμός Ύψους Λαδιού	89
3.16	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΛΑΔΙΟΥ ΚΑΙ ΧΑΛΚΟΥ	89
3.16.1	Μέσο Διαφορικό Θερμοκρασίας Λαδιού και Αγωγού Χαμηλής Τάσης	89
3.16.2	Μέσο Διαφορικό Θερμοκρασίας Λαδιού και Αγωγού Υψηλής Τάσης	90
3.17	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΠΑΝΕΛΩΝ	91
3.18	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	96
3.18.1	Μονωτικά Υλικά Χαμηλής Τάσης	96
3.18.1.1	Χαρτόνι Tube (πάχος = 1.5 mm)	97
3.18.1.2	Μονωτικά Στρώσεων	97
3.18.1.3	Μονωτικά Καναλιών Πηνίου (πάχος = 0.15 mm)	97
3.18.1.4	Μονωτικά Περιμετρικών Καναλιών Πηνίου (πάχος = 0.15 mm)	97
3.18.1.5	Μονωτικά Διακένου	97
3.18.1.6	Μονωτικά Χαρτονιού Extend	98
3.18.1.7	Μονωτικά Υλικά Μεταξύ Υποπηνίων Χ.Τ (εάν υπάρχουν)	98
3.18.2	Μονωτικά Υλικά Υψηλής Τάσης	98
3.18.2.1	Μονωτικά Στρώσεων	98
3.18.2.2	Μονωτικά Καναλιών Πηνίου (πάχος = 0.15 mm)	98
3.18.2.3	Μονωτικά Περιμετρικών Καναλιών Πηνίου (πάχος = 0.15 mm)	98
3.18.2.4	Μονωτικά Διακένου	99
3.18.2.5	Μονωτικά Υλικά Μεταξύ Υποπηνίων Υ.Τ (εάν υπάρχουν)	99
3.19	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	99
3.20	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	100
3.20.1	Βάρος Καναλιών Χαμηλής Τάσης	100
3.20.2	Βάρος Καναλιών Υψηλής Τάσης	100
3.21	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΛΑΔΙΟΥ	101
3.22	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ	102
3.23	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΜΕΛΕΤΗΣ Μ/Σ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

4.1	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (Install) ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	105
4.2	ΑΠΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (Uninstall) ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	110
4.3	ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	111
4.4	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ	112
4.5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΟΔΟΥ	120

4.6	ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ 630 kVA	122
-----	--------------------------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

5.1	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ	125
5.2	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	125
5.2.1	Κατηγορία Μετασχηματιστών Ισχύος 250 kVA	125
5.2.2	Κατηγορία Μετασχηματιστών Ισχύος 630 kVA	128
5.2.3	Κατηγορία Μετασχηματιστών Ισχύος 1000 kVA	130
5.2.4	Κατηγορία Μετασχηματιστών Ισχύος 1600 kVA	132
5.3	ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	135

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1	Συμπεράσματα	137
-----	--------------	-----

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Μετασχηματιστής (Μ/Σ) είναι μια ηλεκτρική μηχανή η οποία επιτρέπει τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας με τρόπο απλό και πολύ οικονομικό, αφού η απόδοσή του είναι μεγαλύτερη από 95%. Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρετε στη δημιουργία λογισμικού (Software), με τη βοήθεια του οποίου θα υπολογίζετε ο βέλτιστος τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστής [1.1].

1.1 ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Οι μετασχηματιστές ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με [1.1]:

- a. Τη χρήση,
- b. Την ψύξη,
- c. Το μονωτικό μέσο,
- d. Την κατασκευή του πυρήνα.

1.1.1 Ταξινόμηση Μ/Σ με Βάση τη Χρήση

Ανάλογα με τη χρήση, υπάρχουν οι ακόλουθες κατηγορίες μετασχηματιστών [1.1]:

a. Μετασχηματιστές Διανομής

Χρησιμοποιούνται σε δίκτυα διανομής για να μεταφέρουν ενέργεια από το δίκτυο μέσης τάσης (MT) στο δίκτυο χαμηλής τάσης (XT) των καταναλωτών. Η ισχύς τους είναι συνήθως από 50 kVA έως 1600 kVA.

b. Μετασχηματιστές Ισχύος

Χρησιμοποιούνται στους σταθμούς παραγωγής για την ανύψωση της τάσης και στους υποσταθμούς (Υ/Σ) μεταφοράς, είτε για την ανύψωση ή για τον υποβιβασμό της τάσης μέχρι τη MT. Η ισχύς τους είναι συνήθως από 2 MVA και πάνω.

c. Αυτομετασχηματιστές

Χρησιμοποιούνται για την μετατροπή τάσεων εντός σχετικά μικρών ορίων, για τη σύνδεση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας διαφόρων τάσεων, για την εκκίνηση κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος (EP), κτλ.

d. Μετασχηματιστές για τροφοδότηση διατάξεων με στατούς μετατροπής

Οι μετασχηματιστές της κατηγορίας αυτής τροφοδοτούν διατάξεις με στατούς μετατροπής, όπως ανορθωτές υδραργύρου και διατάξεις στερεάς κατάστασης, οι οποίες χρησιμοποιούνται είτε για ανόρθωση εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ) σε συνεχές ρεύμα (ΣΡ), είτε για αντιστροφή (ΣΡ σε ΕΡ).

e. Μετασχηματιστές δοκιμών

Χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση δοκιμών με υψηλή ή υπερυψηλή τάση.

f. Ειδικοί μετασχηματιστές ισχύος

Χρησιμοποιούνται για ειδικές εφαρμογές όπως οι ηλεκτρικοί κλίβανοι και οι συγκολλήσεις.

g. Μετασχηματιστές μετρήσεων

Χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση οργάνων μέτρησης σε δίκτυο με σκοπό τη μέτρηση τάσης και έντασης.

h. Μετασχηματιστές τηλεπικοινωνιών

Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών στοχεύοντας στην αξιόπιστη αναπαραγωγή του σήματος σε ευρεία περιοχή συχνότητας και τάσης.

1.1.2 Ταξινόμηση Μ/Σ με Βάση την Ψύξη

Η κωδικοποίηση της ψύξης των μετασχηματιστών γίνεται με χρήση 4 γραμμάτων: τα δύο πρώτα αφορούν τον τρόπο κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου εσωτερικά (σε επαφή με τα τυλίγματα) του μετασχηματιστή και τα δύο τελευταία στον τρόπο κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου εξωτερικά του μετασχηματιστή. Για παράδειγμα, στους μετασχηματιστές που ψύχονται με φυσική κυκλοφορία, το μονωτικό λάδι (εσωτερικό ψυκτικό μέσο) ψύχει με φυσική κυκλοφορία τα πηνία απάγοντας θερμότητα που μεταφέρεται στα ψυκτικά μέσα (σωλήνες, ψυκτικά σώματα, ψυκτικά πανέλα) και ο αέρας (εξωτερικό ψυκτικό μέσο) ψύχει τα ψυκτικά πανέλα χωρίς βεβιασμένη κίνηση. Ο τρόπος αυτός χαρακτηρίζεται ως ONAN (Oil Natural Air Natural).

Στους μετασχηματιστές ισχύος χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση διάφορες τεχνικές ψύξης με βεβιασμένη κυκλοφορία του λαδιού μέσω αντλιών είτε βεβιασμένη κυκλοφορία του αέρα μέσω ανεμιστήρων, είτε και τα δύο. Έτσι έχουμε:

ONAF: Φυσική κυκλοφορία λαδιού, βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα.

OFAN: Βεβιασμένη κυκλοφορία λαδιού, φυσική κυκλοφορία αέρα.

OFAF: Βεβιασμένη κυκλοφορία λαδιού, βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα.

OFWF: Βεβιασμένη κυκλοφορία λαδιού, βεβιασμένη κυκλοφορία νερού.

Συνδυασμοί όπως ONAN/ONAF, ONAN/OFAN ή ONAN/OFAF είναι αδύνατοι [1.1].

1.1.3 Ταξινόμηση Μ/Σ με Βάση το Μονωτικό Μέσο

Ανάλογα με το μονωτικό μέσο, οι μετασχηματιστές διακρίνονται σε [1.1]:

a. Μετασχηματιστές με ορυκτό λάδι

Το μονωτικό μέσο είναι προϊόν κλασματικής απόσταξης πετρελαίου, ναφθениκής ή παραφινικής ή ενδιάμεσης βάσης.

b. Μετασχηματιστές με συνθετικό λάδι

Το μονωτικό μέσο είναι συνθετικό (σιλικονούχο) λάδι.

c. Μετασχηματιστές ξηρού τύπου

Η ψύξη γίνεται με φυσική κυκλοφορία του αέρα και τα τυλίγματα είναι μονωμένα συνήθως με υλικά κλάσης H ή F. Τα υλικά κλάσης H είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν, σε κανονικές συνθήκες, σε θερμοκρασίες έως 180 °C και τα υλικά κλάσης F σε θερμοκρασίες έως 155 °C.

d. Μετασχηματιστές ρητίνης

Είναι ξηρού τύπου μετασχηματιστές, όπου τα τυλίγματα είναι μονωμένα συνήθως με υλικά κλάσης F και χυτευμένα σε εποξική ρητίνη.

1.1.4 Ταξινόμηση Μ/Σ με Βάση την Κατασκευή του Πυρήνα

Η κατασκευή του μαγνητικού κυκλώματος των τριφασικών μετασχηματιστών μπορεί να γίνει με δύο τρόπους [1.1]:

a. Μ/Σ με τρία πόδια (κάθετα σκέλη)

Η μαγνητική ροή ενός σκέλους πρέπει να κλείσει μέσω των δύο άλλων και διαρρέει και τα τυλίγματα των άλλων φάσεων, δηλαδή ο μετασχηματιστής δεν έχει ελεύθερη επιστροφή της ροής.

b. Μ/Σ με πέντε πόδια (κάθετα σκέλη)

Ελεύθερη επιστροφή της ροής από τα εξωτερικά ζυγώματα.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνολογίες για τη σώρευση των φύλλων του μαγνητικού υλικού:

a. Στοιβαχτός πυρήνας

Τα στρώματα των ελασμάτων τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο και τα κάθετα και οριζόντια στρώματα επικαλύπτονται μεταξύ τους.

b. Τυλιχτός πυρήνας

Το έλασμα είναι τυλιχτό σε μορφή πυρήνα από κομμένα φύλλα.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές κατηγορίες μετασχηματιστών, με βάση το υλικό κατασκευής του πυρήνα:

a. Ελάσματα από πυριτιούχο χάλυβα

Ο πυριτιούχος χάλυβας που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του πυρήνα του μετασχηματιστή είναι κράμα που αποτελείται από 97% σίδηρο και 3% πυρίτιο. Το υλικό αυτό έχει κρυσταλλική δομή. Τα ελάσματα έχουν πάχος από 0.18 έως 0.5 mm. Υπάρχουν επίσης ελάσματα για λειτουργία σε υψηλές μαγνητικές επαγωγές (Hi-B).

b. Ελάσματα από άμορφο σίδηρο

Ο άμορφος σίδηρος είναι κράμα που αποτελείται από 92% σίδηρο και 3% βόριο. Το υλικό αυτό δεν έχει κρυσταλλική δομή. Εμφανίζει περίπου 70% χαμηλότερες απώλειες κενού φορτίου σε σχέση με τον πυριτιούχο χάλυβα. Το πάχος των ελασμάτων του άμορφου σίδηρου είναι 0.025 mm, δηλαδή είναι περίπου 10 φορές λεπτότερο από το τυπικό πάχος των ελασμάτων πυριτιούχου χάλυβα.

1.2 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Η κατασκευή ενός μετασχηματιστή πραγματοποιείται σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές και τις απαιτήσεις του πελάτη. Ορισμένες από τις προδιαγραφές είναι πιθανό να υποστούν κάποιες τροποποιήσεις οπότε και επανεκδίδονται [1.3].

Οι προδιαγραφές που αφορούν τους μετασχηματιστές φαίνονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Προδιαγραφές Μ/Σ.

A/A	Προδιαγραφή	Περιγραφή
1	IEC 76 - 1	Μ/Σ ισχύος - γενικά
2	IEC 76 - 2	Μ/Σ ισχύος – Μέρος 2: Ανύψωση θερμοκρασίας
3	IEC 76 - 3	Μ/Σ ισχύος – Μέρος 3: Επίπεδα μόνωσης – διηλεκτρικές δοκιμές
4	IEC 76 - 4	Μ/Σ ισχύος – Μέρος 4: Λήψεις - συνδεσμολογίες
5	IEC 76 - 5	Μ/Σ ισχύος – Μέρος 5: Δυνατότητα αντοχής στο βραχυκύκλωμα
6	IEC 137: 1984	Διαπεραστήρες για εναλλασσόμενες τάσεις πάνω από 1000 V
7	IEC 354: 1991	Οδηγός φόρτισης Μ/Σ λαδιού
8	IEC 726: 1982	Μ/Σ ισχύος ξηρού τύπου
9	IEC 905: 1987	Οδηγός φόρτισης Μ/Σ ξηρού τύπου

Οι προδιαγραφές στο σύνολο τους σχετίζονται με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και τα εξαρτήματα των μετασχηματιστών. Η προδιαγραφή IEC 76 (1–2–3–4–5) περιγράφει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και τις δοκιμές των μετασχηματιστών όσον αφορά την δυναμική, θερμική και ηλεκτρική καταπόνηση τους. Η προδιαγραφή DIN ορίζει τις απώλειες και τα εξαρτήματα των μετασχηματιστών, ενώ η προδιαγραφή CENELEC συνδυάζει στοιχεία διάφορων προδιαγραφών [1.3].

1.3 ΑΝΟΧΕΣ ΚΑΤΑ IEC 76 – 1

Στον Πίνακα 1.2 παρουσιάζονται οι ανοχές διάφορων χαρακτηριστικών των μετασχηματιστών κατά IEC 76 – 1 [1.3].

Πίνακας 1.2: Ανοχές κατά IEC 76 – 1.

<i>ΜΕΓΕΘΟΣ</i>	<i>ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ</i>
α) Απώλειες	
α ₁) Συνολικές απώλειες (Fe+Cu)	+10% των εγγυημένων συνολικών απωλειών (Fe+Cu)
α ₂) Απώλειες Fe (απώλειες Cu)	+15% των απωλειών Fe (απωλειών Cu) με την προϋπόθεση ότι δεν θα παραβιαστεί η ανοχή για τις συνολικές απώλειες
β) Λόγος μετασχηματισμού	
β ₁) Λόγος μετασχηματισμού κατά την ονομαστική λήψη	Η μικρότερη από τις παρακάτω τιμές: α) ±0.5% του εγγυημένου λόγου μετασχηματισμού β) ±1/10 της μετρηθείσας ονομαστικής τάσης βραχυκύκλωσης (υ _κ %)
β ₂) Λόγος μετασχηματισμού των τάσεων των άλλων λήψεων	συμφωνείται με τον πελάτη
γ) Τάση βραχυκύκλωσης (Μ/Σ δύο τυλιγμάτων)	
γ ₁) Ονομαστική λήψη	±7.5% της εγγυημένης τάσης βραχυκύκλωσης, όταν η τάση βραχυκύκλωσης είναι $\geq 10\%$ ±10% της εγγυημένης τάσης βραχυκύκλωσης, όταν η τάση βραχυκύκλωσης είναι $< 10\%$
γ ₂) Σε άλλες λήψεις	±10% της εγγυημένης τάσης βραχυκύκλωσης, όταν η τάση βραχυκύκλωσης είναι $\geq 10\%$ ±15% της εγγυημένης τάσης βραχυκύκλωσης, όταν η τάση βραχυκύκλωσης είναι $< 10\%$
δ) Ρεύμα κενού	+30% του εγγυημένου ρεύματος κενού

1.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Οι μετασχηματιστές, υπόκεινται σε συγκεκριμένες δοκιμές ποιοτικού ελέγχου, για να ελεγχθεί εάν πληρούν τις απαιτήσεις των διεθνών προδιαγραφών. Οι δοκιμές αυτές διακρίνονται σε “δοκιμές τύπου”, “δοκιμές σειράς”, και “ειδικές δοκιμές” [1.3].

Οι **δοκιμές σειράς** γίνονται σε όλους τους μετασχηματιστές. Σε αυτές ανήκουν οι ακόλουθες δοκιμές:

1. Μέτρηση αντίστασης τυλιγμάτων.
2. Μέτρηση λόγου μετασχηματισμού σε όλες τις λήψεις.
3. Μέτρηση τάσης βραχυκύκλωσης.
4. Μέτρηση απωλειών φορτίου.
5. Μέτρηση ρεύματος μαγνήτισης και απωλειών κενού.
6. Διηλεκτρικές δοκιμές σειράς.

Οι **διηλεκτρικές δοκιμές σειράς** είναι οι παρακάτω:

- Δοκιμή εφαρμοζόμενης υπέρτασης βιομηχανικής υπέρτασης.
- Δοκιμή επαγόμενης υπέρτασης σε διπλάσια συχνότητα (διπλάσια τάση).

Οι **δοκιμές τύπου**, οι οποίες γίνονται σε ένα μετασχηματιστή από κάθε παρτίδα παραγωγής, είναι οι παρακάτω:

- Θερμική δοκιμή.
- Κρουστική δοκιμή.

Οι **ειδικές δοκιμές**, οι οποίες δεν συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των δοκιμών τύπου ή σειράς, εκτελούνται ύστερα από συμφωνία μεταξύ του κατασκευαστή και του πελάτη. Οι ειδικές δοκιμές είναι οι παρακάτω:

- Ειδική διηλεκτρική δοκιμή (κρουστική δοκιμή αποκομμένης τάσης).
- Προσδιορισμός των χωρητικότητων των τυλιγμάτων προς τη γη και μεταξύ των τυλιγμάτων.
- Δοκιμή αντοχής σε βραχυκύκλωμα. Σύμφωνα με τη δοκιμή αυτή ο μετασχηματιστής υποβάλλεται σε διαδοχικά βραχυκυκλώματα διάρκειας 0.5 sec τα οποία πρέπει να αντέξει. Επειδή η δοκιμή αυτή απαιτεί μεγάλη ισχύ, πραγματοποιείται μόνο σε ειδικά κέντρα δοκιμών (για παράδειγμα στην Ελλάδα γίνεται μόνο από το κέντρο δοκιμών της ΔΕΗ στην Παλλήνη).
- Μέτρηση ακουστικού θορύβου.
- Μέτρηση των αρμονικών του ρεύματος κενού φορτίου.
- Μέτρηση της αντίστασης μόνωσης και/ή μέτρηση του συντελεστή απωλειών ($\tan\delta$) των χωρητικότητων του συστήματος μόνωσης.

1.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ Μ/Σ

Όταν ο μηχανικός μελετών μετασχηματιστή παραλάβει την αίτηση του πελάτη [1.2] για κάποιο συγκεκριμένο είδος μετασχηματιστή, ξεκινάει τη διαδικασία σχεδιασμού του μετασχηματιστή με βάση το τρίπτυχο:

- Ικανοποίηση των προδιαγραφών του πελάτη.
- Ικανοποίηση των διεθνών προδιαγραφών.
- Οικονομικά αποδεκτός.

Επειδή η διαδικασία υπολογισμού του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή είναι αρκετά πολύπλοκη (λόγω των πολλών μεταβλητών που εμπλέκονται, συνολικά 137 μεταβλητές εισόδου), ο μηχανικός μελετών έχει στη διάθεση του και κατάλληλο πρόγραμμα Η/Υ, που τον βοηθάει στο έργο του.

1.6 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο την κατασκευή προγράμματος Η/Υ (software), το οποίο σε ελάχιστο χρόνο, (από ένα έως τέσσερα λεπτά, ανάλογα με τις δυνατότητες του Η/Υ) θα είναι σε θέση να δώσει μια ενδεικτική τιμή του συνολικού κόστους του μετασχηματιστή. Το λογισμικό που κατασκευάστηκε, απευθύνεται στους μηχανικούς πωλήσεων, οι οποίοι χρησιμοποιώντας το λογισμικό, θα έχουν μια ενδεικτική τιμή του κόστους του μετασχηματιστή, την οποία θα μπορούν αμέσως να ανακοινώσουν στον πελάτη.

Η ανάγκη που οδήγησε στην κατασκευή ενός νέου software, είναι ότι το υπάρχον λογισμικό, είναι αρκετά λεπτομερές όσον αφορά την είσοδο των δεδομένων, γεγονός το οποίο καθιστά τη χρήση του σχεδόν απαγορευτική, για τον οποιοδήποτε ο οποίος δεν διαθέτει την ανάλογη εμπειρία. Ουσιαστικά ο στόχος της εργασίας είναι η ελάττωση των μεταβλητών εισόδου από 137 που χρειάζονται στο υπάρχον λογισμικό σε μόλις 10 μεταβλητές.

Η εργασία αυτή αποτελείται από έξι κεφάλαια. Η δομή της έχει ως εξής:

Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφεται η θεωρία, βάση της οποίας πραγματοποιείται η μελέτη ενός μετασχηματιστή. Γίνεται επίσης περιγραφή του λογισμικού MAIN, στο οποίο στηριχθήκαμε για την υλοποίηση του νέου λογισμικού.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η μεθοδολογία μελέτης μετασχηματιστή στην οποία στηριχθήκαμε, για να καταφέρουμε να ελαχιστοποιήσουμε τον αριθμό των μεταβλητών εισόδου.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται μια αναλυτική περιγραφή του λογισμικού που αναπτύχθηκε (δομή του προγράμματος, μεταβλητές εισόδου και αποτελέσματα εξόδου). Παραθέτουμε επίσης και μια ενδεικτική μελέτη που πραγματοποιήθηκε για μετασχηματιστή ισχύος 400 kVA.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η σύγκριση των δύο λογισμικών, (παράμετροι εισόδου, αποτελέσματα εξόδου, καθώς και η ακρίβεια των δύο προγραμμάτων).

Τέλος στο **Κεφάλαιο 6** υπάρχουν τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν μετά το πέρας της διπλωματικής εργασίας.

1.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1.1] ΣΝΕΝΤΕΡ ΕΛΕΚΤΡΙΚ Α.Ε “ Τεχνικό τετράδιο n° 2 Μετασχηματιστές Διανομής Λαδιού ΕΛΒΗΜ Χρήση και Συντήρηση ”
- [1.2] http://www.schneider-electric.com.gr/gr/products/order_form.asp, Accessed on 25/06/2005.
- [1.3] Σ. Αρτεμάκη, “Εγχειρίδιο μελέτης τριφασικού μετασχηματιστή διανομής τύπου τυλιχτού πυρήνα”. Αθήνα Σεπτέμβριος 2000

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η θεωρία, βάση της οποίας πραγματοποιείται η μελέτη ενός μετασχηματιστή. Γίνεται επίσης περιγραφή του λογισμικού MAIN, στο οποίο στηριχθήκαμε για την υλοποίηση του νέου λογισμικού

2.1 ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή έχουν χωριστεί σε επτά κατηγορίες, οι οποίες είναι:

- a. Περιγραφικές μεταβλητές (Description Variables).
- b. Μεταβλητές δύσκολα μεταβαλλόμενες (Variables which hardly change).
- c. Μεταβλητές με προκαθορισμένες τιμές (Variables with default values).
- d. Μεταβλητές κόστους (Cost Variables).
- e. Μεταβλητές επαναληπτικών δοκιμών (Loop Variables).
- f. Διάφορες μεταβλητές (Various Variables).
- g. Μεταβλητές για τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών (Variables for conductors cross-section calculations).

Από τις προαναφερθείσες μεταβλητές, οι μεταβλητές επαναληπτικών δοκιμών περιγράφουν πιθανές υποψήφιες λύσεις του προβλήματος βελτιστοποίησης (σχεδίαση μετασχηματιστών με το ελάχιστο κόστος και με ταυτόχρονη ικανοποίηση των διεθνών προδιαγραφών και των απαιτήσεων του πελάτη). Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης δίνοντας n_{LV} διαφορετικές τιμές για τον αριθμό των σπειρών του πηνίου χαμηλής τάσης (Χ.Τ.), n_D διαφορετικές τιμές για τη διάσταση D του πυρήνα, n_{FD} διαφορετικές τιμές για τη μαγνητική επαγωγή, n_G διαφορετικές τιμές για τη διάσταση G του πυρήνα, cs_{LV} διαφορετικές τιμές για τη διατομή του αγωγού χαμηλής τάσης και cs_{HV} διαφορετικές τιμές για τη διατομή του αγωγού υψηλής τάσης (Υ.Τ.) το πρόγραμμα εκτελεί n_{loops} διαφορετικές ανακυκλώσεις [2.1]:

$$n_{loops} = n_{LV} * n_D * n_{FD} * n_G * cs_{LV} * cs_{HV}$$

Για κάθε μία από τις διαφορετικές λύσεις που προκύπτουν από κάθε ανακύκλωση, ελέγχετε αν ικανοποιούνται οι προδιαγραφές, για τις:

- a. Απώλειες σιδήρου

- b. Απώλειες χαλκού
- c. Τάση βραχυκύκλωσης

Σε περίπτωση που έστω και μια από τις παραπάνω προδιαγραφές δεν ικανοποιείται, η μελέτη σταματάει και προχωράμε στην επόμενη ανακύκλωση [2.1].

2.1.1 Περιγραφικές Μεταβλητές

Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι συμβολισμοί, η περιγραφή και οι μονάδες των περιγραφικών μεταβλητών που χρησιμοποιούνται [2.1].

Πίνακας 2.1: Περιγραφικές μεταβλητές.

<i>A/A</i>	<i>Σύμβολο</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>Μονάδες</i>
1	TITLE	Τίτλος μελέτης	-
2	CODE	Κωδικός αριθμός μελέτης	-
3	LVCМ	Υλικό πηνίου X.T.	-
4	HVCM	Υλικό πηνίου Y.T.	-
5	RKVA	Ονομαστική ισχύς	KVA
6	LV	Πολική τάση πηνίου X.T.	V
7	HV	Πολική τάση πηνίου Y.T.	V
8	LVCC	Συνδεσμολογία πηνίου X.T.	-
9	HVCC	Συνδεσμολογία πηνίου Y.T.	-
10	f	Συχνότητα	Hz

2.1.2 Μεταβλητές Δύσκολα Μεταβαλλόμενες

Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι συμβολισμοί, η περιγραφή των συμβολισμών, οι μονάδες και οι προκαθορισμένες τιμές των δύσκολα μεταβαλλόμενων μεταβλητών [2.1].

Πίνακας 2.2: Μεταβλητές δύσκολα μεταβαλλόμενες.

<i>A/A</i>	<i>Σύμβολο</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>Μονάδες</i>	<i>Προκαθορισμένη Τιμή</i>
1	BILLV	Βασική στάθμη μόνωσης X.T.	kV	*
2	BILHV	Βασική στάθμη μόνωσης Y.T.	kV	*
3	D _{LV-C}	Απόσταση μεταξύ πηνίου X.T. και πυρήνα	mm	*
4	D _{HV-C}	Απόσταση μεταξύ πηνίου Y.T. και πυρήνα	mm	*
5	LV _{IT}	Είδος μόνωσης αγωγού X.T.	-	2
6	HV _{IT}	Είδος μόνωσης αγωγού Y.T.	-	2
7	SI _{LV}	Μόνωση υποπηνίου X.T.	mm	*

8	SI _{HV}	Μόνωση υποπηνίου Υ.Τ.	mm	*
9	TI _{LV}	Μόνωση λήψεων πηνίου Χ.Τ. και ενίσχυση	mm	*
10	TI _{HV}	Μόνωση λήψεων πηνίου Υ.Τ. και ενίσχυση	mm	*
11	I _{LV-C}	Μόνωση μεταξύ πηνίου Χ.Τ. και πυρήνα	mm	*
12	I _{HV-LV}	Μόνωση μεταξύ Υ.Τ. και Χ.Τ.	mm	*
13	I _{HV-HV}	Εξωτερική μόνωση πηνίου Υ.Τ.	mm	*
14	I _{LVL}	Μόνωση μεταξύ στρώσεων Χ.Τ.	mm	*
15	I _{HVL}	Μόνωση μεταξύ στρώσεων Υ.Τ.	mm	*
16	t _{sc,i}	Αρχική θερμοκρ. υπολ/σμού βραχυκυκλώματος	⁰ C	105
17	t _{sc,f}	Τελική θερμοκρ. υπολ/σμού βραχυκυκλώματος	⁰ C	250
18	A _{sc}	Συντελεστής Α κατά το βραχυκύκλωμα	-	8.15
19	T _{sc}	Διάρκεια βραχυκυκλώματος	sec	2
20	S	Ισχύς συστήματος	VA	250*10 ⁶
21	CSF	Συντελεστής πλήρωσης πυρήνα	-	0.965
22	TDSP _{LV}	Συντελεστής στρώσης σπειρών Χ.Τ.	-	*
23	TDSP _{HV}	Συντελεστής στρώσης σπειρών Υ.Τ.	-	*
24	LDSP _{LV}	Συντελεστής πάχους πηνίου Χ.Τ.	-	*
25	LDSP _{HV}	Συντελεστής πάχους πηνίου Υ.Τ.	-	*
26	FeF	Πίνακας απωλειών σιδήρου	-	LOSS FE.DAT
27	g _{LV}	Πυκνότητα αγωγού Χ.Τ.	gr/cm ³	*
28	g _{HV}	Πυκνότητα αγωγού Υ.Τ.	gr/cm ³	*
29	g _P	Πυκνότητα χαρτιού	gr/m ²	*
30	g _{DS}	Πυκνότητα καναλιών	gr/cm ³	1.25
31	g _{MS}	Πυκνότητα μαγνητικής λαμαρίνας	gr/cm ³	7.65
32	g _S	Πυκνότητα μαύρης λαμαρίνας	gr/cm ³	7.86
33	g _O	Πυκνότητα λαδιού	gr/cm ³	0.87
34	p _{LV}	Ειδική αντίσταση αγωγού Χ.Τ.	Ω*mm ² /m	*
35	p _{HV}	Ειδική αντίσταση αγωγού Υ.Τ.	Ω*mm ² /m	*
36	TT _t	Πάχος καζανιού	mm	4
37	F _t	Πάχος φρέιμ	mm	*
38	TC _t	Πάχος καλύμματος δοχείου	mm	*
39	DF	Πίνακας διαστάσεων D πυρήνα	-	D.DAT
40	D _w	Πλάτος καναλιού	mm	10
41	R _{h,min}	Ύψος ψυκτικού πανέλλου	mm	355
42	CTE	Ύπαρξη δοχείου διαστολής	-	*
43	INV	Ανοχές τάσης βραχυκύκλωσης	%	10
44	CCEE	Απόσταση πηνίου και πυρήνα	mm	3

1. Η βασική στάθμη μόνωσης της χαμηλής τάσης (BILLV) και υψηλής τάσης (BILHV) υπολογίζονται από τον πίνακα 2.3 σαν συνάρτηση της χαμηλής και υψηλής τάσης αντίστοιχα.

Πίνακας 2.3: Βασική στάθμη μόνωσης.

<i>Voltage (V)</i>	<i>B.I.L (kV)</i>
≤ 1100	10
≤ 3600	40
≤ 7200	60
≤ 12000	75
≤ 17500	95
≤ 24000	125
> 24000	170

2. Η απόσταση (Distance) μεταξύ πηνίου X.T. και πυρήνα (D_{LV-C}) και η απόσταση μεταξύ πηνίου Y.T. και πυρήνα (D_{HV-C}) υπολογίζονται από τον πίνακα 2.4 συναρτήσει των BILLV και BILHV αντίστοιχα.

Πίνακας 2.4: Απόσταση μεταξύ πυρήνα και πηνίου (X.T. ή Y.T.).

<i>B.I.L. (kV)</i>	<i>Distance (mm)</i>
≤ 40	6
≤ 75	14
≤ 125	19
≤ 170	48

3. Η μόνωση του υποπηνίου X.T. με τον πυρήνα (SI_{LV}) και η μόνωση του υποπηνίου Y.T. με τον πυρήνα (SI_{HV}) υπολογίζονται συναρτήσει των δεδομένων εισόδου της διαφοράς τάσης πηνίου X.T. (ΔV_{LV}) και της διαφοράς τάσης πηνίου Y.T. (ΔV_{HV}) ως εξής:
 - εάν $\Delta V_{LV} \neq 0$ τότε $SI_{LV} = 1.68$, αλλιώς $SI_{LV} = 0$.
 - εάν $\Delta V_{HV} \neq 0$ τότε $SI_{HV} = 1.68$, αλλιώς $SI_{HV} = 0$.
4. Η μόνωση λήψεων πηνίου X.T. και ενίσχυση (TI_{LV}) και η μόνωση λήψεων πηνίου Y.T. και ενίσχυση (TI_{HV}) υπολογίζονται συναρτήσει των δεδομένων εισόδου της ελάχιστης λήψης πηνίου X.T. ($TAPS_{LV,min}$), της μέγιστης λήψης πηνίου X.T. ($TAPS_{LV,max}$), της ελάχιστης λήψης πηνίου Y.T. ($TAPS_{HV,min}$) και της μέγιστης λήψης πηνίου Y.T. ($TAPS_{HV,max}$) ως εξής:

- εάν $(TAPS_{LV,min} + TAPS_{LV,max}) > 0$ τότε $TI_{LV} = 1.4$, αλλιώς $TI_{LV} = 0$.
 - εάν $(TAPS_{HV,min} + TAPS_{HV,max}) > 0$ τότε $TI_{HV} = 1.4$, αλλιώς $TI_{HV} = 0$.
5. Η μόνωση (Insulation) μεταξύ πηνίου X.T. και πυρήνα (I_{LV-C}), η μόνωση μεταξύ πηνίου Y.T. και πυρήνα (I_{HV-C}) και η εξωτερική μόνωση πηνίου Y.T. (I_{HV-HV}) υπολογίζονται από τον πίνακα 2.5 συναρτήσει της βασικής στάθμης μόνωσης πηνίου X.T. ($BILLV$) και της βασικής στάθμης μόνωσης πηνίου Y.T. ($BILHV$) αντίστοιχα.

Πίνακας 2.5: Μόνωση μεταξύ πυρήνα και πηνίου (X.T. ή Y.T.).

<i>B.I.L. (KV)</i>	<i>Insulation (mm)</i>
≤ 10	1.5
≤ 40	4.5
≤ 95	5
≤ 125	6.9
≤ 170	10.65

Σημείωση: Η μόνωση μεταξύ Y.T. και X.T. υπολογίζεται από τη μέγιστη βασική στάθμη μόνωσης για τα πηνία X.T. και Y.T.

6. Η μέθοδος υπολογισμού των τιμών τόσο της μόνωσης μεταξύ των στρώσεων X.T. (I_{LVL}) όσο και της μόνωσης μεταξύ των στρώσεων Y.T. (I_{HVL}), για την περίπτωση που ο χρήστης δεν τις έχει εισάγει, θα παρουσιαστούν αργότερα (§ 4.4).
7. Οι συντελεστές στρώσης σπειρών X.T. ($TDSP_{LV}$) και Y.T. ($TDSP_{HV}$) υπολογίζονται συναρτήσει των δεδομένων εισόδου του είδους αγωγού X.T. ($TYPE_{LV}$) και Y.T. ($TYPE_{HV}$) αντίστοιχα ως εξής:
- εάν $TYPE_{LV} = 5$ τότε $TDSP_{LV} = 1$, αλλιώς $TDSP_{LV} = 0.98$.
 - εάν $TYPE_{HV} = 5$ τότε $TDSP_{HV} = 1$, αλλιώς $TDSP_{HV} = 0.98$.
8. Η πυκνότητα αγωγού X.T. (g_{LV}) και η πυκνότητα αγωγού Y.T. (g_{HV}) υπολογίζονται συναρτήσει των δεδομένων εισόδου του υλικού πηνίου X.T. ($LVCM$) και Y.T. ($HVCM$) αντίστοιχα ως εξής:
- εάν $LVCM = "CU"$ τότε $g_{LV} = 8.856$, αλλιώς $g_{LV} = 2.701$.
 - εάν $HVCM = "CU"$ τότε $g_{HV} = 8.856$, αλλιώς $g_{HV} = 2.701$.

9. Η ειδική αντίσταση αγωγού Χ.Τ. (p_{LV}) και η ειδική αντίσταση αγωγού Υ.Τ. (p_{HV}) υπολογίζονται συναρτήσει των δεδομένων εισόδου LVCM και HVCM αντίστοιχα ως εξής:
- εάν LVCM = “CU” τότε $p_{LV} = 0.020968$, αλλιώς $p_{LV} = 0.03433$.
 - εάν HVCM = “CU” τότε $p_{HV} = 0.020968$, αλλιώς $p_{HV} = 0.03433$.
10. Το πάχος του φρέιμ (Ft) υπολογίζεται συναρτήσει του δεδομένου εισόδου της ονομαστικής ισχύος (RKVA) ως εξής:
- εάν RKVA > 100 τότε Ft = 4 αλλιώς Ft = 3.
11. Το πάχος του καλύμματος του δοχείου (TCt) υπολογίζεται συναρτήσει του δεδομένου εισόδου RKVA ως εξής:
- εάν RKVA > 160 τότε TCt = 4, αλλιώς TCt = 6.
12. Η ύπαρξη του δοχείου διαστολής (CTE) υπολογίζεται συναρτήσει του δεδομένου εισόδου RKVA ως εξής:
- εάν RKVA < 250 τότε CTE = “No”, αλλιώς CTE = “Yes”.
13. Ο συντελεστής πάχους πηνίου Χ.Τ. ($LDSP_{LV}$) και Υ.Τ. ($LDSP_{HV}$) αντίστοιχα υπολογίζονται συναρτήσει των δεδομένων εισόδου TYPE_{LV} και TYPE_{HV} ως εξής:
- εάν TYPE_{LV} = 5 τότε $LDSP_{LV} = 1/1.1$, αλλιώς $LDSP_{LV} = 1$.
 - εάν TYPE_{HV} = 5 τότε $LDSP_{HV} = 1/1.1$, αλλιώς $LDSP_{HV} = 1$.

2.1.3 Μεταβλητές Με Προκαθορισμένες Τιμές

Στον πίνακα 2.6 παρουσιάζονται οι συμβολισμοί, η περιγραφή των συμβολισμών, οι μονάδες και οι προκαθορισμένες τιμές των μεταβλητών των οποίων οι τιμές είναι προκαθορισμένες [2.1].

Πίνακας 2.6: Μεταβλητές με προκαθορισμένες τιμές.

A/A	Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδες	Προκαθορισμένη Τιμή
1	ΔV_{LV}	Διαφορά τάσης πηνίου Χ.Τ.	V	0

2	$TAPS_{LV,min}$	Ελάχιστη λήψη πηνίου X.T.	%	0
3	$TAPS_{LV,max}$	Μέγιστη λήψη πηνίου X.T.	%	0
4	ΔV_{HV}	Διαφορά τάσης πηνίου Y.T.	V	0
5	$TAPS_{HV,min}$	Ελάχιστη λήψη πηνίου Y.T.	%	5
6	$TAPS_{HV,max}$	Μέγιστη λήψη πηνίου Y.T.	%	5
7	CuL_{max}	Μέγιστες απώλειες Cu	W	1000000
8	Fe_{max}	Μέγιστες απώλειες Fe	W	1000000
9	U_{KN}	Τάση βραχυκύκλωσης	%	*
10	EdL_{LV}	Απώλειες δινορρευσμάτων πηνίου X.T.	W	*
11	EdL_{HV}	Απώλειες δινορρευσμάτων πηνίου Y.T.	W	*
12	TFW_{max}	Μέγιστο πλάτος M/Σ	mm	100000
13	TFL_{max}	Μέγιστο μήκος M/Σ	mm	100000
14	TFH_{max}	Μέγιστο ύψος M/Σ	mm	100000

Η τάση βραχυκύκλωσης (U_{KN}) υπολογίζεται συναρτήσει της ονομαστικής ισχύος (RKVA) ως εξής:

- εάν $RKVA > 630$ τότε $U_{KN} = 6$, διαφορετικά $U_{KN} = 4$.

Οι συνολικές απώλειες δινορρευσμάτων (TotEddy) των πηνίων χαμηλής τάσης και υψηλής τάσης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.7 συναρτήσει των μεταβλητών εισόδου της πολικής τάσης πηνίου X.T. (LV) και της ονομαστικής ισχύος (RKVA).

Πίνακας 2.7: Συνολικές απώλειες δινορρευσμάτων (TotEddy).

Συνολικές απώλειες δινορρευσμάτων (TotEddy)		
Ονομαστική Ισχύς (KVA)	LV = 231 V	LV = 400 V
25	18	8
30	20	10
50	25	20
63	55	25
75	65	35
100	110	55
150	170	85
200	250	140
250	320	180
300	380	210
350	520	300

400	665	380
500	960	550
630	1260	665
700	1420	730
750	1530	775
800	1650	875
900	1890	1085
1000	2130	1300
1200	2916	1690
1250	3115	1790
1500	4100	2300
1600	4370	2440

Οι απώλειες των δινορρευμάτων του πηνίου Χ.Τ. (EdLLV) και του πηνίου Υ.Τ. (EdLHV) υπολογίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

- $Ed_{LV} = 0.6 \cdot TotEddy$
- και
- $Ed_{HV} = 0.4 \cdot TotEddy$.

2.1.4 Μεταβλητές Κόστους

Στον πίνακα 2.8 παρουσιάζονται οι συμβολισμοί, η περιγραφή των συμβολισμών, οι μονάδες και οι προκαθορισμένες τιμές των μεταβλητών κόστους [2.1].

Πίνακας 2.8: Μεταβλητές κόστους.

<i>A/A</i>	<i>Σύμβολο</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>Μονάδες</i>	<i>Προκαθορισμ ένες Τιμές</i>
1	CPK _{LV}	Κόστος αγωγού Χ.Τ. ανά κιλό	€/ Kgr	*
2	CPK _{HV}	Κόστος αγωγού Υ.Τ. ανά κιλό	€/ Kgr	*
3	CPK _{MS}	Κόστος μαγνητικής λαμαρίνας ανά κιλό	€/ Kgr	*
4	CPK _O	Κόστος λαδιού ανά κιλό	€/ Kgr	*
5	CPK _P	Κόστος χαρτιού ανά κιλό	€/ Kgr	*
6	CPK _{DS}	Κόστος καναλιών ανά κιλό	€/ Kgr	*
7	CPK _S	Κόστος λαμαρίνας ανά κιλό	€/ Kgr	*
8	CPK _R	Κόστος ψυκτικού πανέλου ανά κιλό	€/ Kgr	*

9	C_A	Κόστος συντελεστή A	-	1
10	C_M	Πολλαπλασιαστής κόστους	€/W	1
11	CPW_{Fe}	Κόστος απωλειών Fe ανά Watt	€/W	0
12	CPW_{Cu}	Κόστος απωλειών Cu ανά Watt	€/W	0

2.1.5 Μεταβλητές Επαναληπτικών Δοκιμών

Στον πίνακα 2.9 παρουσιάζονται οι συμβολισμοί, η περιγραφή των συμβολισμών, οι μονάδες και οι διαστάσεις των μεταβλητών επαναληπτικών δοκιμών [2.1].

Πίνακας 2.9: Μεταβλητές επαναληπτικών δοκιμών.

A/A	Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδες	Διάσταση η
1	n_{LV}	Αριθμός δοκιμών σπειρών πηνίου X.T.	-	*
2	$n_{LV,max}$	Μέγιστος αριθμός δοκιμών σπειρών πηνίου X.T.	-	*
3	$turns_{LV,i}$	Αριθμός σπειρών πηνίου X.T. της i -οστής δοκιμής	-	$n_{LV,max}$
4	n_D	Αριθμός δοκιμών για τη διάσταση D	-	*
5	$n_{D,max}$	Μέγιστος αριθμός δοκιμών για τη διάσταση D	-	*
6	D_i	Διάσταση D της i -οστής δοκιμής	mm	$n_{D,max}$
7	n_G	Αριθμός δοκιμών για τη διάσταση G	-	*
8	$n_{G,max}$	Μέγιστος αριθμός δοκιμών για τη διάσταση G	-	*
9	G_i	Διάσταση G της i -οστής δοκιμής	mm	$n_{G,max}$
10	n_{FD}	Αριθμός δοκιμών πυκνότητας ροής	-	*
11	$n_{FD,max}$	Μέγιστος αριθμός δοκιμών πυκνότητας ροής	-	*
12	FD_i	Πυκνότητα ροής της i -οστής δοκιμής	-	$n_{FD,max}$
13	n_{WPK}	Αριθμός δοκιμών για τις ειδικές απώλειες	-	*
14	$n_{WPK,max}$	Μέγιστος αριθμός δοκιμών για τις ειδικές απώλειες	-	*
15	WPK_i	Ειδικές απώλειες της i -οστής δοκιμής	W / Kgr	$n_{WPK,max}$

2.1.6 Διάφορες Μεταβλητές

Στον πίνακα 2.10 παρουσιάζονται οι συμβολισμοί, η περιγραφή των συμβολισμών, και οι μονάδες των διάφορων μεταβλητών [2.1].

Πίνακας 2.10: Διάφορες μεταβλητές.

A/A	Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδες
1	$t_{a,max}$	Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος	$^{\circ}\text{C}$
2	$t_{o,max}$	Μέγιστη θερμοκρασία λαδιού	$^{\circ}\text{C}$
3	$t_{w,max}$	Μέγιστη θερμοκρασία τυλίγματος	$^{\circ}\text{C}$
4	TYPE_{LV}	Είδος αγωγού πηνίου Χ.Τ.	-
5	TYPE_{HV}	Είδος αγωγού πηνίου Υ.Τ.	-
6	$\text{TYPE}_{LV,subcoil}$	Είδος αγωγού υποπηνίου Χ.Τ.	-
7	$\text{TYPE}_{HV,subcoil}$	Είδος αγωγού υποπηνίου Υ.Τ.	-
8	TCM	Μέγεθος θερμικού υπολογισμού μετασχηματιστή	-
9	$\text{Gra}_{LV,max}$	Μέγιστο διαφορικό θερμοκρασίας πηνίου Χ.Τ.	$^{\circ}\text{C}$
10	$\text{Gra}_{HV,max}$	Μέγιστο διαφορικό θερμοκρασίας πηνίου Υ.Τ.	$^{\circ}\text{C}$
11	Ducts_{LV}	Αριθμός καναλιών Χ.Τ.	-
12	Ducts_{HV}	Αριθμός καναλιών Υ.Τ.	-

Παρατηρήσεις

- Υπάρχουν πέντε διαφορετικά είδη πηνίων Χ.Τ. και Υ.Τ., τα οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει:
 - $\text{TYPE}_{LV} = 1$ (αγωγός κυκλικής διατομής – σύρμα)
 - $\text{TYPE}_{LV} = 2$ (δύο αγωγοί κυκλικής διατομής)
 - $\text{TYPE}_{LV} = 3$ (αγωγός ορθογωνικής διατομής)
 - $\text{TYPE}_{LV} = 4$ (δύο αγωγοί ορθογωνικής διατομής)
 - $\text{TYPE}_{LV} = 5$ (ταινία)
- Εάν η διαφορά τάσης στη Χ.Τ. είναι $\Delta V_{LV} \neq 0$ (ή στην Υ.Τ. ($\Delta V_{HV} \neq 0$)) τότε υπάρχουν πέντε διαφορετικά είδη υποπηνίων Χ.Τ. και Υ.Τ. αντίστοιχα τα οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει:
 - $\text{TYPE}_{LV,subcoil} = 1$ (αγωγός κυκλικής διατομής - σύρμα)
 - $\text{TYPE}_{LV,subcoil} = 2$ (δύο αγωγοί κυκλικής διατομής)
 - $\text{TYPE}_{LV,subcoil} = 3$ (αγωγός ορθογωνικής διατομής)
 - $\text{TYPE}_{LV,subcoil} = 4$ (δύο αγωγοί ορθογωνικής διατομής)
 - $\text{TYPE}_{LV,subcoil} = 5$ (ταινία)
- Ο θερμικός υπολογισμός του μετασχηματιστή μπορεί να γίνει με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- $TCM = D$ (ο θερμικός υπολογισμός γίνεται από τον αριθμό καναλιών). Σε αυτή την περίπτωση η τιμή των καναλιών Υ.Τ. και Χ.Τ. ($Ducts_{LV}$ και $Ducts_{HV}$) αντίστοιχα πρέπει να δίνονται από τον χρήστη.
- $TCM = G$ (ο θερμικός υπολογισμός γίνεται από το διαφορικό θερμοκρασίας λαδιού και τυλίγματος). Σε αυτή την περίπτωση η τιμή του μέγιστου διαφορικού θερμοκρασίας πηνίου Χ.Τ. ($Gra_{LV,max}$) και Υ.Τ. ($Gra_{HV,max}$) πρέπει να δίνονται από τον χρήστη.

2.2 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΓΩΓΩΝ

Ο υπολογισμός της διατομής αγωγών μπορεί να γίνει με έναν από τους παρακάτω τρόπους [2.1]:

- Χρήση θερμικής δοκιμής βραχυκυκλώματος.
- Χρήση της πυκνότητα ρεύματος.
- Χρήση των ειδικών απωλειών (W/Kgr).
- Εισαγωγή της διατομής των αγωγών κατευθείαν από το χρήστη.

2.2.1 Απαραίτητες Μεταβλητές Με Κριτήριο Τη Θερμική Δοκιμή Βραχυκύκλωσης

Ο χρήστης έχει δύο διαφορετικές επιλογές [2.1]:

- Χρήση της ονομαστικής τάσης βραχυκύκλωσης.
- Χρήση της ελάχιστης ανοχής της τάσης βραχυκύκλωσης (στην περίπτωση αυτή πρέπει να δίνεται η ελάχιστη ανοχή, $Imp_{tol,min}$, της τάσης βραχυκύκλωσης).

2.2.2 Απαραίτητες Μεταβλητές Με Κριτήριο Την Πυκνότητα Ρεύματος

Ο χρήστης πρέπει να εισάγει τις παρακάτω τέσσερις παραμέτρους [2.1]:

- Πυκνότητα ρεύματος πηνίου Χ.Τ. (d_{LV}).
- Πυκνότητα ρεύματος πηνίου Υ.Τ. (d_{HV}).
- Πυκνότητα ρεύματος υποπηνίου Χ.Τ. ($d_{LV,subcoil}$) εάν $\Delta V_{LV} \neq 0$.
- Πυκνότητα ρεύματος υποπηνίου Υ.Τ. ($d_{HV,subcoil}$) εάν $\Delta V_{HV} \neq 0$.

2.2.3 Απαραίτητες Μεταβλητές Με Κριτήριο Τις Ειδικές Απώλειες (W/Kgr)

Ο χρήστης πρέπει να εισάγει τις παρακάτω τέσσερις παραμέτρους [2.1]:

- Ειδικές απώλειες πηνίου Χ.Τ. (SL_{LV}).

- Ειδικές απώλειες πηνίου Υ.Τ. (SL_{HV}).
- Ειδικές απώλειες υποπηνίου Χ.Τ. ($SL_{LV,subcoil}$) εάν $\Delta V_{LV} \neq 0$.
- Ειδικές απώλειες υποπηνίου Υ.Τ. ($SL_{HV,subcoil}$) εάν $\Delta V_{HV} \neq 0$.

2.2.4 Ενδιάμεσες Μεταβλητές Για Τον Υπολογισμό Της Διατομής Των Αγωγών

Στον πίνακα 2.11 δίνονται οι ενδιάμεσες μεταβλητές εισόδου για τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών [2.1].

Πίνακας 2.11: Ενδιάμεσες μεταβλητές εισόδου για τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών.

A/A	Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδες	Διάστα ση
1	$Imp_{tol,mim}$	Ελάχιστη ανοχή τάσης βραχυκύκλωσης	%	*
2	d_{LV}	Πυκνότητα ρεύματος πηνίου Χ.Τ.	A / mm ²	*
3	d_{HV}	Πυκνότητα ρεύματος πηνίου Υ.Τ.	A / mm ²	*
4	$d_{LV,subcoil}$	Πυκνότητα ρεύματος υποπηνίου Χ.Τ.	A / mm ²	*
5	$d_{HV,subcoil}$	Πυκνότητα ρεύματος υποπηνίου Υ.Τ.	A / mm ²	*
6	SL_{LV}	Ειδικές απώλειες πηνίου Χ.Τ.	W / Kgr	*
7	SL_{HV}	Ειδικές απώλειες πηνίου Υ.Τ.	W / Kgr	*
8	$SL_{LV,subcoil}$	Ειδικές απώλειες υποπηνίου Χ.Τ.	W / Kgr	*
9	$SL_{HV,subcoil}$	Ειδικές απώλειες υποπηνίου Υ.Τ.	W / Kgr	*
10	cs_{LV}	Αριθμός δοκιμών πηνίου Χ.Τ. για υπολ/σμό διατομής	-	*
11	cs_{HV}	Αριθμός δοκιμών πηνίου Υ.Τ. για υπολ/σμό διατομής	-	*
12	$d_{LV,i}$	Διάμετρος αγωγού πηνίου Χ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm	n_{tries}
13	$w_{LV,i}$	Πλάτος αγωγού πηνίου Χ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm	n_{tries}
14	$t_{LV,i}$	Πάχος αγωγού πηνίου Χ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm	n_{tries}
15	$area_{LV,i}$	Διατομή αγωγού πηνίου Χ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm ²	n_{tries}
16	$d_{HV,i}$	Διάμετρος αγωγού πηνίου Υ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm	n_{tries}
17	$w_{HV,i}$	Πλάτος αγωγού πηνίου Υ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm	n_{tries}
18	$t_{HV,i}$	Πάχος αγωγού πηνίου Υ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm	n_{tries}
19	$area_{HV,i}$	Διατομή αγωγού πηνίου Υ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm ²	n_{tries}
20	$d_{LV,subcoil,i}$	Διάμετρος αγωγού υποπηνίου Χ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm	n_{tries}
21	$w_{LV,subcoil,i}$	Πλάτος αγωγού υποπηνίου Χ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm	n_{ties}
22	$t_{LV,subcoil,i}$	Πάχος αγωγού υποπηνίου Χ.Τ. της $i - \text{οστης}$ δοκιμής	mm	n_{tries}

		<i>i</i> – οστης δοκιμής		
23	area _{LV,subcoil,i}	Διατομή αγωγού υποπηνίου Χ.Τ. της <i>i</i> – οστης δοκιμής	mm ²	n _{tries}
24	d _{HV,subcoil,i}	Διάμετρος αγωγού υποπηνίου Υ.Τ. της <i>i</i> – οστης δοκιμής	mm	n _{tries}
25	w _{HV,subcoil,i}	Πλάτος αγωγού υποπηνίου Υ.Τ. της <i>i</i> – οστης δοκιμής	mm	n _{tries}
26	t _{HV,subcoil,i}	Πάχος αγωγού υποπηνίου Υ.Τ. της <i>i</i> – οστης δοκιμής	mm	n _{tries}
27	area _{HV,subcoil,i}	Διατομή αγωγού υποπηνίου Υ.Τ. της <i>i</i> – οστης δοκιμής	mm ²	n _{tries}

2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ο τρόπος, βάση του οποίου γίνεται ο υπολογισμός των τάσεων και των ρευμάτων, στα πηνία και στα υποπηνία της χαμηλής (ΧΤ) και της υψηλής (ΥΤ) τάσης [2.1].

2.3.1 Πηνίο Χαμηλής Τάσης

Με βάση τη συνδεσμολογία του πηνίου Χ.Τ, LVCC, υπολογίζεται η μεταβλητή MULTIPLIER_{LV} ως εξής:

$$\text{εάν LVCC} \neq \text{“D”} \text{ τότε } \text{MULTIPLIER}_{LV} = \frac{1}{\sqrt{3}}, \text{ αλλιώς } \text{MULTIPLIER}_{LV} = 1.$$

Ο υπολογισμός των τάσεων και των ρευμάτων γίνεται ως εξής:

$$V_{ll_{LV}} = LV \quad (2.1)$$

$$V_{ll_{LV, \min \text{ tap}}} = LV * \left(1 - \frac{TAPS_{LV, \min}}{100}\right) \quad (2.2)$$

$$V_{ll_{LV, \max \text{ tap}}} = LV * \left(1 + \frac{TAPS_{LV, \max}}{100}\right) \quad (2.3)$$

$$V_{ln_{LV}} = LV * \text{MULTIPLIER}_{LV} \quad (2.4)$$

$$I_{LV} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{ln_{LV}}} \quad (2.5)$$

$$V_{ln_{LV, \min \text{ tap}}} = V_{ln_{LV}} * \left(1 - \frac{TAPS_{LV, \min}}{100}\right) \quad (2.6)$$

$$V_{ln_{LV,max tap}} = V_{ln_{LV}} * \left(1 + \frac{TAPS_{LV,max}}{100} \right) \quad (2.7)$$

$$I_{LV,min tap} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{ln_{LV,min tap}}} \quad (2.8)$$

$$I_{LV,max tap} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{ln_{LV,max tap}}} \quad (2.9)$$

2.3.2 Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης

Με βάση τη συνδεσμολογία του υποπηνίου X.T., LVCC, υπολογίζεται η μεταβλητή $MULTIPLIER_{LV}$ ως εξής:

$$\text{εάν } LVCC \neq \text{"D"} \text{ τότε } MULTIPLIER_{LV} = \frac{1}{\sqrt{3}}, \text{ αλλιώς } MULTIPLIER_{LV} = 1.$$

Ο υπολογισμός των τάσεων και των ρευμάτων γίνεται ως εξής:

$$V_{ll_{LV,subcoil}} = (LV - \Delta V_{LV}) \quad (2.10)$$

$$V_{ll_{LV,subcoil,min tap}} = V_{ll_{LV,min tap}} - \Delta V_{LV} \quad (2.11)$$

$$V_{ll_{LV,subcoil,max tap}} = V_{ll_{LV,max tap}} - \Delta V_{LV} \quad (2.12)$$

$$V_{ln_{LV,subcoil}} = (LV - \Delta V_{LV}) * MULTIPLIER_{LV} \quad (2.13)$$

$$I_{LV,subcoil} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{ln_{LV,subcoil}}} \quad (2.14)$$

$$V_{ln_{LV,subcoil,min tap}} = V_{ln_{LV,subcoil}} + (V_{ln_{LV,min tap}} - V_{ln_{LV}}) \quad (2.15)$$

$$V_{ll_{LV,subcoil,max tap}} = V_{ln_{LV,subcoil}} + (V_{ln_{LV,max tap}} - V_{ln_{LV}}) \quad (2.16)$$

$$I_{LV,subcoil,min tap} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{ln_{LV,subcoil,min tap}}} \quad (2.17)$$

$$I_{LV,subcoil,max tap} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{ln_{LV,subcoil,max tap}}} \quad (2.18)$$

2.3.3 Πηνίο Υψηλής Τάσης

Με βάση τη συνδεσμολογία του πηνίου Y.T., HVCC, υπολογίζεται η μεταβλητή $MULTIPLIER_{HV}$ ως εξής:

εάν HVCC ≠ “D” τότε $MULTIPLIER_{HV} = \frac{1}{\sqrt{3}}$, αλλιώς $MULTIPLIER_{HV} = 1$.

Ο υπολογισμός των τάσεων και των ρευμάτων γίνεται ως εξής:

$$V_{II_{HV}} = HV \quad (2.19)$$

$$V_{II_{HV,min tap}} = HV * (1 - \frac{TAPS_{HV,min}}{100}) \quad (2.20)$$

$$V_{II_{HV,max tap}} = HV * (1 + \frac{TAPS_{HV,max}}{100}) \quad (2.21)$$

$$V_{In_{HV}} = HV * MULTIPLIER_{HV} \quad (2.22)$$

$$I_{HV} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{In_{HV}}} \quad (2.23)$$

$$V_{In_{HV,min tap}} = V_{In_{HV}} * (1 - \frac{TAPS_{HV,min}}{100}) \quad (2.24)$$

$$V_{In_{HV,max tap}} = V_{In_{HV}} * (1 + \frac{TAPS_{HV,max}}{100}) \quad (2.25)$$

$$I_{HV,min tap} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{In_{HV,min tap}}} \quad (2.26)$$

$$I_{HV,max tap} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{In_{HV,max tap}}} \quad (2.27)$$

2.3.4 Υποπηνίο Υψηλής Τάσης

Με βάση τη συνδεσμολογία του υποπηνίου Υ.Τ., HVCC, υπολογίζεται η μεταβλητή $MULTIPLIER_{HV}$ ως εξής:

εάν HVCC ≠ “D” τότε $MULTIPLIER_{HV} = \frac{1}{\sqrt{3}}$ αλλιώς $MULTIPLIER_{HV} = 1$

Ο υπολογισμός των τάσεων και των ρευμάτων γίνεται ως εξής:

$$V_{II_{HV,subcoil}} = (HV - \Delta V_{HV}) \quad (2.28)$$

$$V_{II_{HV,subcoil,min tap}} = V_{II_{HV,min tap}} - \Delta V_{HV} \quad (2.29)$$

$$V_{II_{HV,subcoil,max tap}} = V_{II_{HV,max tap}} - \Delta V_{HV} \quad (2.30)$$

$$V_{\ln_{HV,subcoil}} = (HV - \Delta V_{HV}) * MULTIPLIER_{HV} \quad (2.31)$$

$$I_{HV,subcoil} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{\ln_{HV,subcoil}}} \quad (2.32)$$

$$V_{\ln_{HV,subcoil,min tap}} = V_{\ln_{HV,subcoil}} + (V_{\ln_{HV,min tap}} - V_{\ln_{HV}}) \quad (2.33)$$

$$V_{\ln_{HV,subcoil,max tap}} = V_{\ln_{HV,subcoil}} + (V_{\ln_{HV,max tap}} - V_{\ln_{HV}}) \quad (2.34)$$

$$I_{HV,subcoil,min tap} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{\ln_{HV,subcoil,min tap}}} \quad (2.35)$$

$$I_{HV,subcoil,max tap} = \frac{RKVA * 1000}{3 * V_{\ln_{HV,subcoil,max tap}}} \quad (2.36)$$

2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΓΩΓΩΝ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ο τρόπος, βάση του οποίου γίνεται ο υπολογισμός της διατομής των αγωγών, στα πηνία και στα υποπηνία της χαμηλής (XT) και της υψηλής (YT) τάσης [2.1].

2.4.1 Υπολογισμός Διατομής Αγωγών με Κριτήριο τη Θερμική Δοκιμή Βραχυκύκλωσης

2.4.1.1 Αλγόριθμος Υπολογισμού Διατομής Αγωγού

Παράμετροι εισόδου: CONNECTION, VOLT
(συνδεσμολογία, τάση)

Παράμετρος εξόδου: AREA
(διατομή)

Η τάση βραχυκύκλωσης στη μικρότερη ανοχή, UZ (%), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$UZ = U_{KN} * (1 - \frac{Im p_{tol,min}}{100}) \quad (2.37)$$

όπου U_{KN} (%) είναι η ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης, και $Imp_{tol,min}$ (%) είναι η ελάχιστη ανοχή της τάσης βραχυκύκλωσης.

Η σύνθετη αντίσταση του συστήματος, ZS (σε Ω), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ZS = \frac{VOLT^2}{S} \quad (2.38)$$

όπου VOLT (σε V), S (σε VA) είναι η τάση και η ισχύς του συστήματος αντίστοιχα.

Η σύνθετη αντίσταση του μετασχηματιστή, ZT (σε Ω), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ZT = \frac{UZ * VOLT^2}{10^5 * RKVA} \quad (2.39)$$

όπου UZ είναι η τάση βραχυκύκλωσης στη μικρότερη ανοχή, και RKVA (σε kVA) η ονομαστική ισχύς του μετασχηματιστή.

Ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\text{εάν } \frac{ZS}{ZT} > 0.05 \text{ τότε } Z = ZS + ZT, \text{ αλλιώς } Z = ZT$$

Η πυκνότητα ρεύματος, J (σε A / mm²), κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$J = \sqrt{\frac{(t_{sc,f} - t_{tc,i}) * 1000}{t_{sc} * A_{sc}}} \quad (2.40)$$

όπου t_{sc,f} (σε °C) η τελική θερμοκρασία υπολογισμού του βραχυκυκλώματος, t_{sc,i} (σε °C) η αρχική θερμοκρασία υπολογισμού του βραχυκυκλώματος, t_{sc} (σε sec) η διάρκεια του βραχυκυκλώματος και A_{sc} ο συντελεστής A κατά το βραχυκύκλωμα.

Ισχύει η παρακάτω συνθήκη:

$$\text{εάν CONNECTION = "D" τότε } IW = \frac{VOLT}{3 * Z}, \text{ αλλιώς } IW = \frac{VOLT}{\sqrt{3} * Z}.$$

όπου IW (σε A) είναι το ρεύμα κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος.

Τελικά, η διατομή του αγωγού, AREA (σε mm²), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$AREA = \frac{IW}{J} \quad (2.41)$$

όπου IW και J είναι το ρεύμα και η πυκνότητα ρεύματος, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος.

2.4.1.2 Πηνίο Χαμηλής Τάσης

Ο υπολογισμός της διατομής του πηνίου χαμηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.5.1.1 με τις παρακάτω μεταβλητές:

Παράμετροι εισόδου: $LVCC, VII_{LV,min tap}$

(συνδεσμολογία πηνίου Χ.Τ., πολική τάση στη μικρότερη λήψη του πηνίου Χ.Τ.)

Παράμετρος εξόδου: $AREA_{LV}$

(διατομή πηνίου Χ.Τ.)

2.4.1.3 Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης

Ο υπολογισμός της διατομής του υποπηνίου χαμηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.5.1.1 με τις παρακάτω μεταβλητές:

Παράμετροι εισόδου: $LVCC, VII_{LV,subcoil,min tap}$

(συνδεσμολογία υποπηνίου Χ.Τ., πολική τάση στη μικρότερη λήψη του υποπηνίου Χ.Τ.)

Παράμετρος εξόδου: $AREA_{LV,subcoil}$

(διατομή υποπηνίου Χ.Τ.)

2.4.1.4 Πηνίο Υψηλής Τάσης

Ο υπολογισμός της διατομής του πηνίου υψηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.5.1.1 με τις παρακάτω μεταβλητές:

Παράμετροι εισόδου: $HVCC, VII_{HV,min tap}$

(συνδεσμολογία πηνίου Υ.Τ., πολική τάση στη μικρότερη λήψη του πηνίου Υ.Τ.)

Παράμετρος εξόδου: $AREA_{HV}$

(διατομή πηνίου Υ.Τ.)

2.4.1.5 Υποπηνίο Υψηλής Τάσης

Ο υπολογισμός της διατομής του υποπηνίου υψηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.5.1.1 με τις παρακάτω μεταβλητές:

Παράμετροι εισόδου: $HVCC, VII_{HV,subcoil,min tap}$

(συνδεσμολογία υποπηνίου Υ.Τ., πολική τάση στη μικρότερη λήψη του υποπηνίου Υ.Τ.)

Παράμετρος εξόδου: $AREA_{HV,subcoil}$

(διατομή υποπηνίου Υ.Τ.)

2.4.2 Υπολογισμοί Διατομής Αγωγών Με Κριτήριο Την Πυκνότητα Ρεύματος

2.4.2.1 Πηνίο Χαμηλής Τάσης

Η διατομή του πηνίου Χ.Τ., $AREA_{LV}$ (σε mm^2), υπολογίζεται από τη σχέση :

$$AREA_{LV} = \frac{I_{LV, \min tap}}{d_{LV}} \quad (2.42)$$

όπου $I_{LV, \min tap}$ (σε Α) είναι το ρεύμα του πηνίου Χ.Τ. στη μικρότερη λήψη και J_{LV} (σε Α / mm^2) είναι η πυκνότητα ρεύματος του πηνίου Χ.Τ [2.1].

2.4.2.2 Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης

Η διατομή του υποπηνίου Χ.Τ., $AREA_{LV, subcoil}$ (σε mm^2), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$AREA_{LV, subcoil} = \frac{I_{LV, subcoil, \min tap}}{d_{LV, subcoil}} \quad (2.43)$$

όπου $I_{LV, subcoil, \min tap}$ (σε Α) είναι το ρεύμα του υποπηνίου Χ.Τ. στη μικρότερη λήψη και $J_{LV, subcoil}$ (σε Α / mm^2) είναι η πυκνότητα ρεύματος του υποπηνίου Χ.Τ [2.1].

2.4.2.3 Πηνίο Υψηλής Τάσης

Η διατομή του πηνίου Υ.Τ., $AREA_{HV}$ (σε mm^2), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$AREA_{HV} = \frac{I_{HV, \min tap}}{d_{HV}} \quad (2.44)$$

όπου $I_{HV, \min tap}$ (σε Α) είναι το ρεύμα πηνίου Υ.Τ. στη μικρότερη λήψη και J_{HV} (σε Α / mm^2) είναι η πυκνότητα ρεύματος πηνίου Υ.Τ [2.1].

2.4.2.4 Υποπηνίο Υψηλής Τάσης

Η διατομή του υποπηνίου Υ.Τ., $AREA_{HV, subcoil}$ (σε mm^2), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$AREA_{HV, subcoil} = \frac{I_{HV, subcoil, \min tap}}{d_{HV, subcoil}} \quad (2.45)$$

όπου $I_{HV, subcoil, \min tap}$ (σε Α) είναι το ρεύμα του υποπηνίου Υ.Τ. στη μικρότερη λήψη και $J_{HV, subcoil}$ (σε Α / mm^2) είναι η πυκνότητα ρεύματος του υποπηνίου Υ.Τ [2.1].

2.4.3 Υπολογισμοί Διατομής Αγωγών Με Κριτήριο Τις Ειδικές Απώλειες

2.4.3.1 Πηνίο Χαμηλής Τάσης

Η πυκνότητα ρεύματος, J (σε A / mm^2), του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$J = \sqrt{\frac{SL_{LV} * g_{LV}}{p_{LV}}} \quad (2.46)$$

όπου SL_{LV} οι ειδικές απώλειες του πηνίου Χ.Τ., g_{LV} η πυκνότητα του αγωγού Χ.Τ. και p_{LV} η ειδική αντίσταση του αγωγού Χ.Τ [2.1].

Η διατομή του πηνίου Χ.Τ., $AREA_{LV}$ (σε mm^2), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$AREA_{LV} = \frac{I_{LV, \min tap}}{J} \quad (2.47)$$

όπου $I_{LV, \min tap}$ (σε A) είναι το ρεύμα του πηνίου Χ.Τ. στη μικρότερη λήψη και J (σε A / mm^2) είναι η πυκνότητα ρεύματος του πηνίου Χ.Τ [2.1].

2.4.3.2 Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης

Η πυκνότητα ρεύματος του υποπηνίου Χ.Τ. (σε A / mm^2) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$J = \sqrt{\frac{SL_{LV, subcoil} * g_{LV}}{p_{LV}}} \quad (2.48)$$

όπου $SL_{LV, subcoil}$ οι ειδικές απώλειες του υποπηνίου Χ.Τ., g_{LV} η πυκνότητα του αγωγού Χ.Τ. και p_{LV} η ειδική αντίσταση του αγωγού Χ.Τ [2.1].

Η διατομή του υποπηνίου Χ.Τ., $AREA_{LV, subcoil}$ (σε mm^2), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$AREA_{LV, subcoil} = \frac{I_{LV, subcoil, \min tap}}{J} \quad (2.49)$$

όπου $I_{LV, subcoil, \min tap}$ (σε A) είναι το ρεύμα του υποπηνίου Χ.Τ. στη μικρότερη λήψη και J (σε A / mm^2) είναι η πυκνότητα ρεύματος του υποπηνίου Χ.Τ [2.1].

2.4.3.3 Πηνίο Υψηλής Τάσης

Η πυκνότητα ρεύματος του πηνίου Υ.Τ. (σε A / mm^2) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$J = \sqrt{\frac{SL_{HV} * g_{HV}}{p_{HV}}} \quad (2.50)$$

όπου SL_{HV} οι ειδικές απώλειες του πηνίου Υ.Τ., g_{HV} η πυκνότητα αγωγού Υ.Τ. και ρ_{HV} η ειδική αντίσταση του αγωγού Υ.Τ [2.1].

Η διατομή του πηνίου Υ.Τ., $AREA_{HV}$ (σε mm^2), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$AREA_{HV} = \frac{I_{HV, \min tap}}{J} \quad (2.51)$$

όπου $I_{HV, \min tap}$ (σε Α) είναι το ρεύμα πηνίου Υ.Τ. στη μικρότερη λήψη και J (σε Α / mm^2) η πυκνότητα ρεύματος του πηνίου Υ.Τ [2.1].

2.4.3.4 Υποπηνίο Υψηλής Τάσης

Η πυκνότητα ρεύματος του υποπηνίου Υ.Τ. (σε Α / mm^2) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$J = \sqrt{\frac{SL_{HV, subcoil} * g_{HV}}{\rho_{HV}}} \quad (2.52)$$

όπου $SL_{HV, subcoil}$ οι ειδικές απώλειες του υποπηνίου Υ.Τ., g_{HV} η πυκνότητα του αγωγού Υ.Τ. και ρ_{HV} η ειδική αντίσταση του αγωγού Υ.Τ [2.1].

Η διατομή του υποπηνίου Υ.Τ., $AREA_{HV, subcoil}$ (σε mm^2), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$AREA_{HV, subcoil} = \frac{I_{HV, subcoil, \min tap}}{J} \quad (2.53)$$

όπου $I_{HV, subcoil, \min tap}$ (σε Α) είναι το ρεύμα του υποπηνίου Υ.Τ. στη μικρότερη λήψη και J (σε Α / mm^2) η πυκνότητα ρεύματος του υποπηνίου Υ.Τ [2.1].

2.5 ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΓΩΓΩΝ

2.5.1 Τυποποίηση Αγωγού Κυκλικής Διατομής

2.5.1.1 Αλγόριθμος Τυποποίησης Αγωγού Κυκλικής Διατομής

Παράμετροι εισόδου: AREA, TYPE, TRIES

(διατομή αγωγού, είδος αγωγού, δοκιμές διαφορετικών αγωγών)

Παράμετροι εξόδου: D_STAND_j, AREA_STAND_j (j = 1,...,TRIES)

(τυποποιημένη διάμετρος, τυποποιημένη διατομή)

εάν $TYPE = 2$ (δύο αγωγοί κυκλικής διατομής), τότε $AREA = \frac{AREA}{2}$.

Η διάμετρος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$DIAM = \sqrt{\frac{4 * AREA}{\pi}} \quad (2.54)$$

όπου $AREA$ (σε mm^2) η διατομή του αγωγού.

Η τυποποίηση του σύρματος γίνεται ως εξής: από το αρχείο wire.dat (το οποίο περιέχει τις τυποποιημένες διαμέτρους των συρμάτων) βρίσκεται η διάμετρος εκείνη η οποία είναι ίση με τη διάμετρο $DIAM$ (σχέση 2.54) ή είναι η πλησιέστερη μεγαλύτερη από τη διάμετρο $DIAM$, και η τιμή της διαμέτρου που βρέθηκε αποθηκεύεται στη μεταβλητή εξόδου D_STAND_1 (η πρώτη τυποποιημένη διάμετρος από το συνολικό πλήθος των TRIES διαμέτρων) [2.1].

Η τυποποίηση των υπόλοιπων διαμέτρων ($D_STAND_j, j = 2, \dots, TRIES$), γίνεται ως εξής:

Για $j = 1$ μέχρι $TRIES$ (συνολικό αριθμό δοκιμών διαφορετικών αγωγών)

- εάν $j > 1$ τότε η τυποποιημένη διάμετρος D_STAND_j είναι η πλησιέστερη μεγαλύτερη από την προηγούμενη τυποποιημένη διάμετρο D_STAND_{j-1} (αρχείο WIRE. DAT).

$$- \quad AREA_STAND_j = \frac{\pi * D_STAND_j^2}{4} \quad (2.55)$$

2.5.1.2 Πηνίο Χαμηλής Τάσης

Η τυποποίηση των cs_{LV} εναλλακτικών διατομών του πηνίου χαμηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.6.1.1 με τις παρακάτω μεταβλητές [2.1]:

Παράμετροι εισόδου: $AREA_{LV}, TYPE_{LV}, cs_{LV}$

(διατομή πηνίου X.T., είδος πηνίου X.T., αριθμός δοκιμών για τις εναλλακτικές διατομές του πηνίου X.T.)

Παράμετροι εξόδου: $D_STAND_{LV,j}, AREA_STAND_{LV,j} (j = 1, \dots, cs_{LV})$

(τυποποιημένη διάμετρος πηνίου X.T., τυποποιημένη διατομή πηνίου X.T.)

2.5.1.3 Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης

Η τυποποίηση των cs_{LV} εναλλακτικών διατομών του υποπηνίου χαμηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.6.1.1 με τις παρακάτω μεταβλητές [2.1]:

Παράμετροι εισόδου: $AREA_{LV,subcoil}, TYPE_{LV,subcoil}, cs_{LV}$

(διατομή υποπηνίου X.T., είδος υποπηνίου X.T., αριθμός δοκιμών για τις εναλλακτικές διατομές του υποπηνίου X.T.)

Παράμετροι εξόδου: $D_STAND_{LV,subcoil,j}$, $AREA_STAND_{LV,subcoil,j}$ ($j = 1, \dots, cs_{LV}$)
(τυποποιημένη διάμετρος υποπηνίου X.T., τυποποιημένη διατομή υποπηνίου X.T.)

2.5.1.4 Πηνίο Υψηλής Τάσης

Η τυποποίηση των cs_{HV} εναλλακτικών διατομών του πηνίου υψηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.6.1.1 με τις παρακάτω μεταβλητές [2.1]:

Παράμετροι εισόδου: $AREA_{HV}$, $TYPE_{HV}$, cs_{HV}
(διατομή πηνίου Y.T., είδος πηνίου Y.T., αριθμός δοκιμών για τις εναλλακτικές διατομές του πηνίου Y.T.)

Παράμετροι εξόδου: $D_STAND_{HV,j}$, $AREA_STAND_{HV,j}$ ($j = 1, \dots, cs_{HV}$)
(τυποποιημένη διάμετρος πηνίου Y.T., τυποποιημένη διατομή πηνίου Y.T.)

2.5.1.5 Υποπηνίο Υψηλής Τάσης

Η τυποποίηση των cs_{HV} εναλλακτικών διατομών του υποπηνίου υψηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.6.1.1 με τις παρακάτω μεταβλητές [2.1]:

Παράμετροι εισόδου: $AREA_{HV,subcoil}$, $TYPE_{HV,subcoil}$, cs_{HV}
(διατομή υποπηνίου Y.T., είδος υποπηνίου Y.T., αριθμός δοκιμών για τις εναλλακτικές διατομές του υποπηνίου Y.T.)

Παράμετροι εξόδου: $D_STAND_{HV,subcoil,j}$, $AREA_STAND_{HV,subcoil,j}$ ($j = 1, \dots, cs_{HV}$)
(τυποποιημένη διάμετρος υποπηνίου Y.T., τυποποιημένη διατομή υποπηνίου Y.T.)

2.5.2 Τυποποίηση Ταινίας

2.5.2.1 Αλγόριθμος Τυποποίησης Ταινίας

Παράμετροι εισόδου: $AREA$, $TYPE$, $MARGIN$, $TRIES$
(διατομή αγωγού, είδος αγωγού, διάκενο, δοκιμές διαφορετικών αγωγών)

Παράμετροι εξόδου: X_STAND_j , Y_STAND_j , $AREA_STAND_j$ ($j = 1, \dots, TRIES$)
(τυποποιημένο πάχος ταινίας, τυποποιημένο πλάτος ταινίας, τυποποιημένη διατομή ταινίας)

Για $j = 1$ μέχρι **TRIES** (συνολικό αριθμό δοκιμών διαφορετικών ταινιών)

- $Y_STAND_j = G_j - 2 \cdot (CCEE + MARGIN)$
- $X_j = \frac{AREA}{Y_STAND_j}$
- Η τυποποίηση του πάχους της ταινίας (X_STAND_j) γίνεται ως εξής: από το αρχείο sheet.dat (το οποίο περιέχει τα τυποποιημένα πάχη των ταινιών) βρίσκεται η ταινία εκείνη της οποίας το πάχος είναι ίσο με το πάχος X_j , ή η ταινία της οποίας το πάχος είναι το πλησιέστερο μεγαλύτερο από το πάχος X_j , και η τιμή του πάχους της ταινίας που βρέθηκε αποθηκεύεται στη μεταβλητή εξόδου **X_STAND_j** [2.1].
- **AREA_STAND_j** = $Y_STAND_j \cdot X_STAND_j$.

2.5.2.2 Πηνίο Χαμηλής Τάσης

Η τυποποίηση του πάχους, του πλάτους και της διατομής των cs_{LV} εναλλακτικών ταινιών του πηνίου χαμηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.6.2.1 με τις παρακάτω μεταβλητές [2.1]:

Παράμετροι εισόδου: **AREA_{LV}**, **TYPE_{LV}**, **D_{LV-C}**, **cs_{LV}**

(διατομή πηνίου X.T., είδος πηνίου X.T., απόσταση μεταξύ πυρήνα και πηνίου X.T., αριθμός δοκιμών για τις εναλλακτικές διατομές του πηνίου X.T.)

Παράμετροι εξόδου: **T_STAND_{LV,j}**, **W_STAND_{LV,j}**, **AREA_STAND_{LV,j}** ($j = 1, \dots, cs_{LV}$)

(τυποποιημένο πάχος ταινίας πηνίου X.T., τυποποιημένο πλάτος ταινίας πηνίου X.T., τυποποιημένη διατομή ταινίας πηνίου X.T.)

2.5.2.3 Πηνίο Υψηλής Τάσης

Η τυποποίηση του πάχους, του πλάτους και της διατομής των cs_{HV} εναλλακτικών ταινιών του πηνίου υψηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.6.2.1 με τις παρακάτω μεταβλητές [2.1]:

Παράμετροι εισόδου: **AREA_{HV}**, **TYPE_{HV}**, **D_{HV-C}**, **cs_{HV}**

(διατομή πηνίου Y.T., είδος πηνίου Y.T., απόσταση μεταξύ πυρήνα και πηνίου Y.T., αριθμός δοκιμών για τις εναλλακτικές διατομές του πηνίου Y.T.)

Παράμετροι εξόδου: **T_STAND_{HV,j}**, **W_STAND_{HV,j}**, **AREA_STAND_{HV,j}** ($j = 1, \dots, cs_{HV}$)

(τυποποιημένο πάχος ταινίας πηνίου Y.T., τυποποιημένο πλάτος ταινίας πηνίου Y.T., τυποποιημένη διατομή ταινίας πηνίου Y.T.)

2.5.3 Τυποποίηση Αγωγού Ορθογωνικής Διατομής

2.5.3.1 Αλγόριθμος Τυποποίησης Αγωγού Ορθογωνικής Διατομής

Παράμετροι εισόδου: AREA, TYPE, TRIES

(διατομή αγωγού, είδος αγωγού, δοκιμές διαφορετικών αγωγών)

Παράμετροι εξόδου: AREA_STAND_j, W_STAND_j, T_STAND_j (j = 1,...,TRIES)

(τυποποιημένη διατομή αγωγού ορθογωνικής διατομής, τυποποιημένο πλάτος αγωγού ορθογωνικής διατομής, τυποποιημένο πάχος αγωγού ορθογωνικής διατομής)

εάν TYPE = 4 (δύο αγωγοί ορθογωνικής διατομής), τότε $AREA = \frac{AREA}{2}$.

Η τυποποίηση του αγωγού ορθογωνικής διατομής γίνεται ως εξής: από το αρχείο strap.dat (το οποίο περιέχει τις τυποποιημένες διατομές, πλάτη και πάχη των αγωγών ορθογωνικής διατομής) βρίσκεται εκείνος ο αγωγός ορθογωνικής διατομής ο οποίος έχει διατομή ίση με τη διατομή AREA ή έχει την πλησιέστερη μεγαλύτερη διατομή από τη διατομή AREA, και η τιμή της διατομής του αγωγού ορθογωνικής διατομής που βρέθηκε αποθηκεύεται στη μεταβλητή εξόδου AREA_STAND₁ (η πρώτη τυποποιημένη ορθογωνική διατομή από το συνολικό πλήθος των TRIES διατομών), το πλάτος του αγωγού ορθογωνικής διατομής που βρέθηκε αποθηκεύεται στη μεταβλητή εξόδου W_STAND₁ και το πάχος του αγωγού ορθογωνικής διατομής που βρέθηκε αποθηκεύεται στη μεταβλητή εξόδου T_STAND₁.

Η τυποποίηση των υπόλοιπων διατομών, πλατών και παχών των αγωγών ορθογωνικής διατομής (AREA_STAND_j, W_STAND_j, T_STAND_j, j = 2, ..., TRIES), γίνεται ως εξής:

Για j = 1 μέχρι TRIES (συνολικό αριθμό δοκιμών διαφορετικών αγωγών)

- εάν j > 1 τότε το τυποποιημένο πλάτος W_STAND_j είναι το πλησιέστερο μεγαλύτερο από το προηγούμενο τυποποιημένο πλάτος αγωγού ορθογωνικής διατομής W_STAND_{j-1} (αρχείο STRAP. DAT).
- εάν j > 1 τότε το τυποποιημένο πάχος T_STAND_j είναι το πλησιέστερο μεγαλύτερο από το προηγούμενο τυποποιημένο πάχος αγωγού ορθογωνικής διατομής T_STAND_{j-1} (αρχείο STRAP. DAT) [2.1].
- AREA_STAND_j = W_STAND_j * T_STAND_j * (TYPE - 2)

2.5.3.2 Πηνίο Χαμηλής Τάσης

Η τυποποίηση του πάχους, του πλάτους και της διατομής των cs_{LV} εναλλακτικών αγωγών ορθογωνικής διατομής του πηνίου χαμηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.6.3.1 με τις παρακάτω μεταβλητές [2.1]:

Παράμετροι εισόδου: AREA_{LV}, TYPE_{LV}, cs_{LV}

(διατομή αγωγού πηνίου X.T., είδος αγωγού πηνίου X.T., δοκιμές διαφορετικών αγωγών πηνίου X.T.)

Παράμετροι εξόδου: **AREA_STAND_{LV,j}**, **W_STAND_{LV,j}**, **T_STAND_{LV,j}** ($j = 1, \dots, cs_{LV}$)

(τυποποιημένη διατομή αγωγού ορθογωνικής διατομής πηνίου X.T., τυποποιημένο πλάτος αγωγού ορθογωνικής διατομής πηνίου X.T., τυποποιημένο πάχος αγωγού ορθογωνικής διατομής πηνίου X.T.)

2.5.3.3 Υποπηνίο Χαμηλής Τάσης

Η τυποποίηση του πάχους, του πλάτους και της διατομής των cs_{LV} εναλλακτικών αγωγών ορθογωνικής διατομής του υποπηνίου χαμηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.6.3.1 με τις παρακάτω μεταβλητές [2.1]:

Παράμετροι εισόδου: **AREA_{LV,subcoil}**, **TYPE_{LV,subcoil}**, **cs_{LV}**

(διατομή αγωγού υποπηνίου X.T., είδος αγωγού υποπηνίου X.T., δοκιμές διαφορετικών αγωγών υποπηνίου X.T.)

Παράμετροι εξόδου: **AREA_STAND_{LV,subcoil,j}**, **W_STAND_{LV,subcoil,j}**, **T_STAND_{LV,subcoil,j}** ($j = 1, \dots, cs_{LV}$)

(τυποποιημένη διατομή αγωγού ορθογωνικής διατομής υποπηνίου X.T., τυποποιημένο πλάτος αγωγού ορθογωνικής διατομής υποπηνίου X.T., τυποποιημένο πάχος αγωγού ορθογωνικής διατομής υποπηνίου X.T.)

2.5.3.4 Πηνίο Υψηλής Τάσης

Η τυποποίηση του πάχους, του πλάτους και της διατομής των cs_{HV} εναλλακτικών αγωγών ορθογωνικής διατομής του πηνίου υψηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.6.3.1 με τις παρακάτω μεταβλητές [2.1]:

Παράμετροι εισόδου: **AREA_{HV}**, **TYPE_{HV}**, **cs_{HV}**

(διατομή αγωγού πηνίου Y.T., είδος αγωγού πηνίου Y.T., δοκιμές διαφορετικών αγωγών πηνίου Y.T.)

Παράμετροι εξόδου: **AREA_STAND_{HV,j}**, **W_STAND_{HV,j}**, **T_STAND_{HV,j}** ($j = 1, \dots, cs_{HV}$)

(τυποποιημένη διατομή αγωγού ορθογωνικής διατομής πηνίου Y.T., τυποποιημένο πλάτος αγωγού ορθογωνικής διατομής πηνίου Y.T., τυποποιημένο πάχος αγωγού ορθογωνικής διατομής πηνίου Y.T.)

2.5.3.5 Υποπηνίο Υψηλής Τάσης

Η τυποποίηση του πάχους, του πλάτους και της διατομής των cs_{HV} εναλλακτικών αγωγών ορθογωνικής διατομής του υποπηνίου υψηλής τάσης γίνεται με χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της § 2.6.3.1 με τις παρακάτω μεταβλητές [2.1]:

Παράμετροι εισόδου: $AREA_{HV,subcoil}$, $TYPE_{HV,subcoil}$, cs_{HV}

(διατομή αγωγού υποπηνίου Υ.Τ., είδος αγωγού υποπηνίου Υ.Τ., δοκιμές διαφορετικών αγωγών υποπηνίου Υ.Τ.)

Παράμετροι εξόδου: $AREA_STAND_{HV,subcoil,j}$, $W_STAND_{HV,subcoil,j}$, $T_STAND_{HV,subcoil,j}$ ($j = 1, \dots, cs_{HV}$)

(τυποποιημένη διατομή αγωγού ορθογωνικής διατομής υποπηνίου Υ.Τ., τυποποιημένο πλάτος αγωγού ορθογωνικής διατομής υποπηνίου Υ.Τ., τυποποιημένο πάχος αγωγού ορθογωνικής διατομής υποπηνίου Υ.Τ.)

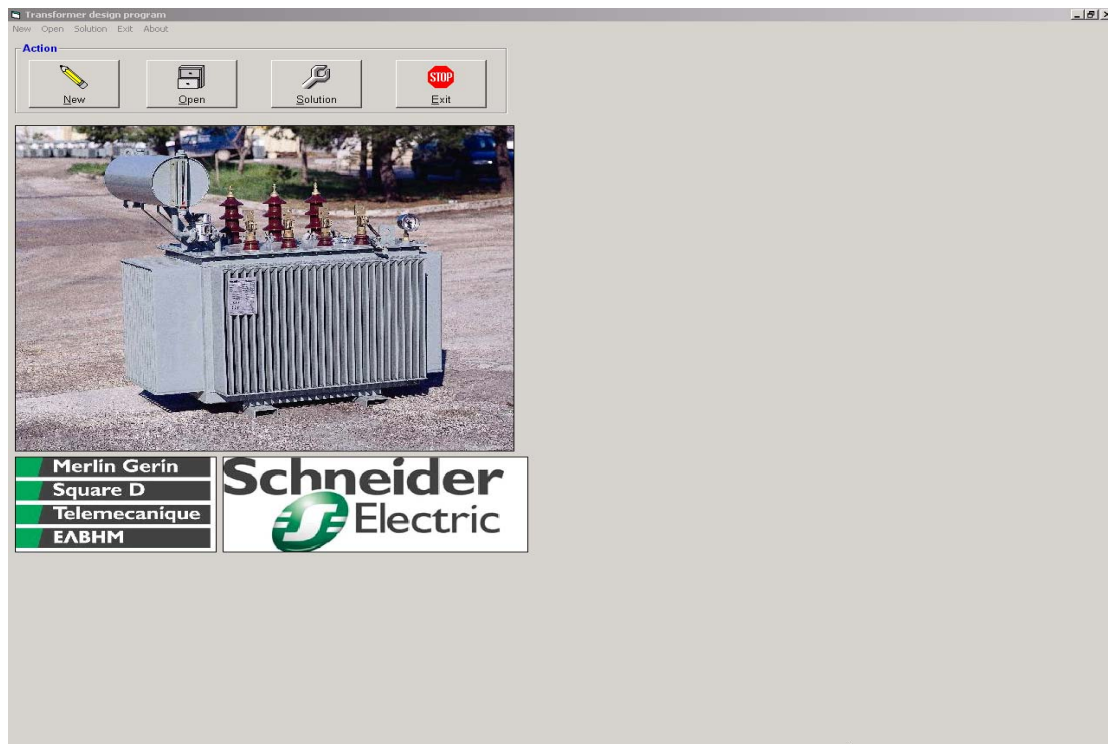
2.6 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΥΡΕΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ (TRANSFORMER DESIGN PROGRAM)





Στην ενότητα αυτή περιγράφεται το λογισμικό, TRANSFORMER DESIGN PROGRAM, στο οποίο στηριχθήκαμε για την δημιουργία του νέου λογισμικού.

2.6.1 Γενικά


Το TRANSFORMER DESIGN PROGRAM είναι ένα λογισμικό, το οποίο αναπτύχθηκε στη Γαλλία για τις ανάγκες των μηχανικών της εταιρίας SCHNEIDER ELECTRIC A.E. Ως εκ τούτου η Εταιρία κατέχει τα πλήρη δικαιώματα του λογισμικού, τα οποία είναι κατοχυρωμένα με copyright. Το λογισμικό αποτελείται συνολικά από 17 παράθυρα (Forms) εισόδου μεταβλητών και από 3 παράθυρα εξόδου αποτελεσμάτων.

Τη στιγμή που θα ξεκινήσει το πρόγραμμα, εμφανίζεται στην οθόνη το κεντρικό παράθυρο εισόδου (σχήμα 2.1).



Όπως γίνεται αντιληπτό ο χρήστης μπορεί να διαλέξει ανάμεσα σε τέσσερις λειτουργίες. Για παράδειγμα κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (new) έχει τη δυνατότητα να ξεκινήσει μια μελέτη μετασχηματιστή εξ ολοκλήρου από την αρχή. Πατώντας πάνω στο κουμπί  (open) του δίνεται η δυνατότητα να ανοίξει μια υπάρχουσα μελέτη, με σκοπό είτε να κάνει κάποιες αλλαγές είτε απλά να δει τις τιμές κάποιων μεταβλητών. Ενώ χρησιμοποιώντας το πλήκτρο  (solution) έχει τη δυνατότητα να κάνει επίλυση κάποιας μελέτης. Τέλος κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (exit) μπορεί να βγει από το πρόγραμμα.


2.6.2 Είσοδος Μεταβλητών

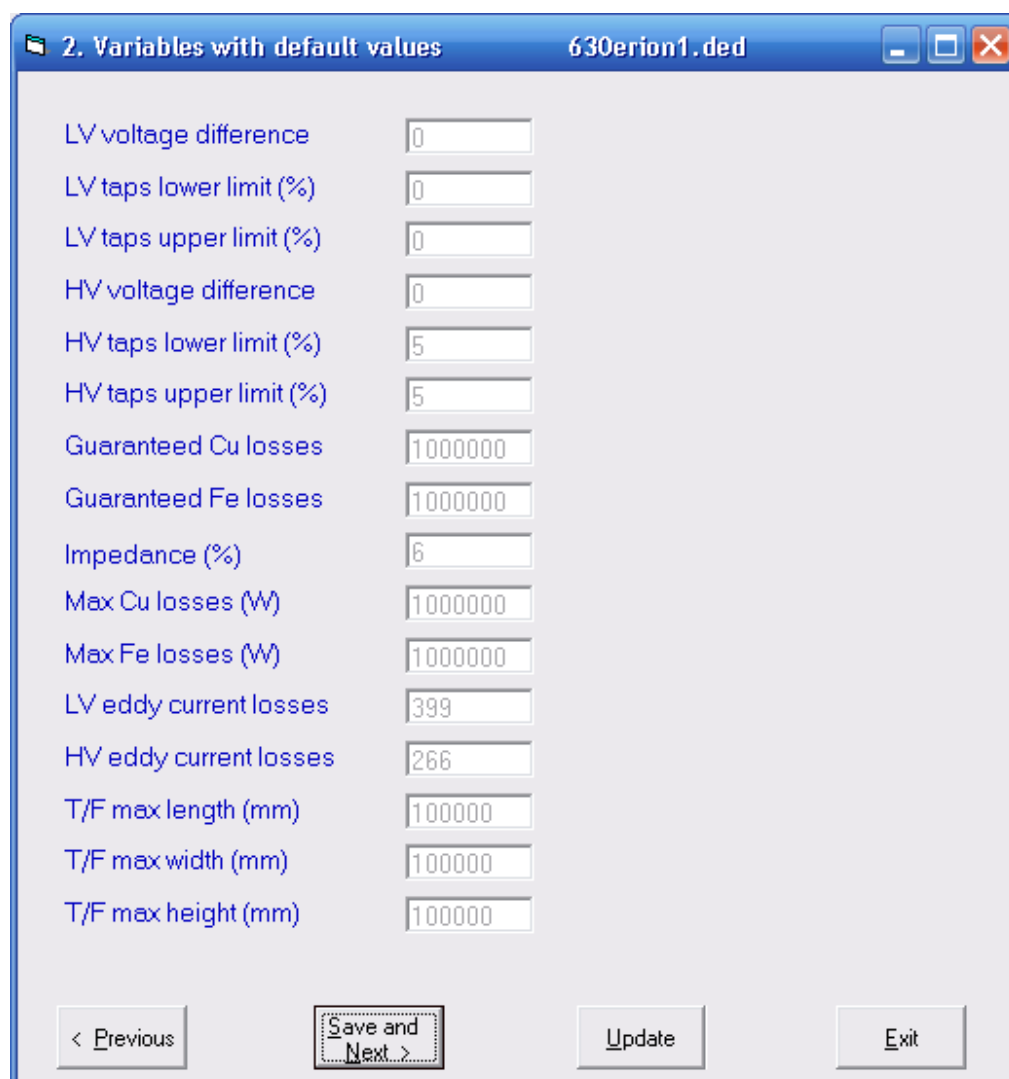
Το πρώτο που ζητείται από τον χρήστη όταν ξεκινάει μια μελέτη είναι να ορίσει το φάκελο (path – directory) στον οποίο θα σώσει τη μελέτη, δίνοντάς της κάποιο κωδικό όνομα. Στη συνέχεια ξεκινάει η διαδικασία εισόδου των μεταβλητών. Στο πρώτο παράθυρο που εμφανίζεται (σχήμα 2.2), ζητείται η είσοδος των περιγραφικών μεταβλητών (description variables). Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.

1. Description variables	
Design	<input type="text"/>
Design code number	<input type="text" value="erion1"/>
Internal coil material (CU, AL)	<input type="text" value="CU"/>
External coil material (CU, AL)	<input type="text" value="CU"/>
Rated power (KVA)	<input type="text" value="630"/>
Low voltage (V)	<input type="text" value="400"/>
High voltage (V)	<input type="text" value="20000"/>
Internal coil connection	<input type="text" value="Y"/>
External coil connection	<input type="text" value="D"/>
Connection	<input type="text" value="Dyn11"/>
Frequency (Hz)	<input type="text" value="50"/>

< Previous **Save and Next >** Update Exit

Σχήμα 2.2: Παράθυρο εισόδου περιγραφικών μεταβλητών


Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό των μεταβλητών με προκαθορισμένες τιμές (variables with default values), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3. Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.



Variable	Value
LV voltage difference	0
LV taps lower limit (%)	0
LV taps upper limit (%)	0
HV voltage difference	0
HV taps lower limit (%)	5
HV taps upper limit (%)	5
Guaranteed Cu losses	1000000
Guaranteed Fe losses	1000000
Impedance (%)	6
Max Cu losses (W)	1000000
Max Fe losses (W)	1000000
LV eddy current losses	399
HV eddy current losses	266
T/F max length (mm)	100000
T/F max width (mm)	100000
T/F max height (mm)	100000

Navigation buttons: < Previous, Save and Next >, Update, Exit


Σχήμα 2.3: Παράθυρο εισόδου μεταβλητών με προκαθορισμένες τιμές

Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό των διάφορων μεταβλητών (various variables), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4. Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.

Variable	Value
Max ambient	45
Max oil temperature	100
Max winding	105
LV conductor type (1-5)	5
HV conductor type (1-5)	1
LV subcoil conductor type (1-5)	
HV subcoil conductor type (1-5)	
Thermal calculating method	2
LV max gradient	
HV max gradient	
LV ducts	10
HV ducts	12
K distance (core)	9
DB distance (mould)	6
Pitch of panels	44
Experience factor for impedance	0

Buttons: < Previous, **Save and Next >**, Update, Exit

Σχήμα 2.4: Παράθυρο εισόδου διάφορων μεταβλητών


Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό των (optional variables), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5. Το συγκεκριμένο παράθυρο δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη είτε να δώσει ο ίδιος τις τιμές των μεταβλητών, είτε να επιλέξει να τις υπολογίσει το πρόγραμμα. Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.

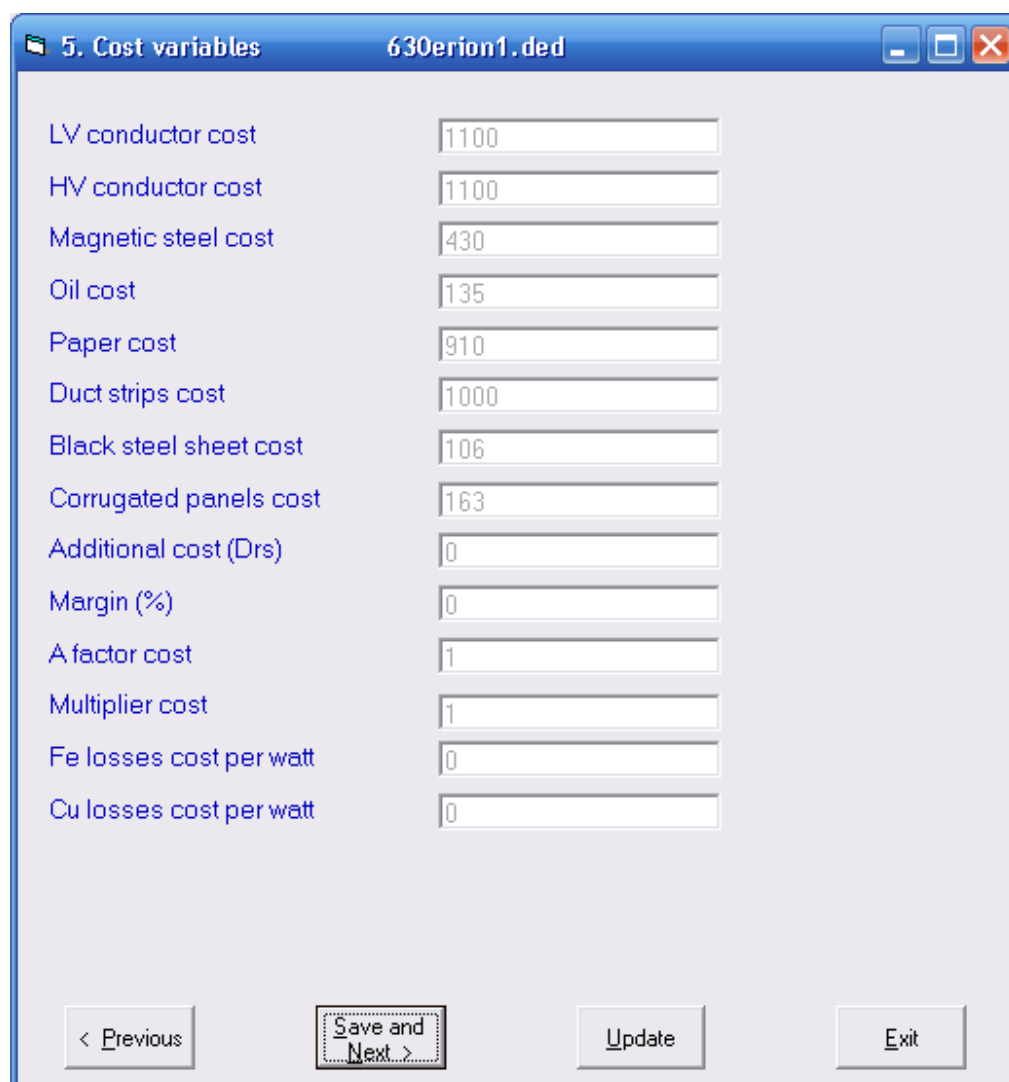
4. Optional variables 630erion1.ded

Tank Length (Program/Value)	P
Tank Width (Program/Value)	P
Tank Height (Program/Value)	P
Panel Height (Program/Value)	P
D Panel (Program/Value)	P
Panels across Tank Length	P
Panels across Tank Width	P
F2 (Program/Value)	P

< Previous Save and Next > Update Exit

Σχήμα 2.5: Παράθυρο εισόδου optional variables


Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό των μεταβλητών κόστους (cost variables), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6. Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.



Variable	Value
LV conductor cost	1100
HV conductor cost	1100
Magnetic steel cost	430
Oil cost	135
Paper cost	910
Duct strips cost	1000
Black steel sheet cost	106
Corrugated panels cost	163
Additional cost (Drs)	0
Margin (%)	0
A factor cost	1
Multiplier cost	1
Fe losses cost per watt	0
Cu losses cost per watt	0

< Previous Save and Next > Update Exit

Σχήμα 2.6: Παράθυρο εισόδου μεταβλητών κόστους

Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό των δύσκολα μεταβαλλόμενων μεταβλητών (variables which hardly change), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7. Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.

6. Variables which hardly change			
BIL internal	10	Insulation HV layers	0
BIL external	125	Internal gap paper thickness	0
LV to Core distance	6	External gap paper thickness	0
HV to Core distance	19	Short-circuit initial temperature	105
LV insulation type	2	Short-circuit final temperature	250
HV insulation type	2	Short-circuit A factor	8.15
LV subcoils insulations	0	Duration of short-circuit	2
HV subcoils insulations	0	System instantaneous power	250
LV taps insulation + magnification	0	Core space factor	0.965
HV taps insulation + magnification	1.4	LV turns direction space factor	1
LV and Core insulation	1.5	HV turns direction space factor	0.98
HV and LV insulation	6.9	LV layer direction space factor	0.90909
External perimetric duct (Y/N)	Y	HV layer direction space factor	1
HV and HV insulation	6.9	LV conductor density	8.856
Insulation LV layers	0	HV conductor density	8.856
		Duct strips density	1.25
		Magnetic steel density	7.65
		Steel density	7.86
		Oil density	0.87
		LV conductor resistivity	2.0968
		HV conductor resistivity	2.0968
		Tank steel thickness	4
		Frame steel thickness	4
		Tank cover steel thickness	6
		Ducts width	15
		Conservator tank exists (Y/N)	Y
		Impedance tolerance (%)	10
		Core to coil each end	3

< Previous Save and Next > Update Exit

Σχήμα 2.7: Παράθυρο εισόδου δύσκολα μεταβαλλόμενων μεταβλητών

Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό των επαναληπτικών μεταβλητών (loop variables). Ποιό συγκεκριμένο ζητείται από τον χρήστη να δώσει τον αριθμό των επαναλήψεων που θα εκτελέσει το πρόγραμμα, για να υπολογίσει το βέλτιστο αριθμό σπειρών του πηνίου. Ο χρήστης πρέπει να δώσει τον αριθμό των επαναλήψεων, μια αρχική τιμή, καθώς και το βήμα (για παράδειγμα, εισάγοντας τον αριθμό των επαναλήψεων = 12, αρχική τιμή $n_{LV} = 8$ και βήμα $step=1$, το πρόγραμμα εκτελεί 12 επαναλήψεις εξετάζοντας τις τιμές από 8 έως 19), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8. Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.

7. LV Turns (Loop Variables) 630erion1.ded


Number of tries for internal coil: 12 Standardized Y/N: Y

First Turn Value: 8 Step: 1

1: 8	2: 9	3: 10	4: 11	5: 12
6: 13	7: 14	8: 15	9: 16	10: 17
11: 18	12: 19	13:	14:	15:
16:	17:	18:	19:	20:

< Previous Save and Next > Update Exit

Σχήμα 2.8: Παράθυρο εισόδου επαναληπτικών μεταβλητών

Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό των επαναληπτικών μεταβλητών (loop variables). Ποιό συγκεκριμένα ζητείται από τον χρήστη να δώσει τον αριθμό των επαναλήψεων που θα εκτελέσει το πρόγραμμα, για να υπολογίσει το βέλτιστο αριθμό της διάστασης D του πυρήνα. Επιπλέον ο χρήστης πρέπει να δώσει μια αρχική τιμή, καθώς και το βήμα (για παράδειγμα, εισάγοντας τον αριθμό των επαναλήψεων = 3, αρχική τιμή $n_D = 190$ και βήμα $step=1$, το πρόγραμμα εκτελεί 3 επαναλήψεις εξετάζοντας τις τιμές από 190 έως 237), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9. Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.

8. D dimension of core (Loop Variables) 630erion1.ded

Number of tries: 3 Standardized: Y

First D: 220 Selection step: 1

D File modification

Enter in File

1. 190 2. 220 3. 237 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20.

< Previous Save and Next > Update Exit

Σχήμα 2.9: Παράθυρο εισόδου επαναληπτικών μεταβλητών

Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό των επαναληπτικών μεταβλητών (loop variables). Ποιό συγκεκριμένα ζητείται από τον χρήστη να δώσει τον αριθμό των επαναλήψεων που θα εκτελέσει το πρόγραμμα, για να υπολογίσει το βέλτιστο αριθμό της διάστασης G του πυρήνα. Επιπλέον ο χρήστης πρέπει να δώσει μια αρχική τιμή, καθώς και βήμα (για παράδειγμα, εισάγοντας τον αριθμό των επαναλήψεων = 1, αρχική τιμή $n_G = 261$ και βήμα $step=1$, το πρόγραμμα εκτελεί μια επανάληψη εξετάζοντας μόνο την τιμή 261), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.10. Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.

9. G dimension of core (Loop Variables) 630erion1.ded


Number of tries: 1 Standardized: S

First G: 261 Selection step:

1: 261 2: 3: 4: 5: 6: 7: 8: 9: 10: 11: 12: 13: 14: 15: 16: 17: 18: 19: 20:

< Previous Save and Next > Update Exit

Σχήμα 2.10: Παράθυρο εισόδου επαναληπτικών μεταβλητών

Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό των επαναληπτικών μεταβλητών (loop variables). Ποιό συγκεκριμένα ζητείται από τον χρήστη να δώσει τον αριθμό των επαναλήψεων που θα εκτελέσει το πρόγραμμα, για να υπολογίσει το βέλτιστο αριθμό για την μαγνητική επαγωγή. Επιπλέον ο χρήστης πρέπει να δώσει μια αρχική τιμή, βήμα, καθώς και το αρχείο από το οποίο θα υπολογιστεί η τιμή της μεταβλητής WPK (ειδικές απώλειες σιδήρου του M/Σ), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.11. Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.

10. Gauss - WattPerKg (Loop Variables) 630erion1.ded

Number of tries: 1 Loss Curve Standardized (S/N): S

Thickness: 0.79 Type of magnetic material:

First Gauss value: 17000 Selection step for Gauss (multiple of 50):


Loss Curve filename: UGINE.1f UGINE.3f

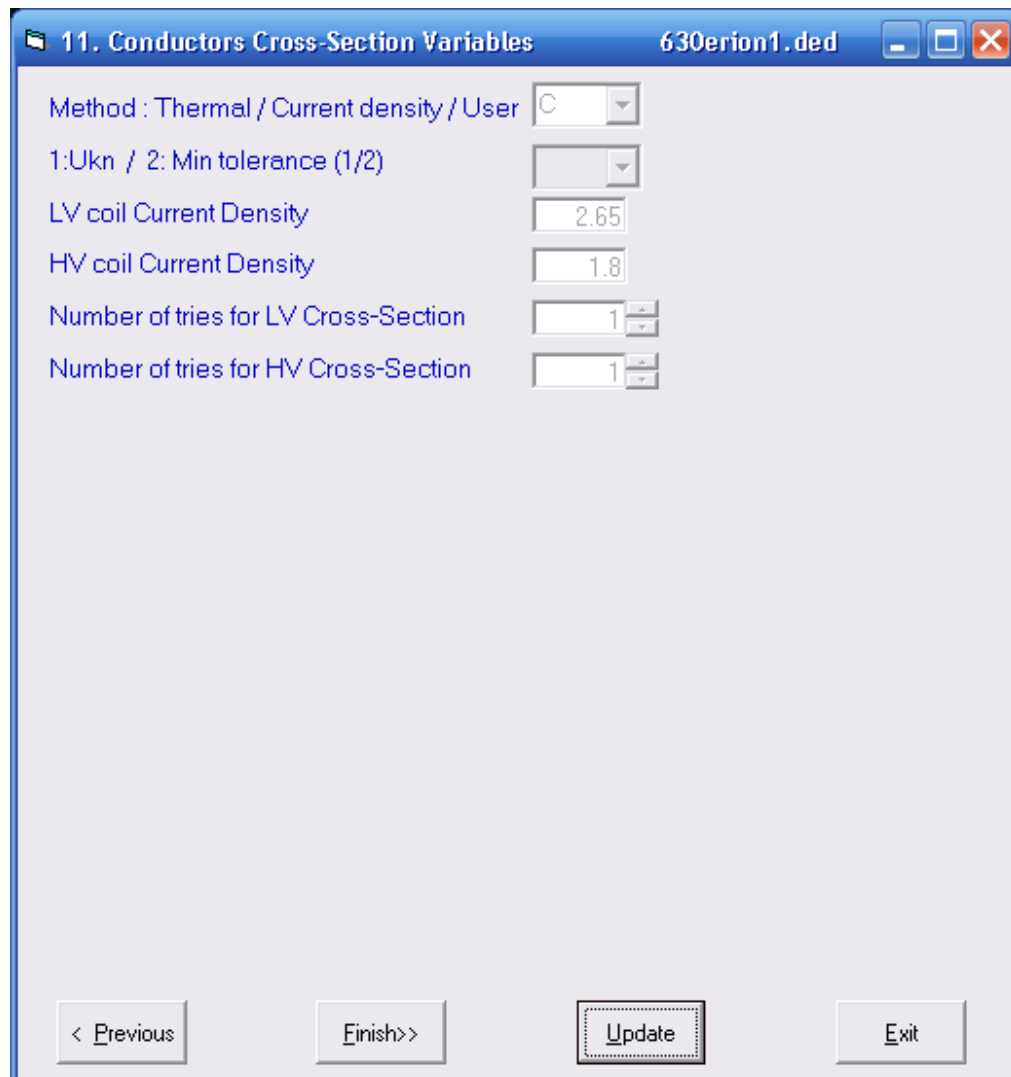
(To valid the file you a have to click on it)

	Gauss	1f-W/Kg	3f-W/Kg		Gauss	1f-W/Kg	3f-W/Kg
1:	17000	0.945	1.509	2:			
3:				4:			
5:				6:			
7:				8:			
9:				10:			
11:				12:			
13:				14:			
15:				16:			
17:				18:			
19:				20:			


< Previous Save and Next > Update Exit

Σχήμα 2.11: Παράθυρο εισόδου επαναληπτικών μεταβλητών


Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό των μεταβλητών για τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών (variables for conductors cross-section calculations), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.12. Αφού ολοκληρωθεί η είσοδος των μεταβλητών, κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (save and next), ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην είσοδο των υπόλοιπων μεταβλητών.

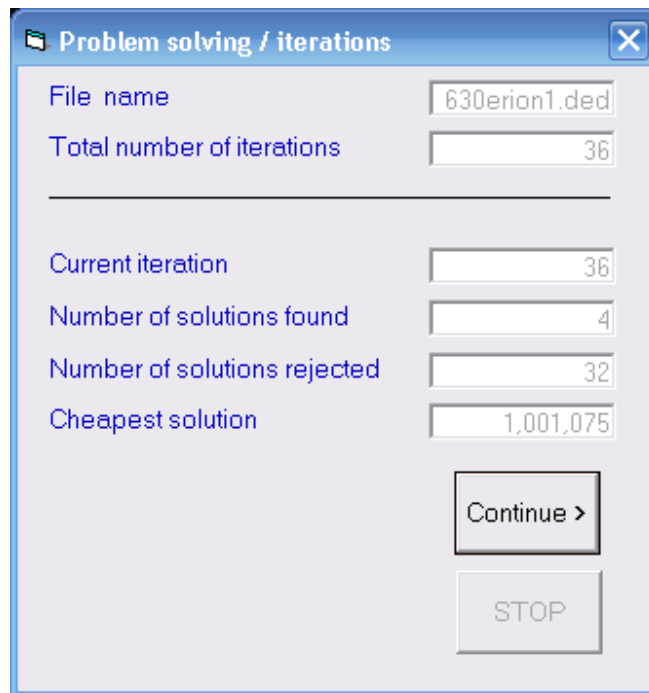


Σχήμα 2.12: Παράθυρο εισόδου μεταβλητών για τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών

Τέλος, ο χρήστης μπορεί να ολοκληρώσει την είσοδο των μεταβλητών της μελέτης κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (finish).

2.6.3 Επίλυση


Από τη στιγμή που ο χρήστης ολοκληρώσει την είσοδο των μεταβλητών επιστρέφει ξανά στο αρχικό παράθυρο (σχήμα 2.1). Κάνοντας αυτή τη φορά χρήση του πλήκτρου  (solution) και διαλέγοντας την μελέτη την οποία θέλει να επιλύσει, εμφανίζεται το επόμενο παράθυρο (σχήμα 2.13) και η επίλυση ξεκινάει αυτόματα.



Problem solving / iterations	
File name	630erion1.ded
Total number of iterations	36
<hr/>	
Current iteration	36
Number of solutions found	4
Number of solutions rejected	32
Cheapest solution	1,001,075
<div>Continue ></div> <div>STOP</div>	

Σχήμα 2.13: Παράθυρο επίλυσης μελέτης μετασχηματιστή

Έχοντας τελειώσει η διαδικασία της επίλυσης, ο χρήστης είναι πλέον σε θέση να γνωρίζει το κόστος του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή, το συνολικό αριθμό των ανακυκλώσεων (loop) που έκανε το πρόγραμμα, καθώς επίσης και τον αριθμό των δεκτών και απορριπτέων λύσεων.

Κάνοντας χρήση του πλήκτρου  (continue) εμφανίζεται το επόμενο παράθυρο (σχήμα 2.14), από το οποίο λαμβάνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών, οι οποίοι πληρούν τις προδιαγραφές (δηλαδή τις αποδεκτές λύσεις).

Solution for : 630erion1.ded

Solution(s)		Cost :	G :	D :	Turn	B :	LVconductor :		HV Conductor :	
1:	1,001,075	261	237	14	17000	1.45	243.00	2.80	0.00	
2:	1,012,944	261	220	14	17000	1.45	243.00	2.80	0.00	
3:	1,043,995	261	190	14	17000	1.45	243.00	2.80	0.00	
4:	1,051,235	261	190	13	17000	1.45	243.00	2.80	0.00	
5:										
6:										
7:										
8:										
9:										
10:										

Project Creation

Solution ex: 1,9,5

Value must be >0 and <=4

Σχήμα 2.14: Παράθυρο αποδεκτών λύσεων

Συνεχίζοντας, με χρήση του πλήκτρου (next) εμφανίζεται το παράθυρο του σχήματος 2.15, από το οποίο αντλούνται πληροφορίες για τα τεχνικά χαρακτηριστικά των απορριπτέων λύσεων. Επιπλέον, γίνεται γνωστός ο λόγος της απόρριψής τους (για παράδειγμα, αν rejected reason είναι το νούμερο 7, τότε ο συγκεκριμένος μετασχηματιστής δεν πλήρη τις προδιαγραφές ψύξης).

Rejected for : 630erion1.ded

Rejected		Reason :	Value :	Turn :	G :	D :	B :	Duct int :	Duct Ext :	LVconductor :	HV Conductor :	
1:	3	2.3	8	261.0	190	17000	10	12	243	1.45	2.80	
2:	3	2.1	8	261.0	220	17000	10	12	243	1.45	2.80	
3:	3	2.1	8	261.0	237	17000	10	12	243	1.45	2.80	
4:	3	2.7	9	261.0	190	17000	10	12	243	1.45	2.80	
5:	3	2.6	9	261.0	220	17000	10	12	243	1.45	2.80	
6:	3	2.5	9	261.0	237	17000	10	12	243	1.45	2.80	
7:	3	3.3	10	261.0	190	17000	10	12	243	1.45	2.80	
8:	3	3.1	10	261.0	220	17000	10	12	243	1.45	2.80	
9:	3	3.1	10	261.0	237	17000	10	12	243	1.45	2.80	
10:	3	4.0	11	261.0	190	17000	10	12	243	1.45	2.80	

Finish

Reason : 1:No-load, 2: Load, 3: Imp, 4: LV-grd, 5: HV-grd, 6: Tank-dim, 7: Cooling

Σχήμα 2.15: Παράθυρο απορριπτέων λύσεων.

2.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [2.1] Σ. Αρτεμάκη, “Εγχειρίδιο μελέτης τριφασικού μετασχηματιστή διανομής τύπου τυλιχτού πυρήνα”. Αθήνα Σεπτέμβριος 2000

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ Μ/Σ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μεθοδολογία μελέτης μετασχηματιστή που αναπτύξαμε, προκειμένου να καταφέρουμε να ελαχιστοποιήσουμε τον αριθμό των μεταβλητών εισόδου.

3.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ

Η εύρεση του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή γίνεται με τη βοήθεια των μεταβλητών επαναληπτικών δοκιμών.

Η διάσταση D του πυρήνα υπολογίζεται από το πρόγραμμα (όπως φαίνεται από τον αλγόριθμο της ενότητας 3.2.1) και δε δίνεται πλέον ως παράμετρος εισόδου στο πρόγραμμα.

Η διάσταση G του πυρήνα υπολογίζεται από το πρόγραμμα (όπως φαίνεται από τον αλγόριθμο της ενότητας 3.2.2) και δε δίνεται πλέον ως παράμετρος εισόδου στο πρόγραμμα

Η μαγνητική επαγωγή B υπολογίζεται από το πρόγραμμα (όπως φαίνεται από τον αλγόριθμο της ενότητας 3.2.3) και δε δίνεται πλέον ως παράμετρος εισόδου στο πρόγραμμα

Ο αριθμός των σπειρών turnsLV του πηνίου χαμηλής τάσης υπολογίζεται από το πρόγραμμα (όπως φαίνεται από τον αλγόριθμο της ενότητας 3.2.4, που υπολογίζει την τάση ανά σπείρα, με βάση την οποία, στη συνέχεια, υπολογίζεται ο αριθμός των σπειρών turnsLV του πηνίου χαμηλής τάσης, όπως φαίνεται στην ενότητα 3.3.1) και δε δίνεται πλέον ως παράμετρος εισόδου στο πρόγραμμα

Η τυποποίηση της διατομής και της διαμέτρου των αγωγών των πηνίων γίνεται με τον αλγόριθμο της ενότητας 3.4 και είναι βασισμένη στη μέθοδο της πυκνότητας ρεύματος (βλ. § 2.5.2).

Οι ειδικές απώλειες σιδήρου του μετασχηματιστή WPK (σε Watt/Kg) υπολογίζονται με τον αλγόριθμο της ενότητας 3.8 και δεν δίνονται πλέον ως παράμετροι εισόδου στο πρόγραμμα.

Ο υπολογισμός της διάστασης των ψυκτικών πανέλων γίνεται με τη βοήθεια του αλγορίθμου της §3.17 και δεν δίνεται πλέον δυνατότητα εισαγωγής του από τον χρήστη.

Τα κόστη των υλικών του μετασχηματιστή δεν εισάγονται πλέον ως δεδομένα εισόδου, αλλά λαμβάνονται από το πρόγραμμα από ένα αρχείο κειμένου, cost.txt (βλ. § 3.22).

Για κάθε μία από τις υποψήφιες λύσεις, ελέγχεται αν ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές (περιορισμοί), και εφόσον ικανοποιούνται, υπολογίζεται το κόστος της και χαρακτηρίζεται ως αποδεκτή λύση. Αντίθετα, οι υποψήφιες λύσεις, οι οποίες παραβιάζουν

έστω και μία από τις προδιαγραφές, χαρακτηρίζονται ως απορριφθείσες λύσεις. Τελικά, από το σύνολο των αποδεκτών λύσεων επιλέγεται ο μετασχηματιστής με το μικρότερο κόστος, ο οποίος αποτελεί τον βέλτιστο τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή [3.1]. Ο αλγόριθμος εύρεσης του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή παρουσιάζεται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Αλγόριθμος εύρεσης βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή

Για $i = 1$ έως n_{LV}

 Για $j = 1$ έως n_D

 Για $k = 1$ έως n_{FD}

 Για $l = 1$ έως n_G

 Υπολογίζεται η τάση ανά σπείρα και το πάχος του σκέλους του πυρήνα

 Για $m = 1$ έως cs_{LV}

 Για $n = 1$ έως cs_{HV}

 Υπολογίζονται τα μονωτικά στρώσεων

 Υπολογίζονται οι διαστάσεις του πηνίου

 Υπολογίζεται το βάρος των πυρήνων και οι απώλειες σιδήρου

 Αν παραβιάζεται η προδιαγραφή απωλειών σιδήρου, η υποψήφια λύση απορρίπτεται και εκτελείται η επόμενη ανακύκλωση

 Υπολογίζεται το επαγωγικό μέρος της τάσης βραχυκύκλωσης

 Υπολογίζονται οι απώλειες Cu

 Αν παραβιάζεται η προδιαγραφή απωλειών χαλκού, η υποψήφια λύση απορρίπτεται και εκτελείται η επόμενη ανακύκλωση

 Υπολογίζεται η τάση βραχυκύκλωσης

 Αν παραβιάζεται η προδιαγραφή για την τάση βραχυκύκλωσης, η υποψήφια λύση απορρίπτεται και εκτελείται η επόμενη ανακύκλωση

 Υπολογίζεται το μήκος του πηνίου

 Υπολογίζονται οι διαστάσεις του καζανιού

 Αν παραβιάζεται η προδιαγραφή για τις διαστάσεις του καζανιού, η υποψήφια λύση απορρίπτεται και εκτελείται η επόμενη ανακύκλωση

 Υπολογίζεται η διαφορά θερμοκρασίας λαδιού και Cu

 Αν παραβιάζεται η προδιαγραφή για τη διαφορά θερμοκρασίας λαδιού και Cu, η υποψήφια λύση απορρίπτεται και εκτελείται η επόμενη ανακύκλωση

 Υπολογίζονται οι διαστάσεις των ψυκτικών πανέλων

 Αν δεν επιτυγχάνεται ικανοποιητική ψύξη του μετασχηματιστή, η υποψήφια λύση απορρίπτεται και εκτελείται η επόμενη ανακύκλωση

 Υπολογίζονται οι διαστάσεις των μονωτικών υλικών

 Υπολογίζεται το βάρος των καναλιών

 Υπολογίζεται το βάρος του λαδιού

 Υπολογίζεται το κόστος των κύριων υλικών του μετασχηματιστή

Βέλτιστος τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστής είναι αυτός με το ελάχιστο κόστος

3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Για τον υπολογισμό των τεσσάρων μεταβλητών επαναληπτικών δοκιμών (n_{LV} , n_D , n_{FD} , n_G), ήταν απαραίτητη η γνώση και η εμπειρία των μηχανικών μελετών της ΣΝΕΝΤΕΡ ΕΛΕΚΤΡΙΚ Α.Ε. Σε συνάντηση που πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις της εταιρίας και υπό την καθοδήγηση του κ. Σουφλάρη Αθανάσιου, αποφασίστηκαν οι τιμές των τεσσάρων μεταβλητών, συναρτήσει της ονομαστικής ισχύς (RKVA) του μετασχηματιστή.

3.2.1 Υπολογισμός της διάστασης D του πυρήνα

Για την διάσταση D του πυρήνα επιλέχτηκαν οι παρακάτω τιμές (συναρτήσει της ονομαστικής ισχύς RKVA).

- εάν $RKVA \leq 160$ τότε $110 \leq D \leq 190$
- εάν $160 < RKVA \leq 250$ τότε $152 \leq D \leq 237$
- εάν $250 < RKVA \leq 630$ τότε $190 \leq D \leq 279$
- εάν $630 < RKVA \leq 1000$ τότε $220 \leq D \leq 304$
- εάν $1000 < RKVA \leq 2000$ τότε $237 \leq D \leq 317$

Πρέπει επίσης να επισημάνουμε ότι η διάσταση D του πυρήνα μπορεί να πάρει μόνο τις τιμές 110, 127, 152, 190, 220, 237, 254, 279, 304, 317, 342, 380, 562.

3.2.2 Υπολογισμός της διάστασης G του πυρήνα

Για την διάσταση G του πυρήνα επιλέχτηκαν οι παρακάτω τιμές (συναρτήσει της ονομαστικής ισχύς RKVA).

- εάν $RKVA \leq 160$ τότε $140 \leq G \leq 280$ με βήμα 10
- εάν $160 < RKVA \leq 250$ τότε $180 \leq G \leq 320$ με βήμα 10
- εάν $250 < RKVA \leq 630$ τότε $210 \leq G \leq 350$ με βήμα 10
- εάν $630 < RKVA \leq 1000$ τότε $250 \leq G \leq 380$ με βήμα 10
- εάν $1000 < RKVA \leq 2000$ τότε $280 \leq G \leq 440$ με βήμα 10

3.2.3 Υπολογισμός της μαγνητικής επαγωγής B

Η μαγνητική επαγωγή B υπολογίστηκε συναρτήσει της ονομαστικής ισχύος του μετασχηματιστή RKVA, των μέγιστων απωλειών σιδήρου Femax και της τάσης βραχυκύκλωσης U_{KN} (τις οποίες εισάγει ο χρήστης).

- εάν $RKVA=50$ και $U_{KN}=4$
 - εάν $F_{max} \leq 135$ τότε $11500 \leq B \leq 16000$ με βήμα 500
 - εάν $135 < F_{max} \leq 160$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
 - εάν $160 < F_{max}$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500

- εάν $RKVA=100$ και $U_{KN}=4$
 - εάν $F_{max} \leq 235$ τότε $11500 \leq B \leq 16000$ με βήμα 500
 - εάν $235 < F_{max} \leq 280$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
 - εάν $280 < F_{max}$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
- εάν $RKVA=160$ και $U_{KN}=4$
 - εάν $F_{max} \leq 337.5$ τότε $11500 \leq B \leq 16000$ με βήμα 500
 - εάν $337.5 < F_{max} \leq 403.3$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
 - εάν $403.3 < F_{max}$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
- εάν $RKVA=250$ και $U_{KN}=4$
 - εάν $F_{max} \leq 477.5$ τότε $11500 \leq B \leq 16000$ με βήμα 500
 - εάν $477.5 < F_{max} \leq 570$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
 - εάν $570 < F_{max}$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
- εάν $RKVA=400$ και $U_{KN}=4$
 - εάν $F_{max} \leq 680$ τότε $11500 \leq B \leq 16000$ με βήμα 500
 - εάν $680 < F_{max} \leq 810$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
 - εάν $810 < F_{max}$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
- εάν $RKVA=630$ και $U_{KN}=4$
 - εάν $F_{max} \leq 945$ τότε $11500 \leq B \leq 16000$ με βήμα 500
 - εάν $945 < F_{max} \leq 1120$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
 - εάν $1120 < F_{max}$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
- εάν $RKVA=630$ και $U_{KN}=6$
 - εάν $F_{max} \leq 870$ τότε $11500 \leq B \leq 16000$ με βήμα 500
 - εάν $870 < F_{max} \leq 1026.6$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
 - εάν $1026.6 < F_{max}$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
- εάν $RKVA=1000$ και $U_{KN}=6$
 - εάν $F_{max} \leq 1250$ τότε $11500 \leq B \leq 16000$ με βήμα 500
 - εάν $1250 < F_{max} \leq 1500$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
 - εάν $1500 < F_{max}$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
- εάν $RKVA=1600$ και $U_{KN}=6$
 - εάν $F_{max} \leq 1950$ τότε $11500 \leq B \leq 16000$ με βήμα 500
 - εάν $1950 < F_{max} \leq 2333.3$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
 - εάν $2333.3 < F_{max}$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
- εάν $RKVA=2500$ και $U_{KN}=6$

- εάν $F_{max} \leq 2850$ τότε $11500 \leq B \leq 16000$ με βήμα 500
- εάν $2850 < F_{max} \leq 3400$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500
- εάν $3400 < F_{max}$ τότε $14000 \leq B \leq 18000$ με βήμα 500

3.2.4 Υπολογισμός των σπειρών του πηνίου n_{LV}

Οι σπείρες του πηνίου n_{LV} υπολογίστηκαν συναρτήσει της ονομαστικής ισχύος του μετασχηματιστή RKVA και της τάσης ανά σπείρα (Volts Per Turn, VPT). Ο υπολογισμός τους έγινε ως εξής:

Στην αρχή υπολογίζουμε δύο ακραίες τιμές της μεταβλητής Volts Per Turn, ανάλογα με την ονομαστική ισχύ του μετασχηματιστή (εμπειρικές τιμές που δόθηκαν από τους μηχανικούς μελετών της Σεντέρ Ελεκτρικ Α.Ε) :

$$\text{εάν } 50 < RKVA \leq 100 \text{ τότε } 3.2 \leq \text{VoltsPerTurn} \leq 6.5$$

$$\text{εάν } 101 < RKVA \leq 200 \text{ τότε } 5 \leq \text{VoltsPerTurn} \leq 11$$

$$\text{εάν } 201 < RKVA \leq 315 \text{ τότε } 7.5 \leq \text{VoltsPerTurn} \leq 13$$

$$\text{εάν } 316 < RKVA \leq 500 \text{ τότε } 9 \leq \text{VoltsPerTurn} \leq 15$$

$$\text{εάν } 501 < RKVA \leq 800 \text{ τότε } 10 \leq \text{VoltsPerTurn} \leq 19$$

$$\text{εάν } 801 < RKVA \leq 1000 \text{ τότε } 11 \leq \text{VoltsPerTurn} \leq 22.5$$

$$\text{εάν } 1001 < RKVA \leq 2000 \text{ τότε } 13 \leq \text{VoltsPerTurn} \leq 26$$

Στη συνέχεια έχοντας τις δύο ακραίες τιμές της μεταβλητής VoltsPerTurn υπολογίζουμε δύο ακραίες τιμές για τις σπείρες του πηνίου ($turns_{LVmin}$ και $turns_{LVmax}$ από τον τύπο $turns_{LV} = \frac{V_{In_{LV}}}{\text{VoltsPerTurn}}$, όπου $V_{In_{LV}}$ είναι η φασική τάση του πηνίου X.T). Τις δύο αυτές ακραίες τιμές για τις σπείρες του πηνίου $turns_{LV}$ τις βάζουμε σε ένα βρόγχο (for) με βήμα $\frac{turns_{LVmax} - turns_{LVmin}}{10}$. Τέλος για κάθε τιμή που παίρνουν οι σπείρες του πηνίου $turns_{LV}$ μέσα στον βρόγχο, υπολογίζουμε την τάση ανά σπείρα Volts Per Turn (βλ. §3.3.1)

3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΗΣ ΑΝΑ ΣΠΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΧΟΥΣ ΣΚΕΛΟΥΣ ΠΥΡΗΝΑ

3.3.1 Υπολογισμός Τάσης Ανά Σπείρα

Η τάση ανά σπείρα, VoltsPerTurn, υπολογίζεται ως εξής [3.1]:

$$VoltsPerTurn = \frac{V \ln_{LV}}{turns_{LV}}, \quad (3.1)$$

όπου $V \ln_{LV}$ (σε V) είναι η φασική τάση του πηνίου Χ.Τ. και $turns_{LV}$ είναι οι σπείρες του πηνίου Χ.Τ.

3.3.2 Υπολογισμός Πάχους Σκέλους Πυρήνα

Το πάχος, E_u (σε mm), του σκέλους του πυρήνα υπολογίζεται από τη σχέση [3.1]:

$$E_u = \frac{VoltsPerTurn * 34.9 * 10^5 * 25.4^2}{2 * CSF * D * B * f}, \quad (3.2)$$

όπου CSF είναι ο συντελεστής πλήρωσης χώρου του πυρήνα, D (σε mm) είναι το πλάτος του σκέλους του πυρήνα, B (σε $Gauss$) η ονομαστική μαγνητική επαγωγή λειτουργίας και f (σε Hz) είναι η συχνότητα λειτουργίας. Ο συντελεστής, CSF , πλήρωσης χώρου πυρήνα λαμβάνεται εμπειρικά ίσος με 0.965. Εκφράζει την καθαρή διατομή του μαγνητικού υλικού (αφαιρείται η μόνωση, και ενσωματώνεται η χαλαρότητα στο τύλιγμα του πυρήνα).

Η σχέση (3.2) υπολογισμού του E_u προκύπτει από την ακόλουθη βασική σχέση κατασκευής του μετασχηματιστή:

$$\Phi_m = \frac{E}{4.44 * f * N}, \quad (3.3)$$

ως εξής:

$$\begin{aligned} \Phi_m &= \frac{E}{4.44 * f * N} \Leftrightarrow B_m * A = \frac{\frac{E}{N}}{4.44 * f} \Leftrightarrow B_m * (D * 2 * E_u) = \frac{VoltsPerTurn}{4.44 * f} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow E_u = \frac{VoltsPerTurn}{4.44 * 2 * D * B_m * f}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Αν λάβουμε υπόψη και το συντελεστή χώρου, CSF , του πυρήνα, η τελευταία σχέση γίνεται:

$$E_u = \frac{VoltsPerTurn}{CSF * 4.44 * 2 * D * B * f}. \quad (3.5)$$

Στη σχέση (3.5), οι διαστάσεις E_u και D είναι σε m , και η μαγνητική επαγωγή B σε T . Αν μετατρέψουμε τις διαστάσεις σε mm και την επαγωγή σε $Gauss$, τότε η σχέση (3.5) παίρνει τη μορφή της σχέσης (3.2).

Στην περίπτωση που η συνδεσμολογία του πηνίου Χ.Τ. είναι ζιγκ-ζαγκ, τότε:

$$\text{εάν LVCC} = \text{"Z"}, \text{ τότε } VoltsPerTurn = \frac{V \ln_{LV}}{turns_{LV}} * \frac{2}{\sqrt{3}} \quad (3.6)$$

$$\text{εάν LVCC} = \text{"Z"}, \text{ τότε } E_u = \frac{\text{VoltsPerTurn} * 34.9 * 10^5 * 25.4^2}{2 * \text{CSF} * D * B * f} * \frac{2}{\sqrt{3}} \quad (3.7)$$

3.4 ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΩΝ ΜΟΝΩΣΗΣ

Η τυποποίηση της διατομής και της διαμέτρου των αγωγών έγινε βάση του κάτωθι αλγορίθμου, συνεπώς αποφεύγεται η είσοδος των μεταβλητών αυτών από τον χρήστη. Χρησιμοποιήθηκαν τρία αρχεία κειμένου. Το αρχείο wire.txt, το οποίο περιέχει τις τυποποιημένες διαμέτρους (d_{LV} , d_{HV}) των συρμάτων, πίνακας 3.2. Το αρχείο sheet.txt, το οποίο περιέχει τα τυποποιημένα πάχη (t_{LV} , t_{HV}) των ταινιών, πίνακας 3.4. Και τέλος το αρχείο strap.txt, το οποίο περιέχει τις τυποποιημένες διατομές, πλάτη και πάχη (t_{LV} , t_{HV}) των αγωγών ορθογωνικής διατομής, πίνακας 3.3. Επιπλέον υπολογίζεται και το πάχος της μόνωσης μεταξύ των στρώσεων του πηνίου X.T, ILVL (σε mm) καθώς επίσης και το πάχος μόνωσης των αγωγών του πηνίου (Dd).

Για το πηνίο χαμηλής τάσης X.T:

Για $J = J_{\min}$ μέχρι J_{\max} με βήμα $(J_{\max} - J_{\min}) / 5$

$$\text{areaLV} = \text{ILV}_{\text{mintap}} / J$$

εάν TYPELV = 1

$$d_{LV} = \sqrt{\frac{4 * \text{areaLV}}{\pi}}$$

Για $i =$ από πρώτη έως την τελευταία γραμμή (του αρχείου wire.txt)

Εάν $d_{LV} = \text{wire}(i)$

$$d_{LV_STAND} = \text{wire}(i)$$

αλλιώς εάν $d_{LV} > \text{wire}(i)$ ΚΑΙ $d_{LV} < \text{wire}(i+1)$

$$d_{LV_STAND} = \text{wire}(i+1)$$

Τέλος εάν

Επόμενο i

Εάν $d_{LV} \leq 2$

$$\text{ILVL} = 0.28$$

Αλλιώς

$$ILVL = 0.41$$

Τέλος εάν

$$\text{Εάν } d_{LV} \leq 0.06$$

$$Dd = ILVL * (0.0191667 * d_{LV} - 1.66667 * 10^{-4}) * 0.92$$

Αλλιώς εάν $0.06 < d_{LV} \leq 0.2$

$$Dd = ILVL * (0.097619 * d_{LV} + 5.47619 * 10^{-3}) * 0.92$$

Αλλιώς εάν $0.2 < d_{LV} \leq 1$

$$Dd = ILVL * (0.0375 * d_{LV} + 0.0185) * 0.92$$

Αλλιώς εάν $1 < d_{LV} \leq 2.5$

$$Dd = ILVL * (0.0117778 * d_{LV} + 0.039222) * 0.92$$

Αλλιώς εάν $2.5 < d_{LV}$

$$Dd = ILVL * (0.0075556 * d_{LV} + 0.0497778) * 0.92$$

Τέλος εάν

$$areaLV_STAND = \frac{pi * d_{LV} * STAND^2}{4}$$

Τέλος εάν

εάν TYPELV = 2

$$areaLV = areaLV / 2$$

$$d_{LV} = \sqrt{\frac{4 * areaLV}{pi}}$$

Για i = από πρώτη μέχρι τελευταία γραμμή (του αρχείου wire.txt)

$$\text{Εάν } d_{LV} = wire(i)$$

$$d_{LV_STAND} = wire(i)$$

αλλιώς εάν $d_{LV} > wire(i)$ ΚΑΙ $d_{LV} < wire(i+1)$

$$d_{LV_STAND} = wire(i+1)$$

Τέλος εάν

Επόμενο i

$$\text{Εάν } d_{LV} \leq 2$$

$$ILVL = 0.28$$

Αλλιώς

$$ILVL = 0.41$$

Τέλος εάν

$$\text{Εάν } d_{LV} \leq 0.06$$

$$Dd = ILVL * (0.0191667 * d_{LV} - 1.66667 * 10^{-4}) * 0.92$$

Αλλιώς εάν $0.06 < d_{LV} \leq 0.2$

$$Dd = ILVL * (0.097619 * d_{LV} + 5.47619 * 10^{-3}) * 0.92$$

Αλλιώς εάν $0.2 < d_{LV} \leq 1$

$$Dd = ILVL * (0.0375 * d_{LV} + 0.0185) * 0.92$$

Αλλιώς εάν $1 < d_{LV} \leq 2.5$

$$Dd = ILVL * (0.0117778 * d_{LV} + 0.039222) * 0.92$$

Αλλιώς εάν $2.5 < d_{LV}$

$$Dd = ILVL * (0.0075556 * d_{LV} + 0.0497778) * 0.92$$

Τέλος εάν

$$\text{areaLV_STAND} = \frac{\pi * d_{LV_STAND}^2}{4}$$

Τέλος εάν

εάν TYPELV = 3

Για ι = από πρώτη μέχρι τελευταία γραμμή (του αρχείου strap.txt)

$$\text{Εάν areaLV} = \text{strap}(i, 1)$$

$$\text{areaLV_STAND} = \text{strap}(i, 1)$$

$$W_STAND = \text{strap}(i, 2)$$

$$T_STAND = \text{strap}(i, 3)$$

$$t_{LV} = T_STAND$$

αλλιώς εάν $\text{areaLV} > \text{strap}(i, 1)$ ΚΑΙ $\text{areaLV} < \text{strap}(i+1, 1)$

areaLV_STAND = strap(i+1, 1)

W_STAND = strap(i, 2)

T_STAND = strap(i, 3)

t_{LV} = T_STAND

Τέλος εάν

Επόμενο i

Εάν t_{LV} ≤ 2

ILVL = 0.28

Αλλιώς

ILVL = 0.41

Τέλος εάν

$$DW = \frac{ILVL + 1}{20}$$

areaLV_STAND = W_STAND * T_STAND * (TYPELV - 2)

Τέλος εάν

εάν TYPELV = 4

areaLV = areaLV / 2

Για ι = από πρώτη μέχρι τελευταία γραμμή (του αρχείου strap.txt)

Εάν areaLV = strap(i, 1)

areaLV_STAND = strap(i, 1)

W_STAND = strap(i, 2)

T_STAND = strap(i, 3)

t_{LV} = T_STAND

αλλιώς εάν areaLV > strap(i, 1) ΚΑΙ areaLV < strap(i+1, 1)

areaLV_STAND = strap(i+1, 1)

W_STAND = strap(i, 2)

T_STAND = strap(i, 3)

$$t_{LV} = T_STAND$$

Τέλος εάν

Επόμενο i

Εάν $t_{LV} \leq 2$

$$ILVL = 0.28$$

Αλλιώς

$$ILVL = 0.41$$

Τέλος εάν

$$DW = \frac{ILVL + 1}{20}$$

$$areaLV_STAND = W_STAND * T_STAND * (TYPELV - 2)$$

Τέλος εάν

εάν TYPELV = 5

$$W_STAND = nG - 2 * (CCEE + DLVC)$$

$$T_STAND = areaLV / W_STAND$$

Για i = από πρώτη μέχρι τελευταία γραμμή (του αρχείου sheet.txt)

$$\text{Εάν } T_STAND = \text{sheet}(i)$$

$$T_STAND = \text{sheet}(i)$$

$$t_{LV} = T_STAND$$

αλλιώς εάν $T_STAND > \text{sheet}(i)$ ΚΑΙ $T_STAND < \text{sheet}(i+1)$

$$T_STAND = \text{sheet}(i+1)$$

$$t_{LV} = T_STAND$$

Τέλος εάν

Επόμενο i

Εάν $t_{LV} \leq 0.4$

$$ILVL = 0.15$$

Αλλιώς εάν $0.4 < t_{LV} \leq 1$

$$ILVL = 0.28$$

Αλλιώς εάν $1 < t_{LV}$

$$ILVL = 0.41$$

Τέλος εάν

$$Dd = 0$$

$$areaLV_STAND = W_STAND * T_STAND$$

Τέλος εάν

Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθήθηκε και για το πηνίο υψηλής τάσης Y.T

Πίνακας 3.2: Τυποποιημένες τιμές για τη διάμετρο των συρμάτων (d_{LV} , d_{HV}), αρχείο wire.txt

0.01	0.06	0.224	0.65	1.7
0.0112	0.063	0.24	0.7	1.8
0.0125	0.07	0.25	0.71	1.9
0.014	0.071	0.26	0.75	2
0.015	0.08	0.28	0.8	2.12
0.018	0.09	0.3	0.85	2.24
0.018	0.1	0.315	0.9	2.36
0.02	0.11	0.355	0.95	2.5
0.021	0.112	0.38	1	2.65
0.022	0.12	0.4	1.06	2.8
0.023	0.125	0.42	1.1	3
0.024	0.13	0.45	1.12	3.15
0.025	0.14	0.48	1.18	3.35
0.03	0.15	0.5	1.2	3.55
0.032	0.16	0.52	1.25	3.75
0.035	0.17	0.55	1.3	4
0.04	0.18	0.56	1.32	4.25
0.045	0.19	0.58	1.4	
0.05	0.2	0.6	1.5	
0.056	0.21	0.63	1.6	

Πίνακας 3.3: Τυποποιημένες τιμές για τις διατομές, τα πλάτη και τα πάχη των αγωγών ορθογωνικής διατομής (t_{LV} , t_{HV}), αρχείο strap.txt

1.463, 2, 0.8	4.407, 2.65, 1.8	8.597, 4, 2.24	16.59, 11.2, 1.5
1.545, 2, 0.85	4.471, 3.55, 1.32	8.605, 6.3, 1.4	16.6, 8, 2.12
1.559, 2.12, 0.8	4.473, 3.75, 1.25	8.637, 4.5, 2	16.64, 10, 1.7
1.626, 2, 0.9	4.475, 3.35, 1.4	8.637, 5, 1.8	16.64, 8.5, 2
1.655, 2.24, 0.8	4.505, 4, 1.18	8.66, 7.1, 1.25	16.74, 9.5, 1.8
1.706, 2, 0.95	4.51, 3.15, 1.5	8.745, 5.6, 1.6	16.74, 9, 1.9

1.734, 2.12, 0.9	4.535, 4.75, 1	8.745, 8, 1.12	16.75, 10.6, 1.6
1.749, 2.24, 0.85	4.545, 4.25, 1.12	8.826, 3.75, 2.5	17.09, 5.6, 3.15
1.751, 2.36, 0.8	4.555, 4.5, 1.06	8.891, 4, 2.36	17.09, 6.3, 2.8
1.785, 2, 1	4.556, 5, 0.95	9.137, 5, 1.9	17.2, 5, 3.55
1.842, 2.24, 0.9	4.585, 3, 1.6	9.137, 4.75, 2	17.2, 7.1, 2.5
1.863, 2.5, 0.8	4.596, 5.3, 0.9	9.157, 7.1, 1.32	17.56, 8, 2.24
1.905, 2.12, 1	4.605, 5.6, 0.85	9.157, 4.25, 2.24	17.64, 9, 2
1.905, 2, 1.06	4.663, 6, 0.8	9.157, 5.6, 1.7	17.64, 10, 1.8
1.934, 2.24, 0.95	4.677, 2.8, 1.8	9.16, 7.5, 1.25	17.71, 11.2, 1.6
1.95, 2.36, 0.9	4.755, 3.55, 1.4	9.165, 6.7, 1.4	18.2, 7.5, 2.5
1.97, 2.5, 0.85	4.785, 5, 1	9.177, 4.5, 2.12	18.21, 5.6, 3.35
1.983, 2.65, 0.8	4.785, 4, 1.25	9.177, 5.3, 1.8	18.21, 6.7, 2.8
2.025, 2.24, 1	4.825, 4.5, 1.12	9.225, 8, 1.18	18.27, 7.1, 2.65
2.025, 2, 1.12	4.825, 3.15, 1.6	9.235, 6.3, 1.5	18.27, 5.3, 3.55
2.076, 2.5, 0.9	4.866, 5.6, 0.9	9.305, 8.5, 1.12	18.33, 8, 2.36
2.103, 2.8, 0.8	4.903, 6.3, 0.8	9.385, 6, 1.6	18.35, 6.3, 3
2.145, 2.36, 1	4.957, 2.8, 1.9	9.451, 4, 2.5	18.35, 6, 3.15
2.145, 2, 1.18	4.992, 3.15, 1.7	9.637, 5, 2	18.64, 10, 1.9
2.16, 2.12, 1.12	5.035, 3.75, 1.4	9.717, 4.5, 2.24	18.64, 9.5, 2
2.16, 2.24, 1.06	5.037, 3, 1.8	9.717, 5.6, 1.8	18.67, 11.8, 1.6
2.181, 2.5, 0.95	5.065, 4, 1.32	9.725, 7.1, 1.4	18.68, 11.2, 1.7
2.211, 2.65, 0.9	5.085, 5.3, 1	9.785, 8, 1.25	18.68, 8.5, 2.24
2.225, 2.8, 0.85	5.085, 5, 1.06	9.865, 6.3, 1.6	18.72, 10.6, 1.8
2.263, 3, 0.8	5.095, 4.5, 1.18	9.865, 9, 1.12	18.72, 9, 2.12
2.285, 2.5, 1	5.098, 4.25, 1.25	10.05, 4, 2.65	19.3, 6.3, 3.15
2.285, 2, 1.25	5.105, 4.75, 1.12	10.07, 4.5, 2.36	19.33, 7.1, 2.8
2.294, 2.24, 1.12	5.11, 3.55, 1.5	10.08, 4.25, 2.5	19.33, 5.6, 3.55
2.346, 2.8, 0.9	5.126, 5.6, 0.95	10.24, 5.3, 2	19.45, 8, 2.5
2.383, 3.15, 0.8	5.145, 3.35, 1.6	10.24, 5, 2.12	19.64, 10, 2
2.425, 2, 1.32	5.2, 6.3, 0.85	10.28, 4.75, 2.24	19.79, 12.5, 1.6
2.429, 2.24, 1.18	5.226, 6, 0.9	10.28, 5.6, 1.9	19.8, 9, 2.24
2.429, 2.36, 1.12	5.237, 2.8, 2	10.29, 7.5, 1.4	19.8, 11.2, 1.8
2.435, 2.65, 1	5.307, 3.15, 1.8	10.35, 6.3, 1.7	20.45, 7.5, 2.8
2.435, 2.12, 1.25	5.385, 4, 1.4	10.35, 8, 1.32	20.56, 6.3, 3.35
2.435, 2.5, 1.06	5.385, 5.6, 1	10.41, 8.5, 1.25	20.56, 6.7, 3.15
2.466, 2.8, 0.95	5.385, 5, 1.12	10.41, 9, 1.18	20.65, 8, 2.65
2.522, 3.15, 0.85	5.41, 4.5, 1.25	10.44, 6, 1.8	20.69, 9, 2.36
2.526, 3, 0.9	5.465, 3.55, 1.6	10.44, 7.1, 1.5	20.7, 8.5, 2.5
2.543, 3.35, 0.8	5.496, 6.3, 0.9	10.51, 6.7, 1.6	20.75, 6, 3.55
2.585, 2.5, 1.12	5.622, 3.15, 1.9	10.65, 4, 2.8	20.75, 7.1, 3
2.585, 2, 1.4	5.637, 3, 2	10.7, 4.5, 2.5	20.84, 10.6, 2
2.585, 2.8, 1	5.667, 3.35, 1.8	10.84, 5, 2.24	20.84, 10, 2.12
2.585, 2.24, 1.25	5.672, 3.55, 1.7	10.84, 5.6, 2	20.88, 11.8, 1.8
2.641, 3.35, 0.9	5.685, 5, 1.18	10.98, 6.3, 1.8	20.89, 12.5, 1.7
2.661, 3.15, 0.9	5.721, 5.6, 1.06	10.99, 8, 1.4	20.92, 9.5, 2.24
2.703, 3.55, 0.8	5.721, 5.3, 1.12	11.04, 9, 1.25	20.92, 11.2, 1.9
2.735, 2.36, 1.25	5.723, 4.75, 1.25	11.15, 7.1, 1.6	21.82, 6.3, 3.55
2.735, 2.5, 1.18	5.725, 4.5, 1.32	11.25, 5, 2.36	21.82, 7.1, 3.15
2.742, 2.24, 1.32	5.735, 4.25, 1.4	11.33, 4.75, 2.5	21.85, 8, 2.8
2.753, 2.8, 1.06	5.785, 4, 1.5	11.35, 4.25, 2.8	21.95, 9, 2.5
2.753, 2.65, 1.12	5.785, 3.75, 1.6	11.38, 4.5, 2.65	22.04, 10, 2.24
2.753, 2.12, 1.4	5.785, 6, 1	11.51, 5.3, 2.24	22.04, 11.2, 2
2.785, 3, 1	5.791, 6.3, 0.95	11.51, 5.6, 2.12	22.14, 12.5, 1.8
2.799, 3.15, 0.95	5.856, 6.7, 0.9	11.61, 6.3, 1.9	23.05, 10, 2.36
2.862, 3.55, 0.85	5.937, 3.15, 2	11.64, 6, 2	23.08, 7.5, 3.15
2.863, 3.75, 0.8	6.027, 3.55, 1.8	11.66, 9.5, 1.25	23.2, 9.5, 2.5
2.91, 2.5, 1.25	6.035, 5, 1.25	11.67, 9, 1.32	23.24, 7.1, 3.35
2.921, 2.24, 1.4	6.057, 5.6, 1.12	11.69, 8.5, 1.4	23.24, 6.7, 3.55
2.921, 2.8, 1.12	6.085, 6.3, 1	11.7, 6.7, 1.8	23.24, 11.8, 2
2.935, 3.15, 1	6.085, 4.5, 1.4	11.71, 7.1, 1.7	23.25, 8.5, 2.8

3.021, 3.55, 0.9	6.185, 4, 1.6	11.79, 7.5, 1.6	23.3, 9, 2.65
3.063, 4, 0.8	6.216, 7.1, 0.9	11.79, 8, 1.5	23.38, 10.6, 2.24
3.085, 2.5, 1.32	6.315, 3.15, 2.12	11.95, 5, 2.5	23.38, 11.2, 2.12
3.089, 2.8, 1.18	6.337, 3.35, 2	12.05, 4.5, 2.8	23.39, 12.5, 1.9
3.089, 2.36, 1.4	6.382, 3.55, 1.9	12.18, 5.6, 2.24	23.4, 13.2, 1.8
3.098, 2.65, 1.25	6.385, 5, 1.32	12.24, 6.3, 2	23.45, 8, 3
3.124, 3.15, 1.06	6.387, 3.75, 1.8	12.29, 10, 1.25	24.45, 10, 2.5
3.135, 3.35, 1	6.393, 5.6, 1.18	12.39, 9, 1.4	24.64, 12.5, 2
3.145, 2.24, 1.5	6.41, 5.3, 1.25	12.42, 7.1, 1.8	24.65, 8, 3.15
3.145, 3, 1.12	6.435, 4.75, 1.4	12.59, 8, 1.6	24.65, 9, 2.8
3.179, 3.55, 0.95	6.437, 4, 1.7	12.67, 5.6, 2.36	24.66, 7.1, 3.55
3.201, 3.75, 0.9	6.463, 6.3, 1.06	12.7, 5, 2.65	24.73, 11.2, 2.24
3.245, 4, 0.85	6.485, 6.7, 1	12.7, 5.3, 2.5	25.88, 11.2, 2.36
3.263, 4.25, 0.8	6.505, 6, 1.12	12.75, 4.75, 2.8	25.95, 10.6, 2.5
3.285, 2.5, 1.4	6.535, 4.5, 1.5	12.95, 4.5, 3	25.95, 10, 2.65
3.285, 2.8, 1.25	6.551, 7.1, 0.95	12.99, 6.3, 2.12	26.04, 13.2, 2
3.313, 3.15, 1.12	6.585, 4.25, 1.6	12.99, 10, 1.32	26.05, 9.5, 2.8
3.335, 3.55, 1	6.693, 3.15, 2.24	13.04, 6.7, 2	26.07, 11.8, 2.24
3.369, 2.24, 1.6	6.737, 3.55, 2	13.08, 6, 2.24	26.08, 7.5, 3.55
3.426, 4, 0.9	6.785, 5, 1.4	13.09, 9.5, 1.4	26.14, 12.5, 2.12
3.463, 4.5, 0.8	6.785, 5.6, 1.25	13.13, 7.1, 1.9	26.23, 8.5, 3.15
3.481, 2.8, 1.32	6.837, 4, 1.8	13.14, 7.5, 1.8	26.25, 8, 3.35
3.495, 2.65, 1.4	6.841, 6.3, 1.12	13.24, 8, 1.7	26.45, 9, 3
3.502, 3.15, 1.18	6.885, 7.1, 1	13.29, 9, 1.5	27.45, 10, 2.8
3.535, 3.75, 1	6.985, 4.5, 1.6	13.39, 8.5, 1.6	27.45, 11.2, 2.5
3.535, 2.5, 1.5	7.137, 3.75, 2	13.45, 5, 2.8	27.64, 12.5, 2.24
3.535, 3, 1.25	7.141, 3.35, 2.24	13.45, 5.6, 2.5	27.8, 9, 3.15
3.537, 3.35, 1.12	7.163, 3.55, 2.12	13.63, 4.5, 3.15	27.85, 8, 3.55
3.548, 3.55, 1.06	7.177, 5.6, 1.32	13.75, 6.3, 2.24	28.95, 11.8, 2.5
3.561, 2.36, 1.6	7.205, 5.3, 1.4	13.79, 10, 1.4	28.95, 12.5, 2.36
3.606, 4, 0.95	7.219, 6.3, 1.18	13.84, 7.1, 2	29.13, 11.2, 2.65
3.651, 4.25, 0.9	7.237, 4, 1.9	14.04, 8, 1.8	29.13, 10.6, 2.8
3.663, 4.75, 0.8	7.285, 6, 1.25	14.19, 9, 1.6	29.21, 13.2, 2.24
3.67, 4.5, 0.85	7.285, 5, 1.5	14.29, 5.6, 2.65	29.38, 9.5, 3.15
3.723, 3.15, 1.25	7.285, 7.5, 1	14.29, 5.3, 2.8	29.45, 10, 3
3.761, 3.55, 1.12	7.287, 4.5, 1.7	14.32, 6.3, 2.36	29.6, 9, 3.35
3.785, 4, 1	7.287, 4.25, 1.8	14.41, 4.75, 3.15	29.63, 8.5, 3.55
3.785, 2.5, 1.6	7.289, 6.7, 1.12	14.45, 5, 3	30.7, 12.5, 2.5
3.795, 2.8, 1.4	7.331, 7.1, 1.06	14.45, 6, 2.5	30.81, 11.2, 2.8
3.863, 5, 0.8	7.385, 4.75, 1.6	14.63, 10.6, 1.4	30.95, 10, 3.15
3.876, 4.5, 0.9	7.589, 3.55, 2.24	14.64, 7.5, 2	31.4, 9, 3.55
3.887, 2.5, 1.7	7.625, 5.6, 1.4	14.65, 6.7, 2.24	32.45, 13.2, 2.5
3.937, 3.35, 1.25	7.637, 4, 2	14.69, 7.1, 2.12	32.49, 11.8, 2.8
3.943, 3.15, 1.32	7.66, 6.3, 1.25	14.79, 10, 1.5	32.58, 12.5, 2.65
3.974, 3.55, 1.18	7.737, 7.1, 1.12	14.84, 8, 1.9	32.84, 10.6, 3.15
3.985, 2.8, 1.5	7.737, 4.5, 1.8	14.94, 9, 1.7	32.95, 10, 3.35
3.985, 3, 1.4	7.785, 5, 1.6	14.94, 8.5, 1.8	33.05, 11.2, 3
3.985, 3.75, 1.12	7.785, 8, 1	14.99, 9.5, 1.6	33.18, 9.5, 3.55
4.025, 4, 1.06	7.829, 3.55, 2.36	15.13, 5.6, 2.8	34.45, 12.5, 2.8
4.025, 2.65, 1.6	8.101, 6.3, 1.32	15.2, 6.3, 2.5	34.73, 11.2, 3.15
4.035, 4.25, 1	8.117, 4, 2.12	15.2, 5, 3.15	34.95, 10, 3.55
4.081, 4.5, 0.95	8.137, 4.25, 2	15.47, 11.2, 1.4	36.41, 13.2, 2.8
4.095, 5, 0.85	8.137, 5, 1.7	15.54, 7.1, 2.24	36.62, 11.8, 3.15
4.101, 4.75, 0.9	8.16, 6.7, 1.25	15.64, 8, 2	36.95, 12.5, 3
4.103, 5.3, 0.8	8.163, 7.1, 1.18	15.79, 10, 1.6	36.97, 11.2, 3.35
4.137, 2.5, 1.8	8.185, 5.6, 1.5	15.84, 9, 1.8	37.08, 10.6, 3.55
4.195, 3.15, 1.4	8.185, 7.5, 1.12	16.15, 5.3, 3.15	38.83, 12.5, 3.15
4.223, 3.55, 1.25	8.185, 6, 1.4	16.15, 6.3, 2.65	39.21, 11.2, 3.55
4.265, 2.8, 1.6	8.187, 4.75, 1.8	16.2, 6.7, 2.5	41.03, 13.2, 3.15
4.265, 4, 1.12	8.187, 4.5, 1.9	16.2, 5, 3.35	41.33, 12.5, 3.35

4.285, 4.5, 1	8.265, 5.3, 1.6	16.21, 7.1, 2.36	41.34, 11.8, 3.55
4.326, 5, 0.9	8.265, 8, 1.06	16.25, 5.6, 3	43.83, 12.5, 3.55
4.343, 5.6, 0.8	8.307, 3.75, 2.24	16.25, 6, 2.8	46.31, 13.2, 3.55
4.397, 2.8, 1.7	8.326, 3.55, 2.5	16.44, 7.5, 2.24	

Πίνακας 3.4: Τυποποιημένες τιμές για τα πάχη των ταινιών (t_{LV} , t_{HV}), αρχείο sheet.txt

0.1	1.1	2.1	3.1	4.15
0.15	1.15	2.15	3.15	4.2
0.2	1.2	2.2	3.2	4.25
0.25	1.25	2.25	3.25	4.3
0.3	1.3	2.3	3.3	4.35
0.35	1.35	2.35	3.4	4.4
0.4	1.4	2.4	3.45	4.45
0.45	1.45	2.45	3.5	4.5
0.5	1.5	2.5	3.55	4.55
0.55	1.55	2.55	3.6	4.6
0.6	1.6	2.6	3.65	4.65
0.65	1.65	2.65	3.7	4.7
0.7	1.7	2.7	3.75	4.75
0.75	1.75	2.75	3.8	4.8
0.8	1.8	2.8	3.85	4.85
0.85	1.85	2.85	3.9	4.9
0.9	1.9	2.9	3.95	4.95
0.95	1.95	2.95	4	5
1	2	3	4.05	
1.05	2.05	3.05	4.1	

3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΗΝΙΟΥ

3.5.1 Διαστάσεις Πηνίου Χαμηλής Τάσης

Ο αριθμός σπειρών, $TurnsMain_{LV}$, του πηνίου X.T. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TurnsMain_{LV} = turns_{LV} * \frac{V \ln_{LV, \max tap}}{V \ln_{LV}}, \quad (3.8)$$

Όπου $turns_{LV}$ ο αριθμός των σπειρών του πηνίου X.T., $V \ln_{LV, \max tap}$ (σε V) η μέγιστη φασική τάση του πηνίου X.T. (που αντιστοιχεί στη μέγιστη λήψη) και $V \ln_{LV}$ (σε V) η φασική τάση πηνίου X.T (που αντιστοιχεί στην ονομαστική λήψη).

Το πλάτος, TD_{LV} (σε mm), της στρώσης της X.T. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TD_{LV} = G - 2 * CCEE - 2 * D_{LV-C}. \quad (3.9)$$

όπου G (σε mm) είναι το ύψος του παραθύρου του πυρήνα, CCEE (σε mm) είναι η απόσταση του πηνίου από τον πυρήνα και D_{LV-C} (σε mm) είναι η απόσταση μεταξύ του πηνίου X.T. και του πυρήνα [3.1].

1. TYPE_{LV} = 1 (αγωγός κυκλικής διατομής)

Το πλάτος του αγωγού της Χ.Τ. με τη μόνωση, TurnWidth_{LV} (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnWidth}_{LV} = d_{LV} + Dd, \quad (3.10)$$

όπου d_{LV} (σε mm) είναι η διάμετρος του αγωγού Χ.Τ. και Dd είναι το πάχος της μόνωσης του αγωγού Χ.Τ., το οποίο υπολογίζεται από την § 3.4.

Ισχύουν τα παρακάτω:

$$L1 = \text{TurnWidth}_{LV}. \quad (3.11)$$

Το πάχος αγωγού με τη μόνωση, TurnThick_{LV} (σε mm), του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnThick}_{LV} = \text{TurnWidth}_{LV}. \quad (3.12)$$

Οι σπείρες ανά στρώση, Turns Per Layer_{LV}, του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TurnsPerLayer}_{LV} = \left(\frac{TD_{LV}}{\text{TurnWidth}_{LV}} - 1 \right) * TDSP_{LV}, \quad (3.13)$$

όπου $TDSP_{LV}$ είναι ο συντελεστής στρώσης σπειρών Χ.Τ.

2. TYPE_{LV} = 2 (δύο αγωγοί κυκλικής διατομής)

Το πλάτος του αγωγού της Χ.Τ. με τη μόνωση, TurnWidth_{LV} (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnWidth}_{LV} = 2 * (d_{LV} + Dd), \quad (3.14)$$

όπου d_{LV} (σε mm) είναι η διάμετρος του αγωγού Χ.Τ. και Dd είναι το πάχος της μόνωσης του αγωγού Χ.Τ., το οποίο υπολογίζεται από την § 3.4

Ισχύουν τα παρακάτω:

$$L1 = \frac{\text{TurnWidth}_{LV}}{2}. \quad (3.15)$$

Το πάχος αγωγού με τη μόνωση, TurnThick_{LV} (σε mm), του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnThick}_{LV} = \frac{\text{TurnWidth}_{LV}}{2}. \quad (3.16)$$

Οι σπείρες ανά στρώση, TurnsPerLayer_{LV}, του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TurnsPerLayer}_{LV} = \left(\frac{TD_{LV}}{\text{TurnWidth}_{LV}} - 2 \right) * TDSP_{LV}. \quad (3.17)$$

όπου $TDSP_{LV}$ είναι ο συντελεστής στρώσης σπειρών Χ.Τ.

3. TYPE_{LV} = 3 (αγωγός ορθογωνικής διατομής)

Το πλάτος του αγωγού της Χ.Τ. με τη μόνωση, $TurnWidth_{LV}$ (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TurnWidth_{LV} = W_{LV} + DW. \quad (3.18)$$

όπου W_{LV} (σε mm) είναι το πλάτος του αγωγού Χ.Τ. και DW είναι το πάχος της μόνωσης του αγωγού Χ.Τ., το οποίο υπολογίζεται από την § 3.4.

Ισχύουν τα παρακάτω:

$$L1 = TurnThick_{LV}. \quad (3.19)$$

Το πάχος αγωγού με τη μόνωση, $TurnThick_{LV}$ (σε mm), του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TurnThick_{LV} = t_{LV} + DW. \quad (3.20)$$

Οι σπείρες ανά στρώση, $TurnsPerLayer_{LV}$, του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$TurnsPerLayer_{LV} = \left(\frac{TD_{LV}}{TurnWidth_{LV}} - 1 \right) * TDSP_{LV}. \quad (3.21)$$

όπου $TDSP_{LV}$ είναι ο συντελεστής στρώσης σπειρών Χ.Τ.

4. $TYPE_{LV} = 4$ (δύο αγωγοί ορθογωνικής διατομής)

Το πλάτος του αγωγού της Χ.Τ. με τη μόνωση, $TurnWidth_{LV}$ (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TurnWidth_{LV} = 2 * (W_{LV} + DW). \quad (3.22)$$

όπου W_{LV} (σε mm) είναι το πλάτος του αγωγού Χ.Τ. και DW είναι το πάχος της μόνωσης του αγωγού Χ.Τ., το οποίο υπολογίζεται από την § 3.4.

Ισχύουν τα παρακάτω:

$$L1 = \frac{TurnThick_{LV}}{2}. \quad (3.23)$$

Το πάχος αγωγού με τη μόνωση, $TurnThick_{LV}$ (σε mm), του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TurnThick_{LV} = t_{LV} + DW. \quad (3.24)$$

Οι σπείρες ανά στρώση, $TurnsPerLayer_{LV}$, του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$TurnsPerLayer_{LV} = \left(\frac{TD_{LV}}{TurnWidth_{LV}} - 2 \right) * TDSP_{LV}. \quad (3.25)$$

όπου $TDSP_{LV}$ είναι ο συντελεστής στρώσης σπειρών Χ.Τ.

5. $TYPE_{LV} = 5$ (ταινία)

Το πλάτος του αγωγού της Χ.Τ. με τη μόνωση, $TurnWidth_{LV}$ (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnWidth}_{LV} = \text{TD}_{LV}. \quad (3.26)$$

Οι σπείρες ανά στρώση, $\text{TurnsPerLayer}_{LV}$, του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TurnsPerLayer}_{LV} = 1. \quad (3.27)$$

3.5.2 Διαστάσεις Πηνίου Υψηλής Τάσης

Ο μέγιστος αριθμός σπειρών, $\text{Turns}_{HV, \max}$, του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Turns}_{HV, \max} = \frac{V \ln_{HV, \max \text{ tap}}}{\text{VoltsPerTurn}}. \quad (3.28)$$

όπου $V \ln_{HV, \max \text{ tap}}$ (σε V) η μέγιστη φασική τάση του πηνίου Υ.Τ. (που αντιστοιχεί στη μέγιστη λήψη) και VoltsPerTurn η τάση ανά σπείρα.

Ο ονομαστικός αριθμός σπειρών (που αντιστοιχεί στην ονομαστική Υ.Τ.), TurnsMain_{HV} , του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnsMain}_{HV} = \text{Turns}_{HV, \max} * \frac{V \ln_{HV}}{V \ln_{HV, \max \text{ tap}}}, \quad (3.29)$$

όπου $\text{Turns}_{HV, \max}$ ο μέγιστος αριθμός των σπειρών του πηνίου Υ.Τ., $V \ln_{HV, \max \text{ tap}}$ (σε V) η μέγιστη φασική τάση του πηνίου Υ.Τ. (που αντιστοιχεί στη μέγιστη λήψη) και $V \ln_{HV}$ (σε V) η ονομαστική φασική τάση του πηνίου Υ.Τ. (που αντιστοιχεί στην ονομαστική λήψη).

Το πλάτος, TD_{HV} (σε mm), της στρώσης της Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TD}_{HV} = G - 2 * \text{CCEE} - 2 * D_{HV-C}. \quad (3.30)$$

όπου G (σε mm) είναι το ύψος του παραθύρου του πυρήνα, CCEE (σε mm) είναι η απόσταση του πηνίου από τον πυρήνα και D_{HV-C} (σε mm) είναι η απόσταση μεταξύ του πηνίου Υ.Τ. και του πυρήνα [3.1].

1. $\text{TYPE}_{HV} = 1$ (αγωγός κυκλικής διατομής)

Το πλάτος του αγωγού της Υ.Τ. με τη μόνωση, TurnWidth_{HV} (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnWidth}_{HV} = d_{HV} + Dd, \quad (3.31)$$

όπου d_{HV} (σε mm) είναι η διάμετρος του αγωγού Υ.Τ. και Dd είναι το πάχος της μόνωσης του αγωγού Υ.Τ., το οποίο υπολογίζεται από την § 3.4.

Ισχύουν τα παρακάτω:

$$L2 = \text{TurnWidth}_{HV}. \quad (3.32)$$

Το πάχος αγωγού με τη μόνωση, TurnThick_{HV} (σε mm), του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnThick}_{HV} = \text{TurnWidth}_{HV}. \quad (3.33)$$

Οι σπείρες ανά στρώση, $\text{TurnsPerLayer}_{HV}$, του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TurnsPerLayer}_{\text{HV}} = \left(\frac{TD_{\text{HV}}}{\text{TurnWidth}_{\text{HV}}} - 1 \right) * \text{TDSP}_{\text{HV}}. \quad (3.34)$$

όπου TDSP_{HV} είναι ο συντελεστής στρώσης των σπειρών του πηνίου Υ.Τ.

2. $\text{TYPE}_{\text{HV}} = 2$ (δύο αγωγοί κυκλικής διατομής)

Το πλάτος του αγωγού της Υ.Τ. με τη μόνωση, $\text{TurnWidth}_{\text{HV}}$ (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnWidth}_{\text{HV}} = 2 * (d_{\text{HV}} + Dd), \quad (3.35)$$

όπου d_{HV} (σε mm) είναι η διάμετρος του αγωγού Υ.Τ. και Dd είναι το πάχος της μόνωσης του αγωγού Υ.Τ., το οποίο υπολογίζεται από την § 3.4.

Ισχύουν τα παρακάτω:

$$L2 = \frac{\text{TurnWidth}_{\text{HV}}}{2}. \quad (3.36)$$

Το πάχος αγωγού με τη μόνωση, $\text{TurnThick}_{\text{HV}}$ (σε mm), του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnThick}_{\text{HV}} = \frac{\text{TurnWidth}_{\text{HV}}}{2}. \quad (3.37)$$

Οι σπείρες ανά στρώση, $\text{TurnsPerLayer}_{\text{HV}}$, του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TurnsPerLayer}_{\text{HV}} = \left(\frac{TD_{\text{HV}}}{\text{TurnWidth}_{\text{HV}}} - 2 \right) * \text{TDSP}_{\text{HV}}. \quad (3.38)$$

όπου TDSP_{HV} είναι ο συντελεστής στρώσης σπειρών Υ.Τ.

3. $\text{TYPE}_{\text{HV}} = 3$ (αγωγός ορθογωνικής διατομής)

Το πλάτος του αγωγού της Υ.Τ. με τη μόνωση, $\text{Turn Width}_{\text{HV}}$ (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnWidth}_{\text{HV}} = W_{\text{HV}} + DW, \quad (3.39)$$

όπου W_{HV} (σε mm) είναι το πλάτος του αγωγού Υ.Τ. και DW είναι το πάχος της μόνωσης του αγωγού Υ.Τ., το οποίο υπολογίζεται από την § 3.4.

Ισχύουν τα παρακάτω:

$$L2 = \text{TurnThick}_{\text{HV}}. \quad (3.40)$$

Το πάχος αγωγού με τη μόνωση, $\text{TurnThick}_{\text{HV}}$ (σε mm), του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnThick}_{\text{HV}} = t_{\text{HV}} + DW. \quad (3.41)$$

Οι σπείρες ανά στρώση, $\text{TurnsPerLayer}_{\text{HV}}$ του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TurnsPerLayer}_{\text{HV}} = \left(\frac{TD_{\text{HV}}}{\text{TurnWidth}_{\text{HV}}} - 1 \right) * \text{TDSP}_{\text{HV}}. \quad (3.42)$$

όπου TDSP_{HV} είναι ο συντελεστής στρώσης σπειρών Υ.Τ.

4. $\text{TYPE}_{\text{HV}} = 4$ (δύο αγωγοί ορθογωνικής διατομής)

Το πλάτος του αγωγού της Υ.Τ. με τη μόνωση, $\text{TurnWidth}_{\text{HV}}$ (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnWidth}_{\text{HV}} = 2 * (W_{\text{HV}} + DW), \quad (3.43)$$

όπου W_{HV} (σε mm) είναι το πλάτος του αγωγού Υ.Τ. και DW είναι το πάχος της μόνωσης του αγωγού Υ.Τ., το οποίο υπολογίζεται από την § 3.4.

Ισχύουν τα παρακάτω:

$$L2 = \frac{\text{TurnThick}_{\text{HV}}}{2}. \quad (3.44)$$

Το πάχος αγωγού με τη μόνωση, $\text{TurnThick}_{\text{HV}}$ (σε mm), του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnThick}_{\text{HV}} = t_{\text{HV}} + DW. \quad (3.45)$$

Οι σπείρες ανά στρώση, $\text{TurnsPerLayer}_{\text{HV}}$ του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TurnsPerLayer}_{\text{HV}} = \left(\frac{TD_{\text{HV}}}{\text{TurnWidth}_{\text{HV}}} - 2 \right) * \text{TDSP}_{\text{HV}}. \quad (3.46)$$

όπου TDSP_{HV} είναι ο συντελεστής στρώσης σπειρών Υ.Τ.

5. $\text{TYPE}_{\text{HV}} = 5$ (ταινία)

Το πλάτος του αγωγού της Υ.Τ. με τη μόνωση, $\text{TurnWidth}_{\text{HV}}$ (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{TurnWidth}_{\text{HV}} = TD_{\text{HV}}. \quad (3.47)$$

Οι σπείρες ανά στρώση, $\text{TurnsPerLayer}_{\text{HV}}$, του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TurnsPerLayer}_{\text{HV}} = 1. \quad (3.48)$$

3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΩΝ

Οι στρώσεις, $\text{Layers}_{\text{LV}}$, του πηνίου της Χ.Τ. υπολογίζονται [3.1] από τη σχέση:

$$\text{Layers}_{\text{LV}} = \frac{\text{TurnsMain}_{\text{LV}}}{\text{TurnsPerLayer}_{\text{LV}}}, \quad (3.49)$$

όπου $TurnsMain_{LV}$ είναι ο αριθμός των σπειρών του πηνίου Χ.Τ. και $TurnsPerLayer_{LV}$ είναι οι σπείρες ανά στρώση του πηνίου Χ.Τ.

Το πάχος, BLD_{LV} (σε mm), του πηνίου της Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$BLD_{LV} = (L1 + I_{LV-L}) * \frac{Layers_{LV}}{LDSP_{LV}} + TI_{LV}, \quad (3.50)$$

όπου I_{LV-L} (σε mm) είναι το πάχος της μόνωσης μεταξύ των στρώσεων του πηνίου Χ.Τ., $Layers_{LV}$ είναι οι στρώσεις του πηνίου Χ.Τ., $LDSP_{LV}$ είναι ο συντελεστής χώρου των στρώσεων Χ.Τ. και TI_{LV} (σε mm) είναι το πάχος της μόνωσης των λήψεων του πηνίου Χ.Τ. Ο συντελεστής χώρου των στρώσεων Χ.Τ., $LDSP_{LV}$, εκφράζει τη χαλαρότητα που υπάρχει από τη μηχανή περιέλιξης Χ.Τ. κατά το τύλιγμα του πηνίου Χ.Τ.

Το συνολικό πάχος, $SPLD_{LV}$ (σε mm), του πηνίου της Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SPLD_{LV} = BLD_{LV} + I_{LV-C} + I_{HV-LV}, \quad (3.51)$$

όπου BLD_{LV} (σε mm) είναι το πάχος του πηνίου της Χ.Τ., I_{LV-C} (σε mm) είναι το πάχος της μόνωσης μεταξύ ΧΤ και πυρήνα και I_{HV-LV} (σε mm) είναι το πάχος της μόνωσης μεταξύ Υ.Τ. και Χ.Τ.

Οι στρώσεις, $Layers_{HV}$, του πηνίου της Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Layers_{HV} = \frac{Turns_{HV, \max}}{TurnsPerLayer_{HV}}. \quad (3.52)$$

όπου $Turns_{HV, \max}$ είναι ο μέγιστος αριθμός σπειρών του πηνίου Υ.Τ. και $TurnsPerLayer_{HV}$ είναι οι σπείρες ανά στρώση του πηνίου Υ.Τ.

Το πάχος, BLD_{HV} (σε mm), του πηνίου της Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$BLD_{HV} = (L2 + I_{HVL}) * \frac{Layers_{HV}}{LDSP_{HV}} + TI_{HV}, \quad (3.53)$$

όπου I_{HVL} (σε mm) είναι το πάχος της μόνωσης μεταξύ των στρώσεων Υ.Τ., $Layers_{HV}$ είναι οι στρώσεις του πηνίου Υ.Τ., $LDSP_{HV}$ είναι ο συντελεστής χώρου των στρώσεων Υ.Τ. και TI_{HV} (σε mm) είναι το πάχος της μόνωσης των λήψεων του πηνίου Υ.Τ. Ο συντελεστής χώρου των στρώσεων Υ.Τ., $LDSP_{HV}$, εκφράζει τη χαλαρότητα που υπάρχει από τη μηχανή περιέλιξης Υ.Τ.

Το συνολικό πάχος, $SPLD_{HV}$ (σε mm), του πηνίου της Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SPLD_{HV} = BLD_{HV} + I_{HV-HV}, \quad (3.54)$$

όπου BLD_{HV} (σε mm) είναι το πάχος του πηνίου της Υ.Τ., και I_{HV-HV} (σε mm) είναι το πάχος της μόνωσης μετά την Υ.Τ.

Ο υπολογισμός του εύρους του παραθύρου, F (σε mm), του πυρήνα προκύπτει από την κατασκευαστική απαίτηση ότι στη διάσταση αυτή πρέπει να χωράει το πηνίο Χ.Τ., καθώς και το πηνίο Υ.Τ. Έτσι λοιπόν η διάσταση F προκύπτει ως εξής:

$$F = SPLD_{LV} + SPLD_{HV}, \quad (3.55)$$

όπου, $SPLD_{LV}$, $SPLD_{HV}$ (σε mm) είναι το συνολικό πάχος των πηνίων Χ.Τ. και Υ.Τ., αντίστοιχα.

Ο υπολογισμός του εύρους, $F1$ (σε mm), του παραθύρου του μικρού ατομικού πυρήνα, γίνεται με τυποποίηση της διάστασης F της σχέσης (3.55) στην ίση ή στην αμέσως μεγαλύτερη τυποποιημένη διάσταση (χρησιμοποιείται πίνακας τυποποιημένων διαστάσεων για το εύρος του παραθύρου του πυρήνα [3.2]).

Το εύρος, F2 (σε mm), του παραθύρου του μεγάλου ατομικού πυρήνα προκύπτει ως εξής:

$$F2 = 2 * F1, \quad (3.56)$$
δηλαδή το F2 είναι, γενικά, διπλάσιο του εύρους του παραθύρου του μικρού πυρήνα.

3.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΟΡΘΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ

3.7.1 Έλεγχος Καταλληλότητας Μονωτικού Μεταξύ Των Στρώσεων Χαμηλής Τάσης

Η επαγόμενη τάση, $Indused_{LV}$ (σε Kv), του πηνίου της Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Indused_{LV} = VoltsPerTurn * 2 * TurnsPerLayer_{LV} * 2 * 10^{-3}. \quad (3.57)$$

Στη σχέση (3.57), υπεισέρχεται ο πρώτος πολλαπλασιαστής, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 2, λόγω της διαφοράς δυναμικού της αρχικής σπείρας μίας στρώσης από την τελευταία της επόμενης, καθώς και ο δεύτερος πολλαπλασιαστής, ο οποίος λαμβάνεται επίσης ίσος με 2, γιατί η επαγόμενη τάση είναι διπλάσια της ονομαστικής [3.1].

Η κρουστική τάση, $Impulse_{LV}$ (σε Kv), του πηνίου της Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Impulse_{LV} = \frac{2 * BIL_{LV} * TurnsPerLayer_{LV}}{turns_{LV} * \frac{Vln_{LV, min tap}}{Vln_{LV}}}, \quad (3.58)$$

όπου BIL_{LV} (σε Kv), είναι η βασική στάθμη μόνωσης του πηνίου Χ.Τ., $turns_{LV}$ είναι οι σπείρες του πηνίου της Χ.Τ., $Vln_{LV, min tap}$ (σε V) η ελάχιστη φασική τάση του πηνίου Χ.Τ. και Vln_{LV} (σε V) είναι η ονομαστική φασική τάση του πηνίου Χ.Τ.

Στον πίνακα 3.5 παρουσιάζεται η μέγιστη επαγόμενη τάση ($Indused_{max}$) και η μέγιστη κρουστική τάση ($Impulse_{max}$), στην οποία μπορούν να ανταποκριθούν τα διαφορετικά πάχη των μονωτικών μεταξύ των στρώσεων των πηνίων Χ.Τ. και Υ.Τ.

Πίνακας 3.10: Επιλογή μονωτικών στρώσεων από τη μέγιστη επαγόμενη και κρουστική τάση.

Μόνωση (mm)	Μέγιστη επαγόμενη τάση (Kv)	Μέγιστη κρουστική τάση (Kv)
0.28	6	23.5
0.41	7.5	31.5
0.56	9.5	36
0.68	11	40
0.80	12.5	50

Εάν $Indused_{LV} < Indused_{max}$, και $Impulse_{LV} < Impulse_{max}$, τότε το πάχος, I_{LVL} , της μόνωσης μεταξύ των στρώσεων Χ.Τ. έχει επιλεγεί σωστά, διαφορετικά θα πρέπει να επιλεγεί η αμέσως μεγαλύτερη μόνωση του Πίνακα 3.5.

3.7.2 Έλεγχος Καταλληλότητας Μονωτικού Μεταξύ Των Στρώσεων Υψηλής Τάσης

Η επαγόμενη τάση, $Indused_{HV}$ (σε Kv), του πηνίου της Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Indused_{HV} = VoltsPerTurn * 2 * TurnsPerLayer_{HV} * 2 \cdot 10^{-3}. \quad (3.59)$$

Στη σχέση (3.59), υπεισέρχεται ο πρώτος πολλαπλασιαστής, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 2, λόγω της διαφοράς δυναμικού της αρχικής σπείρας μίας στρώσης από την τελευταία της επόμενης, καθώς και ο δεύτερος πολλαπλασιαστής, ο οποίος λαμβάνεται επίσης ίσος με 2, γιατί η επαγόμενη τάση είναι διπλάσια της ονομαστικής.

Η κρουστική τάση, $Impulse_{HV}$ (σε Kv), του πηνίου της Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Impulse_{HV} = \frac{2 * BIL_{HV} * TurnsPerLayer_{HV}}{turns_{HV} * \frac{V \ln_{HV, \min tap}}{V \ln_{HV}}}. \quad (3.60)$$

όπου BIL_{HV} (σε Kv), είναι η βασική στάθμη μόνωσης του πηνίου Υ.Τ., $turns_{HV}$ είναι οι σπείρες του πηνίου της Υ.Τ., $V \ln_{HV, \min tap}$ (σε V) η ελάχιστη φασική του τάση πηνίου Υ.Τ. και $V \ln_{HV}$ (σε V) είναι η ονομαστική φασική τάση του πηνίου Υ.Τ..

Εάν $Indused_{HV} < Indused_{max}$, και $Impulse_{HV} < Impulse_{max}$, τότε το πάχος, I_{HVL} , της μόνωσης μεταξύ των στρώσεων Υ.Τ. έχει επιλεγεί σωστά, διαφορετικά θα πρέπει να επιλεγεί η αμέσως μεγαλύτερη μόνωση του Πίνακα 3.5.

3.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΠΥΡΗΝΑ

Η μέση σπείρα του μικρού πυρήνα, $CMT1$ (σε mm), υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$CMT1 = 2 * (F1 + G) + 2 * \pi * \left(\frac{E_u}{2} + 3.5 \right) - 8 * 3.5, \quad (3.61)$$

όπου $F1$ (σε mm) είναι το εύρος του παραθύρου του μικρού πυρήνα, G (σε mm) είναι το ύψος του παραθύρου του πυρήνα, και E_u (σε mm) είναι το πάχος του σκέλους του πυρήνα.

Η μέση σπείρα του μεγάλου πυρήνα, $CMT2$ (σε mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$CMT2 = 2 * (F2 + G) + 2 * \pi * \left(\frac{E_u}{2} + 3.5 \right) - 8 * 3.5, \quad (3.62)$$

όπου $F2$ (σε mm) είναι το εύρος του παραθύρου του μεγάλου πυρήνα.

Το συνολικό θεωρητικό βάρος, CTW (σε Kg), των τεσσάρων πυρήνων του μετασχηματιστή είναι:

$$CTW = 2 * (CMT1 + CMT2) * D * E_u * CSF * g_{MS} * 10^{-6}, \quad (3.63)$$

όπου D (σε mm) είναι το πλάτος του σκέλους του πυρήνα, CSF είναι ο συντελεστής πλήρωσης χώρου του πυρήνα, και g_{MS} είναι η πυκνότητα της μαγνητικής λαμαρίνας.

Οι απώλειες σιδήρου, Fe_{losses} , υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Fe_{losses} = CTW * WPK, \quad (3.64)$$

όπου WPK (σε Watt/Kg) είναι οι ειδικές απώλειες σιδήρου του μετασχηματιστή, οι οποίες υπολογίστηκαν από τον παρακάτω αλγόριθμο (παράδειγμα για ονομαστική ισχύ $RKVA=100$ και για τάση βραχυκύκλωσης $U_{KN} = 4$), με τη βοήθεια του πίνακα 3.8 και των αρχείων *Ugine027HiB.txt* και *UgineM4.txt*, τα οποία περιέχουν τις τριφασικές απώλειες για όλες τις

μαγνητικές επαγωγές (βλ. πίνακα 3.6 και πίνακα 3.7 αντίστοιχα) και δεν δίνονται πλέον ως παράμετροι εισόδου στο πρόγραμμα

Εάν $RKVA = 100$ ΚΑΙ $U_{KN} = 4$

Lim1 = 235

Lim2 = 280

WPK = Συνάρτηση (RKVA, B, Femax, Frequency, lim1, lim2)

Τέλος εάν

Συνάρτηση (z1, z2, z3, z4, z5, z6)

Εάν $z1 = 100$ ΚΑΙ $z3 \leq \text{Lim1}$

Για i από πρώτη μέχρι τελευταία γραμμή του αρχείου UGINE027HiB.txt

Εάν $z2 = \text{UGINE027HiB}(i, 1)$

FindWPK = UGINE027HiB(i, 2)

Είδος λαμαρίνας = HiB

Τέλος εάν

Επόμενο i

Τέλος εάν

Εάν $z1 = 100$ ΚΑΙ $z3 > \text{lim1}$ And $z3 \leq \text{lim2}$

Για i από την πρώτη μέχρι την τελευταία γραμμή του αρχείου UGINE027HiB.txt

Εάν $z2 = \text{UGINE027HiB}(i, 1)$

FindWPK = UGINE027HiB(i, 2)

Είδος λαμαρίνας = HiB

Τέλος εάν

Επόμενο i

Τέλος εάν

εάν $z1 = 100$ ΚΑΙ $z3 > \text{lim}2$

Για i από την πρώτη μέχρι την τελευταία γραμμή του αρχείου UgeneM4.txt

Εάν $z2 = \text{UgeneM4}(i, 1)$

Εάν Frequency = 50

FindWPK = UgeneM4(i, 2)

Είδος λαμαρίνας = M4

Αλλιώς

FindWPK = UgeneM4(i, 3)

Είδος λαμαρίνας = M4

Τέλος εάν

Τέλος εάν

Επόμενο i

Τέλος εάν

Πίνακας 3.6: Τιμές απωλειών για την μαγνητική λαμαρίνα HiB, αρχείο UgeneHiB.txt

B (Gauss)	W/Kgr	B (Gauss)	W/Kgr
11000	0.536	14800	1.026
11100	0.544	14900	1.043
11200	0.553	15000	1.060
11300	0.563	15100	1.077
11400	0.572	15200	1.094
11500	0.582	15300	1.112
11600	0.593	15400	1.131
11700	0.604	15500	1.150
11800	0.615	15600	1.169
11900	0.626	15700	1.189
12000	0.637	15800	1.209
12100	0.649	15900	1.230
12200	0.661	16000	1.252
12300	0.673	16100	1.274
12400	0.685	16200	1.297
12500	0.698	16300	1.320
12600	0.711	16400	1.345
12700	0.723	16500	1.370
12800	0.736	16600	1.396
12900	0.749	16700	1.422
13000	0.763	16800	1.450
13100	0.776	16900	1.479
13200	0.790	17000	1.509
13300	0.803	17100	1.539
13400	0.817	17200	1.571
13500	0.831	17300	1.605
13600	0.845	17400	1.639

13700	0.859	17500	1.675
13800	0.873	17600	1.712
13900	0.888	17700	1.750
14000	0.902	17800	1.790
14100	0.917	17900	1.831
14200	0.932	18000	1.874
14300	0.947	18100	1.919
14400	0.962	18200	1.965
14500	0.978	18300	2.013
14600	0.994	18400	2.063
14700	1.010	18500	2.115

Πίνακας 3.7: Τιμές απωλειών μαγνητικής λαμαρίνας M4, αρχείο UgeneM4.txt

B (Gauss)	W/Kg (50)	W/Kg (60)	B (Gauss)	W/Kg (50)	W/Kg (60)
11000	0.554	0.719	14700	1.085	1.409
11100	0.57	0.740	14800	1.105	1.435
11200	0.59	0.766	14900	1.12	1.455
11300	0.598	0.777	15000	1.144	1.486
11400	0.61	0.792	15100	1.175	1.526
11500	0.62	0.805	15200	1.2	1.558
11600	0.63	0.818	15300	1.225	1.591
11700	0.638	0.829	15400	1.25	1.623
11800	0.65	0.844	15500	1.28	1.662
11900	0.66	0.857	15600	1.3	1.688
12000	0.669	0.869	15700	1.325	1.721
12100	0.682	0.886	15800	1.355	1.760
12200	0.692	0.899	15900	1.375	1.786
12300	0.71	0.922	16000	1.398	1.816
12400	0.722	0.938	16100	1.445	1.877
12500	0.735	0.955	16200	1.47	1.909
12600	0.745	0.968	16300	1.51	1.961
12700	0.755	0.981	16400	1.54	2.000
12800	0.77	1.000	16500	1.582	2.055
12900	0.78	1.013	16600	1.612	2.094
13000	0.79	1.026	16700	1.642	2.132
13100	0.805	1.045	16800	1.68	2.182
13200	0.828	1.075	16900	1.716	2.229
13300	0.84	1.091	17000	1.743	2.264
13400	0.858	1.114	17100	1.79	2.325
13500	0.875	1.136	17200	1.86	2.416
13600	0.89	1.156	17300	1.9	2.468
13700	0.9	1.169	17400	1.95	2.532
13800	0.92	1.195	17500	2.01	2.610
13900	0.94	1.221	17600	2.04	2.649
14000	0.95	1.234	17700	2.11	2.740
14100	0.97	1.260	17800	2.15	2.792
14200	0.99	1.286	17900	2.22	2.883
14300	1.01	1.312	18000	2.26	2.935
14400	1.025	1.331	18100	2.349	3.051
14500	1.05	1.364	18200	2.4	3.117
14600	1.07	1.390			

Σε περίπτωση που ο χρήστης εισάγει τιμή (για το RKVA), η οποία δεν υπάρχει στον πίνακα 3.8, υπολογίζουμε το WPK_0 που αντιστοιχεί στο RKVA_0 (η αμέσως μικρότερη

τιμή του πίνακα 3.8 που αντιστοιχεί στο RKVA, που εισάγει ο χρήστης) και το WPK_1 που αντιστοιχεί στο RKVA_1 (η αμέσως μεγαλύτερη τιμή του πίνακα 3.8 που αντιστοιχεί στο RKVA, που εισάγει ο χρήστης). Στη συνέχεια πραγματοποιώντας γραμμική παρεμβολή υπολογίζεται το ζητούμενο WPK.

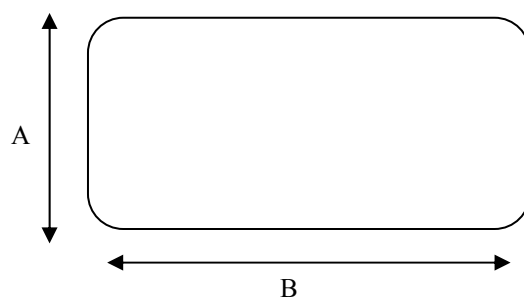
Πίνακας 3.8: Πίνακας ορίων για τον υπολογισμό του WPK.

RKVA	Lim1	Lim2	Impedance (%)
50	135	160	
100	235	280	
160	337.5	403.3	4
250	477.5	570	
400	680	810	
630	945	1120	
630	870	1026.6	
1000	1250	1500	6
1600	1950	2333.3	
2500	2850	3400	

Εάν $Fe_{losses} > Fe_{max}$ (όπου Fe_{max} οι μέγιστες επιτρεπόμενες απώλειες σιδήρου) τότε η συγκεκριμένη υπονήφια λύση απορρίπτεται (βλ. § 3.1), λόγω παραβίασης της προδιαγραφής των απωλειών σιδήρου.

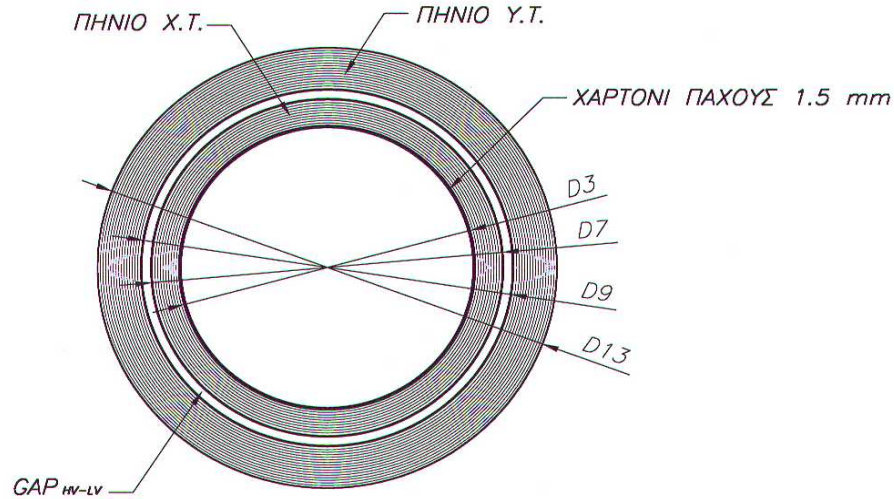
3.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ

Οι διαστάσεις A, B του καλούπιου του πηνίου [3.1] φαίνονται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Καλούπι πηνίου.

Στο Σχήμα 3.2 φαίνονται οι ισοδύναμες διάμετροι του πηνίου [3.1]. Πιο συγκεκριμένα, στο κέντρο του Σχήματος 3.2 υπάρχει ο χώρος στον οποίο θα μπει το καλούπι του πηνίου (ισοδύναμη διάμετρος MAND.DIA – σχέση 3.68), αμέσως μετά υπάρχει το χαρτόνι πάχους 1.5 mm (ισοδύναμη συνολική εξωτερική διάμετρος D3 – σχέση 3.69), αμέσως μετά υπάρχουν το πηνίο χαμηλής τάσης (ισοδύναμη συνολική εξωτερική διάμετρος D7 – σχέση 3.76), το GAPHV – LV (ισοδύναμη συνολική εξωτερική διάμετρος D9 – σχέση 3.77) και το πηνίο υψηλής τάσης (ισοδύναμη συνολική εξωτερική διάμετρος D13 – σχέση 3.83).



Σχήμα 3.2: Ισοδύναμες διάμετροι πηνίου.

$$A = 2 * E_u + K, \quad (3.65)$$

$$B = D + 2 * CCEE, \quad (3.66)$$

$$LG_{LV} = A, \quad (3.67)$$

$$MAND.DIA = \frac{2 * (A + B) - 10.992}{\pi}, \quad (3.68)$$

$$D3 = MAND.DIA + 2 * I_{LV-C}, \quad (3.69)$$

$$A3 = \frac{\pi * D_3^2}{4}, \quad (3.70)$$

$$LG_{HV} = A + 2 * BLD_{LV} + 2 * I_{HV-LV}, \quad (3.71)$$

$$D5 = D3 + 2 * BLD_{LV}, \quad (3.72)$$

$$A5 = \frac{\pi * D5^2}{4}, \quad (3.73)$$

$$A6 = Ducts_{LV} * 3.3274 * LG_{LV} * 2, \quad (3.74)$$

$$A7 = A5 + A6, \quad (3.75)$$

$$D7 = \sqrt{\frac{4 * A7}{\pi}}, \quad (3.76)$$

$$D9 = D7 + 2 * I_{HV-LV}, \quad (3.77)$$

$$A9 = \frac{\pi * D9^2}{4}, \quad (3.78)$$

$$D11 = D9 + 2 * BLD_{HV}, \quad (3.79)$$

$$A11 = \frac{\pi * D11^2}{4}, \quad (3.80)$$

$$A12 = Ducts_{HV} * 3.3274 * LG_{HV} * 2, \quad (3.81)$$

$$A13 = A11 + A12, \quad (3.82)$$

$$D13 = \sqrt{\frac{4 * A13}{\pi}}, \quad (3.83)$$

$$k_L = \frac{(-2 * \sqrt{A3} + \sqrt{A7} + \sqrt{A9})}{3.54 * TD_{LV}}, \quad (3.84)$$

$$L17 = (k_L^2 + k_L + 1) * TD_{LV}, \quad (3.85)$$

$$k_P = \frac{2 * \sqrt{A13} - \sqrt{A7} - \sqrt{A9}}{3.54 * TD_{HV}}, \quad (3.86)$$

$$L21 = (k_P^2 + k_P + 1) * TD_{HV}, \quad (3.87)$$

$$LH23 = L17 + L21, \quad (3.88)$$

$$X25 = \left(\frac{A5 - A3}{L17} \right) * 0.792, \quad (3.89)$$

$$X26 = \left(\frac{A11 - A9}{L21} \right) * 0.792, \quad (3.90)$$

$$X27 = \left(\frac{A9 - A7}{LH23} \right) * 4, \quad (3.91)$$

$$X28 = \frac{A6 * 2 * FN(Ducts_{LV})}{L17}, \quad (3.92)$$

$$X_{29} = \frac{A_{12} * 2 * FN(Ducts_{HV})}{L_{21}}, \quad (3.93)$$

όπου $FN(Ducts_{LV})$ είναι ο συντελεστής των καναλιών Χ.Τ., και $FN(Ducts_{HV})$ είναι ο συντελεστής των καναλιών Υ.Τ. Οι συντελεστές αυτοί των καναλιών Χ.Τ. και Υ.Τ. δίνονται στον Πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.9: Συντελεστές καναλιών Χ.Τ. (σχέση 3.92) και Υ.Τ. (σχέση 3.93).

Ducts	FN
1	0.250
2	0.280
3	0.292
4	0.300
5	0.306
6	0.310
7	0.313
8	0.315
9	0.317
10	0.318
11	0.319
>11	0.320

$$X_{30} = X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29}, \quad (3.94)$$

$$\text{εάν } LVCC \neq \text{“Z” τότε } X_{34} = \text{turns}_{LV}^2, \quad (3.95)$$

$$\text{εάν } LVCC = \text{“Z” τότε } X_{34} = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} * \text{turns}_{LV} \right)^2, \quad (3.96)$$

Το επαγωγικό μέρος της τάσης βραχυκύκλωσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$IX = \frac{f * I_{LV} * X_{34} * X_{30}}{V \ln_{LV} * 25.4 * 10^5}, \quad (3.97)$$

Η μέση σπείρα του πηνίου της Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$MT_{LV} = \left(\frac{D_3 + D_7}{2} \right) * \pi, \quad (3.98)$$

Η μέση σπείρα του πηνίου της Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$MT_{HV} = \left(\frac{D9 + D13}{2} \right) * \pi, \quad (3.99)$$

3.10 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΧΑΛΚΟΥ

3.10.1 Απώλειες Χαλκού Αγωγού Χαμηλής Τάσης

Το μήκος του αγωγού της Χ.Τ., $ConductorLength_{LV}$ (σε m), υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση :

$$ConductorLength_{LV} = MT_{LV} * Layers_{LV} * 3, \quad (3.100)$$

όπου MT_{LV} (σε m) είναι η μέση σπείρα του αγωγού του πηνίου Χ.Τ. και $Layers_{LV}$ είναι οι στρώσεις του πηνίου Χ.Τ.

Η αντίσταση του αγωγού, R_{LV} (σε Ω), της Χ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_{LV} = \frac{\rho_{LV} * \frac{ConductorLength_{LV}}{3}}{area_{LV}}, \quad (3.101)$$

όπου ρ_{LV} (σε $\Omega \cdot mm^2/m$) είναι η ειδική αντίσταση του αγωγού Χ.Τ, και $area_{LV}$ (σε mm^2) είναι η διατομή του πηνίου Χ.Τ.

Οι απώλειες χαλκού, $CuLosses_{LV}$ (σε W), του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$CuLosses_{LV} = 3 * R_{LV} * I_{LV}^2 * 1.04, \quad (3.102)$$

όπου I_{LV} (σε A) είναι το ρεύμα του πηνίου Χ.Τ. Ο συντελεστής 1.04 στη σχέση (3.102) εκφράζει την προσαύξηση των απωλειών κατά 4 % λόγω της χαλαρότητας του πηνίου Χ.Τ.

3.10.2 Απώλειες Χαλκού Αγωγού Υψηλής Τάσης

Το μήκος του αγωγού της Υ.Τ., $ConductorLength_{HV}$ (σε m), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ConductorLength_{HV} = MT_{HV} * TurnsMain_{HV} * 3, \quad (3.103)$$

όπου MT_{HV} (σε m) είναι η μέση σπείρα του αγωγού του πηνίου Υ.Τ. και $TurnsMain_{HV}$ είναι οι ονομαστικές σπείρες του πηνίου Υ.Τ.

Η αντίσταση του αγωγού, R_{HV} (σε Ω), της Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_{HV} = \frac{\rho_{HV} * \frac{ConductorLength_{HV}}{3}}{area_{HV}}, \quad (3.104)$$

όπου ρ_{HV} (σε $\Omega \cdot mm^2/m$) είναι η ειδική αντίσταση του αγωγού Υ.Τ, και $area_{HV}$ (σε mm^2) είναι η διατομή του πηνίου Υ.Τ.

Οι απώλειες χαλκού, $CuLosses_{HV}$ (σε W), του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$CuLosses_{HV} = 3 * R_{HV} * I_{HV}^2 * 1.06, \quad (3.105)$$

όπου I_{HV} (σε A) είναι το ρεύμα του πηνίου Υ.Τ. Ο συντελεστής 1.06 της σχέσης (3.105) εκφράζει την προσαύξηση των απωλειών κατά 6% λόγω της χαλαρότητας του πηνίου Υ.Τ. και λόγω των λήψεων που υπάρχουν στο πηνίο Υ.Τ.

Οι συνολικές απώλειες χαλκού, CuLosses (σε W), είναι:

$$\text{CuLosses} = \text{CuLosses}_{LV} + \text{CuLosses}_{HV} + \text{Ed}_{LV} + \text{Ed}_{HV}, \quad (3.106)$$

όπου CuLosses_{LV} (σε W) είναι οι απώλειες χαλκού του πηνίου X.T., CuLosses_{HV} (σε W) είναι οι απώλειες χαλκού του πηνίου Y.T., Ed_{LV} (σε W) είναι οι απώλειες δινορρευμάτων του πηνίου X.T., και Ed_{HV} (σε W) είναι οι απώλειες δινορρευμάτων του πηνίου Y.T.

Εάν $\text{CuLosses} > \text{CuL}_{\max}$, δηλαδή αν οι απώλειες χαλκού υπερβαίνουν τις μέγιστες επιτρεπόμενες απώλειες χαλκού, τότε η συγκεκριμένη υποψήφια λύση απορρίπτεται (βλ. § 3.1), λόγω παραβίασης της προδιαγραφής των απωλειών χαλκού.

3.11 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΑΓΩΓΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΙ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

Ο υπολογισμός του βάρους [3.1] των αγωγών των πηνίων χαμηλής και υψηλής τάσης εξαρτάται από το είδος του αγωγού. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο αγωγός είναι ταινία στη θεωρητική σχέση υπολογισμού του βάρους υπεισέρχεται ένας εμπειρικός παράγοντας προσαύξησης 4%, ενώ για τα υπόλοιπα είδη αγωγού υπεισέρχεται ένας εμπειρικός παράγοντας προσαύξησης 6%.

Έτσι λοιπόν,

1. $\text{TYPE}_{LV} = 5$ (ταινία)

Το βάρος του αγωγού (σε Kg) της X.T. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \text{ConductorWeight}_{LV} &= \\ &= \text{ConductorLength}_{LV} * \left(1 + \frac{\text{TAPS}_{LV, \max}}{100}\right) * \text{area}_{LV} * g_{LV} * 1.04 * 10^{-3} \end{aligned} \quad (3.107)$$

όπου $\text{ConductorLength}_{LV}$ (σε m) είναι το μήκος του αγωγού X.T., $\text{TAPS}_{LV, \max}$ (%) είναι η μέγιστη λήψη του πηνίου X.T., area_{LV} (σε mm^2) είναι η διατομή του πηνίου X.T. και g_{LV} (σε gr/cm^3) είναι η πυκνότητα του αγωγού X.T.

2. $\text{TYPE}_{LV} \neq 5$ (όχι ταινία)

Το βάρος του αγωγού (σε Kg) της X.T. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \text{ConductorWeight}_{LV} &= \\ &= \text{ConductorLength}_{LV} * \left(1 + \frac{\text{TAPS}_{LV, \max}}{100}\right) * \text{area}_{LV} * g_{LV} * 1.06 * 10^{-3} \end{aligned} \quad (3.108)$$

3. $\text{TYPE}_{HV} = 5$ (ταινία)

Το βάρος του αγωγού (σε Kg) της Y.T. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \text{ConductorWeight}_{HV} &= \\ &= \text{ConductorLength}_{HV} * \left(1 + \frac{\text{TAPS}_{HV, \max}}{100}\right) * \text{area}_{HV} * g_{HV} * 1.04 * 10^{-3} \end{aligned} \quad (3.109)$$

όπου $ConductorLength_{HV}$ (σε m) είναι το μήκος του αγωγού Υ.Τ., $TAPS_{HV,max}$ (%) είναι η μέγιστη λήψη του πηνίου Υ.Τ., $area_{HV}$ (σε mm²) είναι η διατομή του πηνίου Υ.Τ. και g_{HV} (σε gr/cm³) είναι η πυκνότητα του αγωγού Υ.Τ.

4. $TYPE_{HV} \neq 5$ (όχι ταινία)

Το βάρος του αγωγού (σε Kg) της Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} ConductorWeight_{HV} &= \\ &= ConductorLength_{HV} * \left(1 + \frac{TAPS_{HV,max}}{100}\right) * area_{HV} * g_{HV} * 1.06 * 10^{-3} \end{aligned} \quad (3.110)$$

3.12 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΩΜΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ

Το ωμικό μέρος, IR (%), της τάσης βραχυκύκλωσης υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$IR = \frac{CuLosses}{RKVA * 10}, \quad (3.111)$$

όπου CuLosses (σε W) οι απώλειες χαλκού, και RKVA (σε KVA) η ονομαστική ισχύς.

3.13 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΗΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ

Η τάση βραχυκύκλωσης, IZ (%), υπολογίζεται [3.1] θεωρητικά από τη σχέση:

$$IZ = \sqrt{IX^2 + IR^2}, \quad (3.112)$$

όπου το επαγωγικό μέρος της τάσης βραχυκύκλωσης, IX (%), υπολογίζεται από τη σχέση (3.97), και το ωμικό μέρος της τάσης βραχυκύκλωσης, IR (%), υπολογίζεται από τη σχέση (3.111).

Όμως, λόγω των κατασκευαστικών ανοχών, στην θεωρητική τιμή της τάσης βραχυκύκλωσης της σχέσης (3.112) προστίθεται και ένας εμπειρικός προσθεταίος, Add (%). Έτσι, τελικά η τάση βραχυκύκλωσης U_{sc} (%), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U_{sc} = IZ + Add. \quad (3.113)$$

$$\text{Εάν } U_{sc} < \left(1 - \frac{\text{Im } p_{tol,min}}{100}\right) * U_{kN} \text{ ή } U_{sc} > \left(1 + \frac{\text{Im } p_{tol,min}}{100}\right) * U_{kN}, \text{ δηλαδή αν η τάση}$$

βραχυκύκλωσης είναι μικρότερη από την ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή ή αν είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή, τότε η συγκεκριμένη υπονήφια λύση απορρίπτεται (βλ. § 3.1), λόγω παραβίασης της προδιαγραφής της τάσης βραχυκύκλωσης.

3.14 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΠΗΝΙΟΥ

3.14.1 Υπολογισμός Πάχους Καναλιών

Στον υπολογισμό του μήκους του πηνίου, εκτός των άλλων, υπεισέρχονται το μήκος του καλουπιού και η διάσταση F του πηνίου, καθώς και το συνολικό πάχος των καναλιών του πηνίου [3.1].

Το μήκος του καλουπιού του πηνίου, MandrelLength (σε mm) είναι (Σχήμα 3.1):

$$\text{MandrelLength} = B. \quad (3.114)$$

Η διάσταση F του πηνίου είναι:

$$\text{Διάσταση F πηνίου} = F, \quad (3.115)$$

όπου η διάσταση F υπολογίζεται από τη σχέση (3.55).

Το συνολικό πάχος, ThickDucts (σε mm), των καναλιών του πηνίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{ThickDucts} = 2 * (\text{Ducts}_{LV} + \text{Ducts}_{HV}) * 3.33, \quad (3.116)$$

όπου Ducts_{LV} και Ducts_{HV} είναι ο αριθμός των καναλιών της Χ.Τ. και της Υ.Τ. αντίστοιχα.

3.14.2 Υπολογισμός Πάχους Μπαρών Χαμηλής Τάσης

Επίσης, στον υπολογισμό του μήκους του πηνίου, εκτός των άλλων, υπεισέρχεται το πάχος των μπαρών χαμηλής τάσης, το οποίο εξαρτάται από το είδος του αγωγού [3.1].

Έτσι λοιπόν,

1. $\text{TYPE}_{LV} = 1$ ή $\text{TYPE}_{LV} = 2$ (αγωγός κυκλικής διατομής ή δύο αγωγοί κυκλικής διατομής)

Το πάχος, LeadThick_{LV} (σε mm), της μπάρας της Χ.Τ. υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{LeadThick}_{LV} = \text{TYPE}_{LV} * d_{LV}, \quad (3.117)$$

όπου d_{LV} (σε mm) είναι η διάμετρος του αγωγού του πηνίου Χ.Τ.

Οι λήψεις της Χ.Τ., Leads_{LV}, είναι:

$$\text{Leads}_{LV} = 3. \quad (3.118)$$

2. $\text{TYPE}_{LV} = 3$ ή $\text{TYPE}_{LV} = 4$ (αγωγός ορθογωνικής διατομής ή δύο αγωγοί ορθογωνικής διατομής)

Το πάχος, LeadThick_{LV} (σε mm), της μπάρας της Χ.Τ. υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{LeadThick}_{LV} = (\text{TYPE}_{LV} - 2) * t_{LV}, \quad (3.119)$$

όπου t_{LV} (σε mm) είναι το πάχος του αγωγού του πηνίου Χ.Τ.

Οι λήψεις της Χ.Τ., Leads_{LV}, είναι:

$$\text{Leads}_{LV} = 3. \quad (3.120)$$

3. $\text{TYPE}_{LV} = 5$ (ταινία)

Το πάχος, LeadThick_{LV} (σε mm), της μπάρας της Χ.Τ. υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{LeadThick}_{LV} = 1.1 * \text{area}_{LV} * \frac{2}{A}, \quad (3.121)$$

όπου area_{LV} (σε mm^2) είναι η διατομή του αγωγού του πηνίου Χ.Τ. και A (σε mm) είναι η διάσταση A του καλουπιού του πηνίου (Σχήμα 3.1).

Οι λήψεις της Χ.Τ., Leads_{LV} , είναι:

Αν $LVCC = "Z"$ τότε $\text{Leads}_{LV} = 4$, αλλιώς $\text{Leads}_{LV} = 2$.

Τελικά, το συνολικό πάχος, $\text{TotalLeadThick}_{LV}$ (σε mm), των μπαρών της Χ.Τ. είναι:

εάν $\text{TYPE}_{LV} \neq 5$ τότε $\text{TotalLeadThick}_{LV} = \text{Leads}_{LV} * (\text{LeadThick}_{LV} + 4 * 0.41)$,

εάν $\text{TYPE}_{LV} = 5$ τότε $\text{TotalLeadThick}_{LV} = \text{Leads}_{LV} * (\text{LeadThick}_{LV} + 2 * 0.8 + 4 * 0.41)$.

3.14.3 Υπολογισμός Πάχους Μπαρών Υψηλής Τάσης

Επίσης, στον υπολογισμό του μήκους του πηνίου, εκτός των άλλων, υπεισέρχεται το πάχος των μπαρών υψηλής τάσης, το οποίο εξαρτάται από το είδος του αγωγού [3.1].

Έτσι λοιπόν,

1. $\text{TYPE}_{HV} = 1$ ή $\text{TYPE}_{HV} = 2$ (αγωγός κυκλικής διατομής ή δύο αγωγοί κυκλικής διατομής)

Το πάχος, LeadThick_{HV} (σε mm), της μπάρας της Υ.Τ. υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{LeadThick}_{HV} = \text{TYPE}_{HV} * d_{HV}, \quad (3.122)$$

όπου d_{HV} (σε mm) είναι η διάμετρος του αγωγού του πηνίου Υ.Τ.

Οι λήψεις της Υ.Τ., Leads_{HV} , είναι:

$$\text{Leads}_{HV} = 3. \quad (3.123)$$

2. $\text{TYPE}_{HV} = 3$ ή $\text{TYPE}_{HV} = 4$ (αγωγός ορθογωνικής διατομής ή δύο αγωγοί ορθογωνικής διατομής)

Το πάχος, LeadThick_{HV} (σε mm), της μπάρας της Υ.Τ. υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{LeadThick}_{HV} = (\text{TYPE}_{HV} - 2) * t_{HV}, \quad (3.124)$$

όπου t_{HV} (σε mm) είναι το πάχος του αγωγού του πηνίου Υ.Τ.

Οι λήψεις της Υ.Τ., Leads_{HV} , είναι:

$$\text{Leads}_{HV} = 3. \quad (3.125)$$

3. $\text{TYPE}_{HV} = 5$ (ταινία)

Το πάχος, LeadThick_{HV} (σε mm), της μπάρας της Υ.Τ. υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{LeadThick}_{HV} = 1.1 * \text{area}_{HV} * \frac{2}{A}, \quad (3.126)$$

όπου area_{HV} (σε mm^2) είναι η διατομή του αγωγού του πηνίου Υ.Τ. και A (σε mm) είναι η διάσταση A του καλουπιού του πηνίου (Σχήμα 4.1).

Οι λήψεις της Υ.Τ., $Leads_{HV}$, είναι:

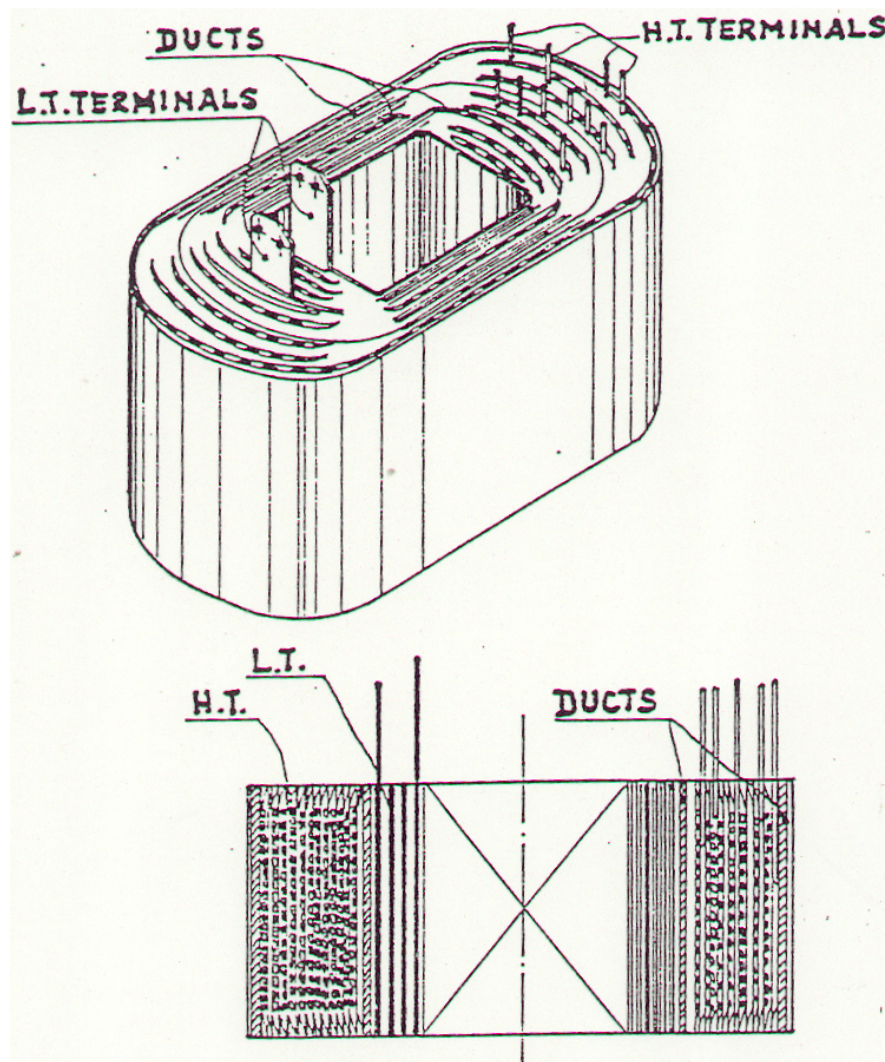
Αν $LVCC = "Z"$ τότε $Leads_{HV} = 4$, αλλιώς $Leads_{HV} = 2$.

Τελικά, το συνολικό πάχος, $TotalLeadThick_{HV}$ (σε mm), των μπαρών της Υ.Τ. είναι:

εάν $TYPE_{HV} \neq 5$ τότε $TotalLeadThick_{HV} = Leads_{HV} * (LeadThick_{HV} + 4 * 0.41)$,

εάν $TYPE_{HV} = 5$ τότε $TotalLeadThick_{HV} = Leads_{HV} * (LeadThick_{HV} + 2 * 0.8 + 4 * 0.41)$.

Στο σχήμα 3.3 φαίνονται τα κανάλια και οι λήψεις Χ.Τ. και Υ.Τ.



Σχήμα 3.3: Πηνίο Μ/Σ.

3.14.4 Υπολογισμός Λοιπών Παχών Και Ανοχών

Επίσης, στον υπολογισμό του μήκους του πηνίου, εκτός των άλλων, υπεισέρχονται και κάποια επιπλέον πάχη και ανοχές [3.1].

Ο υπολογισμός των λοιπών παχών και ανοχών γίνεται ως εξής:

1. Η επικάλυψη χαρτονιού Tube και μόνωσης στρώσεων Χ.Τ., $Overlaps_{LV}$ (σε mm), είναι:

$$Overlaps_{LV} = 2$$

2. Η επικάλυψη μόνωσης στρώσεων Υ.Τ., $Overlaps_{HV}$ (σε mm), είναι:

$$Overlaps_{HV} = Layers_{HV} * I_{HVL},$$

όπου $Layers_{HV}$ οι στρώσεις του πηνίου της Υ.Τ. και I_{HVL} (σε mm) είναι η μόνωση μεταξύ των στρώσεων Υ.Τ.

3. Οι ανοχές και η επιμήκυνση, $Buldge$ (σε mm), είναι:

εάν $RKVA \geq 500$ τότε $Buldge = 40$, αλλιώς $Buldge = 25$.

3.14.5 Υπολογισμός Συνολικού Μήκους Πηνίου

Το συνολικό μήκος του πηνίου, $CoilLength$ (mm), υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$CoilLength = MandrellLength + 2 * F + ThickDucts + TotalLeadThick_{LV} + TotalLeadThick_{HV} + Overlaps_{LV} + Overlaps_{HV} + Buldge$$

δηλαδή, για τον υπολογισμό του συνολικού μήκους πηνίου προστίθενται τα παρακάτω μεγέθη:

- μήκος καλουπιού πηνίου,
- διάσταση F πηνίου (πολλαπλασιαζόμενη με το 2),
- συνολικό πάχος καναλιών πηνίου,
- συνολικό πάχος λήψεων Χ.Τ.,
- συνολικό πάχος λήψεων Υ.Τ.,
- επικάλυψη χαρτονιού Tube και μόνωσης στρώσεων Χ.Τ.,
- επικάλυψη μόνωσης στρώσεων Υ.Τ.,
- ανοχές και επιμήκυνση.

3.15 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΖΑΝΙΟΥ

3.15.1 Υπολογισμός Μήκους Καζανιού

Ο υπολογισμός του μήκους του καζανιού, $TankLength$ (σε mm), γίνεται ως εξής [3.1]:

$$\text{εάν } RKVA \leq 630 \text{ τότε } TankLength = 2 * C + K + 40,$$

ενώ

$$\text{εάν } RKVA > 630 \text{ τότε } TankLength = 2 * C + K + 44,$$

όπου C (σε mm) είναι το συνολικό εύρος δύο διαδοχικών πυρήνων (ενός μικρού και ενός μεγάλου), το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$$C = F1 + F2 + 4 * E_u + K,$$

όπου F1, F2 είναι το εύρος του παραθύρου του μικρού και μεγάλου πυρήνα, αντίστοιχα, E_u είναι το πάχος του σκέλους του πυρήνα, και K είναι η απόσταση μεταξύ μικρού και μεγάλου πυρήνα.

Εάν $TankLength > TFL_{max}$, δηλαδή αν το μήκος του καζανιού υπερβαίνει το αντίστοιχο μέγιστο επιτρεπόμενο όριο, τότε η συγκεκριμένη υπονήφια λύση απορρίπτεται (βλ. § 3.1), λόγω παραβίασης της προδιαγραφής για το μήκος του καζανιού.

3.15.2 Υπολογισμός Πλάτους Καζανιού

Ο υπολογισμός του πλάτους του καζανιού, $TankWidth$ (σε mm), γίνεται ως εξής [3.1]:

$$TankWidth = CoilLength + 50,$$

όπου $CoilLength$ είναι το μήκος του πηνίου.

Εάν $TankWidth > TFW_{max}$, δηλαδή αν το πλάτος του καζανιού υπερβαίνει το αντίστοιχο μέγιστο επιτρεπόμενο όριο, τότε η συγκεκριμένη υπονήφια λύση απορρίπτεται (βλ. § 3.1), λόγω παραβίασης της προδιαγραφής για το πλάτος του καζανιού.

3.15.3 Υπολογισμός Ελάχιστου Ύψους Καζανιού

Ο καθορισμός του ελάχιστου ύψους του καζανιού, $TankHeight$ (σε mm), για μετασχηματιστές κάτω από 630 KVA γίνεται ως εξής [3.1]:

1. Μετασχηματιστής μονής τάσης με δοχείο διαστολής

$$TankHeight = \text{Διάσταση "B" πυρήνα} + 230$$

2. Μετασχηματιστής μονής τάσης χωρίς δοχείο διαστολής

$$TankHeight = \text{Διάσταση "B" πυρήνα} + 300$$

3. Μετασχηματιστής δύο τάσεων (στην Υ.Τ.) με δοχείο διαστολής

$$TankHeight = \text{Διάσταση "B" πυρήνα} + 290$$

4. Μετασχηματιστής δύο τάσεων (στην Υ.Τ.) χωρίς δοχείο διαστολής

$$TankHeight = \text{Διάσταση "B" πυρήνα} + 360$$

όπου η διάσταση "B" του πυρήνα (σε mm) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Διάσταση "B" πυρήνα} = G + 2 \cdot E_u,$$

όπου G είναι το ύψος του παραθύρου του πυρήνα, και E_u είναι το πάχος του σκέλους του πυρήνα.

Ο καθορισμός του ελάχιστου ύψους του καζανιού, $TankHeight$ (σε mm), για μετασχηματιστές πάνω από 630 KVA γίνεται ως εξής:

1. Μετασχηματιστής μονής τάσης με δοχείο διαστολής

$$TankHeight = \text{Διάσταση "B" πυρήνα} + 238$$

2. Μετασχηματιστής μονής τάσης χωρίς δοχείο διαστολής

$$TankHeight = \text{Διάσταση "B" πυρήνα} + 308$$

3. Μετασχηματιστής δύο τάσεων (στην Υ.Τ.) με δοχείο διαστολής

$$TankHeight = \text{Διάσταση "B" πυρήνα} + 298$$

4. Μετασχηματιστής δύο τάσεων (στην Υ.Τ.) χωρίς δοχείο διαστολής

$$TankHeight = \text{Διάσταση "B" πυρήνα} + 368$$

Εάν $\text{TankHeight} > \text{TFH}_{\max}$, δηλαδή αν το ύψος του καζανιού υπερβαίνει το αντίστοιχο μέγιστο επιτρεπόμενο όριο, τότε η συγκεκριμένη υπονήφια λύση απορρίπτεται (βλ. § 3.1), λόγω παραβίασης της προδιαγραφής για το ύψος του καζανιού.

3.15.4 Υπολογισμός Ύψους Λαδιού

Ο υπολογισμός του ύψους του λαδιού, OilHeight (σε mm), γίνεται ως εξής [3.1]:

εάν υπάρχει δοχείο διαστολής ($\text{CTE} = \text{“Y”}$) τότε $\text{OilHeight} = \text{TankHeight}$,

αλλιώς

εάν δεν υπάρχει δοχείο διαστολής ($\text{CTE} = \text{“N”}$) τότε $\text{OilHeight} = \text{TankHeight} - 130$,

όπου TankHeight είναι το ύψος του καζανιού.

3.16 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΛΑΔΙΟΥ ΚΑΙ ΧΑΛΚΟΥ

3.16.1 Μέσο Διαφορικό Θερμοκρασίας Λαδιού Και Αγωγού Χαμηλής Τάσης

Η επιφάνεια των καναλιών ψύξης, EndDuctArea_{LV} (σε inch^2), της Χ.Τ. υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$\text{EndDuctArea}_{LV} = \text{Ducts}_{LV} * 2 * 2 * A * \text{TD}_{LV} * \frac{1}{25.4^2}, \quad (3.127)$$

όπου Ducts_{LV} είναι ο αριθμός των καναλιών Χ.Τ., A (σε mm) είναι η διάσταση A του καλουπιού του πηνίου (Σχήμα 3.1) και TD_{LV} (σε mm) είναι το πλάτος της στρώσης της Χ.Τ.

Η επιφάνεια των καναλιών του διακένου, $\text{HighLowDuctArea}_{LV}$ (σε inch^2), της Χ.Τ. υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{εάν } LVCC = \text{“Z”} \text{ τότε } \text{HighLowDuctArea}_{LV} = D13 * \pi * \text{TD}_{LV} * \frac{1}{25.4^2},$$

$$\text{εάν } LVCC \neq \text{“Z”} \text{ τότε } \text{HighLowDuctArea}_{LV} = D7 * \pi * \text{TD}_{LV} * \frac{1}{25.4^2},$$

όπου οι ισοδύναμες διαμέτροι $D7$ και $D13$ του πηνίου υπολογίζονται από τις σχέσεις (3.76) και (3.82), αντίστοιχα.

Η συνολική επιφάνεια, DuctArea_{LV} (σε inch^2), των καναλιών Χ.Τ. και του εξωτερικού διακένου (σε inch^2) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{DuctArea}_{LV} = \text{EndDuctArea}_{LV} + \text{HighLowDuctArea}_{LV} \quad (3.128)$$

Οι απώλειες, CoilLosses_{LV} (σε W), του ενός πηνίου Χ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{CoilLosses}_{LV} = \frac{\text{CuLosses}_{LV} + \text{EdL}_{LV}}{3}, \quad (3.129)$$

όπου CuLosses_{LV} (σε W) και EdL_{LV} (σε W) είναι οι απώλειες χαλκού και δινορρευσμάτων, αντίστοιχα, των τριών πηνίων του αγωγού Χ.Τ.

Οι απώλειες (σε W/inch^2) του πηνίου Χ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{Απώλειες πηνίου Χ.Τ. ανά τετραγωνική ίντσα} = \frac{CoilLosses_{LV}}{DuctArea_{LV}}. \quad (3.130)$$

Το διαφορικό $Gradient_I$, υπολογίστηκε από συνάρτηση [3.2], η οποία παίρνει δύο ορίσματα, τις απώλειες του πηνίου Χ.Τ ανά τετραγωνική ίντσα ($CoilLossesPerSqInLV$) και τη μέση ανύψωση της θερμοκρασίας του τυλίγματος ($AverageCopperRise$). Στην περίπτωση που η μέση ανύψωση της θερμοκρασίας έχει τιμή διαφορετική από 35,40,45,50,55,60,65,70,75 °C, πραγματοποιούμε γραμμική παρεμβολή.

Τελικά, το μέσο διαφορικό θερμοκρασίας, $AverageGradient_{LV}$ (σε °C), λαδιού και τυλίγματος Χ.Τ. υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση:

$$AverageGradient_{LV} = 2.09 * Gradient_I. \quad (3.131)$$

Εάν $AverageGradient_{LV} > Gra_{LV,max}$, δηλαδή αν το μέσο διαφορικό θερμοκρασίας λαδιού και τυλίγματος Χ.Τ. υπερβαίνει το αντίστοιχο μέγιστο επιτρεπόμενο όριο, τότε η συγκεκριμένη υποψήφια λύση απορρίπτεται (βλ. § 3.1), λόγω παραβίασης της προδιαγραφής για τη διαφορά θερμοκρασίας λαδιού και τυλίγματος.

3.16.2 Μέσο Διαφορικό Θερμοκρασίας Λαδιού Και Αγωγού Υψηλής Τάσης

Η επιφάνεια των καναλιών ψύξης, $EndDuctArea_{HV}$ (σε $inch^2$), της Υ.Τ. υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$EndDuctArea_{HV} = Ducts_{HV} * 2 * 2 * LG_{HV} * TD_{HV} * \frac{1}{25.4^2}, \quad (3.132)$$

όπου $Ducts_{HV}$ είναι ο αριθμός των καναλιών Υ.Τ., TD_{HV} (σε mm) είναι το πλάτος της στρώσης της Υ.Τ., και LG_{HV} (σε mm) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$LG_{HV} = A + 2 * BLD_{LV} + 2 * I_{HV-LV},$$

όπου A (σε mm) είναι η διάσταση A του καλουπιού του πηνίου (Σχήμα 3.1), BLD_{LV} (σε mm) είναι το πάχος του πηνίου της Χ.Τ., και I_{HV-LV} (σε mm) είναι η μόνωση μεταξύ Υ.Τ. και Χ.Τ.

Η επιφάνεια των καναλιών του διακένου, $HighLowDuctArea_{HV}$ (σε $inch^2$), της Υ.Τ. υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{εάν } HVCC = \text{"Z"} \text{ τότε } HighLowDuctArea_{HV} = D13 * \pi * TD_{HV} * \frac{1}{25.4^2},$$

$$\text{εάν } HVCC \neq \text{"Z"} \text{ τότε } HighLowDuctArea_{HV} = D7 * \pi * TD_{HV} * \frac{1}{25.4^2},$$

όπου οι ισοδύναμες διάμετροι $D7$ και $D13$ του πηνίου υπολογίζονται από τις σχέσεις (3.76) και (3.82), αντίστοιχα.

Η συνολική επιφάνεια, $DuctArea_{HV}$ (σε $inch^2$), των καναλιών Υ.Τ. και του εξωτερικού διακένου (σε $inch^2$) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$DuctArea_{HV} = EndDuctArea_{HV} + HighLowDuctArea_{HV} \quad (3.133)$$

Οι απώλειες, $CoilLosses_{HV}$ (σε W), του ενός πηνίου Υ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$CoilLosses_{HV} = \frac{CuLosses_{HV} + EdL_{HV}}{3}, \quad (3.134)$$

όπου $CuLosses_{HV}$ (σε W) και EdL_{HV} (σε W) είναι οι απώλειες χαλκού και δινορρευσμάτων, αντίστοιχα, των τριών πηνίων του αγωγού Υ.Τ.

Οι απώλειες (σε W/inch²) του πηνίου Υ.Τ. υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{Απώλειες πηνίου Υ.Τ. ανά τετραγωνική ίντσα} = \frac{CoilLosses_{HV}}{DuctArea_{HV}}. \quad (3.135)$$

Το διαφορικό $Gradient_2$, υπολογίστηκε από συνάρτηση [3.2], η οποία παίρνει δύο ορίσματα, τις απώλειες του πηνίου Υ.Τ ανά τετραγωνική ίντσα ($CoilLossesPerSqInHV$) και τη μέση ανύψωση της θερμοκρασίας του τυλίγματος ($AverageCopperRise$). Στην περίπτωση που η μέση ανύψωση της θερμοκρασίας έχει τιμή διαφορετική από 35,40,45,50,55,60,65,70,75 °C, πραγματοποιούμε γραμμική παρεμβολή.

Τελικά, το μέσο διαφορικό θερμοκρασίας, $AverageGradient_{HV}$ (σε °C), λαδιού και τυλίγματος Υ.Τ. υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση:

$$AverageGradient_{HV} = 2.09 * Gradient_2. \quad (3.136)$$

Εάν $AverageGradient_{HV} > Grad_{HV,max}$, δηλαδή αν το μέσο διαφορικό θερμοκρασίας λαδιού και τυλίγματος Υ.Τ. υπερβαίνει το αντίστοιχο μέγιστο επιτρεπόμενο όριο, τότε η συγκεκριμένη υποψήφια λύση απορρίπτεται (βλ. § 3.1), λόγω παραβίασης της προδιαγραφής για τη διαφορά θερμοκρασίας λαδιού και τυλίγματος.

3.17 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΠΑΝΕΛΩΝ

Σαν μέγιστο διαφορικό θερμοκρασίας, $MaxGradient$ (σε °C) [3.1], λαμβάνεται η μέγιστη τιμή ανάμεσα στο μέσο διαφορικό θερμοκρασίας λαδιού και τυλίγματος Χ.Τ. ($AverageGradient_{LV}$) και στο μέσο διαφορικό θερμοκρασίας λαδιού και τυλίγματος Υ.Τ. ($AverageGradient_{HV}$):

$$MaxGradient = \text{Max}(AverageGradient_{LV}, AverageGradient_{HV}).$$

Η μέση ανύψωση της θερμοκρασίας λαδιού (σε °C) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Μέση ανύψωση θερμοκρασίας λαδιού} = t_{w,max} - t_{a,max} - MaxGradient \quad (3.137)$$

όπου $t_{w,max}$ (σε °C) είναι η μέγιστη θερμοκρασία τυλίγματος, $t_{a,max}$ (σε °C) είναι η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος και $MaxGradient$ (σε °C) είναι το μέγιστο διαφορικό θερμοκρασίας.

Από τον πίνακα 3.10, γνωρίζοντας τη μέση ανύψωση θερμοκρασίας λαδιού (σχέση 3.137), υπολογίζεται η σταθερά μεταγωγής και η σταθερά ακτινοβολίας του καζανιού.

Πίνακας 3.10: Σταθερά μεταγωγής και σταθερά ακτινοβολίας καζανιού.

<i>Μέση ανύψωση θερμοκρασίας λαδιού (°C)</i>	<i>Σταθερά μεταγωγής καζανιού $\left(\frac{Watt}{m^2}\right)$</i>	<i>Σταθερά ακτινοβολίας καζανιού $\left(\frac{Watt}{m^2}\right)$</i>
30	136.432	210.853
31	142.636	220.156
32	148.837	227.908
33	155.039	237.210
34	161.241	244.962
35	165.892	255.815
36	172.093	263.567
37	178.295	272.869
38	182.946	282.171
39	189.148	291.474
40	195.349	300.776
41	201.551	308.528
42	209.303	319.381
43	212.404	328.683
44	220.156	337.985
45	224.807	345.737
46	232.559	356.690
47	238.760	364.342
48	244.962	372.094
49	251.163	384.497
50	257.365	390.699
51	263.567	401.552
52	271.318	412.404
53	277.520	421.707
54	285.272	432.559
55	291.474	443.412
56	297.675	454.265
57	305.427	465.118
58	311.628	474.420
59	319.381	485.273
60	325.582	496.125

Ο υπολογισμός της επιφάνειας μεταγωγής, TankConventionArea (σε m^2), και της επιφάνειας ακτινοβολίας, RadiationArea (σε m^2), του καζανιού εξαρτάται από το αν υπάρχει ή όχι δοχείο διαστολής. Έτσι λοιπόν,

1. Εάν υπάρχει δοχείο διαστολής (CTE = “Y”) τότε:

$$\text{TankConventionArea} = 2 * (\text{TankLength} + \text{TankWidth}) * \text{TankHeight} + 2 * \text{TankLength} * \text{TankWidth}$$

όπου TankLength (σε m) είναι το μήκος του καζανιού, TankWidth (σε m) είναι το πλάτος του καζανιού, και TankHeight (σε m) είναι το ύψος του καζανιού.

$$\text{RadiationArea} = [2 * (\text{TankLength} + \text{TankWidth}) + 4 * D_{\text{panel}} * \sqrt{2}] * \text{TankHeight} + \text{TankLength} * \text{TankWidth}$$

όπου D_{panel} (σε m) είναι η διάσταση D του πανέλου.

2. Εάν δεν υπάρχει δοχείο διαστολής (CTE = “N”) τότε:

$$\text{TankConventionArea} = 2 * (\text{TankLength} + \text{TankWidth}) * \text{OilHeight},$$

όπου OilHeight (σε m) είναι το ύψος του λαδιού.

$$\text{RadiationArea} = [2 * (\text{TankLength} + \text{TankWidth}) + 4 * D_{\text{panel}} * \sqrt{2}] * \text{OilHeight}.$$

Η επιφάνεια των πανέλων, CorrugationArea (σε m²), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{CorrugationArea} = [2 * D_{\text{panel}} + (\text{pitch} - 10)] * \text{PanelHeight} * \text{NumberOfPanels}, \quad (3.138)$$

όπου pitch (σε m) είναι η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών πτερυγίων (πανέλων), PanelHeight (σε m) είναι το ύψος του πανέλου και NumberOfPanels είναι ο αριθμός των πανέλων.

Οι απώλειες λόγω μεταγωγής καζανιού, TankConventionLosses (σε Watt), υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TankConventionLosses} = \text{TankConventionArea} * c_1, \quad (3.139)$$

όπου c_1 (σε Watt/m²) είναι η σταθερά μεταγωγής του καζανιού (Πίνακας 3.10).

Οι απώλειες ακτινοβολίας, RadiationLosses (σε Watt), υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{RadiationLosses} = \text{RadiationArea} * c_2, \quad (3.140)$$

όπου c_2 (σε Watt/m²) είναι η σταθερά ακτινοβολίας του καζανιού (Πίνακας 3.10).

Οι απώλειες πανέλων, CorrugationLosses (σε Watt), υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{CorrugationLosses} = \text{CorrugationArea} * c_3, \quad (3.141)$$

όπου c_3 (σε Watt/m²) είναι ο συντελεστής απωλειών πανέλων (Πίνακας 3.11).

Από το συγκεκριμένο καζάνι και πανέλα μπορεί να γίνει μεταγωγή και ακτινοβολία συνολικών απωλειών, TotalLosses (σε Watt), που υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TotalLosses} = \text{TankConventionLosses} + \text{RadiationLosses} + \text{CorrugationLosses} \quad (3.142)$$

Όμως, οι συνολικές απώλειες (που θα πρέπει να απαχθούν και να ακτινοβοληθούν από το καζάνι και τα πανέλα), TransformerLosses (σε Watt), υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{TransformerLosses} = \text{CuLosses}_{\text{LV}} + \text{CuLosses}_{\text{HV, max}} + \text{EdL}_{\text{LV}} + \text{EdL}_{\text{HV}} + \text{Fe}_{\text{losses}}, \quad (3.143)$$

όπου $\text{CuLosses}_{\text{LV}}$ (σε Watt) είναι οι απώλειες χαλκού X.T., $\text{CuLosses}_{\text{HV, max}}$ (σε Watt) είναι οι μέγιστες απώλειες χαλκού του πηνίου Y.T., EdL_{LV} (σε Watt) είναι οι απώλειες δινορευμάτων X.T., EdL_{HV} (σε Watt) είναι οι απώλειες δινορευμάτων Y.T., και $\text{Fe}_{\text{losses}}$ (σε Watt) είναι οι απώλειες σιδήρου.

Πίνακας 3.11: Συντελεστές απωλειών πανέλου (σε Watt/m²).

D_{panel} (mm)	Ανύψωση θερμοκρασίας λαδιού (σε °C)					
	35°	40°	45°	50°	55°	60°
40	276	322	373	425	477	531
50	264	308	356	406	456	507
60	253	295	342	390	438	487
70	245	286	332	378	425	472
80	238	278	322	367	412	459
90	232	271	314	358	402	447
100	227	265	307	350	393	437
110	223	260	301	343	385	429
120	219	255	296	337	379	421
130	215	251	290	331	372	414
140	212	247	286	326	366	407
150	208	243	282	321	361	401
160	206	240	278	317	356	396
170	203	237	275	313	352	392
180	201	234	271	309	347	386
190	198	231	268	305	343	381
200	196	229	265	302	339	377
210	194	227	262	299	336	374
220	192	224	260	296	333	370
230	190	222	257	293	329	366
240	189	220	255	291	327	364
250	187	218	253	288	324	360
260	186	217	251	286	321	357
270	184	214	248	283	318	354
280	182	213	246	281	316	351
290	181	211	245	279	313	349
300	180	210	243	277	311	346
310	179	208	241	275	309	344
320	177	207	239	273	307	341
330	176	205	238	271	304	339
340	175	204	237	270	303	337
350	174	203	235	268	301	335
360	173	202	233	266	299	332
370	172	201	232	265	298	331
380	171	200	231	263	295	329
390	170	199	230	262	294	327
400	169	198	229	261	293	325

Πρέπει να επιλεγεί κατάλληλο D_{panel} , τέτοιο ώστε να ικανοποιεί την παρακάτω ανισωτική σχέση:

$$\text{TotalLosses} \geq \text{TransformerLosses} \quad (3.144)$$

Η σχέση (3.144) δηλώνει ότι οι απώλειες, TotalLosses, που μπορεί να ψύξει ο μετασχηματιστής θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες ή τουλάχιστον ίσες σε σχέση με τις απώλειες (θερμότητας), TransformerLosses, που δημιουργούνται στο μετασχηματιστή κατά τη λειτουργία του. Το ζητούμενο λοιπόν είναι να επιλεγεί κατάλληλο D_{panel} , το οποίο για το συγκεκριμένο δοχείο μετασχηματιστή (TankLength, TankWidth, TankHeight), θα πρέπει να εξασφαλίζει επαρκή ψύξη του μετασχηματιστή.

Η επιλογή του κατάλληλου D_{panel} , γίνεται με τη βοήθεια του κάτωθι αλγορίθμου, όπου $\text{CorrugConstant} = c_3$ (σχέση 3.141). Αρχικά έχουν περαστεί τα στοιχεία του πίνακα 3.11 σε αρχείο κειμένου (CorrugationConstant.txt).

Για i από την πρώτη έως την τελευταία γραμμή του αρχείου CorrugationConstant

$$D_{\text{panel}} = \text{CorrugationConstant}(i, 1)$$

$$\text{Εάν Average_Oil_Temp_Rise} = 35$$

$$\text{CorrugConstant} = \text{CorrugationConstant}(i, 2)$$

$$\text{Εάν Average_Oil_Temp_Rise} = 40$$

$$\text{CorrugConstant} = \text{CorrugationConstant}(i, 3)$$

$$\text{Εάν Average_Oil_Temp_Rise} = 45$$

$$\text{CorrugConstant} = \text{CorrugationConstant}(i, 4)$$

$$\text{Εάν Average_Oil_Temp_Rise} = 50$$

$$\text{CorrugConstant} = \text{CorrugationConstant}(i, 5)$$

$$\text{Εάν Average_Oil_Temp_Rise} = 55$$

$$\text{CorrugConstant} = \text{CorrugationConstant}(i, 6)$$

$$\text{Εάν Average_Oil_Temp_Rise} = 60$$

$$\text{CorrugConstant} = \text{CorrugationConstant}(i, 7)$$

Τέλος εάν

$$\text{Εάν } 35 < \text{Average_Oil_Temp_Rise} < 40$$

$$\text{CorrugConstant} = \text{γραμμική παρεμβολή}(\text{Average_Oil_Temp_Rise}, 35, 40,$$

$$\text{CorrugationConstant}(i, 2), \text{CorrugationConstant}(i, 3))$$

Τέλος εάν

$$\text{Εάν } 40 < \text{Average_Oil_Temp_Rise} < 45$$

$$\text{CorrugConstant} = \text{γραμμική παρεμβολή}(\text{Average_Oil_Temp_Rise}, 40, 45,$$

CorrugationConstant(i,3), CorrugationConstant(i,4))

Τέλος εάν

Εάν $45 < \text{Average_Oil_Temp_Rise} < 50$

CorrugConstant = γραμμική παρεμβολή (Average_Oil_Temp_Rise, 45, 50,

CorrugationConstant(i,4), CorrugationConstant(i,5))

Τέλος εάν

Εάν $50 < \text{Average_Oil_Temp_Rise} < 55$

CorrugConstant = γραμμική παρεμβολή (Average_Oil_Temp_Rise, 50, 55,

CorrugationConstant(i,5), CorrugationConstant(i,6))

Τέλος εάν

Εάν $55 < \text{Average_Oil_Temp_Rise} < 60$

CorrugConstant = γραμμική παρεμβολή (Average_Oil_Temp_Rise, 55, 60,

CorrugationConstant(i,6), CorrugationConstant(i,7))

Τέλος εάν

Υπολογίζονται τα μεγέθη: TankConventionArea, RadiationArea, CorrugationArea,

TankConventionLosses, RadiationLosses, CorrugationLosses, TotalLosses

Εάν $\text{TotalLosses} \geq \text{TransformerLosses}$

Βρέθηκε κατάλληλο D_{panel} . Τέλος

Τέλος εάν

Επόμενο i

Σε περίπτωση που δε μπορεί να βρεθεί κατάλληλου D_{panel} που να ικανοποιεί την (3.144), τότε η συγκεκριμένη υπονήφια λύση απορρίπτεται (βλ. § 3.1), επειδή δεν επιτυγχάνεται ικανοποιητική ψύξη του μετασχηματιστή.

3.18 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

3.18.1 Μονωτικά Υλικά Χαμηλής Τάσης

3.18.1.1 Χαρτόνι Tube (πάχος = 1.5 mm)

Η επιφάνεια, $Surface_1$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_1 = [A * (G - 2 * CCEE) + D3 * \pi * (G - 2 * CCEE)] * 10^{-6}, \quad (3.145)$$

όπου G (σε mm) είναι το ύψος του παραθύρου του πυρήνα, $CCEE$ (σε mm) είναι η απόσταση του πηνίου από τον πυρήνα, και $D3$ (σε mm) υπολογίζεται από τη σχέση (3.69).

3.18.1.2 Μονωτικά Στρώσεων

Η επιφάνεια, $Surface_2$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_2 = MT_{LV} * (G - 2 * CCEE) * Layers_{LV} * 10^{-6} \quad (3.146)$$

όπου MT_{LV} (σε mm) είναι η μέση σπείρα του πηνίου Χ.Τ. και $Layers_{LV}$ είναι οι στρώσεις του πηνίου Χ.Τ.

3.18.1.3 Μονωτικά Καναλιών Πηνίου (πάχος = 0.15 mm)

Η επιφάνεια, $Surface_3$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_3 = LG_{LV} * (G - 2 * CCEE) * Ducts_{LV} * 2 * 10^{-6} \quad (3.147)$$

όπου $LG_{LV} = A$ (σε mm) είναι η διάσταση A του καλουπιού του πηνίου, και $Ducts_{LV}$ είναι ο αριθμός καναλιών Χ.Τ.

3.18.1.4 Μονωτικά Περιμετρικών Καναλιών Πηνίου (πάχος = 0.15 mm)

Η επιφάνεια, $Surface_4$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_4 = D7 * \pi * (G - 2 * CCEE) * 10^{-6} \quad (3.148)$$

όπου $D7$ (σε mm) υπολογίζεται από τη σχέση (3.76).

3.18.1.5 Μονωτικά Διακένου

Η επιφάνεια, $Surface_5$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_5 = D7 * \pi * (G - 2 * CCEE) * NumOfPapers * 10^{-6} \quad (3.149)$$

όπου $NumOfPapers$ είναι ο αριθμός των συγκεκριμένων μονωτικών χαρτιών.

3.18.1.6 Μονωτικά Χαρτονιού Extend

Η επιφάνεια, $Surface_6$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_6 = 2 * 2 * \pi * D13 * [(G - 2 * CCEE) + 1.8 * BLD_{HV}] * 10^{-6} \quad (3.150)$$

όπου $D13$ (σε mm) υπολογίζεται από τη σχέση (3.83), και BLD_{HV} (σε mm) είναι το πάχος του πηνίου της Υ.Τ.

3.18.1.7 Μονωτικά Υλικά Μεταξύ Υποπηνίων Χ.Τ (εάν υπάρχουν)

Η επιφάνεια, $Surface_7$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_7 = MT_{LV} * (G - 2 * CCEE) * NumOfPaper_s * 10^{-6} \quad (3.151)$$

3.18.2 Μονωτικά Υλικά Υψηλής Τάσης

3.18.2.1 Μονωτικά Στρώσεων

Η επιφάνεια, $Surface_1$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_1 = MT_{HV} * [(G - 2 * CCEE) + 4 * D_{HV-C}] * Layers_{HV} * 10^{-6}, \quad (3.152)$$

όπου MT_{HV} (σε mm) είναι η μέση σπείρα του πηνίου Υ.Τ., D_{HV-C} (σε mm) είναι η απόσταση μεταξύ πηνίου Υ.Τ. και πυρήνα, και $Layers_{HV}$ είναι οι στρώσεις του πηνίου Υ.Τ.

3.18.2.2 Μονωτικά Καναλιών Πηνίου (πάχος = 0.15 mm)

Η επιφάνεια, $Surface_2$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_2 = LG_{HV} * (G - 2 * CCEE) * Ducts_{HV} * 2 * 10^{-6}, \quad (3.153)$$

όπου $LG_{HV} = A + 2 * BLD_{LV} + 2 * I_{HV-LV}$ (σε mm), και $Ducts_{HV}$ είναι ο αριθμός καναλιών Υ.Τ.

3.18.2.3 Μονωτικά Περιμετρικών Καναλιών Πηνίου (πάχος = 0.15 mm)

Η επιφάνεια, $Surface_3$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_3 = D13 * \pi * (G - 2 * CCEE) * 10^{-6} \quad (3.154)$$

όπου $D13$ (σε mm) υπολογίζεται από τη σχέση (3.83).

3.18.2.4 Μονωτικά Διακένου

Η επιφάνεια, $Surface_4$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_4 = D13 * \pi * (G - 2 * CCEE) * NumOfPapers * 10^{-6} \quad (3.155)$$

όπου NumOfPapers είναι ο αριθμός των συγκεκριμένων μονωτικών χαρτιών.

3.18.2.5 Μονωτικά Υλικά μεταξύ Υποπηνίων Υ.Τ. (εάν υπάρχουν)

Η επιφάνεια, $Surface_5$ (σε m^2), του συγκεκριμένου μονωτικού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$Surface_5 = MT_{HV} * (G - 2 * CCEE) * NumOfPapers * 10^{-6} \quad (3.156)$$

3.19 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Υπάρχουν πέντε διαφορετικά είδη πάχους μονωτικών υλικών [3.1]:

1. Group1: μονωτικά υλικά πάχους 1.5 mm (Tube)
2. Group2: μονωτικά υλικά πάχους 0.41 mm
3. Group3: μονωτικά υλικά πάχους 0.28 mm
4. Group4: μονωτικά υλικά πάχους 0.20 mm
5. Group5: μονωτικά υλικά πάχους 0.15 mm

Με βάση τους υπολογισμούς που γίνονται για τα μονωτικά της Χ.Τ. και τις Υ.Τ. (§3.20.1 και §3.20.2), καταγράφεται ποια από τα μονωτικά υλικά ανήκουν σε κάθε ένα από τα παραπάνω 5 Group και προσθέτονται οι επιφάνειές τους.

Τα βάρη (σε Kg) καθενός από τα πέντε διαφορετικά είδη μονωτικών υλικών, δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$WeightOfGroup_1 = 3 * 1.1 * 1.95 * \sum_{Group1} Surface \quad (3.157)$$

$$WeightOfGroup_2 = 3 * 1.1 * 0.37 * \sum_{Group2} Surface \quad (3.158)$$

$$WeightOfGroup_3 = 3 * 1.1 * 0.26 * \sum_{Group3} Surface \quad (3.159)$$

$$WeightOfGroup_4 = 3 * 1.1 * 0.18 * \sum_{Group4} Surface \quad (3.160)$$

$$WeightOfGroup_5 = 3 * 1.1 * 0.13 * \sum_{Group5} Surface \quad (3.161)$$

Το συνολικό βάρος, $TotalWeightOfInsulatingMaterials$ (σε Kg), των πέντε διαφορετικών ειδών μονωτικών υλικών, δίνεται από τη σχέση:

$$TotalWeightOfInsulatingMaterials = \sum_{i=1}^5 WeightOfGroup_i . \quad (3.162)$$

3.20 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

3.20.1 Βάρος Καναλιών Χαμηλής Τάσης

Το διάκενο μεταξύ των καναλιών της Χ.Τ. είναι 10 mm, το πάχος τους, $Thick_{Ducts}$ (σε mm), είναι 3 mm (το πάχος τους με τη μόνωση είναι 3.3 mm). Το πλάτος, $Width_{Ducts}$ (σε mm), των καναλιών της Χ.Τ. εξαρτάται από την ισχύ του μετασχηματιστή [3.1]:

εάν $RKVA \leq 160$ τότε $Width_{Ducts} = 10$, αλλιώς $Width_{Ducts} = 15$.

Έτσι, το πλάτος του καναλιού Χ.Τ. και του διακένου, $DuctWidthPlusGap_{LV}$ (σε mm), είναι:

εάν $RKVA \leq 160$ τότε $DuctWidthPlusGap_{LV} = 20$, αλλιώς $DuctWidthPlusGap_{LV} = 25$.

Ο αριθμός των καναλιών Χ.Τ., $NoOfDuctStrips_{LV}$, είναι:

$$N_1 = NoOfDuctStrips_{LV} = \frac{A}{DuctWidthPlusGap_{LV}} * Ducts_{LV} * 2 \quad (3.163)$$

Ο αριθμός των εσωτερικών περιμετρικών καναλιών Χ.Τ., $NoOfDuctStripsInt_{LV}$, είναι:

$$N_2 = NoOfDuctStripsInt_{LV} = \frac{\pi * D7}{DuctWidthPlusGap_{LV}} \quad (3.164)$$

3.20.2 Βάρος Καναλιών Υψηλής Τάσης

Το διάκενο μεταξύ των καναλιών της Υ.Τ. είναι 20 mm, το πάχος τους, $Thick_{Ducts}$ (σε mm), είναι 3 mm (το πάχος τους με τη μόνωση είναι 3.3 mm). Το πλάτος, $Width_{Ducts}$ (σε mm), των καναλιών της Υ.Τ. εξαρτάται από την ισχύ του μετασχηματιστή [3.1]:

εάν $RKVA \leq 160$ τότε $Width_{Ducts} = 10$, αλλιώς $Width_{Ducts} = 15$.

Έτσι, το πλάτος του καναλιού Υ.Τ. και του διακένου, $DuctWidthPlusGap_{HV}$ (σε mm), είναι:

εάν $RKVA \leq 160$ τότε $DuctWidthPlusGap_{HV} = 30$, αλλιώς $DuctWidthPlusGap_{HV} = 35$.

Ο αριθμός των καναλιών Υ.Τ., $NoOfDuctStrips_{HV}$, είναι:

$$N_3 = NoOfDuctStrips_{HV} = \frac{A + 2 * BLD_{LV}}{DuctWidthPlusGap_{HV}} * Ducts_{HV} * 2 \quad (3.165)$$

Ο αριθμός των εσωτερικών περιμετρικών καναλιών Y.T., $NoOfDuctStripsInt_{HV}$, είναι:

$$N_4 = NoOfDuctStripsInt_{HV} = \frac{\pi * D13}{DuctWidthPlusGap_{HV}} \quad (3.166)$$

Το συνολικό βάρος, $WeightOfDuctStrips$ (σε Kg), των καναλιών της X.T. και Y.T. είναι:

$$WeightOfDuctStrips = \sum_{i=1}^4 N_i * Width_{Ducts} * Thick_{Ducts} * (G - 2 * CCEE) * 1.1 * 1.25 * 3 * 10^{-6} \quad (3.167)$$

3.21 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΛΑΔΙΟΥ

Ο όγκος του χώρου των πανέλων, $VolumeOfCorrugPanels$ (σε lt), υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$VolumeOfCorrugPanels = 8 * PanelHeightInOil * D_{Panel} * NumberOfPanels * 10^{-6} \quad (3.168)$$

όπου $PanelHeightInOil$ (σε mm) είναι το ύψος του πανέλου στο λάδι, D_{panel} (σε mm) είναι η διάσταση D του πανέλου, και $NumberOfPanels$ είναι ο αριθμός των πανέλων.

Ο όγκος που καταλαμβάνουν τα πηνία X.T. και Y.T., $VolumeOfCu$ (σε lt), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$VolumeOfCu = \frac{ConductorWeight_{LV} + ConductorWeight_{HV}}{g_{LV}}, \quad (3.169)$$

όπου $ConductorWeight_{LV}$ (σε Kg) είναι το βάρος των 3 πηνίων X.T., $ConductorWeight_{HV}$ (σε Kg) είναι το βάρος των 3 πηνίων Y.T., και g_{LV} (σε gr / cm³) είναι η πυκνότητα του αγωγού X.T.

Ο όγκος που καταλαμβάνει η μαγνητική λαμαρίνα, $VolumeOfFe$ (σε lt), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$VolumeOfFe = \frac{CTW}{g_{MS}} * 10^{-6} \quad (3.170)$$

όπου CTW (σε Kg) είναι το βάρος των πυρήνων, και g_{MS} (σε gr/cm³) είναι η πυκνότητα της μαγνητικής λαμαρίνας.

Ο όγκος του καζανιού, $VolumeOfTank$ (σε lt), ο οποίος θα μπορούσε να καταλαμβάνεται από λάδι (αν δεν υπήρχε το ενεργό μέρος του μετασχηματιστή), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$VolumeOfTank = TankLength * TankWidth * OilHeight * 10^{-6} \quad (3.171)$$

όπου $TankLength$ (σε mm) το μήκος του καζανιού, $TankWidth$ (σε mm) το πλάτος του καζανιού, και $OilHeight$ (σε mm) το ύψος του λαδιού.

Ο όγκος του καζανιού, $VolumeOfOil$ (σε lt), ο οποίος καταλαμβάνεται από λάδι, εξαρτάται από το αν υπάρχει ή όχι δοχείο διαστολής, και υπολογίζεται ως εξής:

1. Εάν υπάρχει δοχείο διαστολής (CTE = “Y”) τότε:

$$VolumeOfOil = VolumeOfTank + VolumeOfCorrugPanels + 25 - VolumeOfCu - VolumeOfFe$$

2. Εάν δεν υπάρχει δοχείο διαστολής (CTE = “N”) τότε:

$$VolumeOfOil = VolumeOfTank + VolumeOfCorrugPanels - VolumeOfCu - VolumeOfFe$$

Το βάρος του λαδιού (σε Kg) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$WeightOfOil = 0.95 * g_o * VolumeOfOil \quad (3.172)$$

3.22 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Το πρόγραμμα διαβάζει τα κόστη των υλικών του μετασχηματιστή από ένα αρχείο κειμένου, cost.txt πίνακας 3.12 και δεν χρειάζεται πλέον να τα εισάγει ο χρήστης ως μεταβλητές εισόδου.

Πίνακας 3.12: Κόστη υλικών του μετασχηματιστή (σε €/Kg)

CPK _{LV}	CPK _{HV}	CPK _{MS}	CPK _O	CPK _p	CPK _{DS}	CPK _R
3.22	3.22	1.26	0.36	2.67	2.93	0.47

Το κόστος, C₁ (σε €), του αγωγού Χ.Τ. υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$C_1 = \text{ConductorWeight}_{LV} * \text{CPK}_{LV}, \quad (3.173)$$

όπου ConductorWeight_{LV} (σε Kg) είναι το συνολικό βάρος των τριών πηνίων Χ.Τ., και CPK_{LV} (σε €/Kg) είναι το κόστος του αγωγού Χ.Τ. ανά κιλό.

Το κόστος, C₂ (σε €), του αγωγού Υ.Τ. υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_2 = \text{ConductorWeight}_{HV} * \text{CPK}_{HV}, \quad (3.174)$$

όπου ConductorWeight_{HV} (σε Kg) είναι το συνολικό βάρος των τριών πηνίων Υ.Τ. και CPK_{HV} (σε €/Kg) είναι το κόστος του αγωγού Υ.Τ. ανά κιλό.

Το κόστος, C₃ (σε €), των μαγνητικών πυρήνων υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$C_3 = \text{CTW} * \text{CPK}_{MS}, \quad (3.175)$$

όπου CTW (σε Kg) είναι το συνολικό βάρος των τεσσάρων πυρήνων του μετασχηματιστή και CPK_{MS} (σε €/Kg) είναι το κόστος της μαγνητικής λαμαρίνας ανά κιλό.

Το κόστος, C₄ (σε €), των μονωτικών χαρτιών υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$C_4 = \text{TotalWeightOfInsulatingMaterials} * \text{CPK}_p, \quad (3.176)$$

όπου TotalWeightOfInsulatingMaterials (σε Kg) είναι το συνολικό βάρος των μονωτικών χαρτιών, και CPK_p (σε €/Kg) είναι το κόστος του μονωτικού χαρτιού ανά κιλό.

Το κόστος, C₅ (σε €), των καναλιών υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$C_5 = \text{WeightOfDuctStrips} * \text{CPK}_{DS}, \quad (3.177)$$

όπου WeightOfDuctStrips (σε Kg) είναι το συνολικό βάρος των καναλιών, και CPK_{DS} (σε € / Kg) είναι το κόστος των καναλιών ανά κιλό.

Το κόστος, C₆ (σε €), του λαδιού υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$C_6 = \text{WeightOfOil} * \text{CPK}_O, \quad (3.178)$$

όπου WeightOfOil (σε Kg) είναι το συνολικό βάρος του λαδιού, και CPK_O (σε € / Kgr) είναι το κόστος του λαδιού ανά κιλό.

Το κόστος, C_7 (σε €), των πανέλων υπολογίζεται [3.1] από τη σχέση:

$$C_7 = 9.87 * CorrugationArea * CPK_R, \quad (3.179)$$

όπου CorrugationArea (σε m^2) είναι η επιφάνεια των πανέλων, και CPK_R (σε €/Kg) είναι το κόστος του ψυκτικού πανέλου ανά κιλό.

Επομένως το κόστος, TransformerCost (σε €), των κύριων υλικών του μετασχηματιστή είναι:

$$TransformerCost = \sum_{i=1}^7 C_i. \quad (3.180)$$

3.23 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [3.1] Σ. Αρτεμάκη, “Εγχειρίδιο μελέτης τριφασικού μετασχηματιστή διανομής τύπου τυλιχτού πυρήνα”. Αθήνα Σεπτέμβριος 2000
- [3.2] Λογισμικό Μελέτης Μετασχηματιστή. ΣΝΕΝΤΕΡ ΕΛΕΚΤΡΙΚ ΑΕ, Αθήνα 1999.

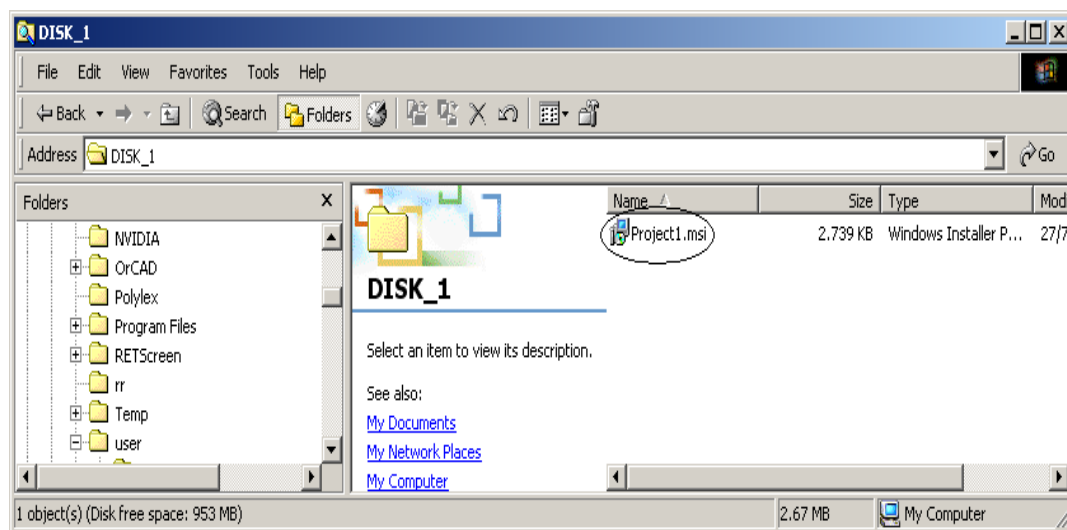
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΜΕΛΕΤΗΣ Μ/Σ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια αναλυτική περιγραφή του λογισμικού που αναπτύχθηκε (δομή του προγράμματος, μεταβλητές εισόδου και αποτελέσματα εξόδου). Παραθέτουμε επίσης και μια ενδεικτική μελέτη που πραγματοποιήθηκε για μετασχηματιστή ισχύος 630 kVA.

4.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (Install) ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

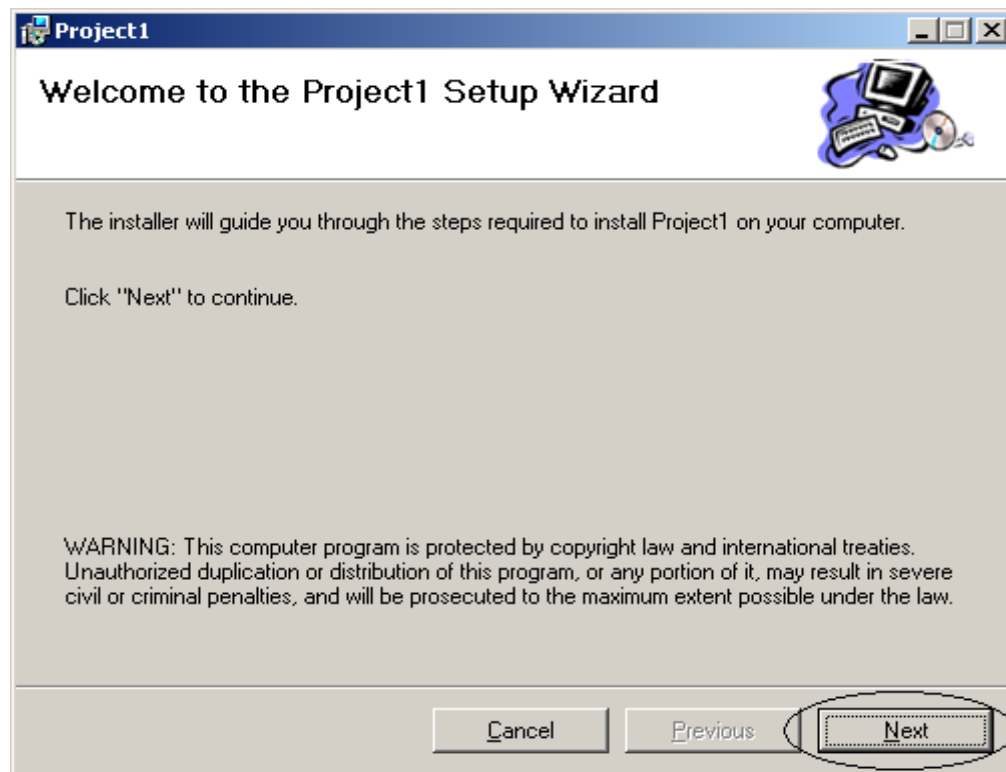
Για την εγκατάσταση του λογισμικού ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία, που ακολουθείται σε όλα τα προγράμματα, τα οποία χρειάζονται εγκατάσταση (install).

Για να ξεκινήσει η διαδικασία της εγκατάστασης, ο χρήστης πρέπει να πατήσει δύο συνεχόμενες φορές το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού (double click), στο αρχείο Project1.msi (Σχήμα 4.1).

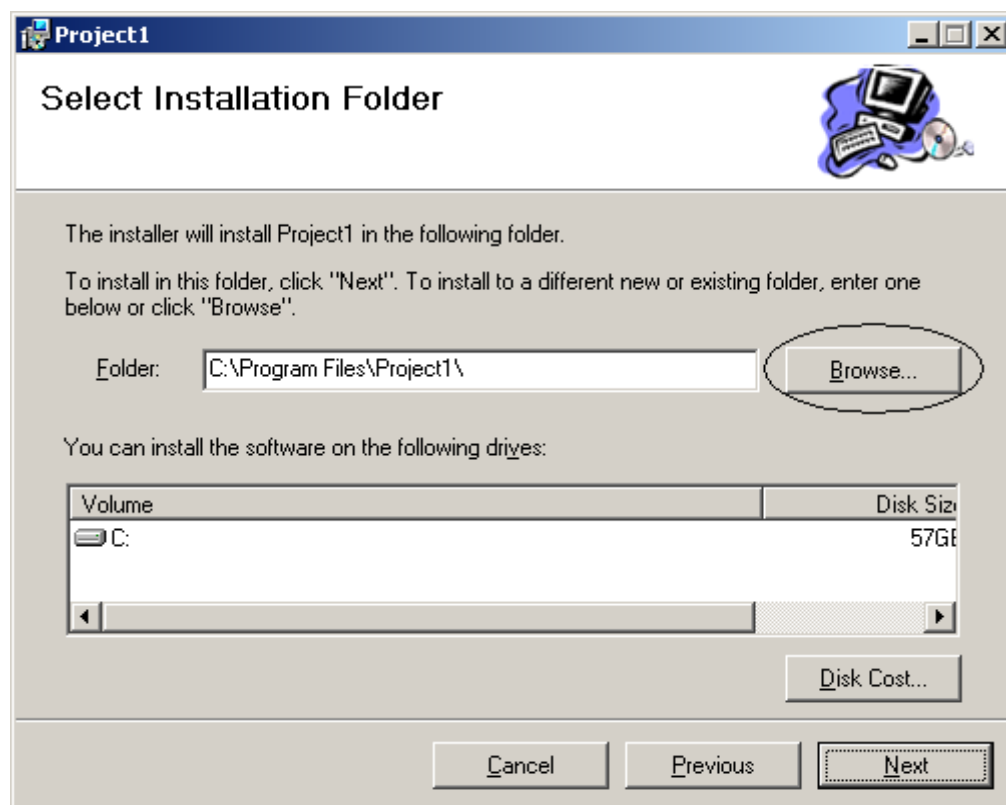


Σχήμα 4.1: Αρχείο εγκατάστασης (Project1.msi).

Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό του σχήματος 4.2, το οποίο ενημερώνει τον χρήστη, ότι το πρόγραμμα προστατεύεται από copyright. Αποδεχόμενος τους όρους μπορεί να συνεχίσει τη διαδικασία της εγκατάστασης, κάνοντας χρήση του πλήκτρου Next.



Σχήμα 4.2: Παράθυρο ενημέρωσης για Copyright



Σχήμα 4.3: Παράθυρο επιλογής του φακέλου εγκατάστασης.

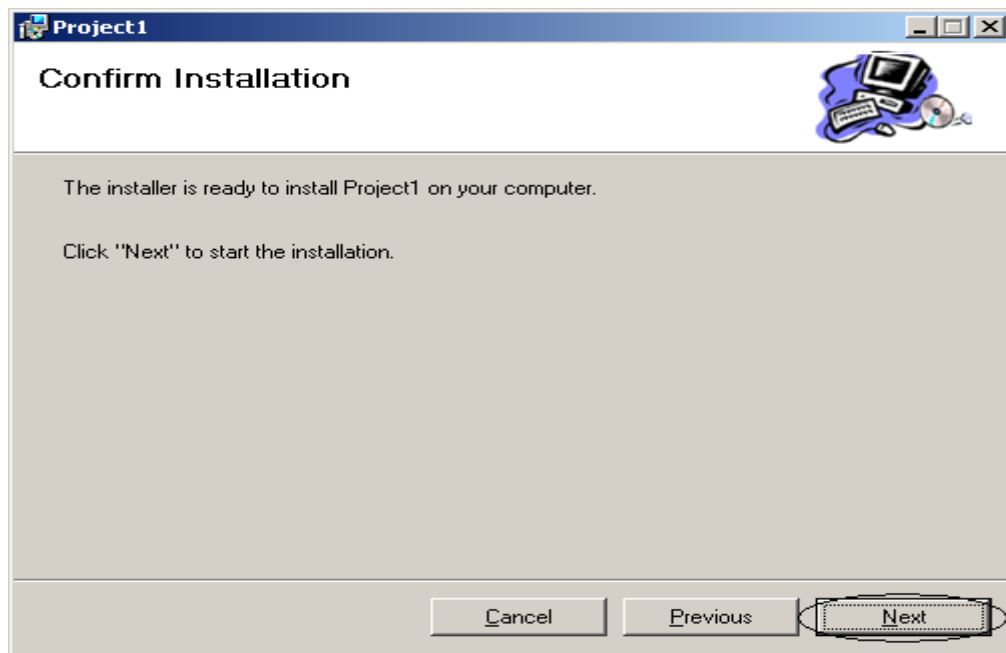
Έχοντας κάνει χρήση του πλήκτρου Next εμφανίζεται το παράθυρο του σχήματος 4.3. Ο χρήστης πατώντας το πλήκτρο Browse... επιλέγει σε ποιο φάκελο του σκληρού του δίσκου θα γίνει η εγκατάσταση του προγράμματος (Σχήμα 4.4). Προτείνεται να επιλεγεί ο φάκελος C:\, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Παράθυρο επιλογής του φακέλου εγκατάστασης.

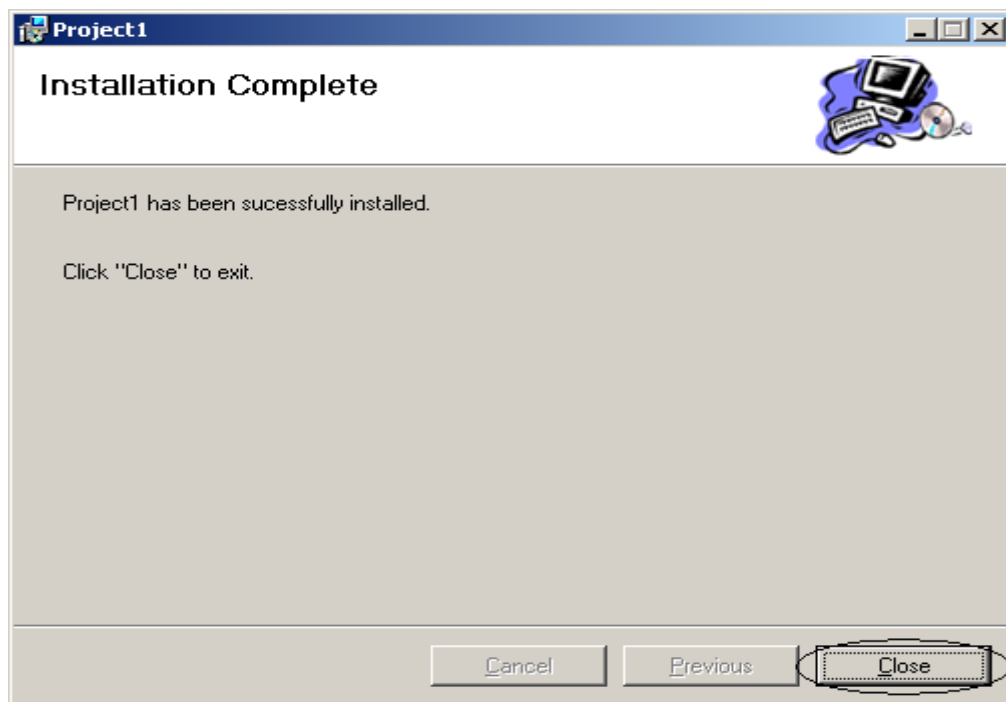
Κάνοντας χρήση του πλήκτρου OK (σχήμα 4.4), επιστρέφει στο παράθυρο του σχήματος 4.3 και με χρήση του πλήκτρου Next ολοκληρώνει τη διαδικασία επιλογής του φακέλου εγκατάστασης.

Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι το παράθυρο της επιβεβαίωσης της εγκατάστασης (σχήμα 4.5). κάνοντας χρήση του πλήκτρου Next ξεκινάει η διαδικασία της εγκατάστασης, (η οποία διαρκεί περίπου 5-10 sec)



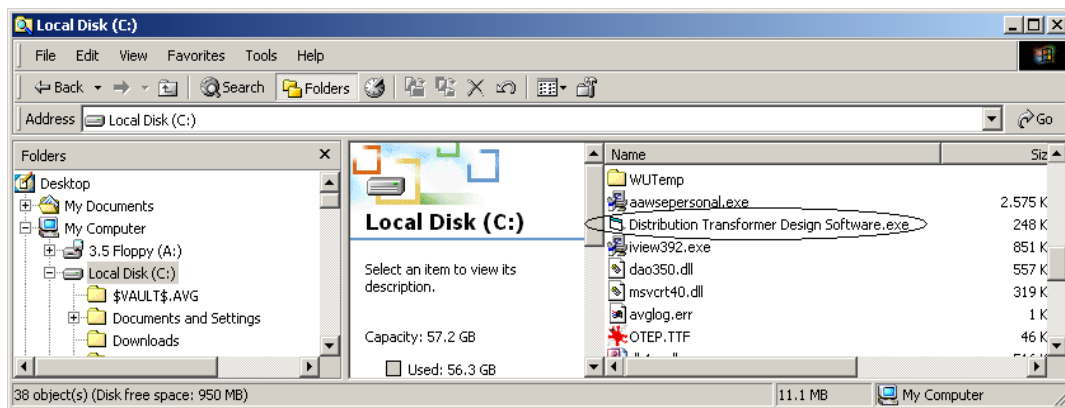
Σχήμα 4.5: Παράθυρο επιβεβαίωσης εγκατάστασης.

Το τελευταίο παράθυρο είναι αυτό του σχήματος 4.6, το οποίο ενημερώνει τον χρήστη για την επιτυχία ή όχι της εγκατάστασης. Με χρήση του πλήκτρου Close, ο χρήστης ολοκληρώνει τη διαδικασία της εγκατάστασης.

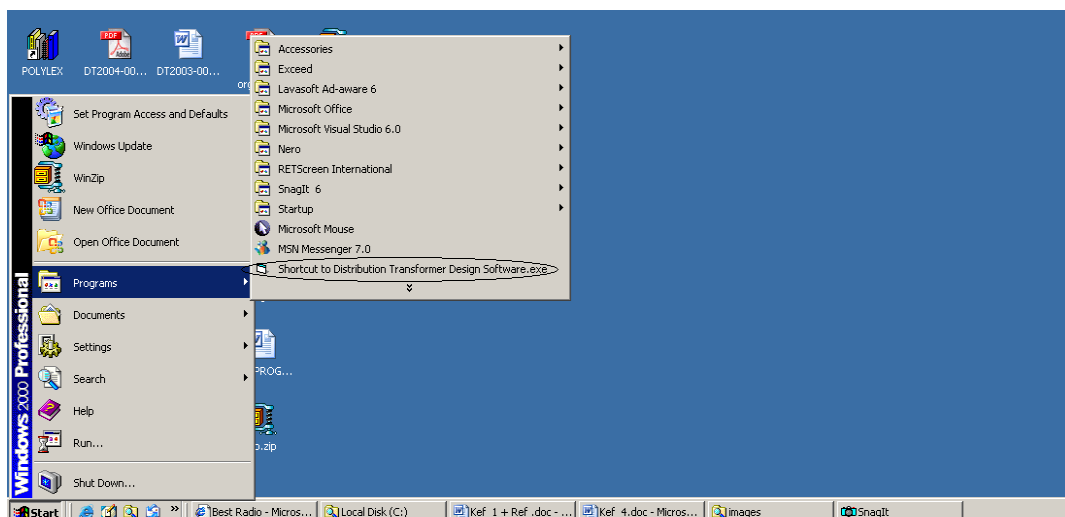


Σχήμα 4.6: Παράθυρο επιβεβαίωσης ολοκλήρωσης της εγκατάστασης.

Η εγκατάσταση δημιουργεί δύο εκτελέσιμα αρχεία (.exe). Το πρώτο βρίσκεται στο φάκελο της εγκατάστασης (σχήμα 4.7), και το δεύτερο στο Start → Programs (σχήμα 4.8).



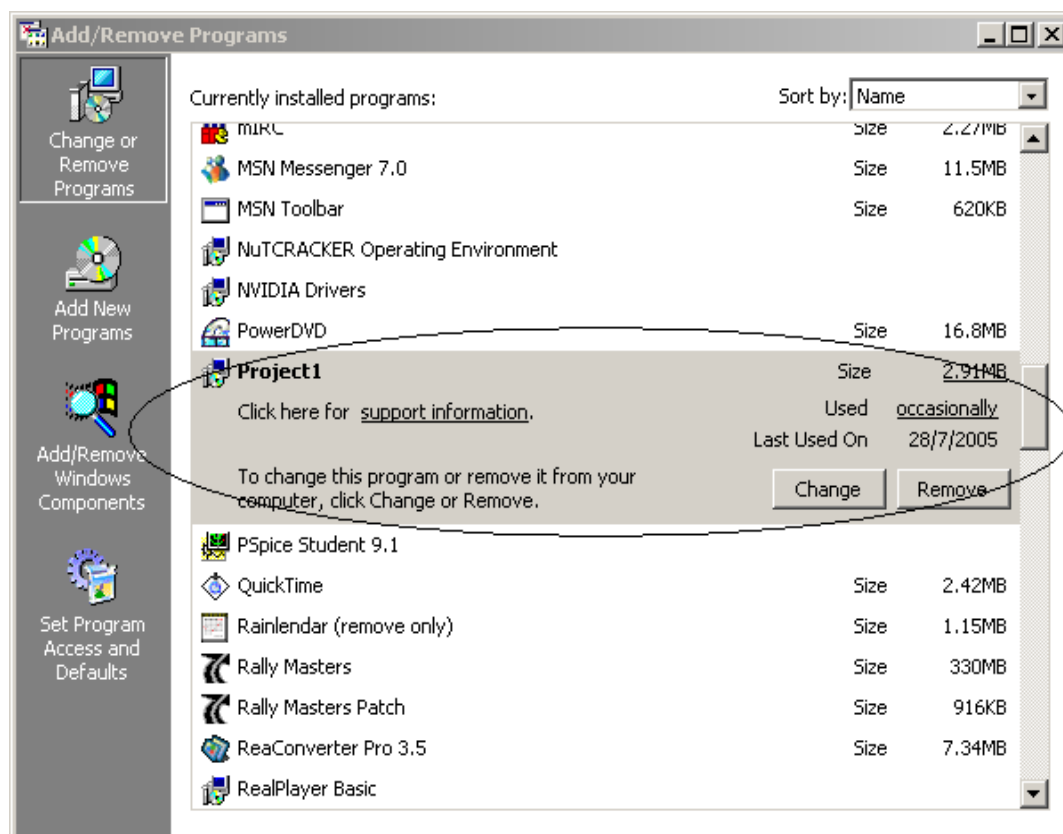
Σχήμα 4.7: Πρώτο εκτελέσιμο αρχείο.



Σχήμα 4.8: Δεύτερο εκτελέσιμο αρχείο.

4.2 ΑΠΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (Uninstall) ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η διαδικασία της απεγκατάστασης είναι η ίδια διαδικασία που ακολουθείται σε όλα τα προγράμματα. Ο χρήστης πηγαίνοντας στο Control Panel → Add/Remove Programs εντοπίζει το αρχείο Project1 και κάνοντας χρήση του πλήκτρου Remove (σχήμα 4.9), μπορεί να σβήσει το πρόγραμμα από τον υπολογιστή του.

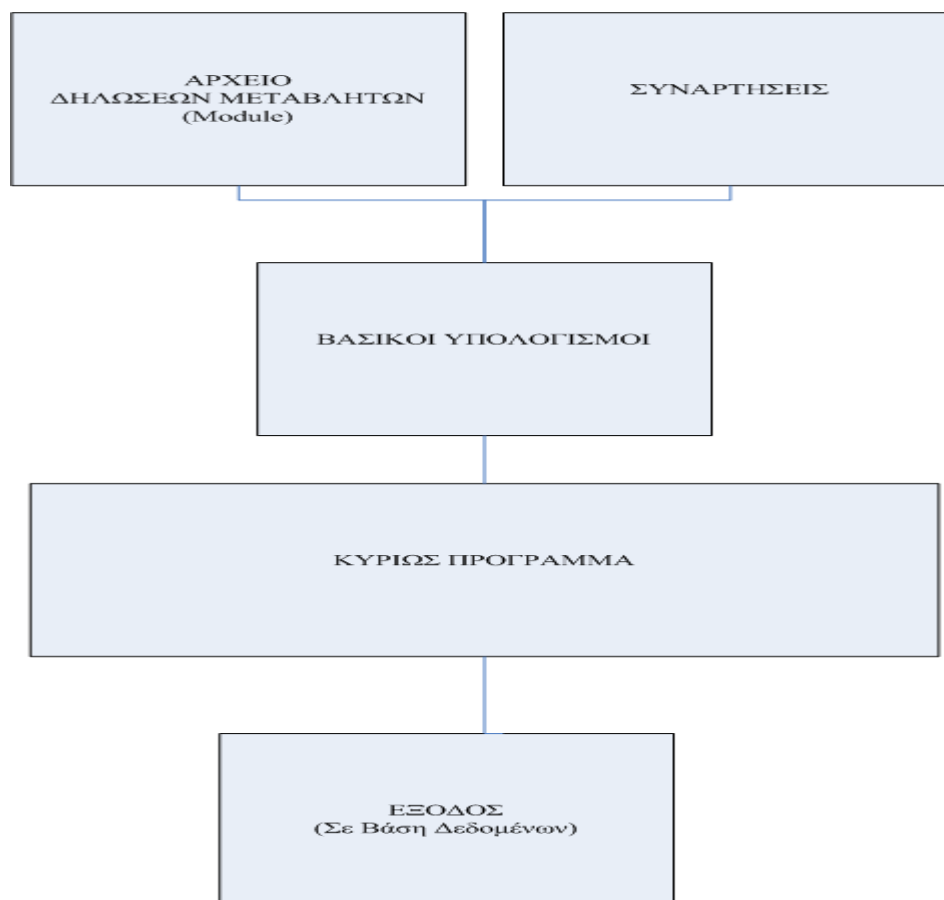


Σχήμα 4.9: Παράθυρο απεγκατάστασης (Uninstall).

4.3 ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η δομή του προγράμματος φαίνεται στο σχήμα 4.10 και αποτελείται από πέντε βασικά κομμάτια, τα οποία είναι:

1. **Αρχείο δηλώσεων μεταβλητών (Module).** Το κομμάτι αυτό περιέχει τα ονόματα όλων των μεταβλητών που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα, καθώς επίσης και τον τύπο τις κάθε μεταβλητής (αν είναι ακέραιος αριθμός ή δεκαδικός κοκ).
2. **Συναρτήσεις.** Το κομμάτι αυτό περιέχει όλες τις συναρτήσεις, τις οποίες χρησιμοποιεί το πρόγραμμα (συναρτήσεις στρογγυλοποίησης, συναρτήσεις υπολογισμού μεταβλητών κοκ)
3. **Βασικοί υπολογισμοί.** Το κομμάτι αυτό περιέχει όλους τους βασικούς υπολογισμούς (τάσεις, ρεύματα κοκ. Βλ. Κεφάλαιο 2^ο).
4. **Κυρίως πρόγραμμα.** Το κομμάτι αυτό περιέχει όλους τους υπολογισμούς των μεταβλητών (υπολογισμός των επαναληπτικών μεταβλητών, τυποποιήσεις των διατομών των αγωγών κοκ Βλ Κεφάλαιο 3^ο).
5. **Έξοδος.** Το κομμάτι αυτό περιέχει την βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται τα αποτελέσματα του προγράμματος.



Σχήμα 4.10: Δομή του προγράμματος.

4.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ

Τη στιγμή που ο χρήστης τρέξει το πρόγραμμα (κάνει χρήση των εκτελέσιμων αρχείων, σχήμα 4.7, σχήμα 4.8) εμφανίζεται στην οθόνη το παράθυρο του προγράμματος, σχήμα 4.11.

The screenshot displays the 'Distribution Transformer Design Software' interface. It features a grid of input fields and dropdown menus for various parameters. The parameters are organized as follows:

Parameter	Input Type
RKVA (Rated Power kVA)	Text Field
DuctdLV (Low voltage ducts)	Text Field
LV (Low voltage V)	Text Field
DuctdHV (High voltage ducts)	Text Field
HV (High voltage V)	Text Field
LVCC (Low voltage winding connection)	Dropdown Menu
Frequency (Hz)	Text Field
HVCC (High voltage winding connection)	Dropdown Menu
UKN (Short-circuit voltage %)	Text Field
tamax (Maximum ambient temperature)	Text Field
CuLmax (Maximum Cu losses Watt)	Text Field
FeLmax (Maximum Fe losses Watt)	Text Field

At the bottom, there is a 'SOLUTION' button and a 'Cheapest Solution' label next to a text field.

Σχήμα 4.11:Παράθυρο του προγράμματος (Interface).

Όπως φαίνεται από το σχήμα 4.11 το πρόγραμμα χρειάζεται δώδεκα παραμέτρους εισόδου για να υπολογίσει τον βέλτιστο τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή. Οι μεταβλητές που πρέπει να εισάγει ο χρήστης φαίνονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1:Μεταβλητές εισόδου.

A/A	Σύμβολο	Μονάδες	Περιγραφή
1	RKVA	kVA	Ονομαστική ισχύς
2	LV	V	Πολική τάση πηνίου X.T
3	HV	V	Πολική τάση πηνίου Y.T
4	f	Hz	Συχνότητα
5	U_{KN}	%	Τάση βραχυκύκλωσης
6	CuL_{max}	Watt	Μέγιστες απώλειες Cu
7	Fe_{max}	Watt	Μέγιστες απώλειες Fe
8	$Duct_{LV}$	–	Αριθμός καναλιών X.T
9	$Duct_{HV}$	–	Αριθμός καναλιών Y.T
10	LVCC	–	Συνδεσμολογία πηνίου X.T
11	HVCC	–	Συνδεσμολογία πηνίου Y.T
12	$t_{a,max}$	°C	Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Εκτός από τις μεταβλητές που εισάγει ο χρήστης και τις μεταβλητές που υπολογίζει το πρόγραμμα, υπάρχουν και μεταβλητές, των οποίων οι τιμές έχουν θεωρηθεί προκαθορισμένες (default) και δεν δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα αλλαγής τους (για να αποφευχθεί η είσοδος μεγάλου αριθμού μεταβλητών). Για παράδειγμα ο συντελεστής πλήρωσης πυρήνα CSF, παίρνει τιμή 0.965 η οποία δεν μπορεί να αλλαχθεί χωρίς να επέμβουμε στον κώδικα. Στον εμπειρικό προσθετέο Add έχει δοθεί τιμή ίση με μηδέν και δεν δίνεται η δυνατότητα αλλαγής του χωρίς να επέμβουμε στον κώδικα.

Στο πρόγραμμα έχουν ενσωματωθεί προτεινόμενες τιμές, για κάποια από τα παιδιά των μεταβλητών εισόδου. Μόλις ο χρήστης ενεργοποιήσει την περιοχή εισόδου των δεδομένων, εμφανίζεται στο κάτω μέρος της οθόνης ένα μήνυμα το οποίο προτείνει στον χρήστη κάποιες τιμές.

- Για την συχνότητα οι δύο προτεινόμενες τιμές είναι 50 ή 60 Hz (σχήμα 4.12).
- Για την τάση βραχυκύκλωσης U_{KN} οι δύο προτεινόμενες τιμές είναι 4 ή 6 (σχήμα 4.13).
- Για τις μέγιστες απώλειες χαλκού (CuL_{max}) προτείνονται τρεις τιμές, ανάλογα με την ονομαστική ισχύς και την τάση βραχυκύκλωσης του μετασχηματιστή, που έχει εισάγει ο χρήστης (σχήμα 4.14).

- Για τις μέγιστες απώλειες σιδήρου (Fe_{max}) προτείνονται τρεις τιμές, ανάλογα με την ονομαστική ισχύς και την τάση βραχυκύκλωσης του μετασχηματιστή, που έχει εισάγει ο χρήστης (σχήμα 4.15).
- Για την μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος προτείνονται τρεις τιμές, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.16.
- Τέλος για τις μεταβλητές LVCC και HVCC (συνδεσμολογία πηνίου X.T και συνδεσμολογία πηνίου Y.T), ο χρήστης μπορεί να διαλέξει ανάμεσα σε τρεις τιμές (σχήμα 4.17 και σχήμα 4.18)

The screenshot displays the 'Distribution Transformer Design Software' interface. It features a grid of input fields for various design parameters. The parameters and their current values are as follows:

Parameter	Value
PKVA (Rated Power kVA)	630
LV (Low voltage V)	400
HV (High voltage V)	20000
Frequency (Hz)	
UKN (Short-circuit voltage %)	
CuLmax (Maximum Cu losses Watt)	
FeLmax (Maximum Fe losses Watt)	
DuctLV (Low voltage ducts)	
DuctHV (High voltage ducts)	
LVCC (Low voltage winding connection)	
HVCC (High voltage winding connection)	
Ismax (Maximum ambient temperature)	

Below the input fields, there is a 'SOLUTION' button and a 'Cheapest Solution' label. A text box below the button contains the text 'Enter Value: 50 or 60'.

Σχήμα 4.12: Προτεινόμενες τιμές για την συχνότητα (Frequency).

Distribution Transformer Design Software

RIKVA (Rated Power kVA)	630	DuctLV (Low voltage ducts)	
LV (Low voltage V)	400	DuctHV (High voltage ducts)	
HV (High voltage V)	20000	LVCC (Low voltage winding connection)	
Frequency (Hz)	50	HVCC (High voltage winding connection)	
UKN (Short-circuit voltage %)		tanax (Maximum ambient temperature)	
CuLmax (Maximum Cu losses Watt)			
FeLmax (Maximum Fe losses Watt)			

Cheapest Solution

SOLUTION

Enter Value: 4 or 6

Σχήμα 4.13: Προτεινόμενες τιμές για την τάση βραχυκύκλωσης (U_{KN}).

Distribution Transformer Design Software

RIKVA (Rated Power kVA)	630	DuctLV (Low voltage ducts)	
LV (Low voltage V)	400	DuctHV (High voltage ducts)	
HV (High voltage V)	20000	LVCC (Low voltage winding connection)	
Frequency (Hz)	50	HVCC (High voltage winding connection)	
UKN (Short-circuit voltage %)	4	tanax (Maximum ambient temperature)	
CuLmax (Maximum Cu losses Watt)			
FeLmax (Maximum Fe losses Watt)			

Cheapest Solution

SOLUTION

Suggested Value: 6500 or 6400 or 5400

Σχήμα 4.14: Προτεινόμενες τιμές τις μέγιστες απώλειες χαλκού (CuL_{max}).

The screenshot shows the 'Distribution Transformer Design Software' window. It contains several input fields for parameters: RKVA (Rated Power kVA) set to 630, LV (Low voltage V) set to 400, HV (High voltage V) set to 20000, Frequency (Hz) set to 50, UKN (Short-circuit voltage %) set to 4, CuLmax (Maximum Cu losses Watt) set to 6500, and Femax (Maximum Fe losses Watt) set to 1300. There are also dropdown menus for DuctL/V (Low voltage ducts), DuctH/V (High voltage ducts), LVCC (Low voltage winding connection), and HVCC (High voltage winding connection). A 'Cheapest Solution' button is visible. Below the input fields, a 'SOLUTION' button is highlighted, and a message box displays the text: 'Suggested Value 1300 or 1630 or 880'.

Σχήμα 4.15: Προτεινόμενες τιμές τις μέγιστες απώλειες σιδήρου (Fe_{max}).

The screenshot shows the 'Distribution Transformer Design Software' window. It contains several input fields for parameters: RKVA (Rated Power kVA) set to 630, LV (Low voltage V) set to 400, HV (High voltage V) set to 20000, Frequency (Hz) set to 50, UKN (Short-circuit voltage %) set to 4, CuLmax (Maximum Cu losses Watt) set to 6500, and Femax (Maximum Fe losses Watt) set to 1300. There are also dropdown menus for DuctL/V (Low voltage ducts), DuctH/V (High voltage ducts), LVCC (Low voltage winding connection), and HVCC (High voltage winding connection). A 'Cheapest Solution' button is visible. Below the input fields, a 'SOLUTION' button is highlighted, and a message box displays the text: 'Enter Value: 40 or 45 or 50 (No Bigger Than 50)'.

Σχήμα 4.16: Προτεινόμενες τιμές την μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος (ta_{max}).

The screenshot shows the 'Distribution Transformer Design Software' interface. The input parameters are as follows:

Parameter	Value
RKVA (Rated Power kVA)	630
DuctsLV (Low voltage ducts)	10
LV (Low voltage V)	400
DuctsHV (High voltage ducts)	12
HV (High voltage V)	20000
LVCC (Low voltage winding connection)	Y
Frequency (Hz)	50
HVCC (High voltage winding connection)	D
UKN (Short-circuit voltage %)	4
tamax (Maximum ambient temperature)	
CuLmax (Maximum Cu losses Watt)	6500
Femax (Maximum Fe losses Watt)	1300

The 'Cheapest Solution' button is highlighted, and the 'SOLUTION' button is visible below the input fields.

Σχήμα 4.17: Προτεινόμενες τιμές την συνδεσμολογία του πηνίου X.T (LVCC).

The screenshot shows the 'Distribution Transformer Design Software' interface. The input parameters are as follows:

Parameter	Value
RKVA (Rated Power kVA)	630
DuctsLV (Low voltage ducts)	10
LV (Low voltage V)	400
DuctsHV (High voltage ducts)	12
HV (High voltage V)	20000
LVCC (Low voltage winding connection)	
Frequency (Hz)	50
HVCC (High voltage winding connection)	Y
UKN (Short-circuit voltage %)	4
tamax (Maximum ambient temperature)	
CuLmax (Maximum Cu losses Watt)	6500
Femax (Maximum Fe losses Watt)	1300

The 'Cheapest Solution' button is highlighted, and the 'SOLUTION' button is visible below the input fields.

Σχήμα 4.18: Προτεινόμενες τιμές την συνδεσμολογία του πηνίου Y.T (HVCC).

Επιπλέον σε περίπτωση που ο χρήστης εισάγει λανθασμένα κάποιο δεδομένο και πατήσει το πλήκτρο SOLUTION το πρόγραμμα σταματάει την εκτέλεση και εμφανίζει ένα μήνυμα λάθους. Οι έλεγχοι που εκτελεί το πρόγραμμα είναι:

- Έλεγχος για την ορθή εισαγωγή της συχνότητας (Frequency), σχήμα 4.19.
- Έλεγχος για την ορθή εισαγωγή της μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($t_{a,max}$), σχήμα 4.20.
- Έλεγχος για τιμή εισόδου ίση με μηδέν. Το πρόγραμμα δεν δέχεται σε κανένα από τα δώδεκα παιδιά εισαγωγής δεδομένων τιμή ίση με μηδέν (σχήμα 4.21).

The screenshot shows the 'Distribution Transformer Design Software' interface. It contains several input fields for parameters: RKVA (Rated Power kVA) with value 630, LV (Low voltage V) with value 400, HV (High voltage V) with value 20000, Frequency (Hz) with value 70, UKN (Short-circuit voltage %) with value 4, CuLmax (Maximum Cu losses Watt) with value 6500, and Femax (Maximum Fe losses Watt) with value 1300. There are also dropdown menus for DuctsLV (Low voltage ducts) with value 10, DuctsHV (High voltage ducts) with value 12, LVCC (Low voltage winding connection) with value Y, and HVCC (High voltage winding connection) with value 0. A 'SOLUTION' button is located below the input fields. A red error message 'Wrong Frequency Entered' is displayed in a box, indicating that the entered frequency value is incorrect.

Σχήμα 4.19: Προειδοποίηση για λανθασμένη τιμή της συχνότητας (Frequency).

The screenshot shows the 'Distribution Transformer Design Software' window. The input fields are as follows:

Parameter	Value
RKVA (Rated Power kVA)	630
DuctsLV (Low voltage ducts)	10
LV (Low voltage V)	400
DuctsHV (High voltage ducts)	12
HV (High voltage V)	20000
LVCC (Low voltage winding connection)	Y
Frequency (Hz)	50
HVCC (High voltage winding connection)	D
UKN (Short-circuit voltage %)	4
ta,max (Maximum ambient temperature)	51
CuLmax (Maximum Cu losses Watt)	6500
FeLmax (Maximum Fe losses Watt)	1300

The 'Cheapest Solution' button is highlighted, and the 'SOLUTION' button is also visible. A red error message 'Wrong ta,max Value Entered' is displayed below the 'SOLUTION' button. An arrow points to the 'ta,max' input field, which contains the value '51'.

Σχήμα 4.20: Προειδοποίηση για λανθασμένη τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($t_{a,max}$).

The screenshot shows the 'Distribution Transformer Design Software' window. The input fields are as follows:

Parameter	Value
RKVA (Rated Power kVA)	630
DuctsLV (Low voltage ducts)	10
LV (Low voltage V)	400
DuctsHV (High voltage ducts)	12
HV (High voltage V)	0
LVCC (Low voltage winding connection)	Y
Frequency (Hz)	50
HVCC (High voltage winding connection)	D
UKN (Short-circuit voltage %)	4
ta,max (Maximum ambient temperature)	51
CuLmax (Maximum Cu losses Watt)	6500
FeLmax (Maximum Fe losses Watt)	1300

The 'Cheapest Solution' button is highlighted, and the 'SOLUTION' button is also visible. A red error message 'Enter HV Bigger Than 0 !!!' is displayed below the 'SOLUTION' button. An arrow points to the 'HV' input field, which contains the value '0'.

Σχήμα 4.21: Προειδοποίηση για τιμή εισόδου ίση με μηδέν.

4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΟΔΟΥ

Μόλις το πρόγραμμα ολοκληρώσει τους υπολογισμούς, εμφανίζεται στο κάτω δεξιό μέρος του παραθύρου η τιμή (σε €), του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή (σχήμα 4.22). Σε περίπτωση που δεν βρεθεί μετασχηματιστής που να πληροί τις προδιαγραφές, τότε στο κουτάκι αυτό, εμφανίζεται το μήνυμα “No Solution Found”.

The screenshot displays the 'Distribution Transformer Design Software' window. It features a grid of input fields for various parameters. The 'Cheapest Solution' value, 2224.51, is highlighted with a red circle and an arrow. Below the input fields is a 'SOLUTION' button.

Parameter	Value
RKVA (Rated Power kVA)	630
DuctsLV (Low voltage ducts)	10
LV (Low voltage V)	400
DuctsHV (High voltage ducts)	12
HV (High voltage V)	20000
LVCC (Low voltage winding connection)	Y
Frequency (Hz)	50
HVCC (High voltage winding connection)	0
UKN (Short-circuit voltage %)	6
Itamax (Maximum ambient temperature)	45
CuLmax (Maximum Cu losses Watt)	6750
FeLmax (Maximum Fe losses Watt)	1200

Cheapest Solution
2224.51

SOLUTION

Σχήμα 4.22: Τιμή (σε €) του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή, καθώς και όλων των “αποδεκτών μετασχηματιστών” που υπολογίζει το πρόγραμμα, αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων (σχήμα 4.23). Η βάση αυτή, δημιουργείται αυτόματα σε κάθε εκτέλεση του προγράμματος, στον φάκελο όπου έχει εγκατασταθεί το πρόγραμμα. Είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί σε όλα τα περιβάλλοντα Windows (Win98, Win2000, WinXP και WinNT).

Ο χρήστης πατώντας “δεξί κλικ” στην πρώτη στήλη (στήλη ονομάτων μεταβλητών) μπορεί να ταξινομήσει κατά αύξουσα ή φθίνουσα σειρά τα δεδομένα της βάσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.24.

Microsoft Access - [enion_solution - Table]

File Edit View Insert Format Records Tools Window Help

Type a question for help

Transformed	nLV	nFD	nD	nG	VPT	Eu	JLV	ILV	areaLV	STANC	ILVL	TurnsMainLV	TDLV
98047.1	17	16000	220	340	13.585	90.05	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322	
983726.9	17	16000	220	350	13.585	90.05	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332	
959463.3	17	16500	220	340	13.585	87.32	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322	
962457.7	17	16500	220	350	13.585	87.32	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332	
950082.1	17	17000	220	330	13.585	84.75	2.328	1.3	405.6	0.41	16.99999	312	
942420.3	17	17000	220	340	13.585	84.75	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322	
945591	17	17000	220	350	13.585	84.75	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332	
977447	17	16000	237	350	13.585	83.59	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332	
960937.7	17	16500	237	330	13.585	81.06	2.328	1.3	405.6	0.41	16.99999	312	
954017.4	17	16500	237	340	13.585	81.06	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322	
958791.6	17	16500	237	350	13.585	81.06	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332	
943810.1	17	17000	237	330	13.585	78.67	2.328	1.3	405.6	0.41	16.99999	312	
937895.4	17	17000	237	340	13.585	78.67	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322	
940080.1	17	17000	237	350	13.585	78.67	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332	
959599.9	17	16500	254	330	13.585	75.63	2.328	1.3	405.6	0.41	16.99999	312	
953511.9	17	16500	254	340	13.585	75.63	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322	
956194.9	17	16500	254	350	13.585	75.63	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332	
942610.8	17	17000	254	330	13.585	73.41	2.328	1.3	405.6	0.41	16.99999	312	
934547.4	17	17000	254	340	13.585	73.41	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322	
940585.8	17	17000	254	350	13.585	73.41	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332	
990662.0	16	15500	220	330	14.434	98.76	2.328	1.3	405.6	0.41	15.99999	312	
995202.5	16	15500	220	340	14.434	98.76	2.328	1.25	402.5	0.41	15.99999	322	
964400.3	16	16000	220	300	14.434	95.68	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282	
960918.4	16	16000	220	310	14.434	95.68	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292	
964274	16	16000	220	320	14.434	95.68	2.328	1.3	392.6	0.41	15.99999	302	
978402.6	16	16000	220	330	14.434	95.68	2.328	1.3	405.6	0.41	15.99999	312	
975185.9	16	16000	220	340	14.434	95.68	2.328	1.25	402.5	0.41	15.99999	322	
944852.7	16	16500	220	300	14.434	92.78	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282	
948197.4	16	16500	220	310	14.434	92.78	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292	
946203.6	16	16500	220	320	14.434	92.78	2.328	1.3	392.6	0.41	15.99999	302	
958129.7	16	16500	220	330	14.434	92.78	2.328	1.3	405.6	0.41	15.99999	312	
955936.3	16	16500	220	340	14.434	92.78	2.328	1.25	402.5	0.41	15.99999	322	
927526.0	16	17000	220	300	14.434	90.05	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282	
929580.8	16	17000	220	310	14.434	90.05	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292	
986662.3	16	16500	237	340	14.434	91.68	2.328	1.25	402.5	0.41	15.99999	322	
955632.3	16	16000	237	300	14.434	88.81	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282	
958430.9	16	16000	237	310	14.434	88.81	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292	
956278.6	16	16000	237	320	14.434	88.81	2.328	1.3	392.6	0.41	15.99999	302	
970319.7	16	16000	237	330	14.434	88.81	2.328	1.3	405.6	0.41	15.99999	312	
965894.2	16	16000	237	340	14.434	88.81	2.328	1.25	402.5	0.41	15.99999	322	
937218.1	16	16500	237	300	14.434	86.12	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282	
939090.1	16	16500	237	310	14.434	86.12	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292	
937117.8	16	16500	237	320	14.434	86.12	2.328	1.3	392.6	0.41	15.99999	302	
950889.5	16	16500	237	330	14.434	86.12	2.328	1.3	405.6	0.41	15.99999	312	
921182.4	16	17000	237	300	14.434	83.59	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282	
923474.4	16	17000	237	310	14.434	83.59	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292	
920628.3	16	17000	237	320	14.434	83.59	2.328	1.3	392.6	0.41	15.99999	302	
956116.3	16	16000	254	310	14.434	82.87	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292	

Record: 1 of 207

Datasheet View

Σχήμα 4.23: Βάση δεδομένων με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών.

Microsoft Access - [enion_solution - Table]

File Edit View Insert Format Records Tools Window Help

Type a question for help

Transformed	nFD	nD	nG	VPT	Eu	JLV	ILV	areaLV	STANC	ILVL	TurnsMainLV	TDLV
98047.1	17	16000	220	340	13.585	90.05	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322
983726.9	17	16000	220	350	13.585	90.05	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332
959463.3	17	16500	220	340	13.585	87.32	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322
962457.7	17	16500	220	350	13.585	87.32	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332
950082.1	17	17000	220	330	13.585	84.75	2.328	1.3	405.6	0.41	16.99999	312
942420.3	17	17000	220	340	13.585	84.75	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322
945591	17	17000	220	350	13.585	84.75	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332
977447	17	16000	237	350	13.585	83.59	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332
960937.7	17	16500	237	330	13.585	81.06	2.328	1.3	405.6	0.41	16.99999	312
954017.4	17	16500	237	340	13.585	81.06	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322
958791.6	17	16500	237	350	13.585	81.06	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332
943810.1	17	17000	237	330	13.585	78.67	2.328	1.3	405.6	0.41	16.99999	312
937895.4	17	17000	237	340	13.585	78.67	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322
940080.1	17	17000	237	350	13.585	78.67	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332
959599.9	17	16500	254	330	13.585	75.63	2.328	1.3	405.6	0.41	16.99999	312
953511.9	17	16500	254	340	13.585	75.63	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322
956194.9	17	16500	254	350	13.585	75.63	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332
942610.8	17	17000	254	330	13.585	73.41	2.328	1.3	405.6	0.41	16.99999	312
934547.4	17	17000	254	340	13.585	73.41	2.328	1.25	402.5	0.41	16.99999	322
940585.8	17	17000	254	350	13.585	73.41	2.328	1.2	398.4	0.41	16.99999	332
990662.0	16	15500	220	330	14.434	98.76	2.328	1.3	405.6	0.41	15.99999	312
995202.5	16	15500	220	340	14.434	98.76	2.328	1.25	402.5	0.41	15.99999	322
964400.3	16	16000	220	300	14.434	95.68	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282
960918.4	16	16000	220	310	14.434	95.68	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292
964274	16	16000	220	320	14.434	95.68	2.328	1.3	392.6	0.41	15.99999	302
978402.6	16	16000	220	330	14.434	95.68	2.328	1.3	405.6	0.41	15.99999	312
975185.9	16	16000	220	340	14.434	95.68	2.328	1.25	402.5	0.41	15.99999	322
944852.7	16	16500	220	300	14.434	92.78	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282
948197.4	16	16500	220	310	14.434	92.78	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292
946203.6	16	16500	220	320	14.434	92.78	2.328	1.3	392.6	0.41	15.99999	302
958129.7	16	16500	220	330	14.434	92.78	2.328	1.3	405.6	0.41	15.99999	312
955936.3	16	16500	220	340	14.434	92.78	2.328	1.25	402.5	0.41	15.99999	322
927526.0	16	17000	220	300	14.434	90.05	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282
929580.8	16	17000	220	310	14.434	90.05	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292
986662.3	16	16500	237	340	14.434	91.68	2.328	1.25	402.5	0.41	15.99999	322
955632.3	16	16000	237	300	14.434	88.81	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282
958430.9	16	16000	237	310	14.434	88.81	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292
956278.6	16	16000	237	320	14.434	88.81	2.328	1.3	392.6	0.41	15.99999	302
970319.7	16	16000	237	330	14.434	88.81	2.328	1.3	405.6	0.41	15.99999	312
965894.2	16	16000	237	340	14.434	88.81	2.328	1.25	402.5	0.41	15.99999	322
937218.1	16	16500	237	300	14.434	86.12	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282
939090.1	16	16500	237	310	14.434	86.12	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292
937117.0	16	16500	237	320	14.434	86.12	2.328	1.3	392.6	0.41	15.99999	302
950889.5	16	16500	237	330	14.434	86.12	2.328	1.3	405.6	0.41	15.99999	312
921182.4	16	17000	237	300	14.434	83.59	2.328	1.4	394.8	0.41	15.99999	282
924774.4	16	17000	237	310	14.434	83.59	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292
920528.3	16	17000	237	320	14.434	83.59	2.328	1.3	392.6	0.41	15.99999	302
956116.3	16	16000	254	310	14.434	82.87	2.328	1.35	394.2	0.41	15.99999	292

Record: 44 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | 169 | 170 | 171 | 172 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 | 178 | 179 | 180 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 | 186 | 187 | 188 | 189 | 190 | 191 | 192 | 193 | 194 | 195 | 196 | 197 | 198 | 199 | 200 | 201 | 202 | 203 | 204 | 205 | 206 | 207 | 208 | 209 | 210 | 211 | 212 | 213 | 214 | 215 | 216 | 217 | 218 | 219 | 220 | 221 | 222 | 223 | 224 | 225 | 226 | 227 | 228 | 229 | 230 | 231 | 232 | 233 | 234 | 235 | 236 | 237 | 238 | 239 | 240 | 241 | 242 | 243 | 244 | 245 | 246 | 247 | 248 | 249 | 250 | 251 | 252 | 253 | 254 | 255 | 256 | 257 | 258 | 259 | 260 | 261 | 262 | 263 | 264 | 265 | 266 | 267 | 268 | 269 | 270 | 271 | 272 | 273 | 274 | 275 | 276 | 277 | 278 | 279 | 280 | 281 | 282 | 283 | 284 | 285 | 286 | 287 | 288 | 289 | 290 | 291 | 292 | 293 | 294 | 295 | 296 | 297 | 298 | 299 | 300 | 301 | 302 | 303 | 304 | 305 | 306 | 307 | 308 | 309 | 310 | 311 | 312 | 313 | 314 | 315 | 316 | 317 | 318 | 319 | 320 | 321 | 322 | 323 | 324 | 325 | 326 | 327 | 328 | 329 | 330 | 331 | 332 | 333 | 334 | 335 | 336 | 337 | 338 | 339 | 340 | 341 | 342 | 343 | 344 | 345 | 346 | 347 | 348 | 349 | 350 | 351 | 352 | 353 | 354 | 355 | 356 | 357 | 358 | 359 | 360 | 361 | 362 | 363 | 364 | 365 | 366 | 367 | 368 | 369 | 370 | 371 | 372 | 373 | 374 | 375 | 376 | 377 | 378 | 379 | 380 | 381 | 382 | 383 | 384 | 385 | 386 | 387 | 388 | 389 | 390 | 391 | 392 | 393 | 394 | 395 | 396 | 397 | 398 | 399 | 400 | 401 | 402 | 403 | 404 | 405 | 406 | 407 | 408 | 409 | 410 | 411 | 412 | 413 | 414 | 415 | 416 | 417 | 418 | 419 | 420 | 421 | 422 | 423 | 424 | 425 | 426 | 427 | 428 | 429 | 430 | 431 | 432 | 433 | 434 | 435 | 436 | 437 | 438 | 439 | 440 | 441 | 442 | 443 | 444 | 445 | 446 | 447 | 448 | 449 | 450 | 451 | 452 | 453 | 454 | 455 | 456 | 457 | 458 | 459 | 460 | 461 | 462 | 463 | 464 | 465 | 466 | 467 | 468 | 469 | 470 | 471 | 472 | 473 | 474 | 475 | 476 | 477 | 478 | 479 | 480 | 481 | 482 | 483 | 484 | 485 | 486 | 487 | 488 | 489 | 490 | 491 | 492 | 493 | 494 | 495 | 496 | 497 | 498 | 499 | 500 | 501 | 502 | 503 | 504 | 505 | 506 | 507 | 508 | 509 | 510 | 511 | 512 | 513 | 514 | 515 | 516 | 517 | 518 | 519 | 520 | 521 | 522 | 523 | 524 | 525 | 526 | 527 | 528 | 529 | 530 | 531 | 532 | 533 | 534 | 535 | 536 | 537 | 538 | 539 | 540 | 541 | 542 | 543 | 544 | 545 | 546 | 547 | 548 | 549 | 550 | 551 | 552 | 553 | 554 | 555 | 556 | 557 | 558 | 559 | 560 | 561 | 562 | 563 | 564 | 565 | 566 | 567 | 568 | 569 | 570 | 571 | 572 | 573 | 574 | 575 | 576 | 577 | 578 | 579 | 580 | 581 | 582 | 583 | 584 | 585 | 586 | 587 | 588 | 589 | 590 | 591 | 592 | 593 | 594 | 595 | 596 | 597 | 598 | 599 | 600 | 601 | 602 | 603 | 604 | 605 | 606 | 607 | 608 | 609 | 610 | 611 | 612 | 613 | 614 | 615 | 616 | 617 | 618 | 619 | 620 | 621 | 622 | 623 | 624 | 625 | 626 | 627 | 628 | 629 | 630 | 631 | 632 | 633 | 634 | 635 | 636 | 637 | 638 | 639 | 640 | 641 | 642 | 643 | 644 | 645 | 646 | 647 | 648 | 649 | 650 | 651 | 652 | 653 | 654 | 655 | 656 | 657 | 658 | 659 | 660 | 661 | 662 | 663 | 664 | 665 | 666 | 667 | 668 | 669 | 670 | 671 | 672 | 673 | 674 | 675 | 676 | 677 | 678 | 679 | 680 | 681 | 682 | 683 | 684 | 685 | 686 | 687 | 688 | 689 | 690 | 691 | 692 | 693 | 694 | 695 | 696 | 697 | 698 | 699 | 700 | 701 | 702 | 703 | 704 | 705 | 706 | 707 | 708 | 709 | 710 | 711 | 712 | 713 | 714 | 715 | 716 | 717 | 718 | 719 | 720 | 721 | 722 | 723 | 724 | 725 | 726 | 727 | 728 | 729 | 730 | 731 | 732 | 733 | 734 | 735 | 736 | 737 | 738 | 739 | 740 | 741 | 742 | 743 | 744 | 745 | 746 | 747 | 748 | 749 | 750 | 751 | 752 | 753 | 754 | 755 | 756 | 757 | 758 | 759 | 760 | 761 | 762 | 763 | 764 | 765 | 766 | 767 | 768 | 769 | 770 | 771 | 772 | 773 | 774 | 775 | 776 | 777 | 778 | 779 | 780 | 781 | 782 | 783 | 784 | 785 | 786 | 787 | 788 | 789 | 790 | 791 | 792 | 793 | 794 | 795 | 796 | 797 | 798 | 799 | 800 | 801 | 802 | 803 | 804 | 805 | 806 | 807 | 808 | 809 | 810 | 811 | 812 | 813 | 814 | 815 | 816 | 817 | 818 | 819 | 820 | 821 | 822 | 823 | 824 | 825 | 826 | 827 | 828 | 829 | 830 | 831 | 832 | 833 | 834 | 835 | 836 | 837 | 838 | 839 | 840 | 841 | 842 | 843 | 844 | 845 | 846 | 847 | 848 | 849 | 850 | 851 | 852 | 853 | 854 | 855 | 856 | 857 | 858 | 859 | 860 | 861 | 862 | 863 | 864 | 865 | 866 | 867 | 868 | 869 | 870 | 871 | 872 | 873 | 874 | 875 | 876 | 877 | 878 | 879 | 880 | 881 | 882 | 883 | 884 | 885 | 886 | 887 | 888 | 889 | 890 | 891 | 892 | 893 | 894 | 895 | 896 | 897 | 898 | 899 | 900 | 901 | 902 | 903 | 904 | 905 | 906 | 907 | 908 | 909 | 910 | 911 | 912 | 913 | 914 | 915 | 916 | 917 | 918 | 919 | 920 | 921 | 922 | 923 | 924 | 925 | 926 | 927 | 928 | 929 | 930 | 931 | 932 | 933 | 934 | 935 | 936 | 937 | 938 | 939 | 940 | 941 | 942 | 943 | 944 | 945 | 946 | 947 | 948 | 949 | 950 | 951 | 952 | 953 | 954 | 955 | 956 | 957 | 958 | 959 | 960 | 961 | 962 | 963 | 964 | 965 | 966 | 967 | 968 | 969 | 970 | 971 | 972 | 973 | 974 | 975 | 976 | 977 | 978 | 979 | 980 | 981 | 982 | 983 | 984 | 985 | 986 | 987 | 988 | 989 | 990 | 991 | 992 | 993 | 994 | 995 | 996 | 997 | 998 | 999 | 1000 | 1001 | 1002 | 1003 | 1004 | 1005 | 1006 | 1007 | 1008 | 1009 | 1010 | 1011 | 1012 | 1013 | 1014 | 1015 | 1016 | 1017 | 1018 | 1019 | 1020 | 1021 | 1022 | 1023 | 1024 | 1025 | 1026 | 1027 | 1028 | 1029 | 1030 | 1031 | 1032 | 1033 | 1034 | 1035 | 1036 | 1037 | 1038 | 1039 | 1040 | 1041 | 1042 | 1043 | 1044 | 1045 | 1046 | 1047 | 1048 | 1049 | 1050 | 1051 | 1052 | 1053 | 1054 | 1055 | 1056 | 1057 | 1058 | 1059 | 1060 | 1061 | 1062 | 1063 | 1064 | 1065 | 1066 | 1067 | 1068 | 1069 | 1070 | 1071 | 1072 | 1073 | 1074 | 1075 | 1076 | 1077 | 1078 | 1079 | 1080 | 1081 | 1082 | 1083 | 1084 | 1085 | 1086 | 1087 | 1088 | 1089 | 1090 | 1091 | 1092 | 1093 | 1094 | 1095 | 1096 | 1097 | 1098 | 1099 | 1100 | 1101 | 1102 | 1103 | 1104 | 1105 | 1106 | 1107 | 1108 | 1109 | 1110 | 1111 | 1112 | 1113 | 1114 | 1115 | 1116 | 1117 | 1118 | 1119 | 1120 | 1121 | 1122 | 1123 | 1124 | 1125 | 1126 | 1127 | 1128 | 1129 | 1130 | 1131 | 1132 | 1133 | 1134 | 1135 | 1136 | 1137 | 1138 | 1139 | 1140 | 1141 | 1142 | 1143 | 1144 | 1145 | 1146 | 1147 | 1148 | 1149 | 1150 | 1151 | 1152 | 1153 | 1154 | 1155 | 1156 | 1157 | 1158 | 1159 | 1160 | 1161 | 1162 | 1163 | 1164 | 1165 | 1166 | 1167 | 1168 | 1169 | 1170 | 1171 | 1172 | 1173 | 1174 | 1175 | 1176 | 1177 | 117

4.6 ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ 630 kVA

Στην παράγραφο αυτή θα πραγματοποιήσουμε μια ενδεικτική μελέτη μετασχηματιστή ισχύος 630 kVA. Οι τιμές που έχουν δοθεί στις μεταβλητές εισόδου φαίνονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Τιμές μεταβλητών εισόδου για μελέτη μετασχηματιστή ισχύος 630 kVA.

A/A	Σύμβολο	Τιμή	Μονάδες	Περιγραφή
1	RKVA	630	kVA	Ονομαστική ισχύς
2	LV	400	V	Πολική τάση πηνίου X.T
3	HV	20000	V	Πολική τάση πηνίου Y.T
4	f	50	Hz	Συχνότητα
5	U _{KN}	6	%	Τάση βραχυκύκλωσης
6	CuL _{max}	6750	Watt	Μέγιστες απώλειες Cu
7	Fe _{max}	1200	Watt	Μέγιστες απώλειες Fe
8	Ducts _{LV}	10	—	Αριθμός καναλιών X.T
9	Ducts _{HV}	12	—	Αριθμός καναλιών Y.T
10	LVCC	Y	—	Συνδεσμολογία πηνίου X.T
11	HVCC	D	—	Συνδεσμολογία πηνίου Y.T
12	ta,max	45	°C	Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Κάνοντας χρήση του πλήκτρου SOLUTION, εμφανίζεται το συνολικό κόστος του μετασχηματιστή, το οποίο είναι 2224.51€ ή 758000.96δρχ.

Κάποια από τα τεχνικά χαρακτηριστικά, που αντιστοιχούν σε αυτό το κόστος (Βλ. § 4.5) φαίνονται στον πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3:Τεχνικά χαρακτηριστικά του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά Μ/Σ

Κόστος Μ/Σ	2224.51 €	Εύρος παραθύρου F	83 mm
Σπείρες πηνίου X.T turns _{LV}	14	Συνολικό θεωρητικό βάρος CTW	686 Kg
Μαγνητική επαγωγή B	17000 Gauss	Απώλειες χαλκού Felosses	1195.7 Watt
Διάσταση D	237 mm	Απώλειες σιδήρου CuLosses	6638.63 Watt
Διάσταση G	240 mm	Διάσταση D του πανέλου Dpanel	250 mm
Τάση ανά σπείρα VPT	16.496	Συνολικές απώλειες TotalLosses	7902.09 Watt
Πάχος σκέλους πυρήνα Eu	95.53 mm	Απώλειες Μ/Σ TransformerLosses	7834.33 Watt
Πυκνότητα ρεύματος JLV	3.156 A / mm ²	Βάρος μονωτικών υλικών	23.65 Kg
Τυποποιημένη διατομή πηνίου X.T area_STAND _{LV}	288.6 mm ²	Βάρος λαδιού	473.72 Kg
Τυποποιημένη διατομή πηνίου Y.T area_STAND _{HV}	4 mm ²		

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η σύγκριση των δύο λογισμικών (παράμετροι εισόδου, αποτελέσματα εξόδου, καθώς και η ακρίβειά τους).

5.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ

Μετά το πέρας της διπλωματικής εργασίας έγινε εφικτό να μειωθούν οι παράμετροι εισόδου, από 137 που απαιτούσε το πρόγραμμα για την εύρεση του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή σε μόλις 12. Οι μεταβλητές που διατηρήθηκαν φαίνονται στον πίνακα 4.1.

Ως συνέπεια της μείωσης του αριθμού των μεταβλητών εισόδου, είναι η μείωση του χρόνου πραγματοποίησης μιας μελέτης. Επιπλέον το πρόγραμμα μπορεί να το χρησιμοποιήσει οποιοσδήποτε, χωρίς να χρειάζεται να έχει τις τεχνικές γνώσεις για το πως πραγματοποιείται μια μελέτη ή για το ποιος είναι ο ρόλος κάθε μεταβλητής.

5.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η σύγκριση των δύο λογισμικών πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις κατηγορίες μετασχηματιστών (250 kVA, 630 kVA, 1000 kVA και 1600 kVA). Σε πρώτη φάση τρέξαμε τους μετασχηματιστές στο λογισμικό το οποίο δημιουργήσαμε. Τα αποτελέσματα εξόδου του νέου λογισμικού τα ελέγξαμε στο υπάρχον λογισμικό, για να διαπιστωθεί η ορθότητα του μετασχηματιστή που προέκυψε και να γίνει η σύγκρισή του κόστους. Επειδή όμως το υπάρχον λογισμικό χρησιμοποιεί σαν μονάδα κόστους τη δραχμή έγινε η απαραίτητη μετατροπή στο νέο λογισμικό για την ευκολότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι:

5.2.1 Κατηγορία Μετασχηματιστών Ισχύος 250 kVA

Τα δεδομένα που εισάγαμε στο νέο λογισμικό, για τον πρώτο μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Δεδομένα εισόδου για τον πρώτο μετασχηματιστή 250 kVA.

Σύμβολο	Τιμές	Μονάδες
RKVA	250	kVA
LV	400	V
HV	20000	V
f	50	Hz
U_{KN}	4	%
CuL_{max}	3250	Watt
Fe_{max}	530	Watt
Ducts _{LV}	5	—
Ducts _{HV}	5	—
LVCC	Y	—
HVCC	D	—
$t_{a,max}$	40	°C

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το κόστος του πρώτου μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Κόστη βέλτιστου μετασχηματιστή.

	250 kVA	Μονάδες
Υπάρχον λογισμικό	372345	Δρχ.
Νέο λογισμικό	392241	Δρχ.
Απόκλιση	+5,34	%

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση του κόστους, που έχει το νέο λογισμικό κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα.

Τα δεδομένα που εισάγαμε στο νέο λογισμικό, για τον δεύτερο μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Δεδομένα εισόδου για τον δεύτερο μετασχηματιστή 250 kVA.

Σύμβολο	Τιμές	Μονάδες
RKVA	250	kVA
LV	400	V
HV	20000	V
f	50	Hz
U_{KN}	4	%
CuL_{max}	2750	Watt
Fe_{max}	650	Watt
$Ducts_{LV}$	4	—
$Ducts_{HV}$	4	—
LVCC	Y	—
HVCC	D	—
$ta_{,max}$	40	°C

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το κόστος του δεύτερου μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Κόστη βέλτιστου μετασχηματιστή.

	250 kVA	Μονάδες
Υπάρχον λογισμικό	378782	Δρχ.
Νέο λογισμικό	392164	Δρχ.
Απόκλιση	+3.53	%

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση του κόστους, που έχει το νέο λογισμικό κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα.

5.2.2 Κατηγορία Μετασχηματιστών Ισχύος 630 kVA

Τα δεδομένα που εισάγαμε στο νέο λογισμικό, για τον πρώτο μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5: Δεδομένα εισόδου για τον πρώτο μετασχηματιστή 630 kVA.

Σύμβολο	Τιμές	Μονάδες
RKVA	630	kVA
LV	400	V
HV	20000	V
f	50	Hz
U_{KN}	4	%
CuL_{max}	6500	Watt
Fe_{max}	1300	Watt
Ducts _{LV}	5	—
Ducts _{HV}	5	—
LVCC	Y	—
HVCC	D	—
ta_{max}	40	°C

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το κόστος του πρώτου μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6:Κόστη βέλτιστου μετασχηματιστή.

	630 kVA	Μονάδες
Υπάρχον λογισμικό	665275	Δρχ.
Νέο λογισμικό	685223	Δρχ.
Απόκλιση	+2,99	%

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση του κόστους, που έχει το νέο λογισμικό κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα.

Τα δεδομένα που εισάγαμε στο νέο λογισμικό, για τον δεύτερο μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7:Δεδομένα εισόδου για τον δεύτερο μετασχηματιστή 630 kVA.

Σύμβολο	Τιμές	Μονάδες
RKVA	630	kVA
LV	400	V
HV	20000	V
f	50	Hz
U_{KN}	4	%
CuL_{max}	5400	Watt
Fe_{max}	1300	Watt
$Ducts_{LV}$	5	—
$Ducts_{HV}$	5	—
LVCC	Y	—
HVCC	D	—
ta_{max}	40	°C

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το κόστος του δεύτερου μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8:Κόστη βέλτιστου μετασχηματιστή.

	630 kVA	Μονάδες
Υπάρχον λογισμικό	763795	Δρχ.
Νέο λογισμικό	784286	Δρχ.
Απόκλιση	+2,68	%

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση του κόστους, που έχει το νέο λογισμικό κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα.

5.2.3 Κατηγορία Μετασχηματιστών Ισχύος 1000 kVA

Τα δεδομένα που εισάγαμε στο νέο λογισμικό, για τον πρώτο μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.9.

Πίνακας 5.9:Δεδομένα εισόδου για τον πρώτο μετασχηματιστή 1000 kVA.

Σύμβολο	Τιμές	Μονάδες
RKVA	1000	kVA
LV	400	V
HV	20000	V
f	50	Hz
U _{KN}	6	%
CuL _{max}	10500	Watt
Fe _{max}	1700	Watt
Ducts _{LV}	11	—
Ducts _{HV}	11	—
LVCC	Y	—

HVCC	D	—
$t_{a,max}$	40	°C

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το κόστος του πρώτου μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.10:Κόστη βέλτιστου μετασχηματιστή.

	1000 kVA	Μονάδες
Υπάρχον λογισμικό	934336	Δρχ.
Νέο λογισμικό	988341	Δρχ.
Απόκλιση	+5,78	%

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση του κόστους, που έχει το νέο λογισμικό κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα.

Τα δεδομένα που εισάγαμε στο νέο λογισμικό, για τον δεύτερο μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.11.

Πίνακας 5.11:Δεδομένα εισόδου για τον δεύτερο μετασχηματιστή 1000 kVA.

Σύμβολο	Τιμές	Μονάδες
RKVA	1000	kVA
LV	400	V
HV	20000	V
f	50	Hz
U_{KN}	6	%
CuL_{max}	13000	Watt
Fe_{max}	1700	Watt

Ducts _{LV}	11	—
Ducts _{HV}	11	—
LVCC	Y	—
HVCC	D	—
ta,max	40	°C

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το κόστος του δεύτερου μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.12.

Πίνακας 5.12:Κόστη βέλτιστου μετασχηματιστή.

	1000 kVA	Μονάδες
Υπάρχον λογισμικό	866074	Δρχ.
Νέο λογισμικό	907267	Δρχ.
Απόκλιση	+4,75	%

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση του κόστους, που έχει το νέο λογισμικό κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα.

5.2.4 Κατηγορία Μετασχηματιστών Ισχύος 1600 kVA

Τα δεδομένα που εισάγαμε στο νέο λογισμικό, για τον πρώτο μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.13.

Πίνακας 5.13:Δεδομένα εισόδου για τον πρώτο μετασχηματιστή 1600 kVA.

Σύμβολο	Τιμές	Μονάδες
RKVA	1600	kVA
LV	400	V
HV	20000	V

f	50	Hz
U _{KN}	6	%
CuL _{max}	17000	Watt
Fe _{max}	2600	Watt
Ducts _{LV}	9	–
Ducts _{HV}	9	–
LVCC	Y	–
HVCC	D	–
ta,max	40	°C

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το κόστος του πρώτου μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.14.

Πίνακας 5.14:Κόστη βέλτιστου μετασχηματιστή.

	1600 kVA	Μονάδες
Υπάρχον λογισμικό	1257053	Δρχ.
Νέο λογισμικό	1311553	Δρχ.
Απόκλιση	+4,43	%

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση του κόστους, που έχει το νέο λογισμικό κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα.

Τα δεδομένα που εισάγαμε στο νέο λογισμικό, για τον δεύτερο μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.15.

Πίνακας 5.15: Δεδομένα εισόδου για τον δεύτερο μετασχηματιστή 1600 kVA.

Σύμβολο	Τιμές	Μονάδες
RKVA	1600	kVA
LV	400	V
HV	20000	V
f	50	Hz
U_{KN}	6	%
CuL_{max}	20000	Watt
Fe_{max}	1700	Watt
Ducts _{LV}	10	—
Ducts _{HV}	10	—
LVCC	Y	—
HVCC	D	—
$t_{a,max}$	40	°C

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το κόστος του δεύτερου μετασχηματιστή φαίνονται στον πίνακα 5.16.

Πίνακας 5.16: Κόστη βέλτιστου μετασχηματιστή.

	1600 kVA	Μονάδες
Υπάρχον λογισμικό	866074	Δρχ.
Νέο λογισμικό	907267	Δρχ.
Απόκλιση	+4,75	%

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση του κόστους, που έχει το νέο λογισμικό κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα.

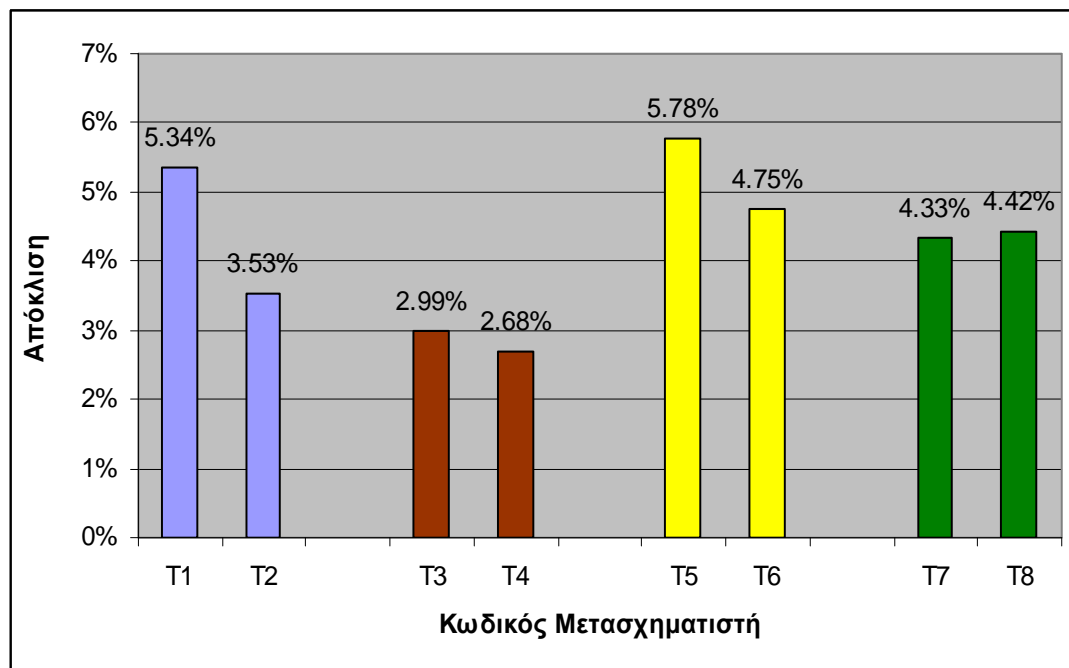
5.3 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στον πίνακα 5.17 παραθέτουμε τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τη σύγκριση των δύο λογισμικών. Στην πρώτη στήλη, T1, T1,..., T8 είναι ο κωδικός μετασχηματιστή. Επίσης φαίνεται (στην τελευταία στήλη) η απόκλιση που έχει το νέο λογισμικό από το υπάρχον, καθώς και η μέση τιμή της απόκλισης των οκτώ μετασχηματιστών.

Πίνακας 5.17:Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.

Κωδικός Μ/Σ	Ονομαστική Ισχύς (kVA)	Απώλειες Χαλκού (W)	Απώλειες Σιδήρου (W)	Τάση Βραχυκύ- κλωσης (%)	Κανάλια	Κόστος Μ/Σ με το νέο λογισμικό (δρχ)	Απόκλι- ση κόστους από υπάρχον λογισμικ- ό (%)
T1	250	3250	530	4	5	392241	+ 5.34
T2	250	2750	650	4	4	392164	+ 3.53
T3	630	6500	1300	4	5	685223	+ 2.99
T4	630	5400	1300	4	5	784286	+ 2.68
T5	1000	10500	1700	6	11	988341	+ 5.78
T6	1000	13000	1700	6	11	907267	+ 4.75
T7	1600	17000	2600	6	9	1311553	+ 4.33
T8	1600	20000	2600	6	10	1314709	+ 4.42
Μέση τιμή							+ 4.23

Όπως παρατηρούμε και από το σχήμα 5.1 οι αποκλίσεις που έχει το νέο λογισμικό από το υπάρχον κυμαίνονται σε αποδεκτά επίπεδα. Η μικρότερη απόκλιση παρατηρείται στους μετασχηματιστές των 630 kVA, ενώ τη μεγαλύτερη απόκλιση την συναντάμε στους μετασχηματιστές της κατηγορία των 1000 kVA.



Σχήμα 5.1: Συγκεντρωτικές τιμές αποκλίσεων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, τα οποία εξήχθησαν μετά το πέρας της διπλωματικής εργασίας.

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά το πέρας της διπλωματικής εργασίας κατέστη εφικτό να μειωθούν οι παράμετροι εισόδου, από 137 που δέχεται το υπάρχον λογισμικό για την εύρεση του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή, σε μόλις 12.

Μειώθηκε ο χρόνος εύρεσης βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή στο ελάχιστο. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ένας υπολογιστής, με τεχνικά χαρακτηριστικά: AMD 2600+ και μνήμη 512 Mb, χρειάζεται περίπου από 1 έως 1,5 λεπτά για να μας δώσει αποτέλεσμα.

Το λογισμικό που αναπτύχθηκε μπορεί να χειριστεί από οποιονδήποτε, χωρίς να χρειάζεται να έχει τις τεχνικές γνώσεις για το πώς πραγματοποιείται μια μελέτη μετασχηματιστή, ενώ το υπάρχον λογισμικό χρειάζεται έμπειρους και εξειδικευμένους μηχανικούς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην διαφορετική φιλοσοφία που χρησιμοποιούν τα δύο λογισμικά, διότι το υπάρχον λογισμικό απευθύνεται στους μηχανικούς μελετών, ενώ το λογισμικό που αναπτύχθηκε απευθύνεται στους μηχανικούς πωλήσεων.

Το λογισμικό που αναπτύχθηκε βρίσκει πάντα λύση, σε αντίθεση με το υπάρχον λογισμικό, το οποίο σε κάποιες περιπτώσεις απορρίπτει όλες τις υπονήφιες λύσης.

Το λογισμικό που αναπτύχθηκε εκτελεί πολύ λιγότερες επαναλήψεις από το υπάρχον λογισμικό. Για να εκτελεστεί μια μελέτη στο υπάρχον λογισμικό με όλες τις τιμές των επαναληπτικών μεταβλητών χρειάζονται $20^4 = 160000$ επαναλήψεις, ενώ το νέο λογισμικό χρειάζεται μόλις $10^4 = 10000$ επαναλήψεις.

Συνοπτικά τα συμπεράσματα παρουσιάζονται και στον πίνακα 6.1

Πίνακας 6.1: Σύγκριση νέου με υφιστάμενο λογισμικό.

Νέο λογισμικό	Υφιστάμενο λογισμικό
1. Χρησιμοποιεί μόνο 12 παραμέτρους εισόδου	1. Χρησιμοποιεί 137 παραμέτρους εισόδου
2. Χρησιμοποιεί σταθερό αριθμό επαναληπτικών δοκιμών και πιο συγκεκριμένα αναζητεί την υποψήφια λύση μεταξύ 10^4 υποψήφιας λύσεων	2. Χρησιμοποιεί μεταβλητό αριθμό επαναληπτικών δοκιμών: από 1 δοκιμή έως 20^4 δοκιμές.
3. Βρίσκει πάντα λύση	3. Δε βρίσκει πάντα λύση (μπορεί να απορριφθούν όλες οι υποψήφιας λύσεις)
4. Τη λύση τη βρίσκει το πολύ σε 1.5 λεπτά σε H/Y AMD 2600+	4. Ο μηχανικός μελετών μπορεί να χρειαστεί οκτώ ώρες για να βρει το βέλτιστο οικονομοτεχνικά μετασχηματιστή.
5. Το κόστος του βέλτιστου τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή είναι κατά μέσο όρο 4.23% ακριβότερο σε σχέση με το υφιστάμενο λογισμικό	5. Θεωρητικά, το υφιστάμενο λογισμικό μπορεί να υπολογίσει το βέλτιστο τεχνικοοικονομικά μετασχηματιστή (μετά από πολλές δοκιμές)
6. Δεν απαιτεί εμπειρία από το χρήστη	6. Ο χρήστης του λογισμικού πρέπει να είναι εξειδικευμένος μηχανικός μελετών μετασχηματιστών
7. Είναι κατάλληλο για μηχανικούς πωλήσεων μετασχηματιστών.	7. Είναι κατάλληλο για μηχανικούς μελετών μετασχηματιστών