

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ - 1288

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ QUICK FIELD ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΡΑΨΟΜΑΝΙΚΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΧΗΡΑΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ-ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ - 20/02/2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία ενός ελληνικού εγχειριδίου χρήσης του προγράμματος Quick Field. Με το εγχειρίδιο αυτό προσπαθούμε να δημιουργήσουμε ένα απλοποιημένο και ευανάγνωστο κείμενο, εμπλουτισμένο με τα βασικότερα στοιχεία που προσφέρει το πρόγραμμα, το οποίο θα είναι ιδιαίτερα εύχρηστο για τους χρήστες του Quick Field και γενικότερα για τους ηλεκτρολόγους μηχανικούς.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία ελληνικού εγχειριδίου χρήσης του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ανάλυσης Quick field της εταιρείας Tera Analysis. Το Quick field είναι ένα υπολογιστικό διαδραστικό περιβάλλον που αντικείμενο του είναι η ηλεκτρομαγνητική ανάλυση, η θερμική ανάλυση και η ανάλυση δυνάμεων που δημιουργούνται από μαγνητικά πεδία. Πιο αναλυτικά, οι τομείς του προγράμματος περιλαμβάνουν τον υπολογισμό ηλεκτροστατικών πεδίων, AC και DC αγωγιμότητας, με δυνατότητα ανάλυσης μεταβατικής γραμμικής και μη γραμμικής συμπεριφοράς, υπολογισμό δινορευμάτων, ανάλυση μεταφοράς και διάχυσης θερμότητας σε μόνιμη και μεταβατική κατάσταση, και γραμμική ανάλυση μηχανικών καταπονήσεων. Τέλος το Quick Field είναι χρήσιμο και για σύνθετα προβλήματα που ενδέχεται να συνδυάζουν κάποια από τα παραπάνω είδη.

Με τη μαγνητοστατική ανάλυση μπορεί ο χρήστης να σχεδιάσει και να αναλύσει μια ποικιλία σωληνοειδών, ηλεκτρικών μηχανών, μόνιμων μαγνητών καθώς και άλλα είδη μαγνητικών συσκευών, καθώς υπάρχει και δυνατότητα μελέτης μεταβατικών φαινομένων. Το Quick Field με την AC ανάλυση μπορεί να αναλύσει το μαγνητικό πεδίο που προκαλείται από εναλλασσόμενα ρεύματα αλλά και αντίστροφα. Με την ηλεκτροστατική ανάλυση γίνεται σχεδιασμός και έλεγχος συστημάτων όπως γραμμές μεταφοράς, ασφάλειες ηλεκτρικής εγκατάστασης και ούτω καθεξής.

Η AC ανάλυση αγωγιμότητας επιτρέπει τη μελέτη πολύπλοκων συστημάτων όπως μονωτικών υλικών και πυκνωτών, ενώ η DC ανάλυση επιτρέπει τους υπολογισμούς έντασης και πυκνότητας ρεύματος καθώς και υπολογισμούς απωλειών θερμότητας (Joule). Ακόμη στο Quick Field πραγματοποιείται μελέτη διάδοσης θερμότητας και δυνάμεων για μηχανικά και ηλεκτρικά εξαρτήματα.

Επίσης η πτυχιακή περιλαμβάνει δύο εφαρμογές, μια που αφορά έναν μονοφασικό μετασχηματιστή και μια που αφορά μια τριφασική γραμμή μεταφοράς, στις οποίες παρουσιάζονται οι δυνατότητες του προγράμματος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	1
Περίληψη.....	2
Περιεχόμενα.....	3
Εισαγωγή.....	4
Κεφάλαιο 1ο : Ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα σε ηλεκτρικά κυκλώματα	
1.1 Ανάλυση στατικού μαγνητικού πεδίου	5
1.2 Ανάλυση μεταβατικών φαινομένων μαγνητικού πεδίου.....	15
1.3 Ανάλυση μαγνητικών πεδίων από εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα	20
1.4 Ανάλυση στατικών ηλεκτρικών πεδίων	26
1.5 Ανάλυση DC αγωγιμότητας	32
1.6 Ανάλυση AC αγωγιμότητας	39
1.7 Ανάλυση μεταβατικών φαινομένων ηλεκτρικού πεδίου.....	46
Κεφάλαιο 2ο : Θερμική & μηχανική καταπόνηση συστημάτων	
2.1 Ανάλυση μεταφοράς θερμότητας.....	49
2.2 Ανάλυση μηχανικών καταπονήσεων	55
Κεφάλαιο 3ο : Σύνθετα προβλήματα	
3.1 Εφαρμογή : Σύνθετο πρόβλημα 1	60
3.2 Εφαρμογή : Σύνθετο πρόβλημα 2	66
Κεφάλαιο 4ο : Εφαρμογές	
4.1 1-Φ Μετασχηματιστής	69
4.2 3-Φ Γραμμή Μεταφοράς Μ.Τ με αγωγούς XLPE 20kV	75
Βιβλιογραφία.....	82

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Quick Field είναι ένα αποτελεσματικό σύστημα επεξεργασίας δεδομένων που παρέχει απαντήσεις σε θέματα ηλεκτρομαγνητικής ή μηχανικής φύσης καθώς και σε συζευγμένα προβλήματα πολλαπλών πεδίων. Συνδυάζει μια πολύπλοκη μονάδα επεξεργασίας με ένα πολύ φιλικό διαδραστικό περιβάλλον για το χρήστη. Δίνοντας ως δεδομένα τη γεωμετρία, το υλικό, τις ιδιότητες, τις πηγές και διάφορες άλλες συνθήκες σχετικά με το αντικείμενο μελέτης μπορεί να εξομοιωθεί οποιοδήποτε πρόβλημα με μεγάλη ακρίβεια.

Το Quick Field βρίσκει επιτυχημένη εφαρμογή εδώ και χρόνια σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας, της έρευνας και της εκπαίδευσης. Ο συνδυασμός της απλότητας που αντιλαμβάνεται ο χρήστης από το υπολογιστικό περιβάλλον και της ποιότητας των αποτελεσμάτων, παρέχει στο χρήστη ένα υπόβαθρο, που δεν χρειάζονται ιδιαίτερες γνώσεις αφού το πρόγραμμα καθοδηγεί το χρήστη.

Η έκδοση του Quick Field που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των προβλημάτων στη συγκεκριμένη εργασία είναι η **QuickField Lite Edition** με περιορισμό τα 4000 nodes.

Έτσι τα αποτελέσματα που εξήγαγε το πρόγραμμα θεωρούνται υψηλής ακρίβειας.

Κεφάλαιο 1ο : Ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα σε ηλεκτρικά κυκλώματα

1.1 Ανάλυση στατικού μαγνητικού πεδίου

Η μαγνητική ανάλυση στατικού μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιείται για τη μελέτη της μαγνητικής συμπεριφοράς διαφόρων εφαρμογών όπως σωληνοειδή, ηλεκτρικές μηχανές, μαγνητικοί σκληροί δίσκοι, μόνιμοι μαγνήτες κ.α. Τα απαραίτητα δεδομένα που πρέπει να εισάγει ο χρήστης είναι η πυκνότητα μαγνητικής ροής, η ένταση του πεδίου, οι ασκούμενες δυνάμεις και ροπές, η αυτεπαγωγή και η ροή σύζευξης.

Το Quick Field μπορεί να πραγματοποιήσει εξομοίωση γραμμικού και μη γραμμικού μαγνητικού πεδίου σε δισδιάστατο περιβάλλον αλλά και σε αξονοσυμμετρικό. Η ανάλυση του πεδίου πραγματοποιείται μέσω της επίλυσης της εξίσωσης $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$, όπου το A είναι το διανυσματικό δυναμικό. Η μαγνητική ανάλυση περιλαμβάνει επίσης και κάποιες πρόσθετες λειτουργίες σχετικά με τις:

Ιδιότητες υλικών: δίνεται η δυνατότητα να εισάγεις υλικά με βάση τη μαγνητική διαπερατότητά τους, ηλεκτροφόρους αγωγούς, σιδηρομαγνητικά υλικά με B-H χαρακτηριστική. Τα παραπάνω γίνονται με τη βοήθεια του Curve Editor.

Ηλεκτρικές πηγές: δίνεται η δυνατότητα να εισάγεις ένταση ρεύματος ή πυκνότητα ρεύματος, να εφαρμόσεις εξωτερικό πεδίο ή ακόμη και μόνιμους μαγνήτες.

Οριακές συνθήκες: Μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε οριακές συνθήκες Dirichlet και οριακές συνθήκες Neumann.

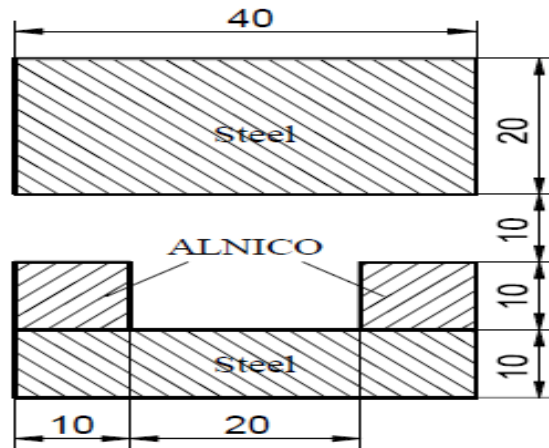
Αποτελέσματα διεξαγωγής εξομοίωσης: μαγνητικό δυναμικό, πυκνότητα μαγνητικής ροής, ένταση μαγνητικού πεδίου, ασκούμενες δυνάμεις, ασκούμενη ροπή, ροή σύζευξης, αυτεπαγωγές και αμοιβαίες επαγωγές.

Εξειδικευμένες λειτουργίες: Το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει διάφορα μεγέθη σύμφωνα με την επιφάνεια (ή το περίγραμμα) που θα επιλέξει ο χρήστης.

Εφαρμογή : Μελέτη στατικού μαγνητικού πεδίου

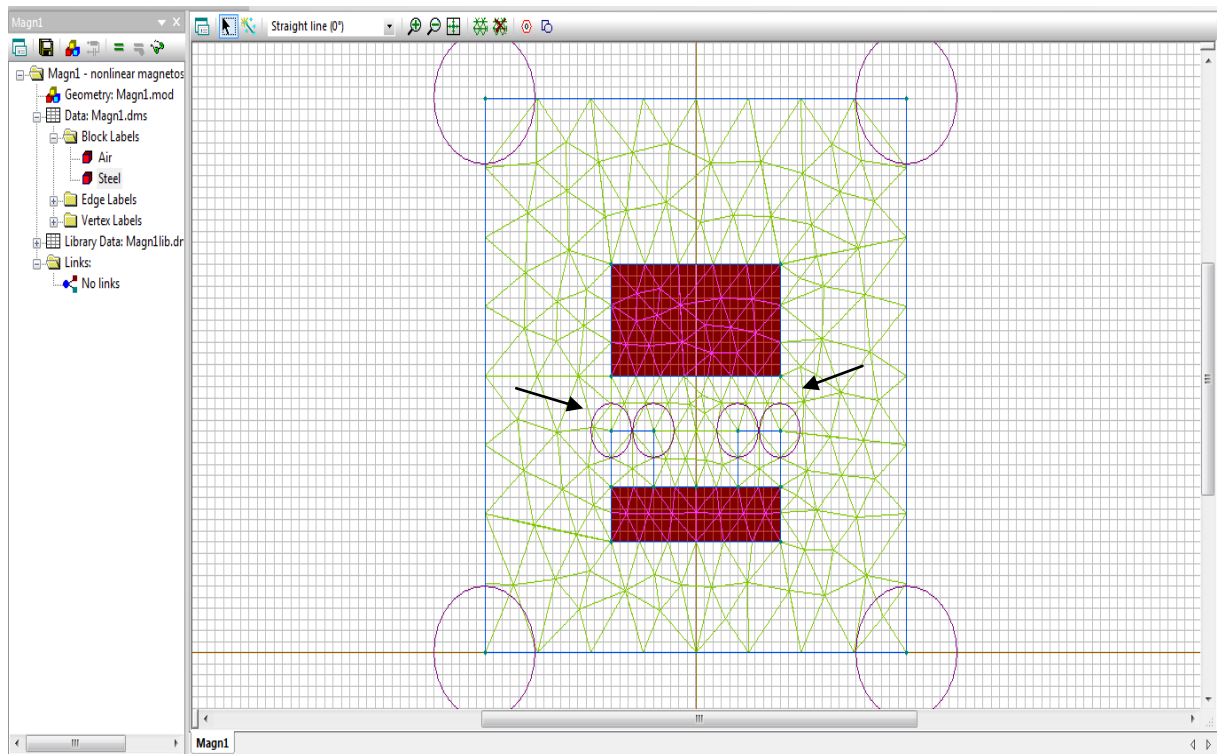
Magn1 : Μελέτη μόνιμου μαγνήτη με μη γραμμική B-H χαρακτηριστική

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε στην επιφάνεια το υλικό μας από ατσάλι στο οποίο επάνω του είναι τοποθετημένος ο μόνιμος μαγνήτης σε απόσταση 20cm μεταξύ του βόρειου και του νότιου πόλου.



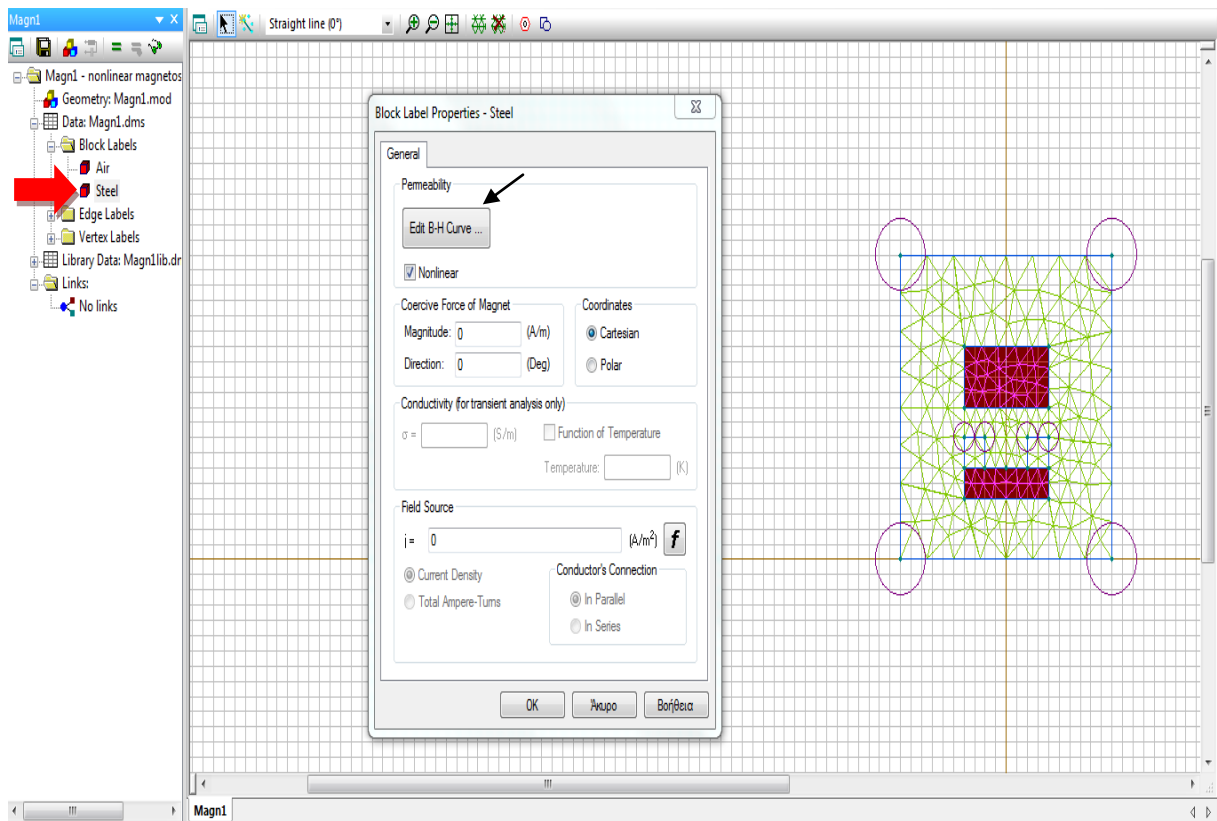
Εικόνα 1

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τον σχεδιασμό του υλικού μας με κόκκινο χρώμα. Τα δύο βελάκια μας δείχνουν τους μαγνήτες όπου είναι τοποθετημένοι πάνω στο υλικό μας.



Εικόνα 2

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε στα αριστερά μας εκεί που είναι το βελάκι το υλικό μας το ατσάλι, όταν το επιλέξουμε μας δίνει την δυνατότητα να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε την καμπύλη B-H, κάνοντας κλικ στο Edit B-H Curve.



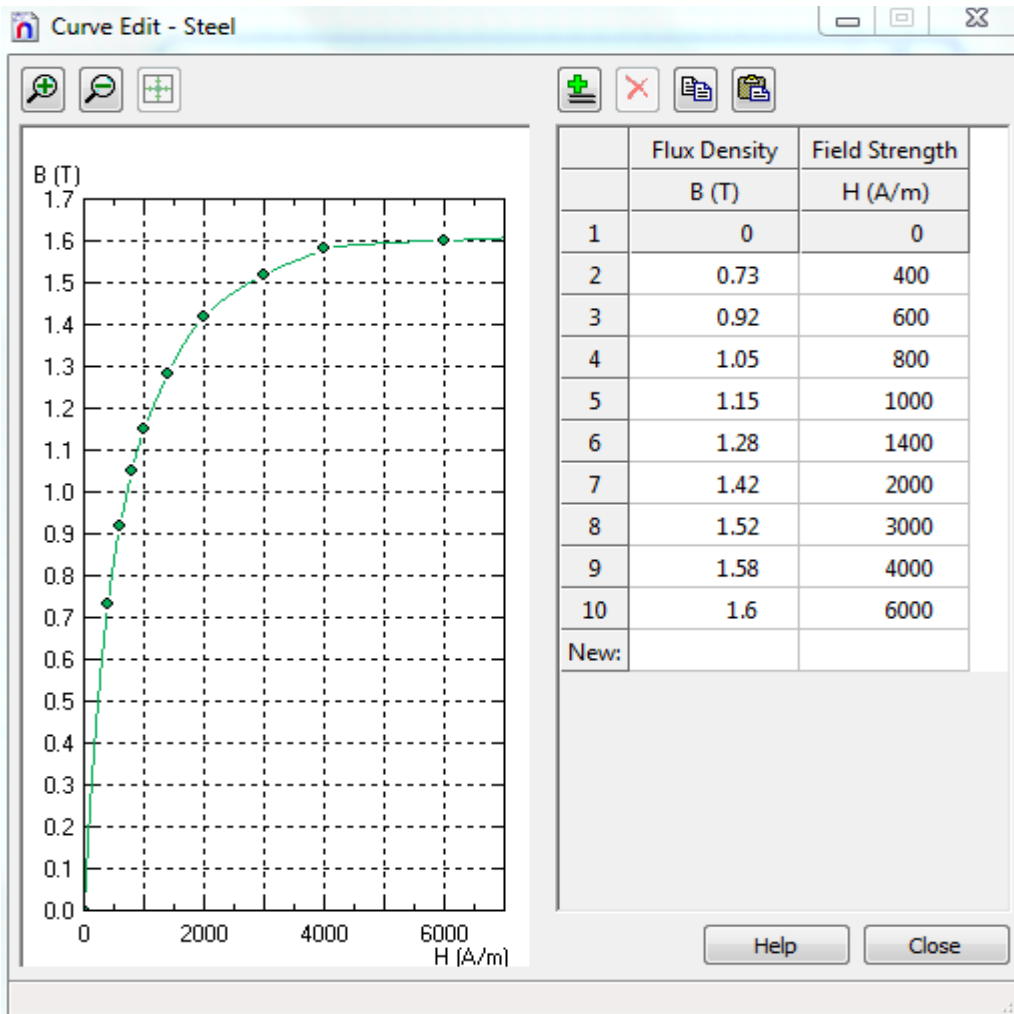
Εικόνα 3

Σύμφωνα με τα παραπάνω που εξηγήσαμε (βλέπε εικ 3) μπορούμε να πραγματοποιήσουμε την καμπύλη B-H βάζοντας τις τιμές που μας ενδιαφέρουν. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα θα βάλουμε τις τιμές του Πίνακα 1.

H(A/m)	400	600	800	1000	1400	2000	3000	4000	6000
B(T)	0.73	0.92	1.05	1.15	1.28	1.42	1.52	1.58	1.60

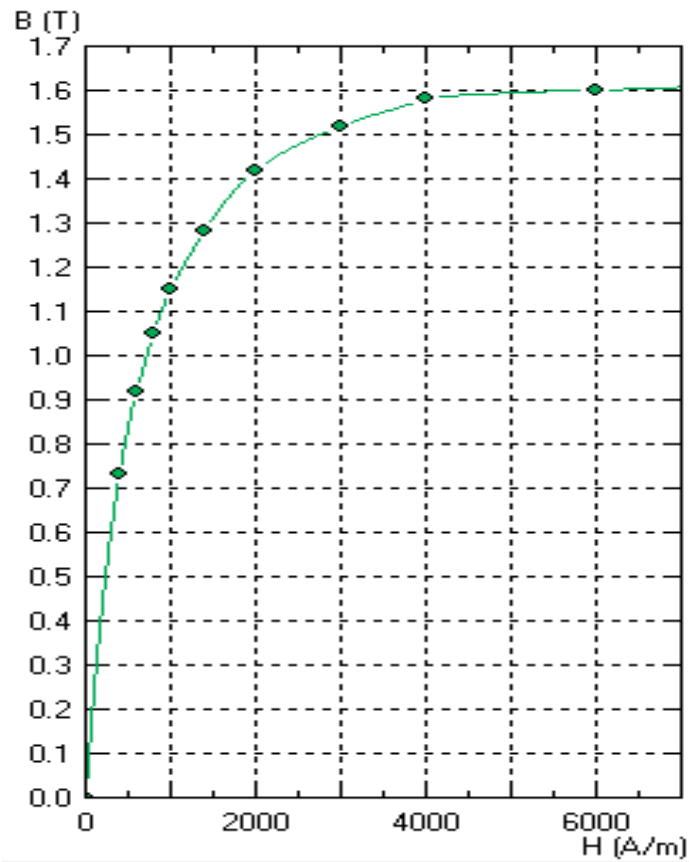
Πίνακας 1

Εδώ μπορούμε να εισάγουμε τις τιμές του Πίνακα 1.



Εικόνα 4

Η γραφική παράσταση για την καμπύλη B-H με την βοήθεια του Πίνακα 1 είναι η παρακάτω.



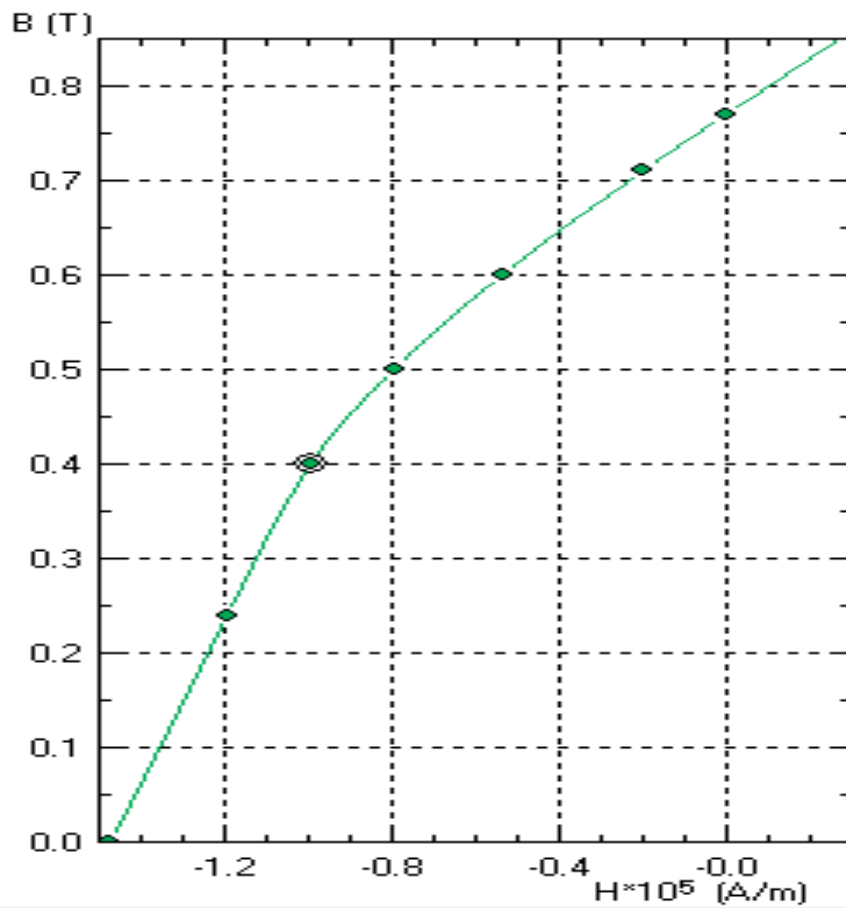
Εικόνα 5

Με βάση τα προηγούμενα και την βοήθεια του Πίνακα 2 θα σχεδιάσουμε την χαρακτηριστική B-H.

H(A/m)	-147218	-119400	-99470	-79580	-53710	-19890	0.0
B(T)	0.0	0.24	0.4	0.5	0.6	0.71	0.77

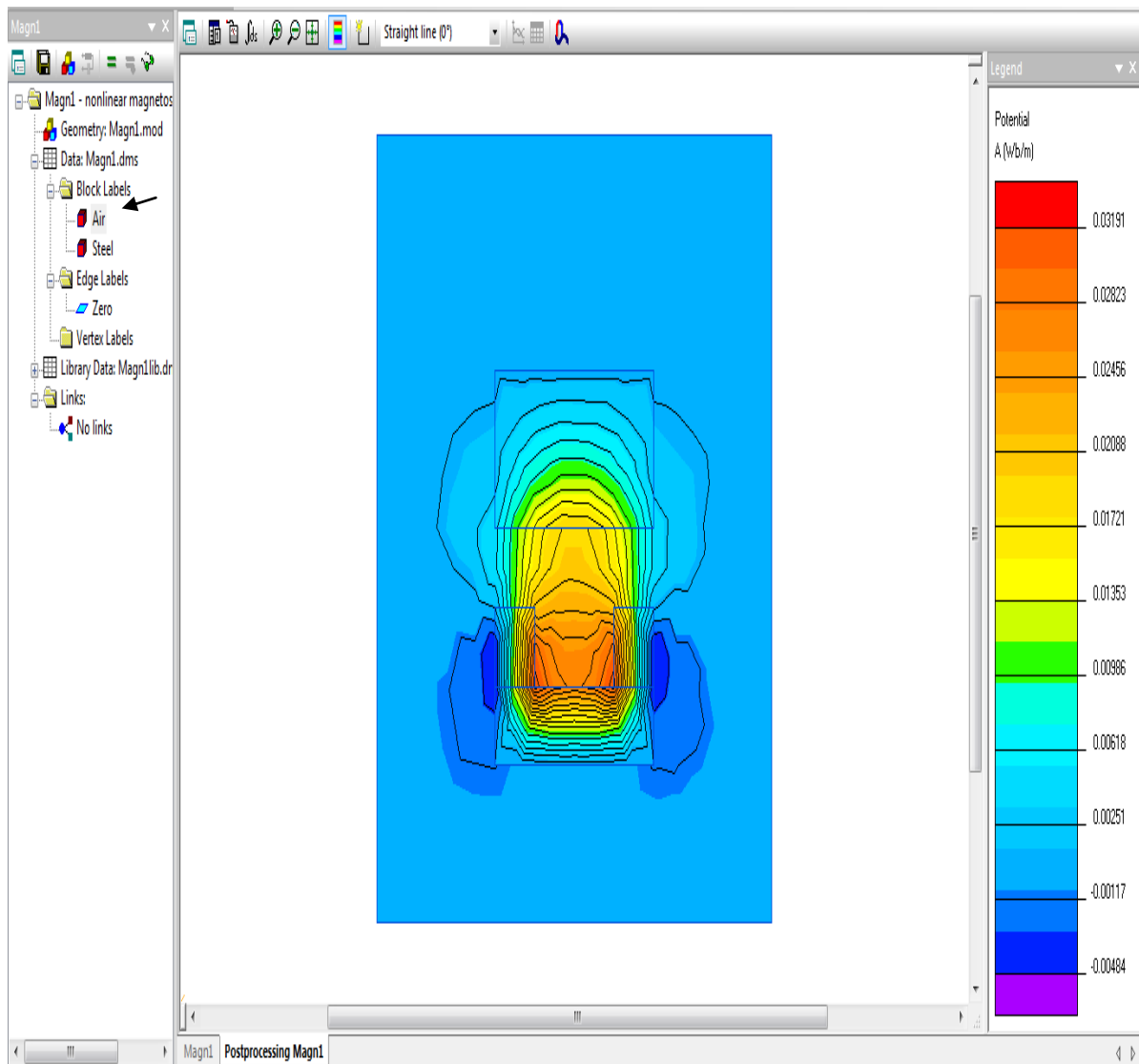
Πίνακας 2

Οι μόνιμοι μαγνήτες που είναι φτιαγμένοι από ατσάλι, έχουν απομαγνητίζουσα δύναμη 147218 A/M. Οι πολώσεις των μαγνητών είναι κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα απέναντι ο ένας στον άλλον. Η καμπύλη B-H απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 6

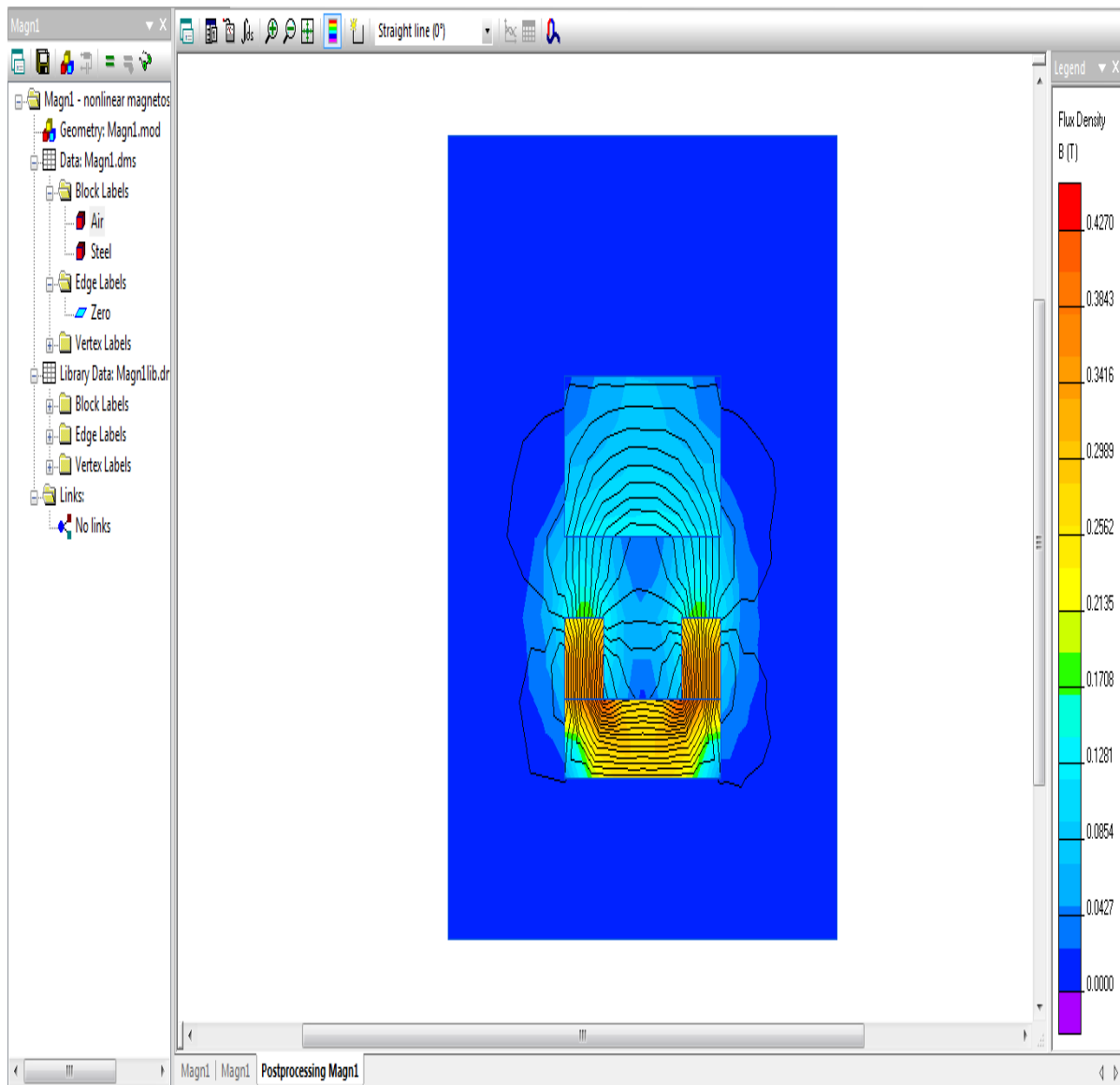
Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η κατανομή του μαγνητικού δυναμικού στον αέρα και στο υλικό που χρησιμοποιήσαμε. Παρατηρούμε ότι όσο απομακρύνεται από το υλικό η διαφορά δυναμικού ελαττώνεται αισθητά.



Εικόνα 7

Κατανομή μαγνητικού δυναμικού

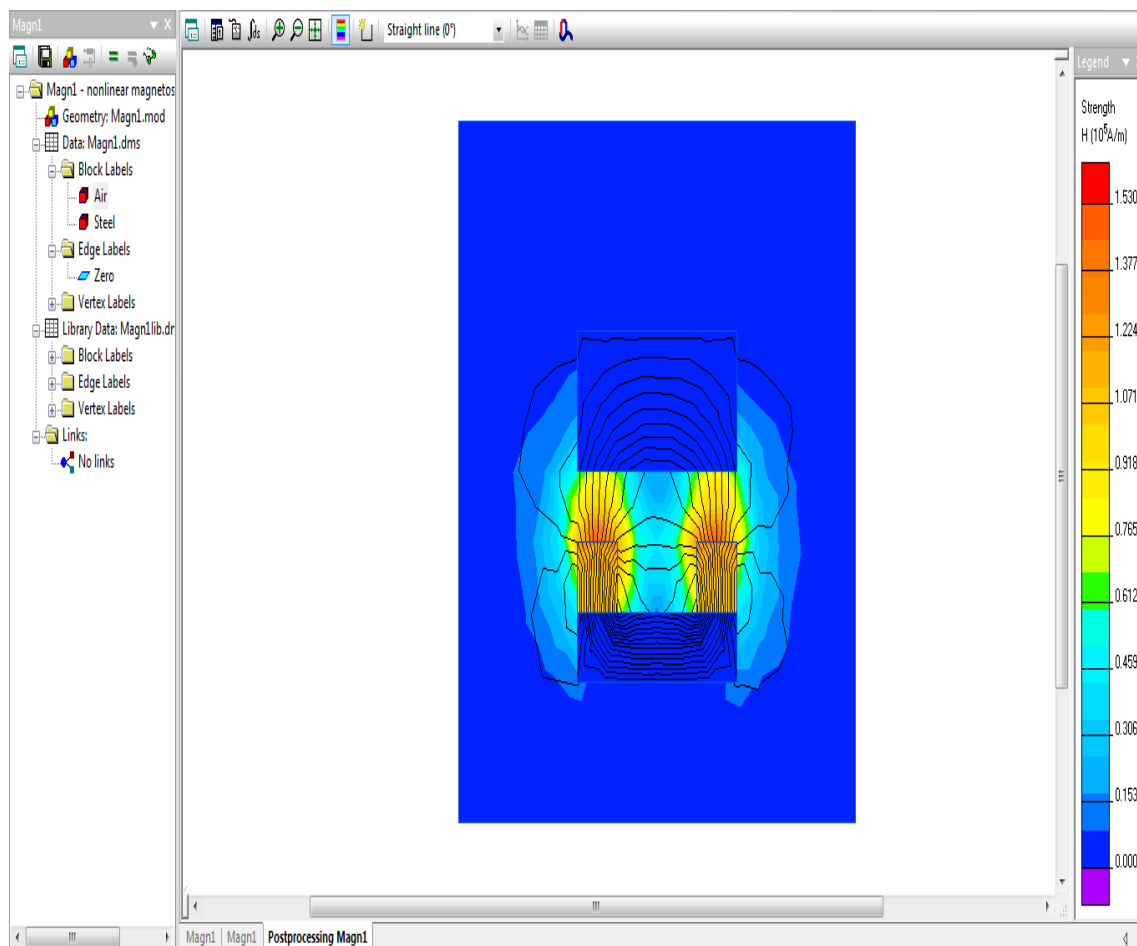
Παρακάτω βλέπουμε τη πυκνότητα της μαγνητικής ροής στον αέρα και στο υλικό που χρησιμοποιήσαμε . Όσο πλησιάζουμε το υλικό μας τόσο αυξάνεται η πυκνότητα μαγνητικής ροής.



Εικόνα 8

Πυκνότητα μαγνητικής ροής

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η ένταση μαγνητικού πεδίου στον αέρα και στο υλικό που χρησιμοποιήσαμε .



Εικόνα 9

Ένταση μαγνητικού πεδίου

1.2 Ανάλυση μεταβατικών φαινομένων μαγνητικού πεδίου

Η μεταβατική ανάλυση επιτρέπει τον υπολογισμό μαγνητικών πεδίων σε σταθερή και μεταβατική κατάσταση δίνοντας τη δυνατότητα στο χρήστη να σχεδιάσει ποικιλία AC/DC συσκευών, όπως ηλεκτρικές μηχανές, μετασχηματιστές κ.α. Γενικά το ενδιαφέρον των μεταβατικών φαινομένων σε μαγνητικά πεδία είναι οι χρονικά μεταβαλλόμενες τιμές της μαγνητικής ροής, της έντασης πεδίου, εξωτερικές και συνολικές πυκνότητες ρεύματος δυνάμεις, ροπές κ.α. Τα μεταβατικά φαινόμενα μαγνητικού πεδίου μπορούν να εξομοιωθούν με τη βοήθεια ηλεκτρικού κυκλώματος. Το ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να περιέχει αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία, και στερεούς αγωγούς μέσα στο πεδίο.

Ιδιότητες υλικών: το μόνο που αλλάζει στις ιδιότητες των υλικών είναι ότι εδώ μπορεί να εισαχθεί χρονικά εξαρτημένο μέγεθος. Για παράδειγμα η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υλικού μπορεί να εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Τα δεδομένα αυτά μπορεί ο χρήστης να τα εισάγει σε μορφή διαγράμματος με τη βοήθεια του Curve Editor.

Ηλεκτρικές πηγές: δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει χρονικά εξαρτημένες πηγές ρεύματος (ή πυκνότητες ρεύματος), ομοιόμορφο εξωτερικό πεδίο και μόνιμους μαγνήτες. Το ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να περιέχει άπειρες χρονικά εξαρτημένες πηγές ρεύματος και τάσης. Το Quick Field δίνει τη δυνατότητα με τον Formula Editor να καθοριστούν οι χρονικές μεταβολές των διαφόρων μεγεθών.

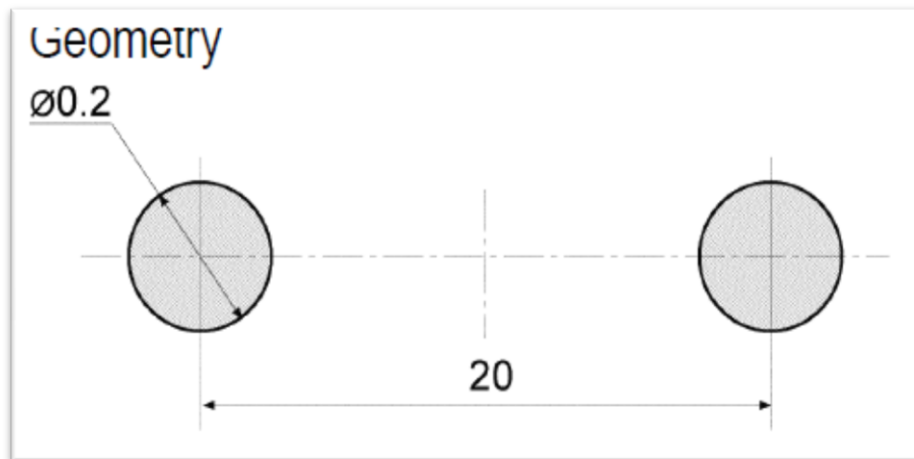
Οριακές συνθήκες: Μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε οριακές συνθήκες Dirichlet και οριακές συνθήκες Neumann.

Αποτελέσματα διεξαγωγής εξομοίωσης: μαγνητικό δυναμικό, πυκνότητα μαγνητικής ροής, ένταση μαγνητικού πεδίου, ασκούμενες δυνάμεις, ασκούμενη ροπή, ροή σύζευξης, αυτεπαγωγές και αμοιβαίες επαγωγές.

Εξειδικευμένες λειτουργίες: Το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει διάφορα μεγέθη σύμφωνα με την επιφάνεια (ή το περίγραμμα) που θα επιλέξει ο χρήστης. Τα αποτελέσματα των ασκούμενων δυνάμεων που προκαλούνται από επίδραση μαγνητικού πεδίου μπορούν να εισαχθούν και στη μηχανική ανάλυση πιέσεων και να δώσουν την πιθανή παραμόρφωση του υλικού. Η παραγόμενη θερμότητα στους αγωγούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση μεταβατικών φαινομένων μεταφοράς θερμότητας (ηλεκτροθερμικό μοντέλο).

Εφαρμογή : Ανάλυση μεταβατικών φαινομένων μαγνητικών πεδίων

TEMagn2 : Μελέτη μεταβατικών φαινομένων κατά την ανάπτυξη δινορευμάτων μεταξύ ζεύγους αγωγών.



Εικόνα 10

Η γραμμή μεταφοράς αποτελείται από δύο αγωγούς χαλκού με ίσα αλλά με αντίθετα ρεύματα. Όλες οι διαστάσεις είναι σε mm.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

- i. Μαγνητική διαπερατότητα στον αέρα είναι $\mu=1$
- ii. Μαγνητική διαπερατότητα στον χαλκό είναι $\mu=1$
- iii. Η αγωγιμότητα του χαλκού είναι $\sigma=56000000$ A/m
- iv. Η εφαρμοζόμενη τάση είναι $U=0,001$ V

ΛΥΣΗ

Για να σχεδιάσουμε την γραφική παράσταση του ρεύματος με το χρόνο θα πρέπει να υπολογίσουμε τα ρεύματα. Αυτό μπορούμε να το πραγματοποιήσουμε με τον παρακάτω τρόπο:

1. Υπολογίζουμε την αντίσταση ενός αγωγού, αυτό γίνεται ως εξής:

$$R_{\text{cond}} = l / (g \cdot S)$$

Οπου,

$S = \pi r^2$, η επιφάνεια της διατομής του αγωγού.

R , η ακτίνα του αγωγού.

l , το μήκος της γραμμής.

$$R_{\text{cond}} = 1 / (56 \cdot 10^6 \cdot (\pi \cdot 0.0001^2)) = 0.5684 \text{ Ohm}$$

2. Η αντίσταση των δύο αγωγών υπολογίζεται:

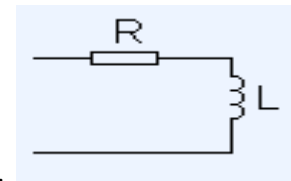
$$R = 2 \cdot R_{\text{cond}} = 2 \cdot 0.5684 = 1.1368 \text{ Ohm}$$

3. Η αυτεπαγωγή της γραμμής μεταφοράς μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$L = \mu_0 l / \pi \cdot (\ln(D/r) + 0.25)$, όπου D είναι απόσταση μεταξύ των αγωγών.

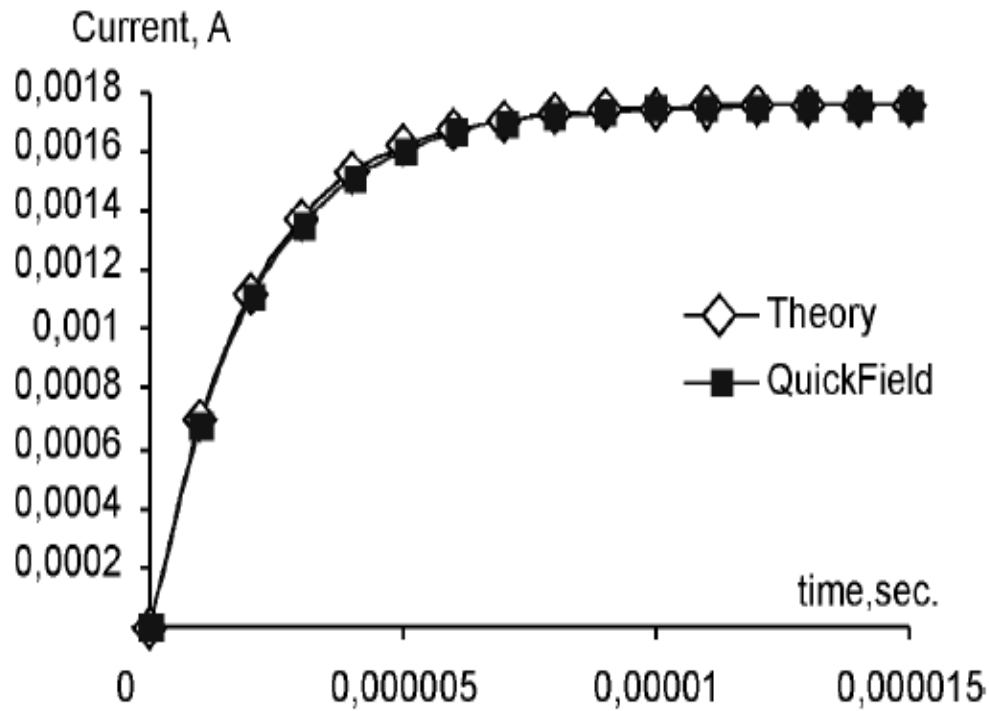
$$L = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 / \pi \cdot (\ln(0.02/0.0001) + 0.25) = 2.219 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$

4. Το παροδικό ρεύμα για ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα με συγκεντρωμένων παραμέτρους περιγράφεται από τον τύπο:



$I(t) = U/R \cdot (1 - e^{-t/T})$, όπου $T=L/R$, η σταθερά χρόνου του κυκλώματος.

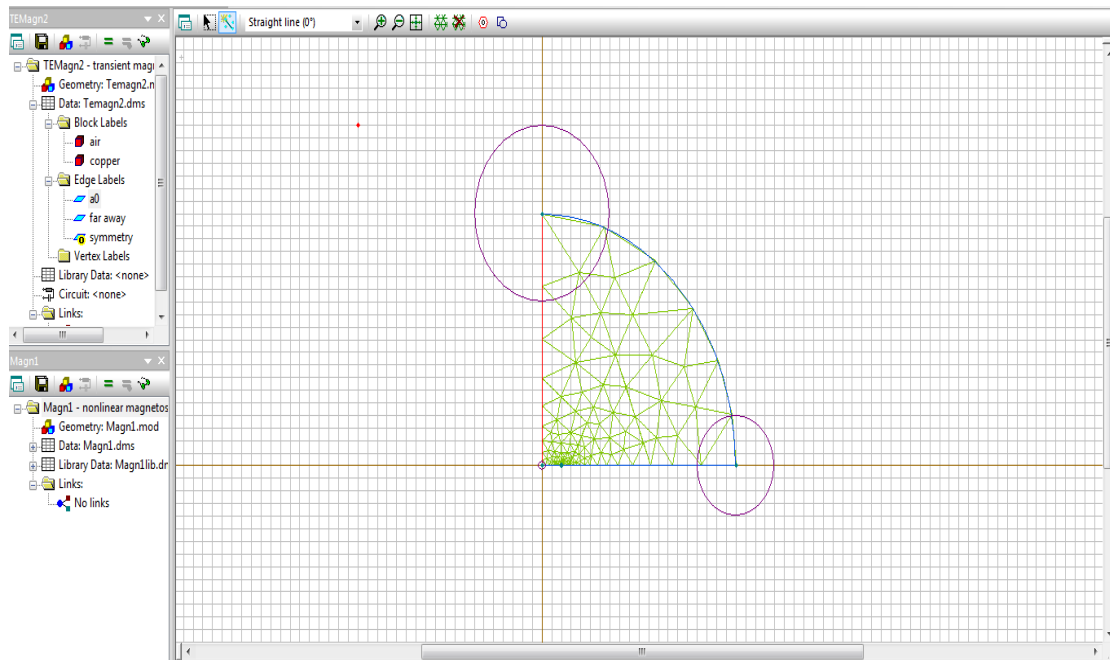
Με την βοήθεια των παραπάνω μπορούμε να απεικονίσουμε την παρακάτω γραφική.



Εικόνα 11

Παρατηρώντας την πιο πάνω γραφική των μεταβατικών ρευμάτων εντός των αγωγών σε σχέση με το χρόνο βλέπουμε ότι η γραφική που πραγματοποιείται από την θεωρία μας δεν διαφέρει πολύ με το QuickField.

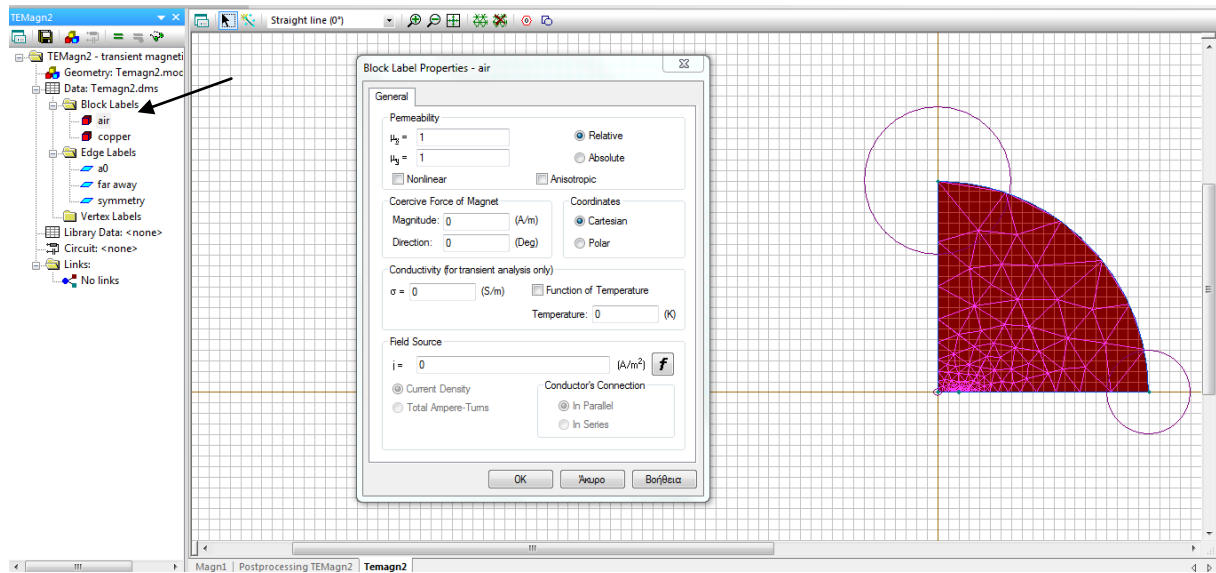
Πιο κάτω παρατηρούμε τον σχεδιασμό της γραμμής μεταφοράς. Επειδή το σχέδιο παρουσιάζει συμμετρία, για ευκολία στο σχεδιασμό του κυρίως χρησιμοποιούμε το 1/4 του σχεδίου.



Εικόνα 12

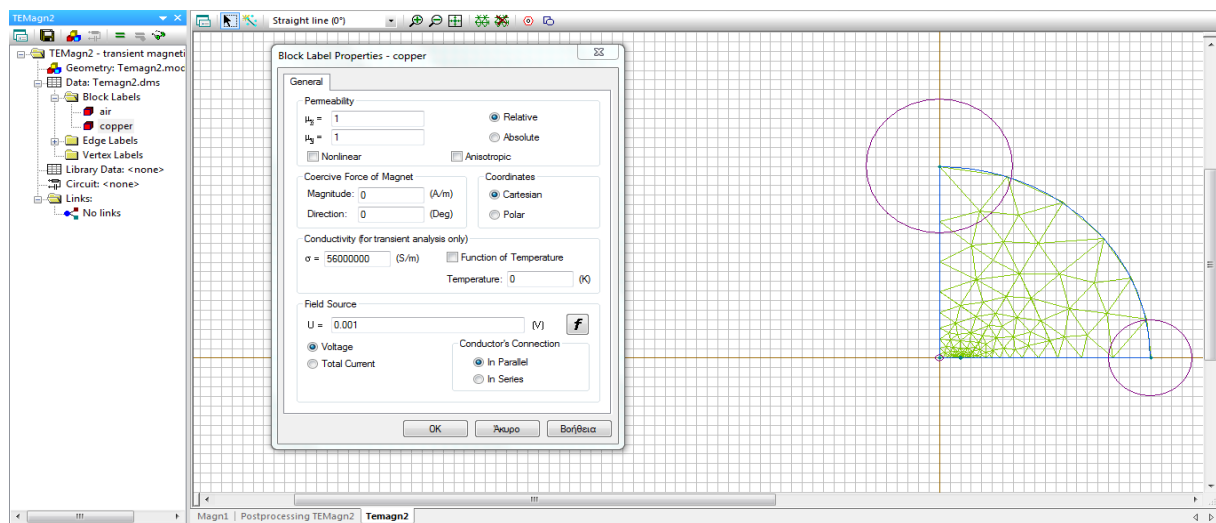
Σχεδίαση γραμμής μεταφοράς

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του αέρα είναι 1. Όταν επιλέξουμε την επιλογή air μας δίνει την δυνατότητα το πρόγραμμα να εισάγουμε εμείς διαφορετικές τιμές εμφανίζοντας το παράθυρο Block Label Properties - air (βλέπε εικ.13). Η B-H χαρακτηριστική είναι γραμμική οπότε δεν επιλέγουμε το nonlinear. Επίσης ο αέρας συμπεριφέρεται ως μονωτής οπότε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του είναι $\sigma=0$ S/m.



Εικόνα 13

Στα χαρακτηριστικά του υλικού μας η σχετική μαγνητική διαπερατότητα είναι και εδώ 1, ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα του χάλκινου αγωγού είναι 56000000 S/m. Η τάση που εφαρμόζεται είναι 0,001 V. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τα στοιχεία που προαναφέραμε και τις αντίστοιχες τιμές τους, βέβαια έχουμε και εδώ την δυνατότητα να επεμβούμε και να διαφοροποιήσουμε τις τιμές.



Εικόνα 14

1.3 Ανάλυση μαγνητικών πεδίων από εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα

Η ανάλυση AC μαγνητικών πεδίων μελετά πεδία που προκαλούνται από εναλλασσόμενα ρεύματα και αντίστροφα, ηλεκτρικά πεδία που επάγονται από μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία και ανάπτυξη δινορευμάτων. Αυτό το είδος ανάλυσης είναι χρήσιμο σε διάφορες ηλεκτρικές συσκευές, σωληνοειδή, ηλεκτρικές μηχανές κ.α. Γενικά το ενδιαφέρον σε αυτό τον τομέα ανάλυσης στρέφεται στον υπολογισμό μεγεθών όπως ένταση ρεύματος, διαφορά δυναμικού, πιθανή παραγόμενη θερμότητα λόγω φαινομένου Joule, πυκνότητα μαγνητικής ροής, ένταση πεδίου, ασκούμενες δυνάμεις και ροπές, εμπέδηση και αγωγιμότητα. Το ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να περιέχει αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία, και στερεούς αγωγούς υπό την επίδραση του μαγνητικού πεδίου. Μια ειδική εφαρμογή της AC ανάλυσης είναι η μη γραμμική ανάλυση. Επιτρέπει στο χρήστη να κάνει ακριβείς υπολογισμούς σχετικά με τη συμπεριφορά σιδηρομαγνητικών υλικών, υπολογισμούς όπου στη μεταβατική ανάλυση θα απαιτούσαν πολύ περισσότερο χρόνο μελέτης.

Οι παρακάτω επιλογές είναι διαθέσιμες για την ανάλυση μαγνητικών AC πεδίων :

Ιδιότητες υλικών: δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να σχεδιάσει και να εξομοιώσει τα μαγνητικά χαρακτηριστικά οποιουδήποτε υλικού με σταθερή μαγνητική διαπερατότητα ή ιστροπικούς μαγνήτες, καθώς και ηλεκτροφόρους αγωγούς για δεδομένη τάση ή ρεύμα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα πολλές φορές εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Η σχέση αγωγιμότητας - θερμοκρασίας δίνεται υπό μορφή πίνακα χρησιμοποιώντας τον Curve Editor. Η θερμοκρασία μπορεί να καθοριστεί σε καθένα μπλόκ (τμήμα σχεδίασης) ξεχωριστά με τη μορφή συντεταγμένων. Εξάλλου, το πεδίο της θερμοκρασίας μπορεί να εισαχθεί από ένα πρόβλημα μεταφοράς θερμότητας.

Ηλεκτρικές πηγές: δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει πηγές τάσης και ρεύματος, να εισάγει την πυκνότητα ρεύματος σε κάποιο αγωγίμο τμήμα ή ακόμα να εφαρμόσει στο σχέδιο του ομοιόμορφο εξωτερικό πεδίο. Σε περίπτωση που ο χρήστης σχεδιάσει και το ανάλογο ηλεκτρικό κύκλωμα, αυτό μπορεί να περιέχει οποιοδήποτε αριθμό από εξαρτημένες-χρονικά πηγές ρεύματος και τάσης.

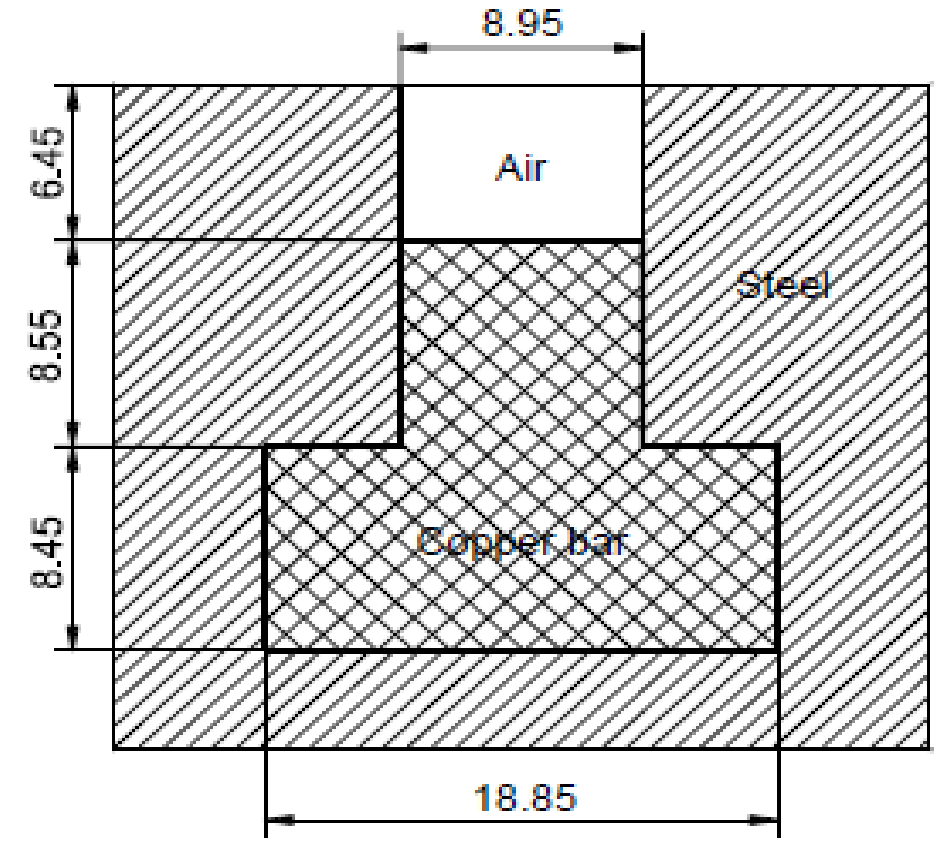
Οριακές συνθήκες: Μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε οριακές συνθήκες Dirichlet και οριακές συνθήκες Neumann.

Αποτελέσματα διεξαγωγής εξομοίωσης: μαγνητικό δυναμικό, πυκνότητα μαγνητικής ροής, ένταση μαγνητικού πεδίου, ασκούμενες δυνάμεις, ασκούμενη ροπή, ροή σύζευξης, αυτεπαγωγές και αμοιβαίες επαγωγές.

Εξειδικευμένες λειτουργίες: Το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει διάφορα μεγέθη σύμφωνα με την επιφάνεια (ή το περίγραμμα) που θα επιλέξει ο χρήστης. Οι μαγνητικές δυνάμεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια νέα ανάλυση πιέσεων από οποιαδήποτε ανάλυση κι αν προέρχονται τα δεδομένα. Επίσης πολλές φορές όταν υπολογίζουμε απώλειες ισχύος, αυτές μπορούν να θεωρηθούν ως πηγή θερμότητας για ανάλυση θερμότητας (ηλεκτρο - θερμικό ζεύγος).

Εφαρμογή: Ανάλυση AC μαγνητικών πεδίων

HMagn1 : Αγωγός μέσα σε αυλάκι



Εικόνα 15

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

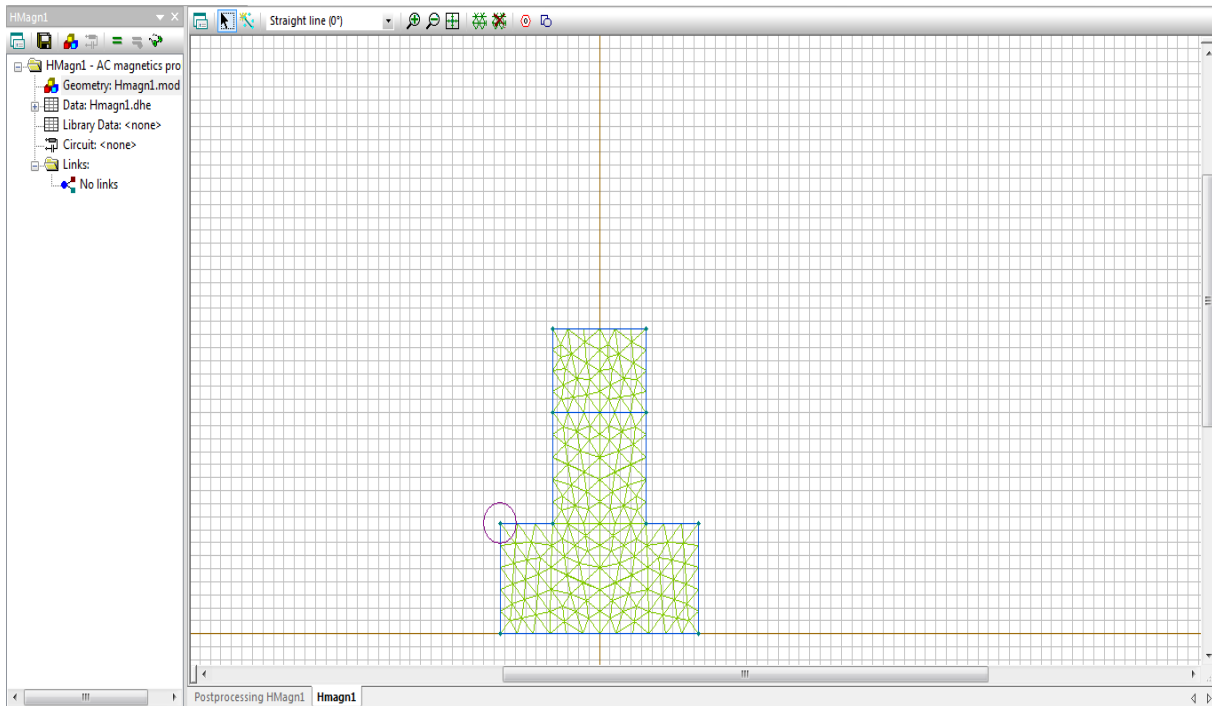
- i. Μαγνητική διαπερατότητα του αέρα $\mu=1$
- ii. Μαγνητική διαπερατότητα του χαλκού $\mu=1$
- iii. Αγωγιμότητα του χαλκού $\sigma=58,005 \cdot 10^6$ S/m
- iv. Το ρεύμα στον αγωγό $I=1$ A
- v. Συχνότητα $f=50$ Hz

ΛΥΣΗ

Υποθέτουμε ότι η σχισμή του χάλυβα είναι διαπερατή και μπορεί να αντικατασταθεί με μια οριακή συνθήκη Neuman. Μπορούμε επίσης να υποθέσουμε ότι η ροή περιέχεται εντός της υποδοχής, έτσι μπορούμε να βάλουμε μια οριακή συνθήκη Dirichlet στο πάνω μέρος της υποδοχής. Η σύνθετη αντίσταση ανά μονάδα μήκους του αγωγού μπορεί να ληφθεί από την εξίσωση

$$Z = \frac{V}{I},$$

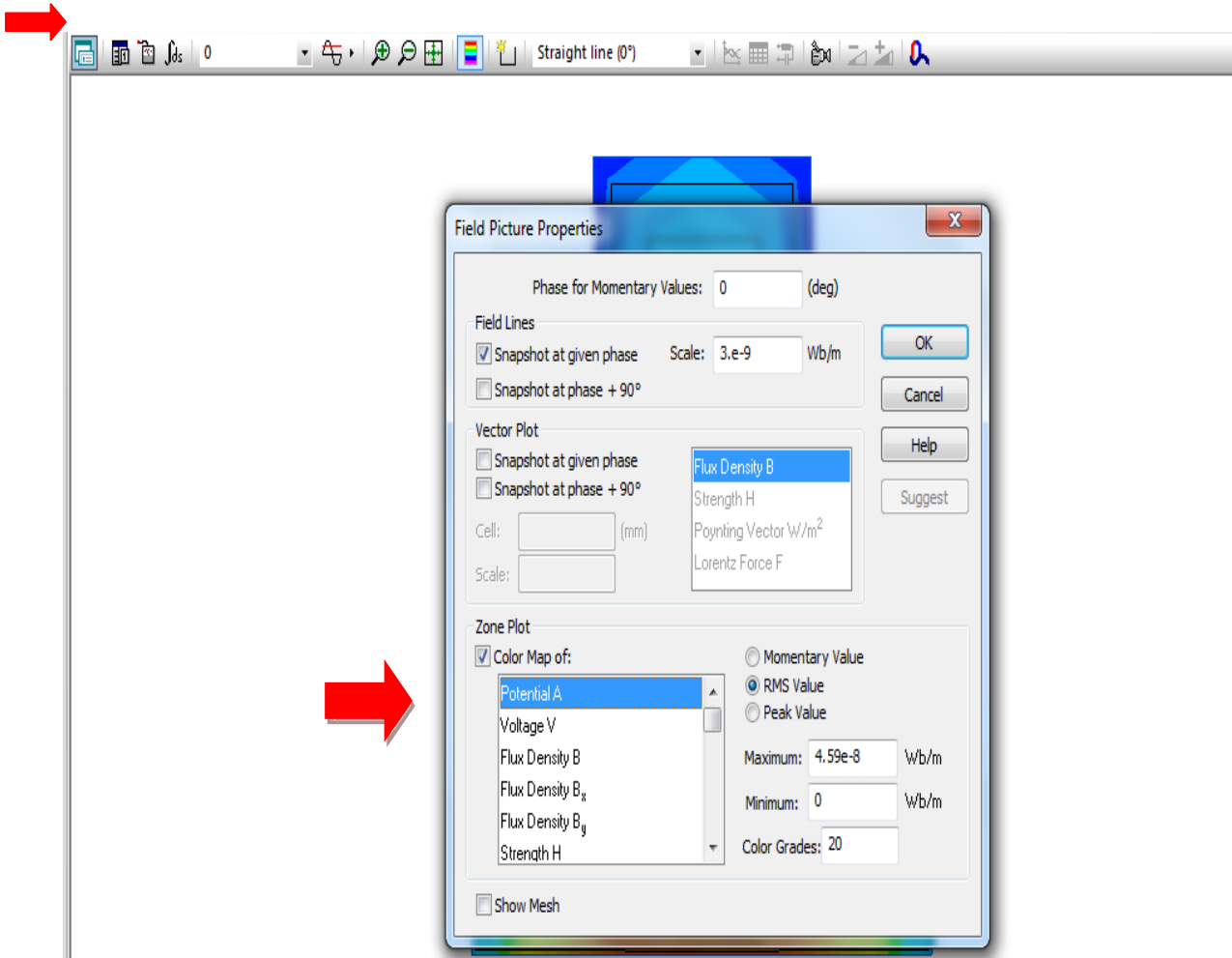
όπου V είναι μια πτώση τάσης ανά μονάδα μήκους. Αυτή η πτώση τάσης μπορεί να ληφθεί μέσω Postprocessor (επιλέξτε αποτελέσματα, Ανάλυση, Αξίες, Complex, και στη συνέχεια να πάρει ένα αυθαίρετο σημείο εντός του αγωγού).



Εικόνα 16

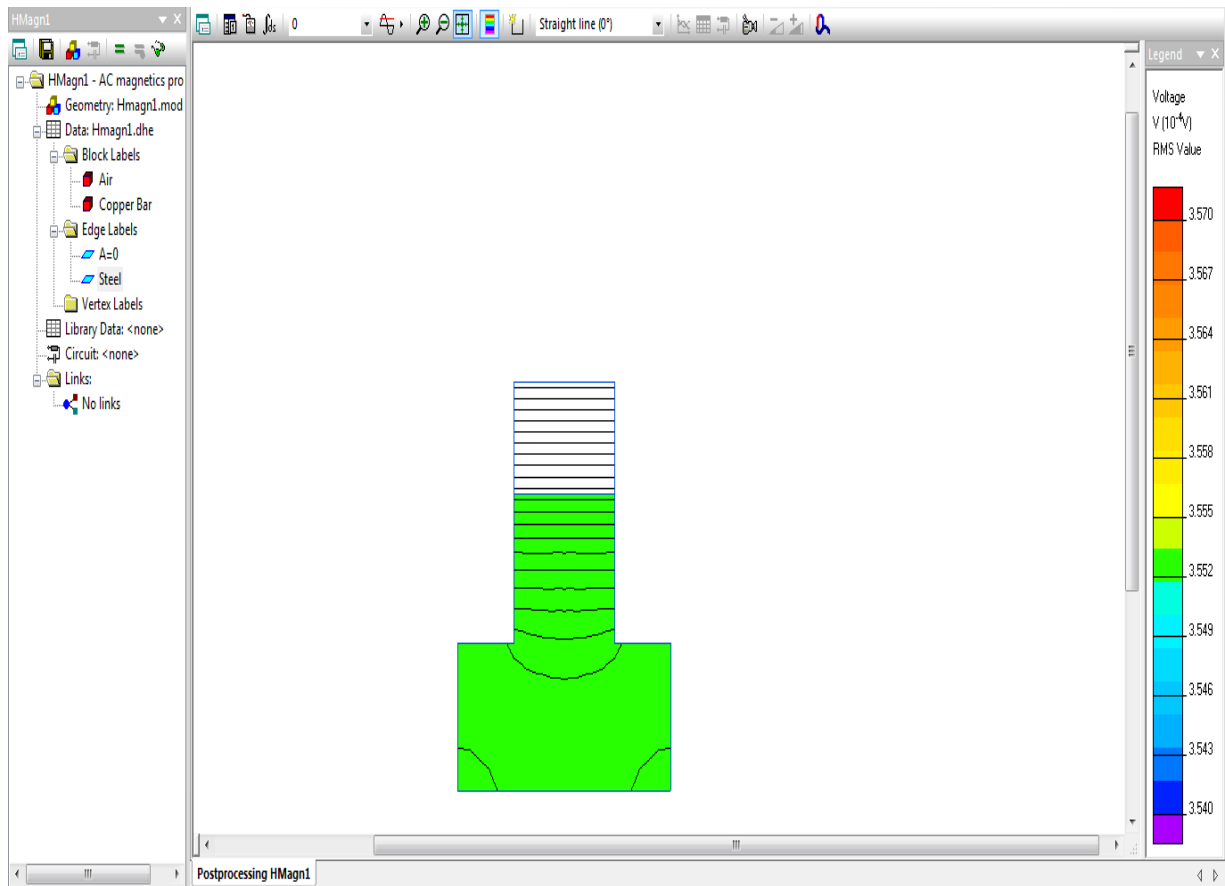
Σχεδίαση

Επιλέγοντας την επιλογή Field Picture Properties μπορούμε να δούμε διάφορες κατανομές όπως θα δούμε και πιο κάτω.



Εικόνα 17

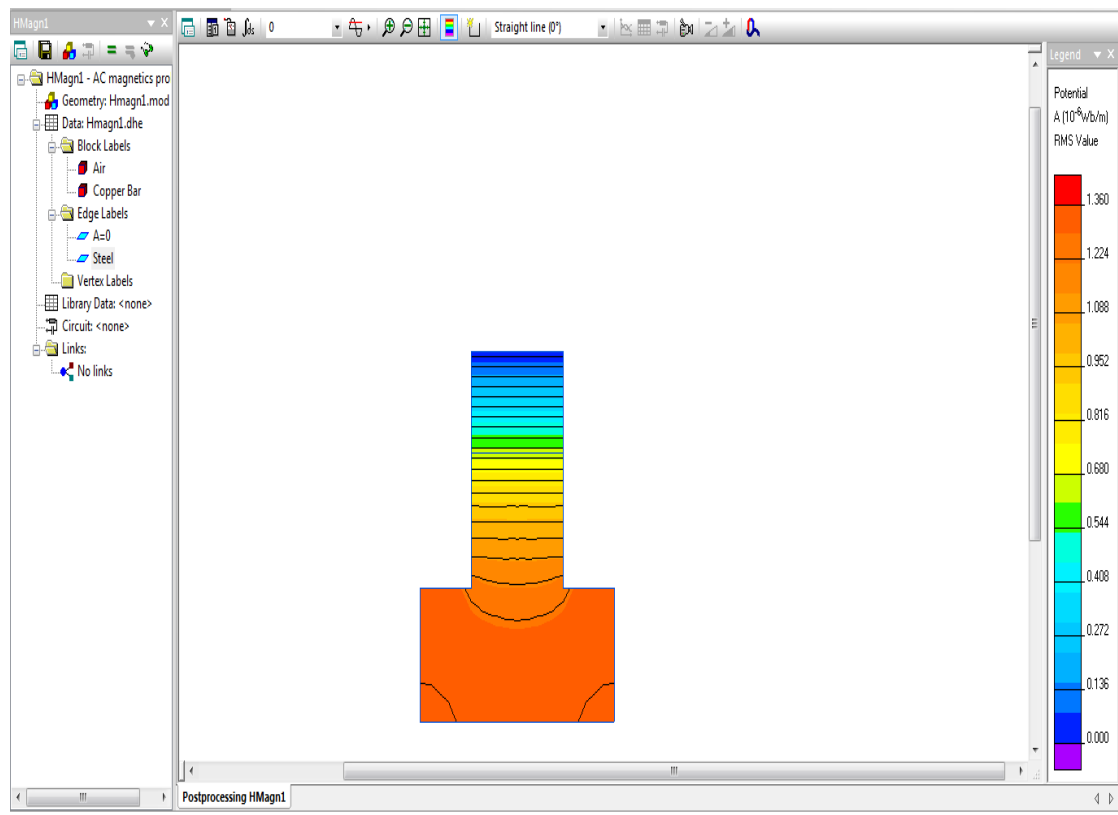
Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε την διαφορά δυναμικού:



Εικόνα 18

Κατανομή διαφοράς δυναμικού στο σχέδιο

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η πυκνότητα μαγνητικής ροής, παρατηρούμε όσο απομακρύνεται από το υλικό μας και πλησιάζει προς τον αέρα ελαττώνεται.



Εικόνα 19

Πυκνότητα μαγνητικής ροής

1.4 Ανάλυση στατικών ηλεκτρικών πεδίων

Η ανάλυση αυτή χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και την ανάλυση συστημάτων στα οποία αναπτύσσονται χωρητικότητες όπως ασφάλειες, γραμμές μεταφοράς κ.α. Γενικά το ενδιαφέρον σε αυτό τον τομέα ανάλυσης στρέφεται στον υπολογισμό μεγεθών όπως διαφορές δυναμικού, ηλεκτροστατικά πεδία, χωρητικότητες και ηλεκτρικές δυνάμεις.

Το Quick Field μπορεί να πραγματοποιήσει γραμμική ηλεκτροστατική ανάλυση σε δισδιάστατο ή αξονοσυμμετρικό περιβάλλον. Το πρόγραμμα βασίζεται στην εξίσωση Poisson. Οι παρακάτω επιλογές είναι διαθέσιμες για την ανάλυση αυτή:

Ιδιότητες υλικών: δίνεται η δυνατότητα να σχεδιάσεις και να εξομοιώσεις τα μαγνητικά χαρακτηριστικά οποιουδήποτε υλικού με σταθερή μαγνητική διαπερατότητα.

Ηλεκτρικές πηγές: Για πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν πηγές τάσης ή πυκνότητα ηλεκτρικού φορτίου.

Οριακές συνθήκες: στα οριακά σημεία του σχεδιασμένου τμήματος μπορείς να εισάγεις διαφορά δυναμικού, τιμές για την παράγωγο της επιφανειακής φόρτισης κ.α.

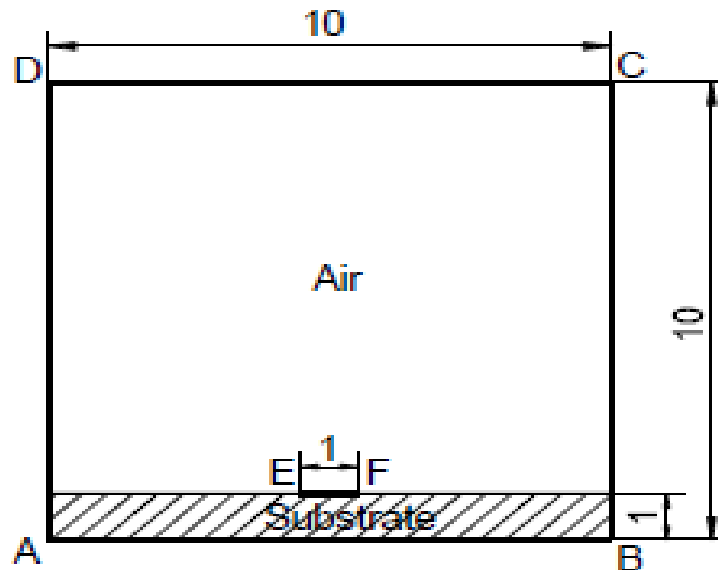
Αποτελέσματα διεξαγωγής εξομοίωσης: Μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε οριακές συνθήκες Dirichlet και οριακές συνθήκες Neumann.

Εξειδικευμένες λειτουργίες: Το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει διάφορα μεγέθη σύμφωνα με την επιφάνεια (ή το περίγραμμα) που θα επιλέξει ο χρήστης. Μπορεί να σχεδιάσει κυμαινόμενο αγωγό για δεδομένο φορτίο με άγνωστη τάση. Το Quick Field παρέχει στο χρήστη μια εφαρμογή ώστε να μπορεί να υπολογίζει χωρητικότητες.

Εφαρμογή : Ανάλυση ηλεκτροστατικών πεδίων

Elec1 : Microstrip Transmission Line

Η γραμμή μετάδοσης κατευθύνεται κατά μήκος του άξονα z, όπου η διατομή του εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα. Το ορθογώνιο ABCD είναι ένα τμήμα της μόνωσης, η γραμμή αντιπροσωπεύει μία λωρίδα EF του αγωγού.



Εικόνα 20

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

- i. Σχετική διηλεκτρική σταθερά του αέρα $\epsilon = 1$
- ii. Σχετική διηλεκτρική σταθερά του υποστρώματος $\epsilon = 10$.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Να προσδιοριστεί η χωρητικότητα μιας γραμμής μετάδοσης.

ΛΥΣΗ

Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό της χωρητικότητας της γραμμής:

Πως θα εφαρμόσετε κάποιες ξεχωριστές δυνατότητες για τη θωράκιση και την ταινία και για τον υπολογισμό της επιβάρυνσης που προκύπτει για την ταινία?

Για να εφαρμοστεί μηδενικό δυναμικό στην θωράκιση και στην λωρίδα που έχουν σταθερό αλλά άγνωστο δυναμικό και φέρουν το φορτίο, θα πρέπει στη συνέχεια να μετρηθεί το δυναμικό που προκύπτει κατά την ταινία.

Και οι δύο αυτές προσεγγίσεις κάνουν χρήση της εξίσωσης για τη χωρητικότητα:

$$C=q/U$$

Άλλες πιθανές προσεγγίσεις με βάση τον υπολογισμό της αποθηκευμένης ενέργειας του ηλεκτρικού πεδίου.
Όταν η τάση είναι γνωστή:

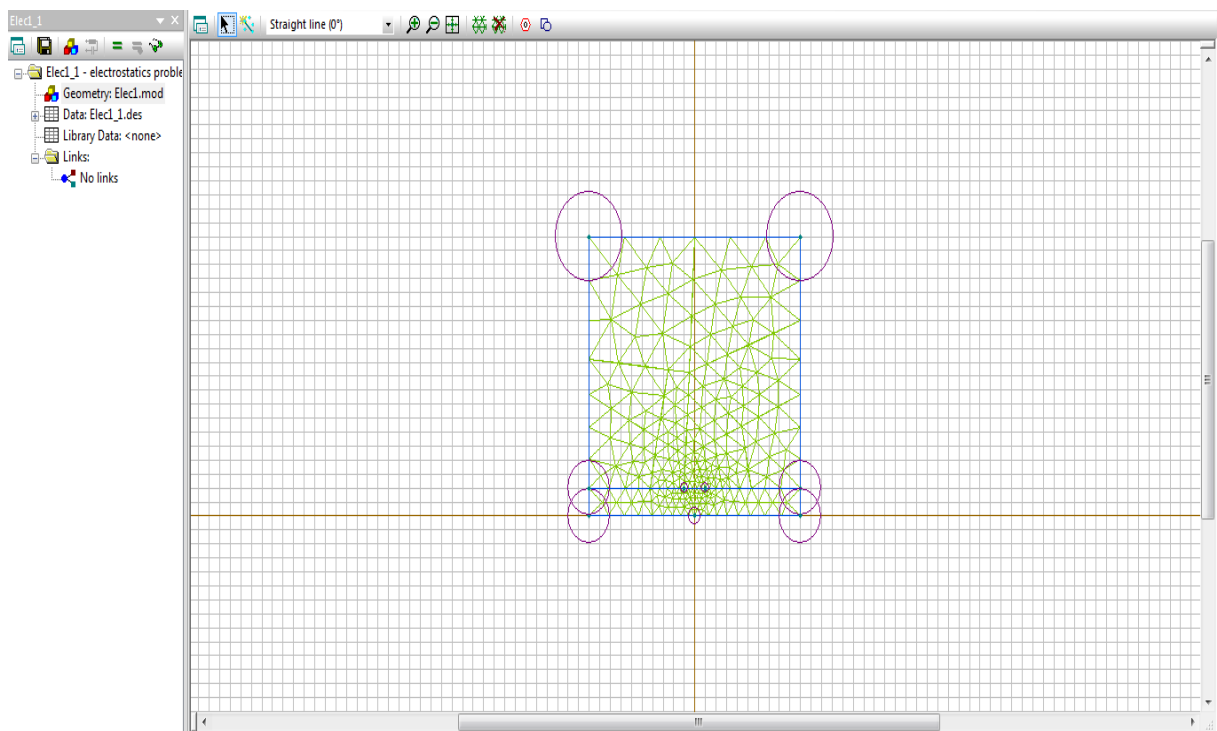
$$C=2W/U^2$$

και όταν το φορτίο είναι γνωστό:

$$C=q^2/2W$$

Αν πειραματιστούμε με αυτό το παράδειγμα θα μας δείξει ότι η ενέργεια προσέγγισης βασίζεται λιγότερο στην ακρίβεια από ό, τι στις προσεγγίσεις με βάση το φορτίο και την τάση. Η πρώτη προσέγγιση θα πρέπει να πάρει το φορτίο ως ένα αναπόσπαστο τμήμα κατά κάποιο περίγραμμα, και η δεύτερη να χρησιμοποιεί μόνο μια τοπική τιμή του δυναμικού, η οποία προσέγγιση αυτή είναι η απλούστερη και σε πολλές περιπτώσεις η πιο αξιόπιστη.

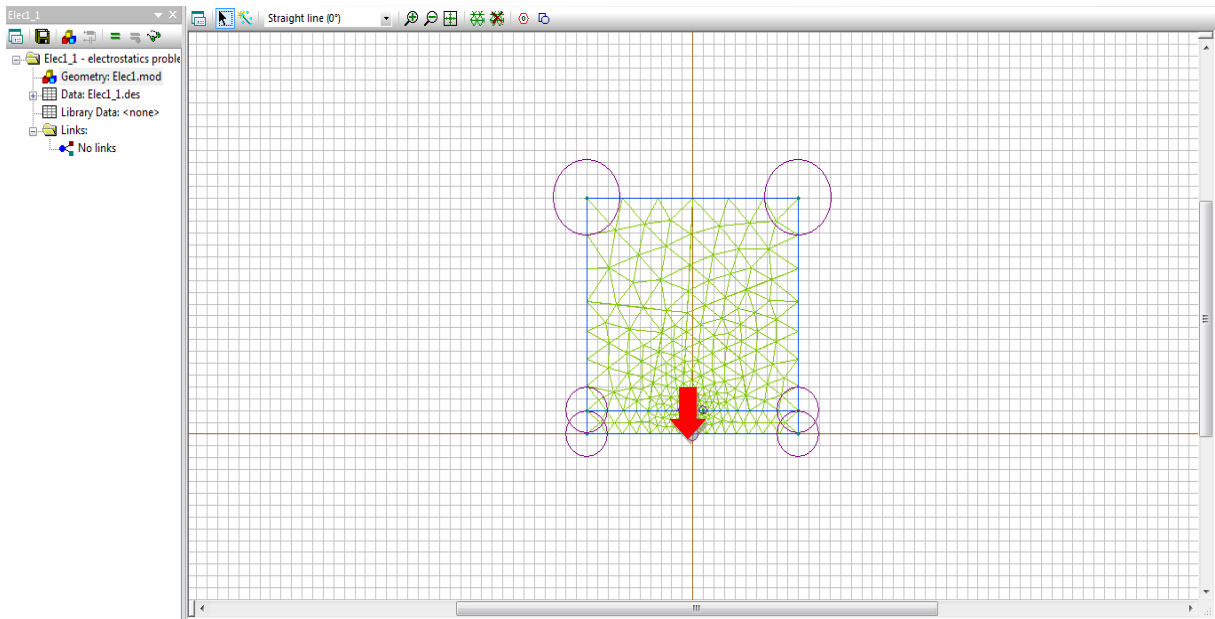
Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο σχεδιασμός της γραμμής μεταφοράς



Εικόνα 21

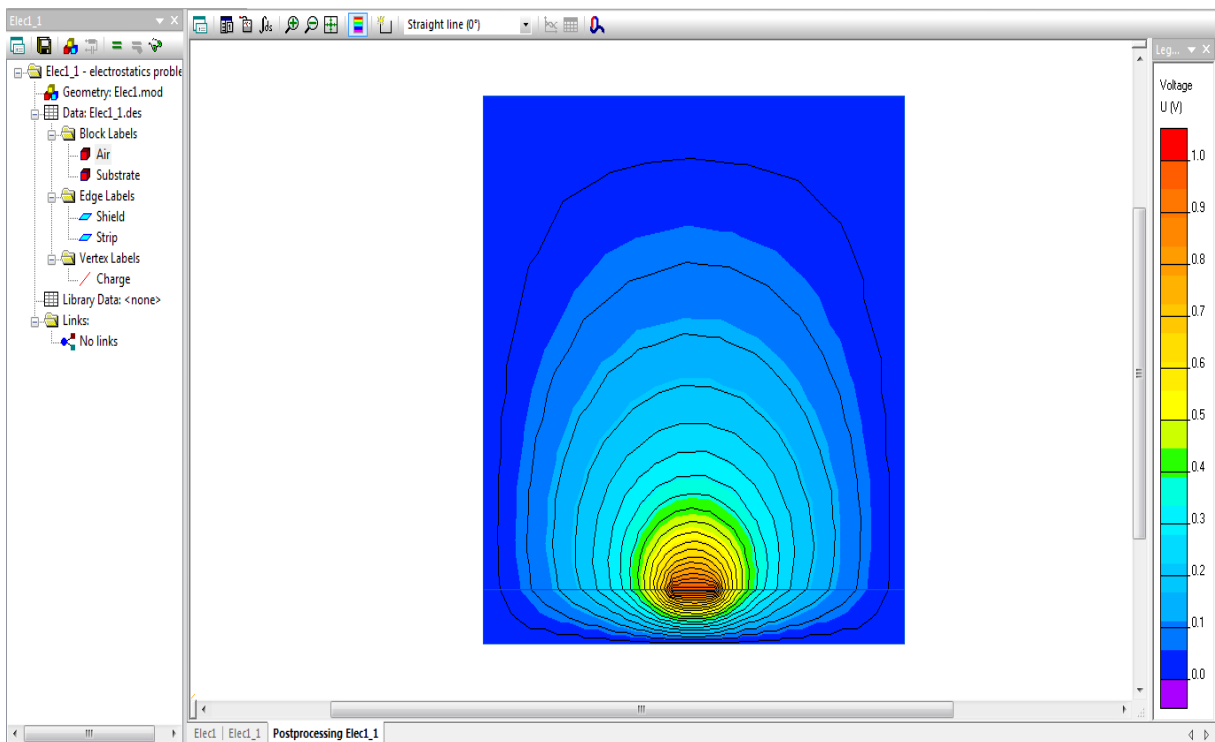
Σχεδιασμός γραμμής μεταφοράς

Πιο κάτω εκεί που μας δείχνει το βελάκι βλέπουμε την τάση $U=1V$ που εφαρμόζεται.



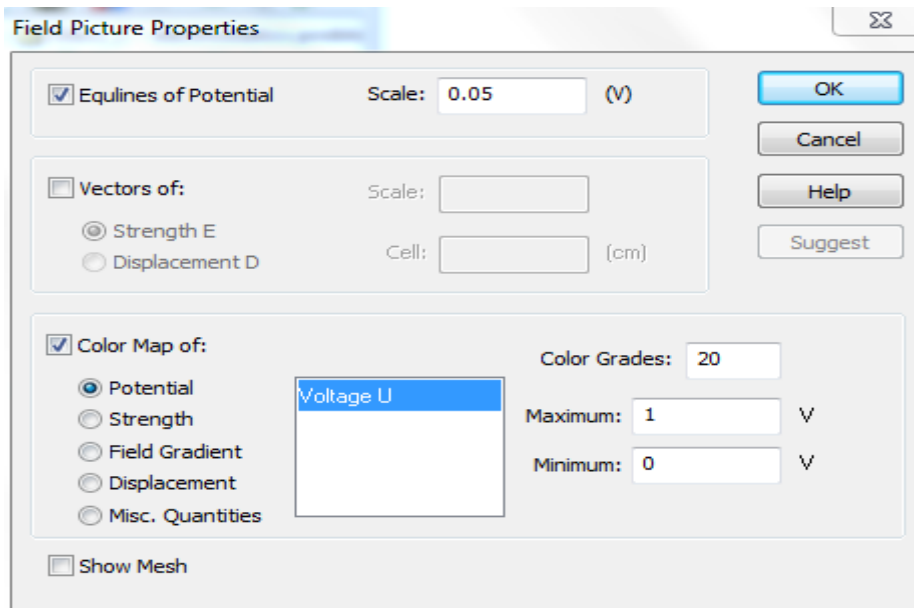
Εικόνα 22

Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε το δυναμικό της τάσης που διαμορφώνεται στην γραμμή μεταφοράς. Παρατηρούμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από το υπόστρωμα τόσο η τάση ελαττώνεται που κάποια στιγμή μηδενίζεται.



Εικόνα 23

Πιο κάτω παρατηρούμε το πώς μπορούμε να απεικονίσουμε και άλλα δυναμικά όπως πυκνότητα μαγνητικής ροής, ένταση μαγνητικού πεδίου κ.α.



Εικόνα 24

1.5 Ανάλυση DC αγωγιμότητας

Η ανάλυση αγωγιμότητας συνεχούς ρεύματος (DC) χρησιμοποιείται για πολλές εφαρμογές. Γενικά το ενδιαφέρον στρέφεται στον υπολογισμό DC τάσεων, πυκνότητας DC ρεύματος καθώς και απώλειες ισχύος (θερμικές απώλειες λόγω Joule).

Το Quick Field μπορεί να πραγματοποιήσει γραμμική ανάλυση DC αγωγιμότητας σε δισδιάστατο και αξονοσυμμετρικό περιβάλλον. Το πρόγραμμα βασίζεται στην εξίσωση Poisson. Οι παρακάτω επιλογές είναι διαθέσιμες για την ανάλυση DC αγωγιμότητας:

Ιδιότητες υλικών: δίνεται η δυνατότητα να εισάγεις υλικά με σταθερή αγωγιμότητα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υλικού συνήθως εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Η σχέση αγωγιμότητας - θερμοκρασίας καθορίζεται με τη βοήθεια του Curve Editor. Η τιμή της θερμοκρασίας μπορεί να οριστεί για κάθε τμήμα σχεδίασης με ένα σύστημα συντεταγμένων.

Ηλεκτρικές πηγές: Για πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν πηγές τάσης ή πυκνότητα ηλεκτρικού φορτίου.

Οριακές συνθήκες: στα οριακά σημεία του σχεδιασμένου τμήματος μπορείς να εισάγεις διαφορά δυναμικού, τιμές για την παράγωγο της επιφανειακής φόρτισης κ.α.

Αποτελέσματα διεξαγωγής εξομοίωσης: διαφορά δυναμικού, ηλεκτρικό πεδίο, επιφανειακό ηλεκτρικό ρεύμα (κυρίως χρησιμοποιείται για να υπολογίσεις ρεύμα διαρροής), και απώλειες ισχύος.

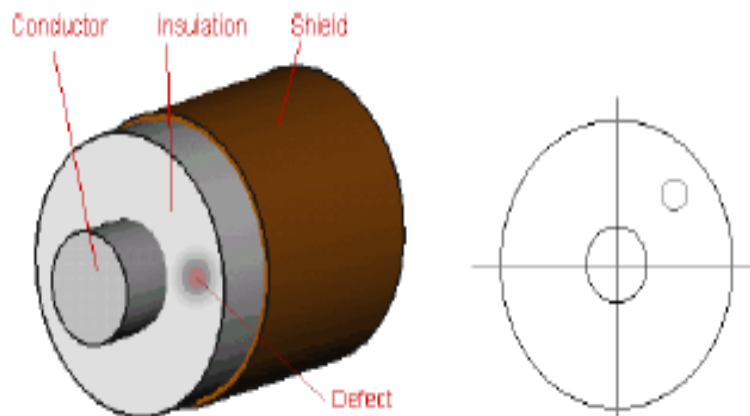
Εξειδικευμένες λειτουργίες: Μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε οριακές συνθήκες Dirichlet και οριακές συνθήκες Neumann.

Εφαρμογή : Υπολογισμός DC αγωγιμότητας

DC Cond1 : Μελέτη θερμικής αντοχής μόνωσης αγωγού που υποβάλλεται σε τάση διάσπασης 10 kV.

Η μόνωση καταστρέφεται σε ένα καλώδιο συνεχούς ρεύματος που υποβάλλεται σε τάση διάσπασης. Επίσης ο αγωγός βρίσκεται σε ιδιαίτερα θερμό περιβάλλον. Το ελάττωμα στη μόνωση προκαλεί τοπική υπερθέρμανση λόγω διαρροής ρεύματος. Στην εφαρμογή αυτή υπολογίζεται το ρεύμα διαρροής στην ελαττωματική μόνωση .

Στο σχήμα βλέπουμε την τομή του αγωγού. Στη μόνωση φαίνεται και το σημείο που έχει καταστραφεί η μόνωση.



Εικόνα 25

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα της μόνωσης γ - εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

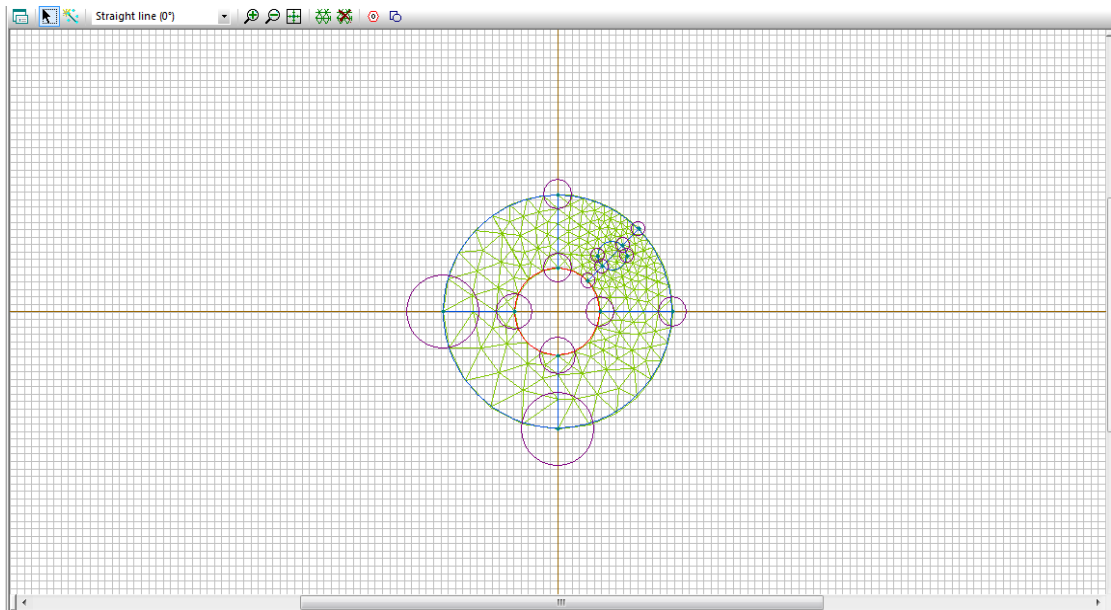
- i. Τάση στα άκρα του αγωγού $U = 10 \text{ kV}$
- ii. Θερμοκρασία καλωδίων $T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ (353 K)
- iii. Τοπική υπερθέρμανση $T_{\text{max}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ (393 K)

ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Υπολογίστε το ρεύμα διαροής στη μόνωση.

ΛΥΣΗ

Το βάθος του μοντέλου λαμβάνεται ως 10 cm (μήκος ελαττώματος περιοχής).

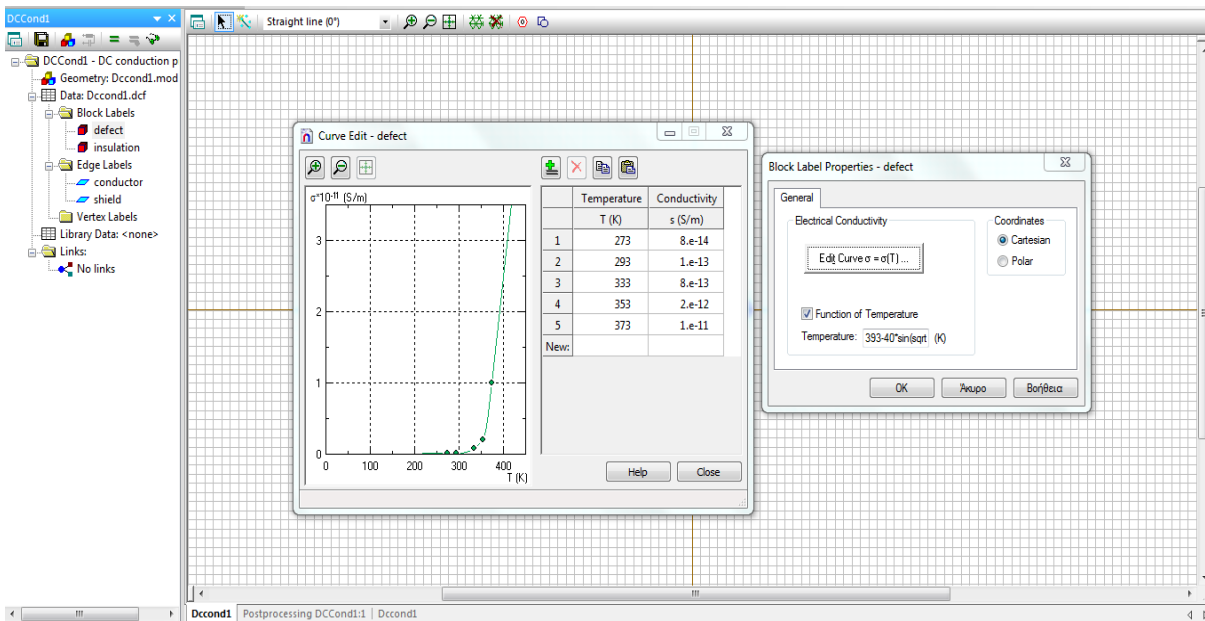


Εικόνα 26

Σχεδίαση τομής καλωδίου

Επειδή το σχέδιο παρουσιάζει συμμετρία , για ευκολία στο σχεδιασμό του κυρίως χρησιμοποιούμε το 1/4 του σχεδίου.

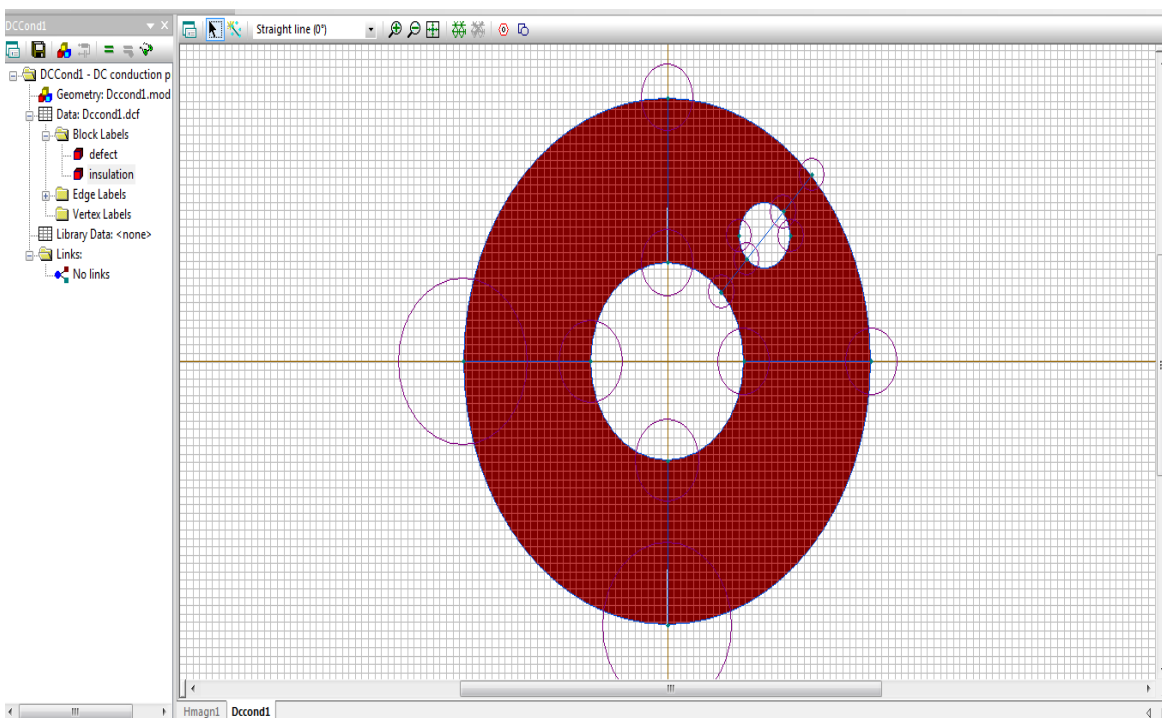
Παρακάτω βλέπουμε πως μπορούμε να απεικονίσουμε την χαρακτηριστική $\sigma(T)$. Αυτό γίνεται κάνοντας κλικ στην επιλογή defect (ελάττωμα). Έπειτα μας ανοίγει το παράθυρο Block Label Properties , όπου εκεί επιλέγουμε την επιλογή Edit Curve, τέλος μας βγάζει το παράθυρο Curve edit και εκεί έχουμε την δυνατότητα να εισάγουμε τις τιμές που χρειαζόμαστε (βλέπε εικ 27).



Εικόνα 27

Όπως απεικονίσαμε την ποιο παραπάνω χαρακτηριστική $\sigma(T)$ για το ελάττωμα του καλωδίου μας, μπορούμε επίσης να απεικονίσουμε και την χαρακτηριστική $\sigma(T)$ για την μόνωση μας με την μόνη διαφορά στην αρχή αντί να επιλέξουμε την επιλογή defect θα επιλέξουμε την επιλογή insulation.

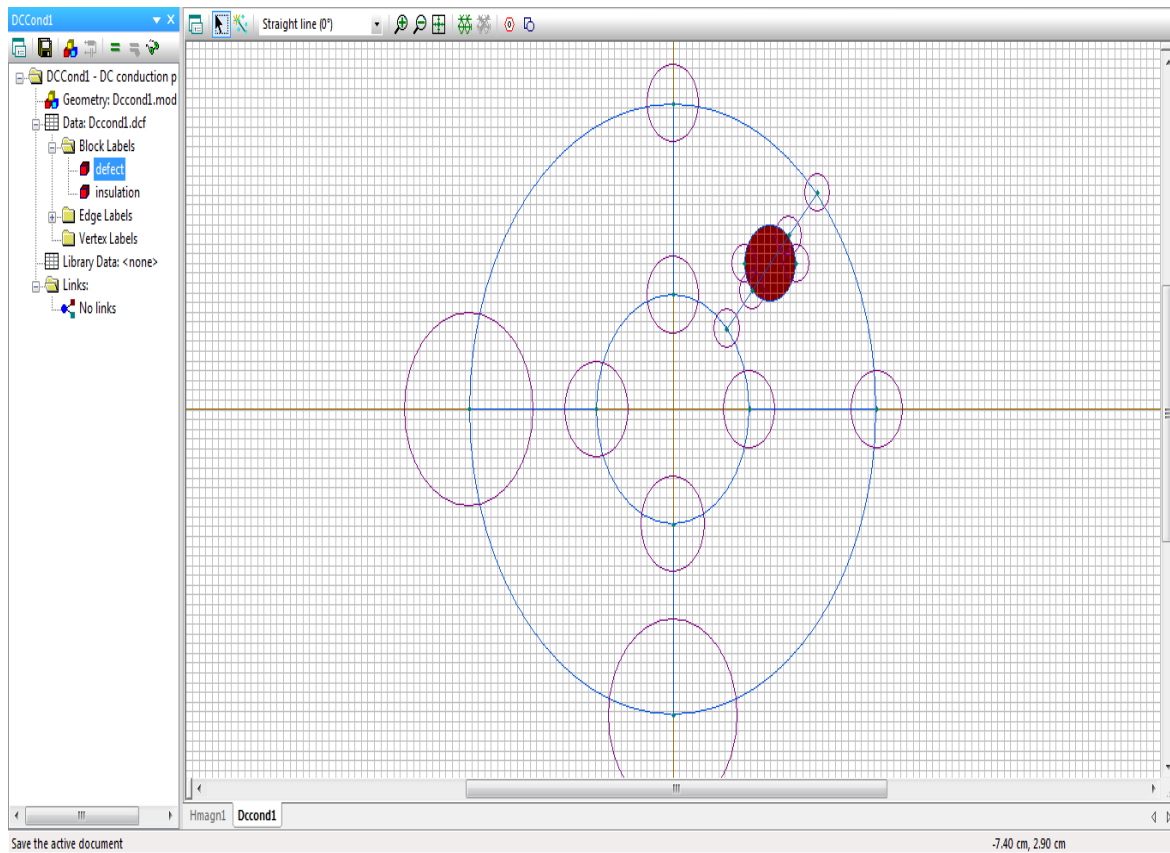
Στην παρακάτω εικόνα με το κόκκινο χρώμα βλέπουμε την μόνωση που υπάρχει στο καλώδιό μας.



Εικόνα 28

Μόνωση καλωδίου

Στην παρακάτω εικόνα με το κόκκινο χρώμα διακρίνουμε την περιοχή όπου το καλώδιο μας έχει ελάττωμα.



Εικόνα 29

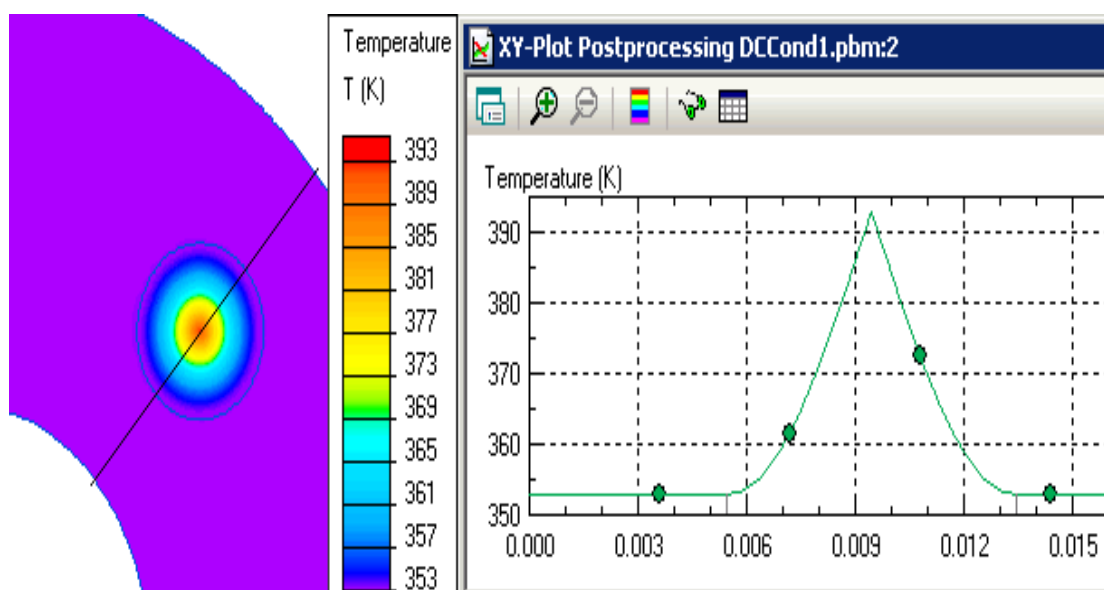
Ελάττωμα καλωδίου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

	Leakage current, I
Without defect, $T_{\max}=80^{\circ}\text{C}$	$1.24 \cdot 10^{-5}\text{ A}$ (124 $\mu\text{A}/\text{km}$)
With defect, $T_{\max}=120^{\circ}\text{C}$	$1.255 \cdot 10^{-5}\text{ A}$

Πίνακας 3

Στην περιοχή που υπάρχει η διαρροή ρεύματος, έχουμε τοπική αύξηση της θερμοκρασίας στη μόνωση. Η ένταση του ρεύματος διαρροής που υπολόγισε το πρόγραμμα φαίνεται στον παραπάνω πίνακα. Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε την σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας όσο πλησιάζουμε κοντά στο σημείο διαρροής. Στο σημείο αυτό η θερμοκρασία φθάνει τους 120°C .



Εικόνα 30

Τρέχουσα κατανομή θερμοκρασίας στη μόνωση κοντά στο θερμικό ελάττωμα

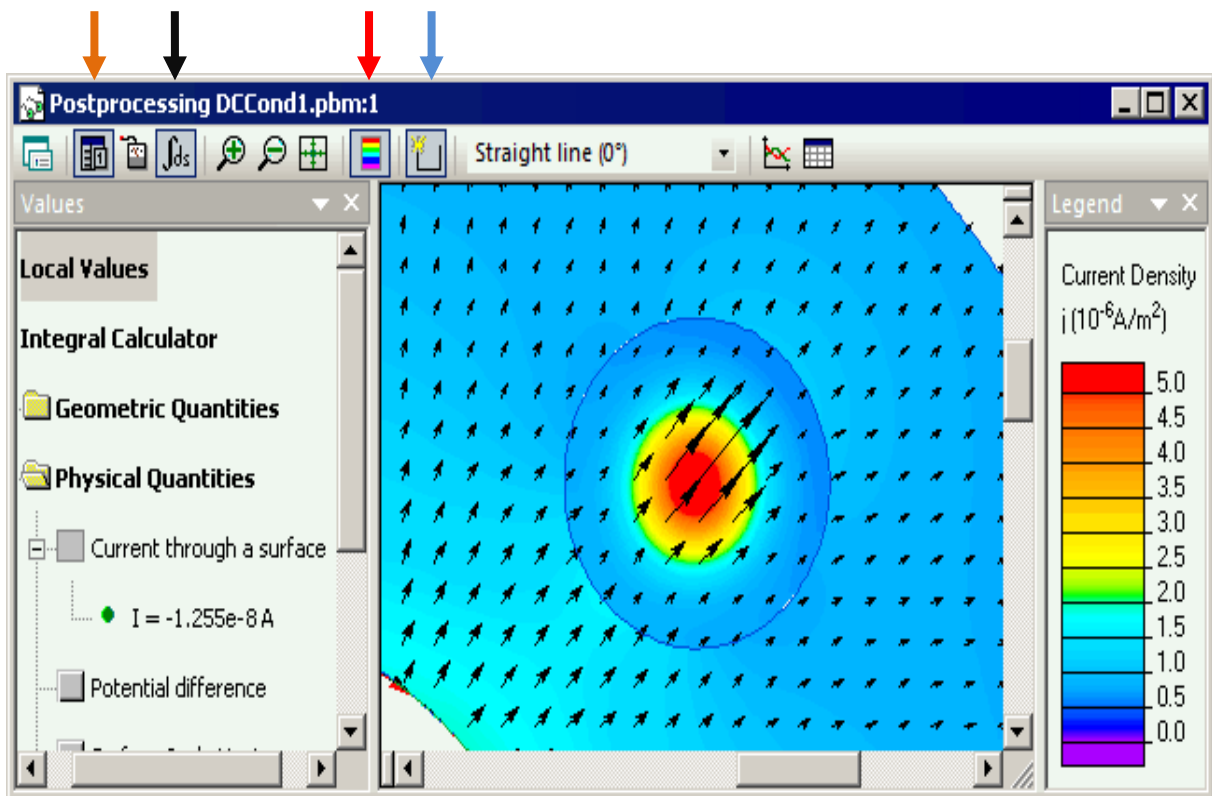
Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η πυκνότητα του ρεύματος στην περιοχή της διαρροής, παρατηρούμε όσο πλησιάζουμε προς το σημείο που έχουμε την διαρροή η πυκνότητα του ρεύματος φθάνει την μέγιστη τιμή. Αυτό πραγματοποιείται με τις παρακάτω επιλογές, οι οποίες απεικονίζονται πιο κάτω (βλέπε εικ 31).

→ Add to contour

→ Legend

→ Integral Calculator

→ Calculator Window



Εικόνα 31

Πυκνότητα ρεύματος στην περιοχή της διαρροής

1.6 Ανάλυση AC αγωγιμότητας

Η ανάλυση αγωγιμότητας AC χρησιμοποιείται για την ανάλυση ηλεκτρικών πεδίων που προκαλούνται από εναλλασσόμενο ρεύμα και εναλλασσόμενη τάση σε διηλεκτρικά μέσα. Αυτό το είδος ανάλυσης εφαρμόζεται κυρίως σε σύνθετα μονωτικά υλικά και πυκνωτές. Γενικά, το ενδιαφέρον εδώ επικεντρώνεται στον υπολογισμό διηλεκτρικών απωλειών, διαφοράς δυναμικού, παραμέτρους του ηλεκτρικού πεδίου, δυνάμεις και ροπές.

Οι παρακάτω επιλογές είναι διαθέσιμες για την ανάλυση AC αγωγιμότητας:

Ιδιότητες υλικών: δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει υλικά με σταθερή αγωγιμότητα και διηλεκτρική σταθερά.

Οριακές συνθήκες: Μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε οριακές συνθήκες Dirichlet και οριακές συνθήκες Neumann.

Αποτελέσματα διεξαγωγής εξομοίωσης: διαφορά δυναμικού, ηλεκτρικό πεδίο, πυκνότητα ρεύματος, ισχύς και απώλειες, δυνάμεις και ροπές.

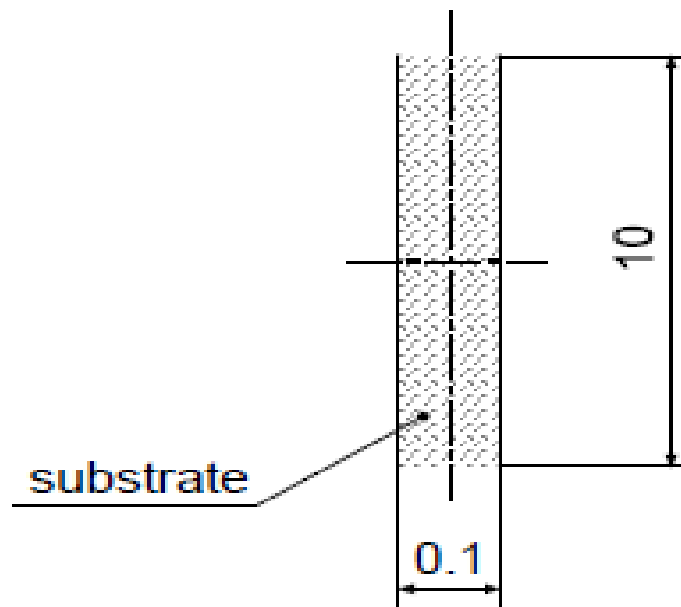
Εξειδικευμένες λειτουργίες: Το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει διάφορα μεγέθη σύμφωνα με την επιφάνεια (ή το περίγραμμα) που θα επιλέξει ο χρήστης. Οι ηλεκτρικές δυνάμεις μπορούν να εισαχθούν μέσω ανάλυσης μηχανικών καταπονήσεων (ηλεκτρο - μηχανικό μοντέλο). Οι ηλεκτρικές απώλειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή θερμότητας σε πρόβλημα μετάδοσης θερμότητας (ηλεκτρο - θερμικό μοντέλο).

Η ανάλυση αγωγιμότητας AC είναι η μελέτη εναλλασσόμενου ηλεκτρικού πεδίου, των ρευμάτων και των απωλειών που προκύπτουν σε αγωγούς και σε μη ιδανικά (με απώλεια) διηλεκτρικά από την εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης ή εξωτερικό ρεύμα στα ηλεκτρόδια.

Εφαρμογή : Ανάλυση AC αγωγιμότητας

ACElec1: Επίπεδος πυκνωτής εναλλασσόμενου ρεύματος στον πυκνωτή επιπέδου.

Geometry



Εικόνα 32

Λόγω συμμετρίας μόνον ένα μικρό μέρος του ύψους 1 χιλιοστό χρησιμοποιείται. Το μήκος του πυκνωτή σε ζ κατεύθυνση είναι $l = 10 \text{ mm}$.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

- i. Σχετική διηλεκτρική σταθερά του υποστρώματος $\epsilon = 10$
- ii. Αγωγιμότητα του υποστρώματος $\sigma = 10^{-8} \text{ S/m}$
- iii. Τάση $U = 5 \text{ V}$
- iv. Συχνότητα $f = 50 \text{ Hz}$

ΠΡΟΒΛΗΜΑ

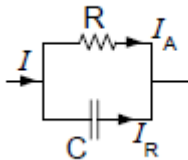
Βρείτε το ρεύμα και τον παράγοντα $\text{tg}(\delta)$ του πυκνωτή επιπέδου με μη ιδανικό διηλεκτρικό μέσο.

ΛΥΣΗ

Πυκνωτής με μη ιδανικό διηλεκτρικό μπορεί να αντικατασταθεί από ηλεκτρικό κύκλωμα με ένα ιδανικό πυκνωτή C και αντίσταση R που συνδέονται παράλληλα. Η χωρητικότητα του επιπέδου πυκνωτή υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d},$$

όπου S είναι η επιφάνεια πλάκας $S = h \cdot l$.



Η αντοχή του υποστρώματος υπολογίζεται από την εξίσωση

$$R = \frac{1}{g} * \frac{d}{S}$$

Το ρεύμα I έχει δύο συνιστώσες: ενεργή I_A και αντιδραστική I_R . Για παράλληλο σύστημα:

$$I_A = V/R, I_R = V/X_C$$

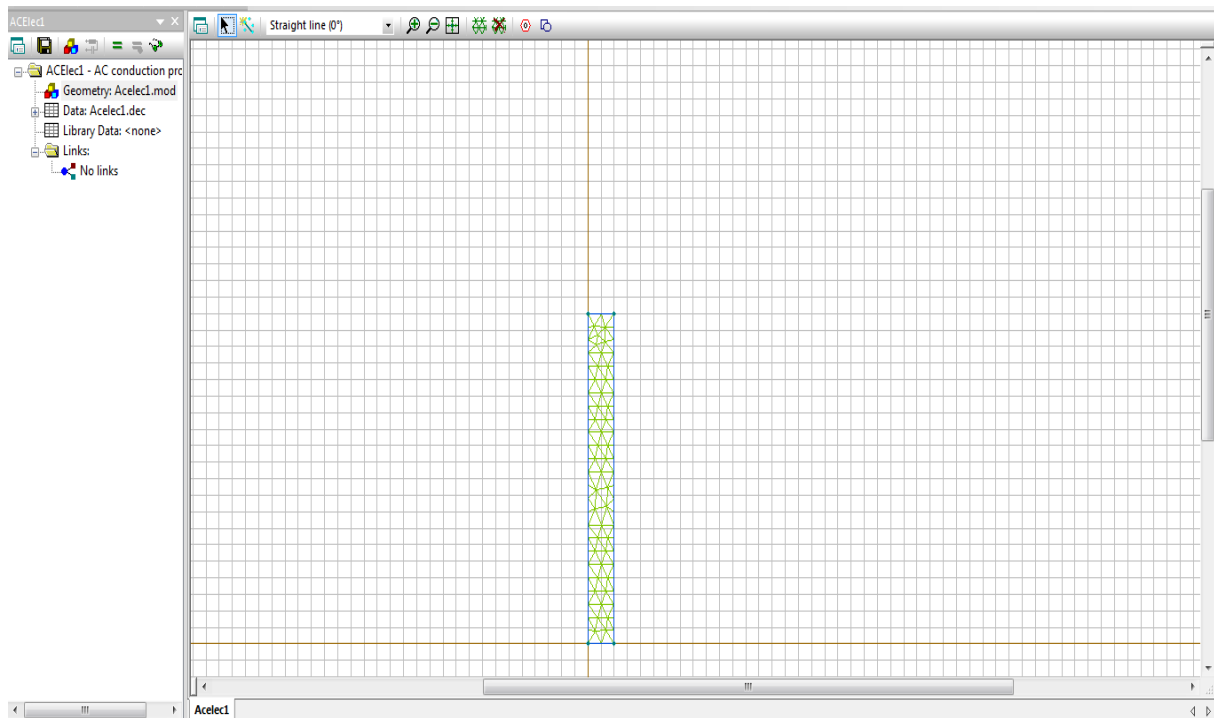
$$\operatorname{tg}(\delta) = \frac{|P_A|}{|P_R|} = \frac{|U \cdot I_A|}{|U \cdot I_R|} = \frac{|X_C|}{R} = \frac{1}{\omega C \cdot R}, \operatorname{tg}(\delta) = \sigma / (2\pi f \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0)$$

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

	QuickField	Theory
$I_A, \mu A$	0.05000	0.05000
$I_R, \mu A$	0.13908 j	0.13902 j
$Tg(\delta)$	0.3595	0.3596

Πίνακας 4

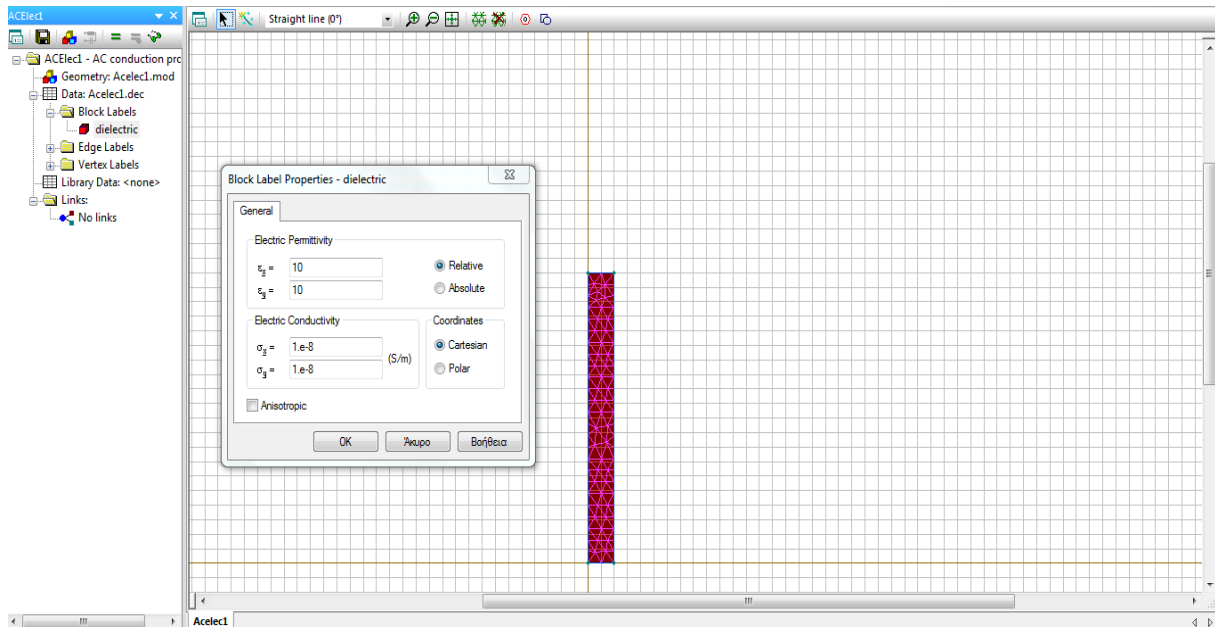
Στην παρακάτω εικόνα (βλέπε εικ33) σχεδιάσαμε τον πυκνωτή.



Εικόνα 33

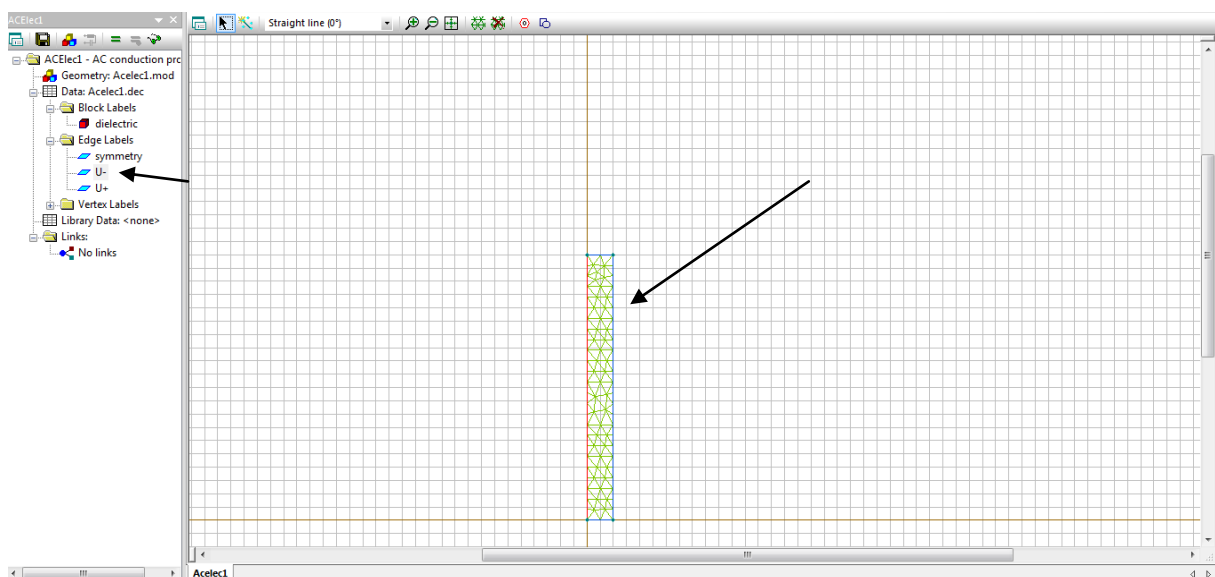
Σχεδίαση πυκνωτή

Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε ένα παράθυρο που ονομάζεται Block Label Properties-dielectric , αυτό μπορούμε να το πραγματοποιήσουμε κάνοντας διπλό κλικ εκεί που μας δείχνει το βελάκι. Τέλος μπορούμε να τοποθετήσουμε τις τιμές που μας απασχολούν. (βλέπε εικ 34)



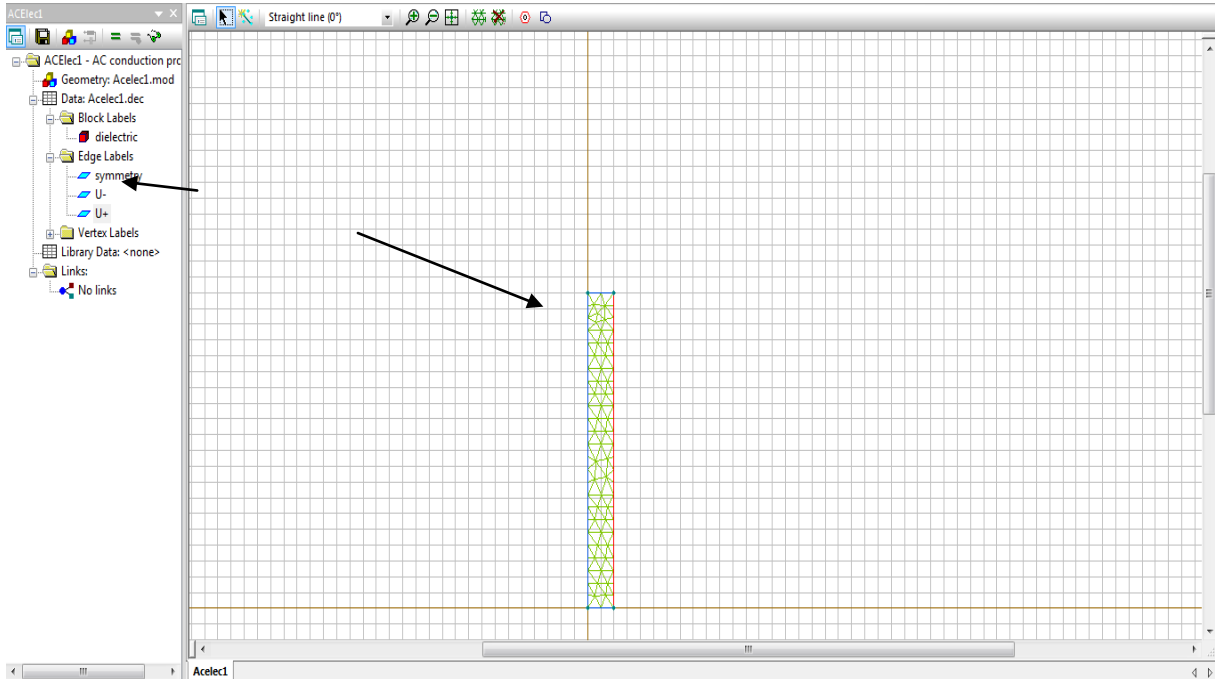
Εικόνα 34

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την τάση U- που εφαρμόζεται πάνω στον πυκνωτή. Αυτό μπορούμε να το δούμε πατώντας την επιλογή Edge Labels και κάνοντας κλικ πάνω στο U- (βλέπε εικ 35).



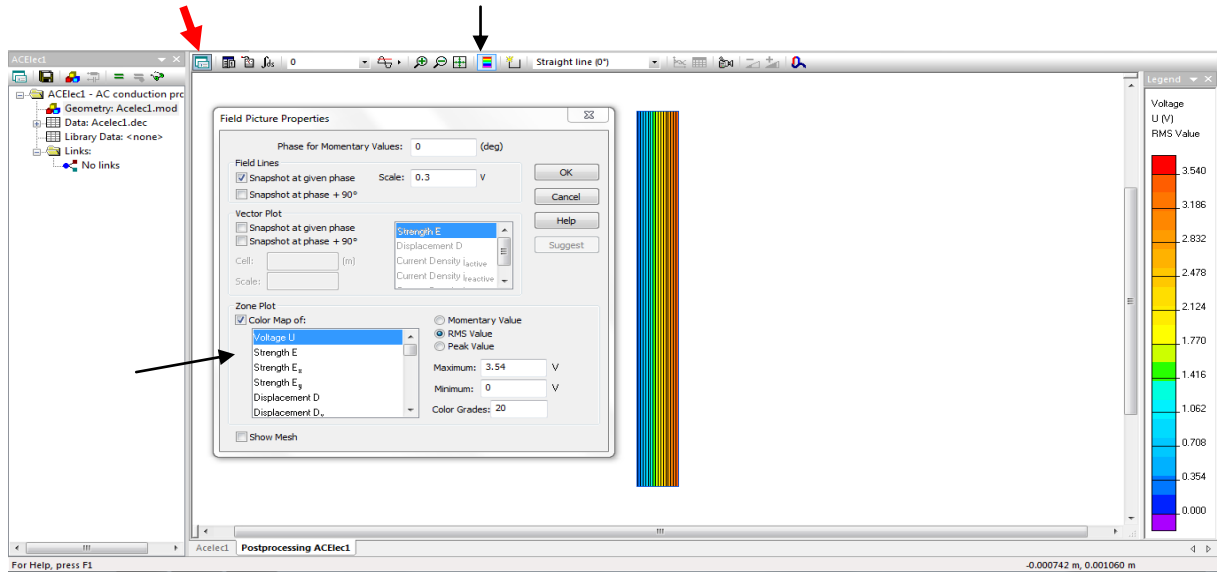
Εικόνα 35

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την τάση U_+ που εφαρμόζεται πάνω στον πυκνωτή. Αυτό μπορούμε να το δούμε πατώντας την επιλογή Edge Labels και κάνοντας κλικ πάνω στο U_+ (βλέπε εικ 36)



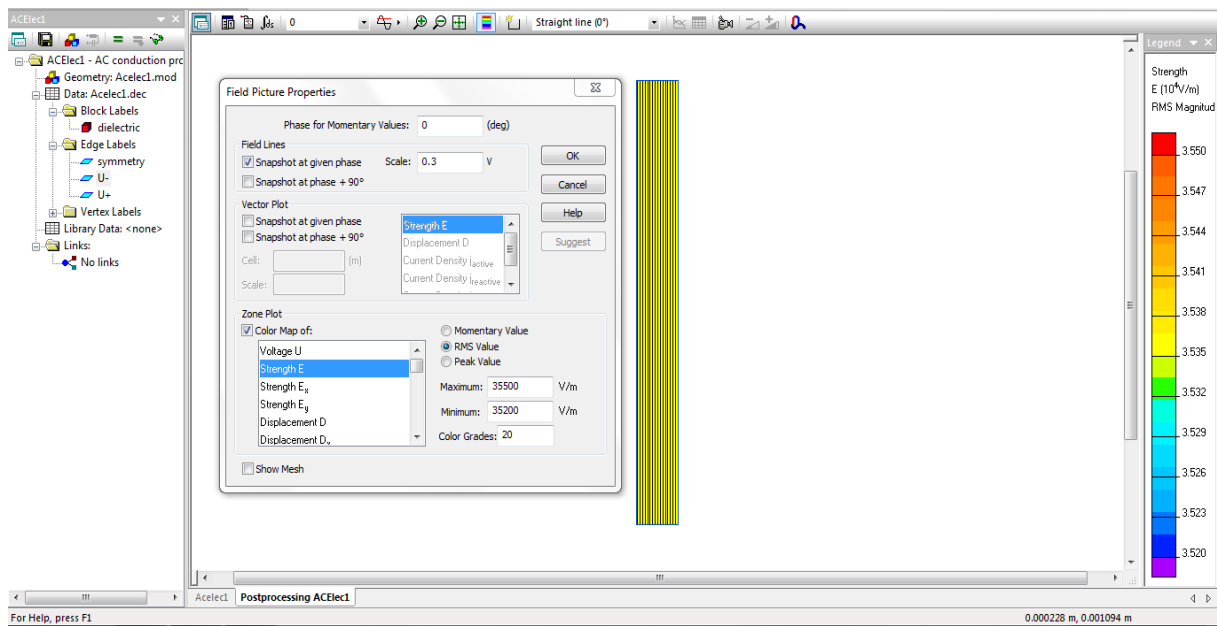
Εικόνα 36

Στην παρακάτω εικόνα(βλέπε εικ 37), βλέπουμε την κατανομή της τάσης, αυτό μπορούμε να το πραγματοποιήσουμε εκεί που μας δείχνει το βελάκι Field Picture Properties. Όταν κάνουμε κλικ θα μας ανοίξει το παρακάτω παράθυρο όπου από εκεί μπορούμε να επιλέξουμε την επιλογή voltage, επίσης μπορούμε να βάλουμε τις τιμές maximum, minimum που θέλουμε να μας εμφανίσει. Την κλίμακα δεξιά μπορούμε να την εμφανίσουμε πατώντας την εντολή Legend.



Εικόνα 37

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η ένταση μαγνητικού πεδίου, αυτό μπορούμε να το καταφέρουμε με την βοήθεια της εικόνας 37.



Εικόνα 38

Κατανομή της διαφοράς δυναμικού

1.7 Ανάλυση μεταβατικών φαινομένων ηλεκτρικού πεδίου

Τα μεταβατικά φαινόμενα σε ηλεκτρικό πεδίο είναι ο συνδυασμός ηλεκτροστατικής ανάλυσης και ανάλυσης αγωγιμότητας. Το δυναμικό ενός ηλεκτροδίου ή η επαγόμενη πυκνότητα ρεύματος μπορούν να είναι χρονικά εξαρτημένα μεγέθη. Τα διηλεκτρικά υλικά μπορεί να είναι μερικά αγωγή, και μπορούμε να υπολογίσουμε διηλεκτρικές απώλειες. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η διηλεκτρική σταθερά μπορούν να μεταβάλλονται με το πεδίο. Σε αντίθεση με την ηλεκτροστατική ανάλυση, εδώ η προδιαγεγραμμένη πυκνότητα ηλεκτρικού φορτίου δεν μπορεί να αποτελεί πηγή πεδίου.

Αυτός ο τύπος ανάλυσης μπορεί να βοηθήσει στον υπολογισμό κατανομής του πεδίου σε αντικείμενα που υπόκεινται σε κρουστική τάση (π.χ. δημιουργία εκκένωσης από υψηλή τάση). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό μονώσεων, που ενδέχεται να περιέχουν μη γραμμικά στοιχεία εξομάλυνσης πεδίου, βαρίστορ, προστασία από υπερτάσεις, και άλλες εφαρμογές που μπορεί να περιέχουν βαρίστορ από υδροξείδιο του ψευδαργύρου, ημιαγώγιμα και άλλα υλικά.

Οι παρακάτω επιλογές είναι διαθέσιμες για τον αυτό τον τύπο ανάλυσης:

Ιδιότητες υλικών: δίνεται η δυνατότητα να εισάγεις υλικά με βάση την αγωγιμότητα και τη διηλεκτρική σταθερά τους.

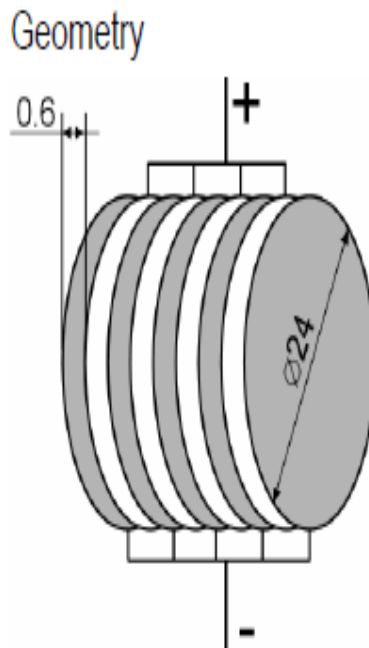
Οριακές συνθήκες: Μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε οριακές συνθήκες Dirichlet και οριακές συνθήκες Neumann.

Αποτελέσματα διεξαγωγής εξομοίωσης: διαφορά δυναμικού, ηλεκτρικό πεδίο, αγωγιμότητα και μετατόπιση πυκνότητας ρεύματος, απώλειες ωμικές και άεργου ισχύος, δυνάμεις και ροπές.

Εξειδικευμένες λειτουργίες: Το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει διάφορα μεγέθη σύμφωνα με την επιφάνεια (ή το περίγραμμα) που θα επιλέξει ο χρήστης. Με την εφαρμογή για τον υπολογισμό χωρητικότητας μπορείς σε ελάχιστο τρόπο να κάνεις τους υπολογισμούς.

Εφαρμογή: Μεταβατικά φαινόμενα ηλεκτρικού πεδίου

TElec1: Μη γραμμικός πυκνωτής



Εικόνα 39

Στην παραπάνω εικόνα (βλέπε εικ32) παρατηρούμε ένα μή γραμμικό πυκνωτή αποτελούμενο από μεταλλικές πλάκες. Οι μεταλλικές πλάκες έχουν απόσταση 0,6mm και χωρίζονται από μη γραμμικό μονωτικό υλικό.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

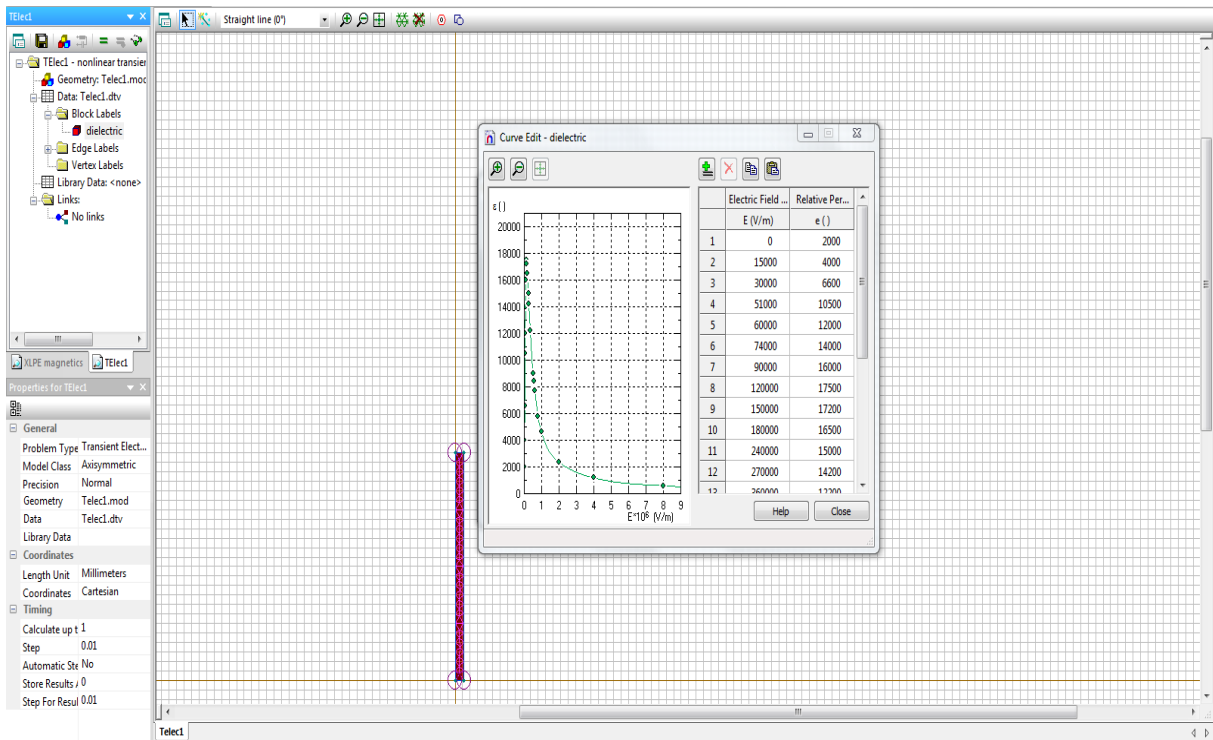
- i. Μη γραμμική σχετική διηλεκτρική σταθερά ϵ
- ii. Τάση $U = 0 \dots 240$ V.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Υπολογίστε $C(U)$ καμπύλη.

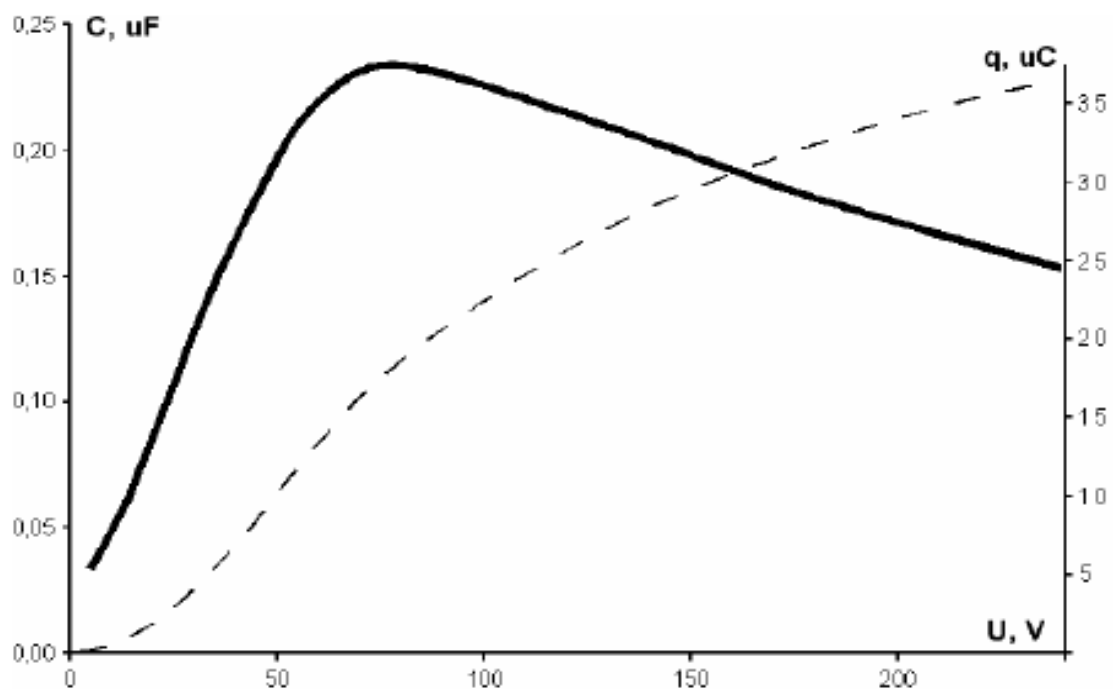
ΛΥΣΗ

Για να υπολογισθεί η καμπύλη $C(U)$ θα πρέπει να γίνει μια σειρά πειραμάτων: αλλαγή τάσης και μέτρηση του q . Η χωρητικότητα είναι $C=q/U$. Για να αυτοματοποιήσετε την εργασία σας επιτρέπει εφαρμόσετε το χρόνο-εξαρτώμενο με την τάση $U(t) = U_{max} \cdot t$, όπου t - είναι χρόνου. Έτσι αντικαταστεί την σειρά προβλημάτων με μία εξαρτώμενη μεταβλητή από το χρόνο. Μετά το πρόβλημα έχει λυθεί μέσω του QuickField που μπορεί να υπολογίσει $q(t)$ αυτόματα.



Εικόνα 40

Σχεδίαση του συστήματος με μη γραμμική διηλεκτρική σταθερά



Εικόνα 41

C (U) καμπύλη

Κεφάλαιο 2ο : Θερμική & μηχανική καταπόνηση συστημάτων

2.1 Ανάλυση μεταφοράς θερμότητας

Η ανάλυση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στο συνδυασμό μηχανικών και ηλεκτρικών συστημάτων. Γενικά το ενδιαφέρον σε αυτό το πεδίο στρέφεται στην κατανομή της θερμοκρασίας, στον εντοπισμό της κατεύθυνσης διάδοσης θερμότητας και στις απώλειες θερμότητας. Συνήθως σε ένα σύστημα μας ενδιαφέρει η θερμική αντοχή της μόνωσης. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει στο χρήστη να εξομοιώσει τη μετάβαση της μεταφερόμενης θερμότητας σε ένα θερμοαينόμενο σύστημα.

Το Quick Field μπορεί να πραγματοποιήσει γραμμική ανάλυση DC αγωγιμότητας σε δισδιάστατο και αξονοσυμμετρικό περιβάλλον. Το πρόγραμμα βασίζεται στην εξίσωση μεταφοράς της θερμότητας. Οι παρακάτω επιλογές είναι διαθέσιμες για την ανάλυση αυτή:

Ιδιότητες υλικών: δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει υλικά με σταθερή θερμική αγωγιμότητα, υλικά που η αγωγιμότητα εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το αντίστροφο.

Ηλεκτρικές πηγές: μπορεί ο χρήστης να εξομοιώσει υλικά με σταθερή ροή θερμότητας και με ροή εξαρτημένη από τη θερμοκρασία, πηγές διάδοσης και ακτινοβολίας θερμότητας, πηγές θερμότητας που προέρχονται από άλλα είδη ανάλυσης (AC, DC, μεταβατικά) κ.α.

Οριακές συνθήκες: Μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε οριακές συνθήκες Dirichlet και οριακές συνθήκες Neumann.

Αποτελέσματα διεξαγωγής εξομοίωσης: θερμοκρασία, κατεύθυνση διάδοσης θερμότητας, πυκνότητα ροής θερμότητας, συνολικές θερμικές απώλειες ή θερμικές απορροφήσεις σε ορισμένα τμήματα. Μεταβατικά φαινόμενα μπορούν να παρασταθούν με γραφήματα και πίνακες ώστε ο χρήστης να προσδιορίσει χρονικά μεταβαλλόμενα μεγέθη.

Εξειδικευμένες λειτουργίες: Το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει διάφορα μεγέθη σύμφωνα με την επιφάνεια (ή το περίγραμμα) που θα επιλέξει ο χρήστης.

Συσκευές όπως πυκνωτές μπορεί το πρόγραμμα να αναλύσει τη θερμική τους συμπεριφορά.

Οι διάφορες μετρήσεις θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σύνθετη ανάλυση, δηλαδή ανάλυση θερμότητας - μηχανικής παραμόρφωσης.

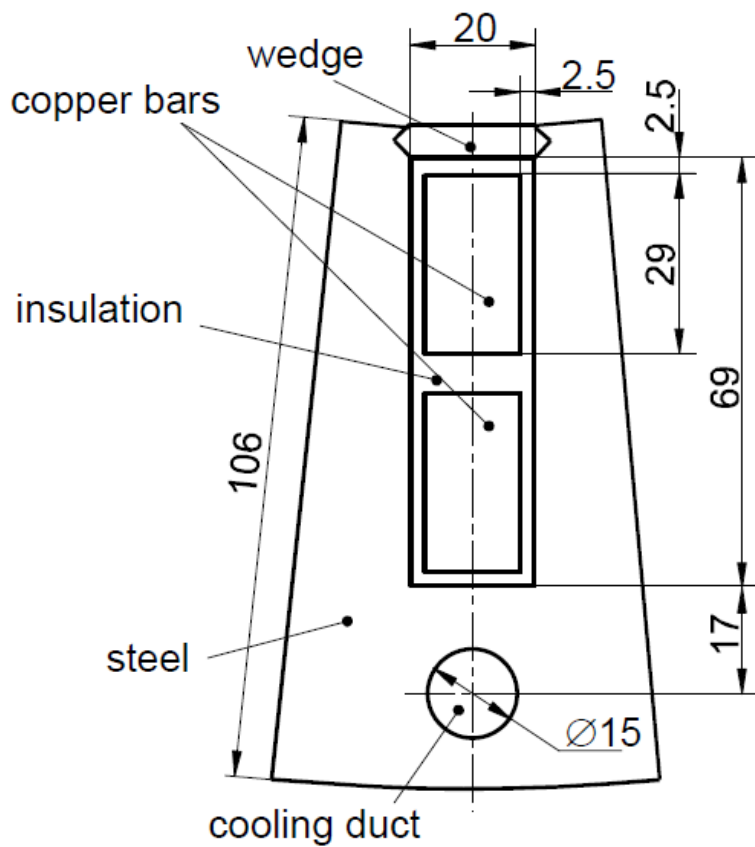
Τα μεγέθη που θα μας απασχολήσουν σε αυτή την ανάλυση είναι :

- i. Η θερμοκρασία T
- ii. Το διάνυσμα της ροής θερμότητας $F = -\lambda \cdot \text{grad}(T)$
- iii. Η θερμική αγωγιμότητα λ

Εφαρμογή: Ανάλυση μεταβατικών φαινομένων κατά τη μεταφορά θερμότητας

THeat1: Θέρμανση - Ψύξη τμήματος ηλεκτρικής μηχανής

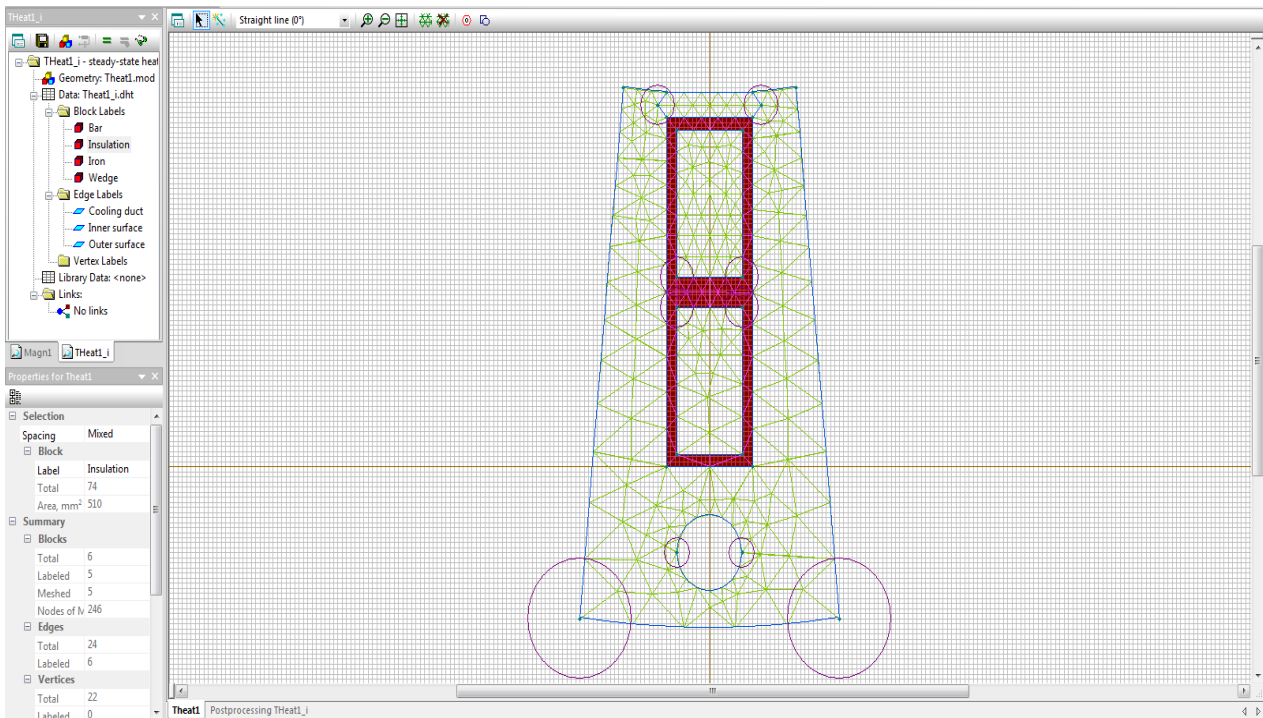
Σε αυτή την περίπτωση έχουμε μεταβαλλόμενο πεδίο θερμότητας σε τμήμα του στάτη σύγχρονου κινητήρα κατά τη φόρτιση και εκφόρτισή του.



Εικόνα 42

Σχήμα

Το παραπάνω σχέδιο εισάγεται στο Quick field , το οποίο φαίνεται παρακάτω:



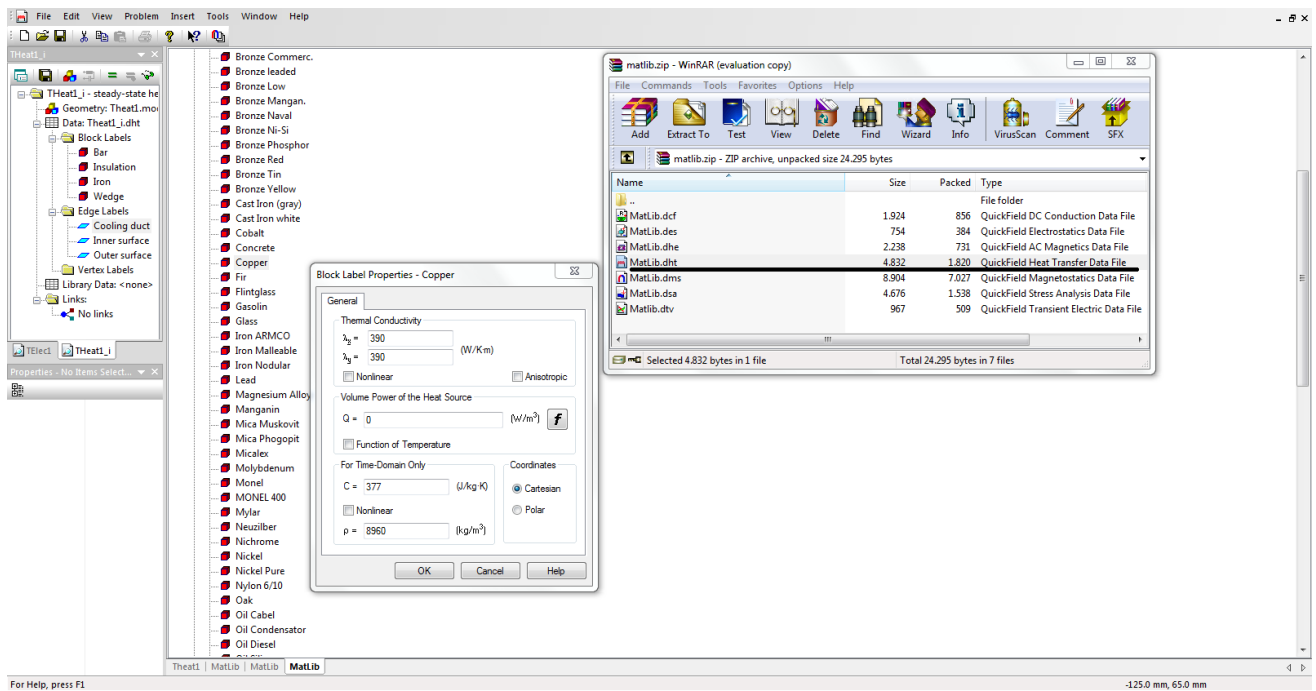
Εικόνα 43

Σχεδίαση τμήματος ηλεκτρικής μηχανής (το κόκκινο είναι η μόνωση)

Ιδιότητες υλικών

	Heat Conductivity (W/K·m)	Specific Heat (J/kg·K)	Mass Density, (kg/m ³)
Steel Core	25	465	7833
Copper Bar	380	380	8950
Bar Insulation	0.15	1800	1300
Wedge	0.25	1500	1400

Για τη διαμόρφωση του παραπάνω πίνακα, το Quick Field διαθέτει μια βιβλιοθήκη με τις ιδιότητες κάθε υλικού για κάθε είδος ανάλυσης ξεχωριστά.



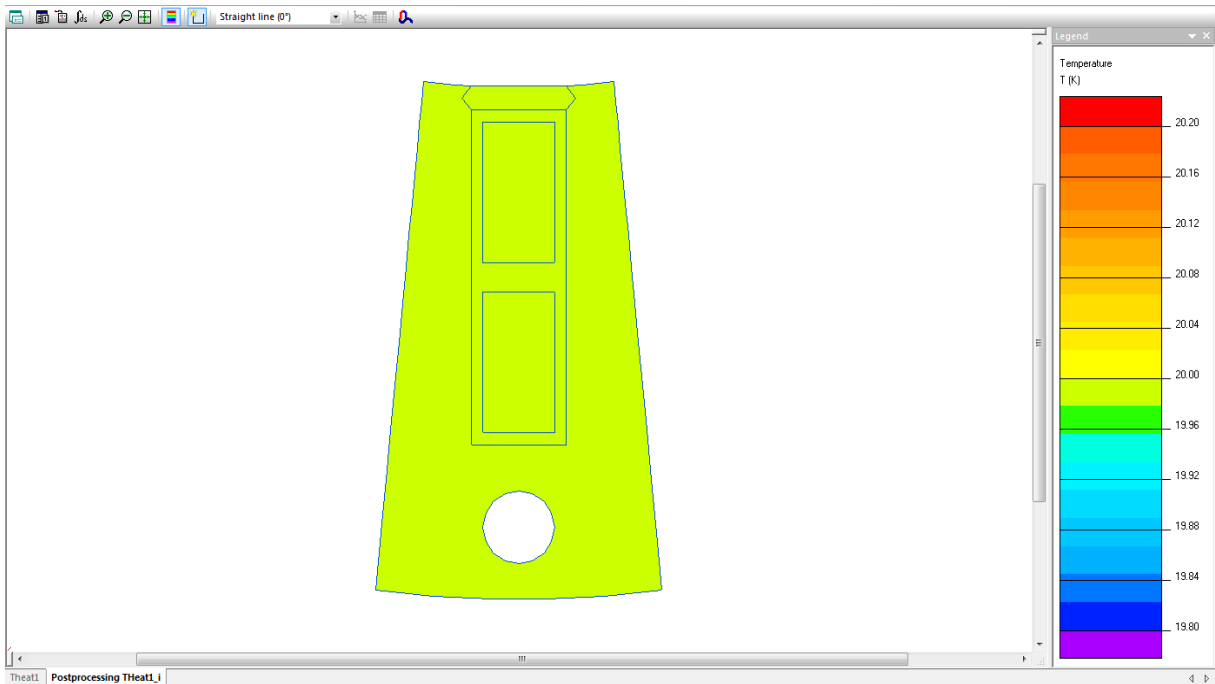
Εικόνα 44

βιβλιοθήκη με τις θερμικές ιδιότητες υλικών στο Quick Field

Πηγές θερμότητας και ψύξης

	Loading		Stopped	
Initial Temperature				
The entire model	20 (°C)		As calculated at the end of loading phase	
Heat Sources				
Specific power loss in copper bars (W/m ³)	360000		0	
Cooling Conditions				
	Convection coefficient (W/K·m ²)	Temperature of contacting air (°C)	Convection coefficient (W/K·m ²)	Temperature of contacting air (°C)
Inner stator surface	250	20	20	20
Outer stator surface	70	20	70	20
Cooling duct	150	20	20	20

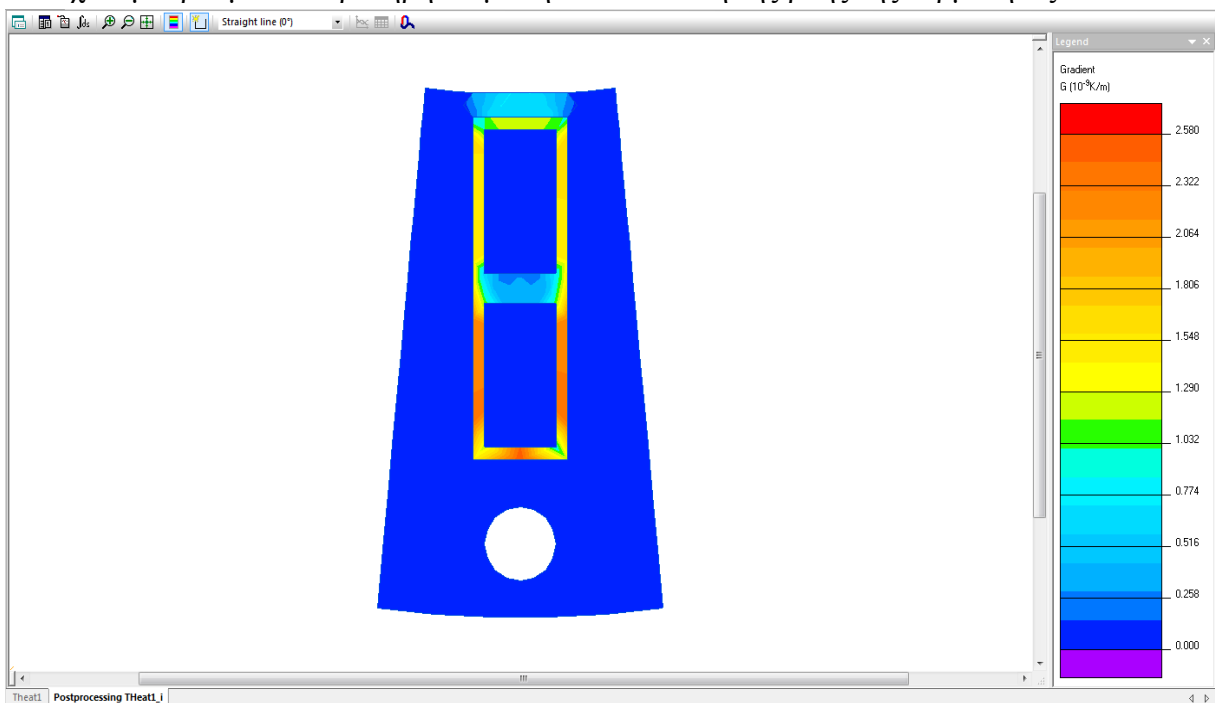
Κατα την φόρτιση του κινητήρα η θερμοκρασία στο στάτη αυξάνεται. Αρχικά θεωρούμε πως η θερμοκρασία είναι παντού 20 °C.



Εικόνα 45

κατανομή θερμοκρασίας (αρχικά θεωρούμε ότι σε όλο το σχήμα έχουμε 20 °C)

Στη συνέχεια μπορούμε να παρατηρήσουμε την κατεύθυνση της ροής της θερμότητας.

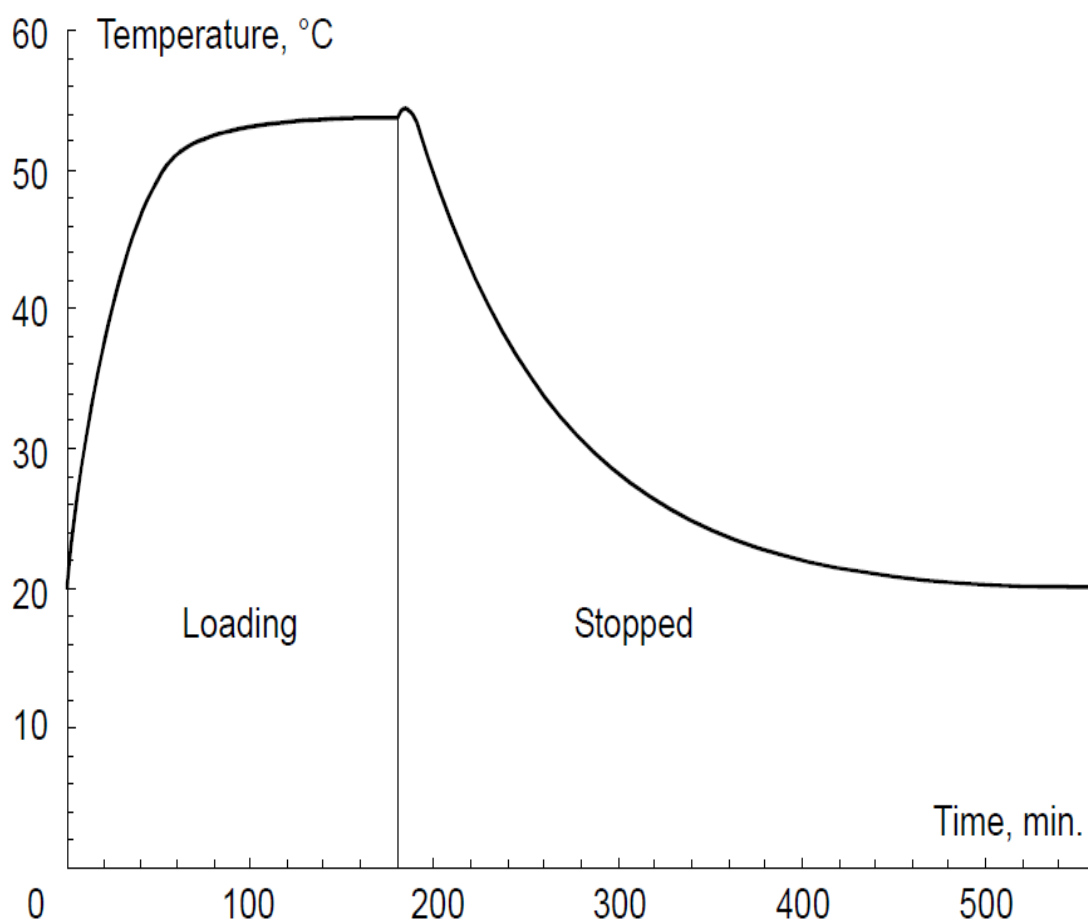


Εικόνα 46

απεικόνιση της ροής θερμότητας

Στις πιο πάνω εικόνες ο άσπρος κύκλος αποτελεί το σύστημα ψύξης για αυτό δεν λαμβάνει μέρος στην φάση αυτή των υπολογισμών.

Επίσης χρησιμοποιώντας διαδοχικές αναλύσεις μπορούμε να φτιάξουμε το χρονικό διάγραμμα της μετάδοσης θερμότητας . Συγκεκριμένα χρειάστηκαν 4 αναλύσεις για την λύση του προβλήματος.



Εικόνα 47

διάγραμμα θερμοκρασίας - στροφών κατα την φόρτιση και εκφόρτιση του κινητήρα

Εδώ φαίνεται ότι αρχικά η θερμοκρασία ήταν 20°C. Στη συνέχεια κατα τη φόρτιση του κινητήρα για 3 ώρες η αύξηση της θερμοκρασίας σταθεροποιήθηκε σε κάποιο όριο υπό την επίδραση ψύξης . Κατα την εκφόρτιση του κινητήρα η θερμοκρασία μειώθηκε ως τους 20°C όπου και παρέμεινε αφού είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος.

2.2 Ανάλυση μηχανικών καταπονήσεων

Στο πεδίο αυτό μπορεί κανείς να μελετήσει τη συμπεριφορά μηχανικών συστημάτων. Γενικά το ενδιαφέρον εδώ στρέφεται στην ανάλυση πιέσεων και συγκεκριμένα στις μετατοπίσεις, παραμορφώσεις, καταπονήσεις κ.α.

Το Quick Field μπορεί να πραγματοποιήσει δισδιάστατη γραμμική ανάλυση πιέσεων, παραμόρφωσης αλλά και ανάλυση σε αξονοσυμμετρικά μοντέλα. Το πρόγραμμα βασίζεται στην εξίσωση ελαστικότητας του Navier. Οι παρακάτω επιλογές είναι διαθέσιμες για την ανάλυση αυτή:

Ιδιότητες υλικών: δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει ισοτροπικά και ορθοτροπικά υλικά

Ηλεκτρικές πηγές: δυνάμεις, πιέσεις, θερμικές παραμορφώσεις, επαγόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, καθώς και ηλεκτρικές - μαγνητικές δυνάμεις.

Οριακές συνθήκες: προδιαγεγραμμένες τιμές μετατόπισης, ελαστικές παραμορφώσεις.

Αποτελέσματα διεξαγωγής εξομοίωσης: μετατοπίσεις, αποτελέσματα πίεσης, επίδραση τάσεων, κριτήρια Von Mises, Tresca, Mohr-Coulomb, Drucker-Prager και Hill.

Τα μεγέθη που θα μας απασχολήσουν σε αυτή την ανάλυση είναι :

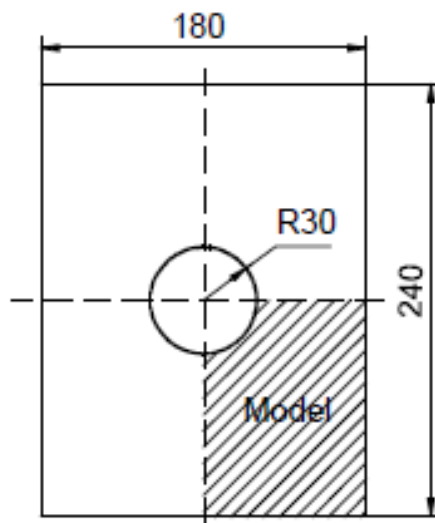
- i. Το διάνυσμα μετατόπισης δ
- ii. Ο δείκτης παραμόρφωσης ϵ

Εφαρμογή : Πρόβλημα μηχανικής καταπόνησης

Stres1 : Μελέτη καταπόνησης διάτρητης πλάκας

Ένα λεπτό ορθογώνιο φύλλο με μια κεντρική οπή υποβάλλεται σε φόρτιση εφελκυσμού. Με τον εφελκυσμό η πλάκα τείνει να επιμηκυνθεί. Η οπή στη μέση του ορθογώνιου φύλλου προκαλεί μεταβολές στον εφελκυσμό του υλικού. Με τη βοήθεια του Quick Field μπορούμε να υπολογίσουμε πως θα παραμορφωθεί αυτή η πλάκα κατα τον εφελκυσμό της.

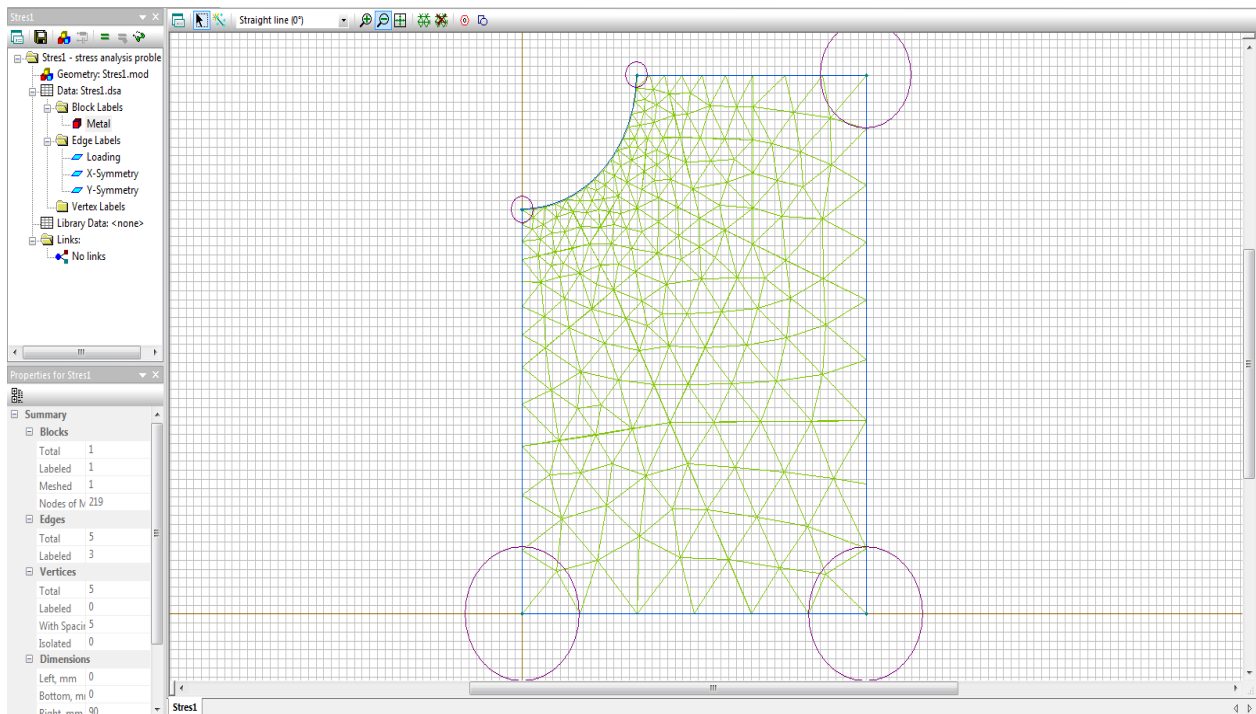
Το σχήμα φαίνεται παρακάτω :



δεδομένα :

- i. συντελεστής Young $E=207000 \text{ N/mm}^2$
- ii. δείκτης Poisson $\nu=0.3$

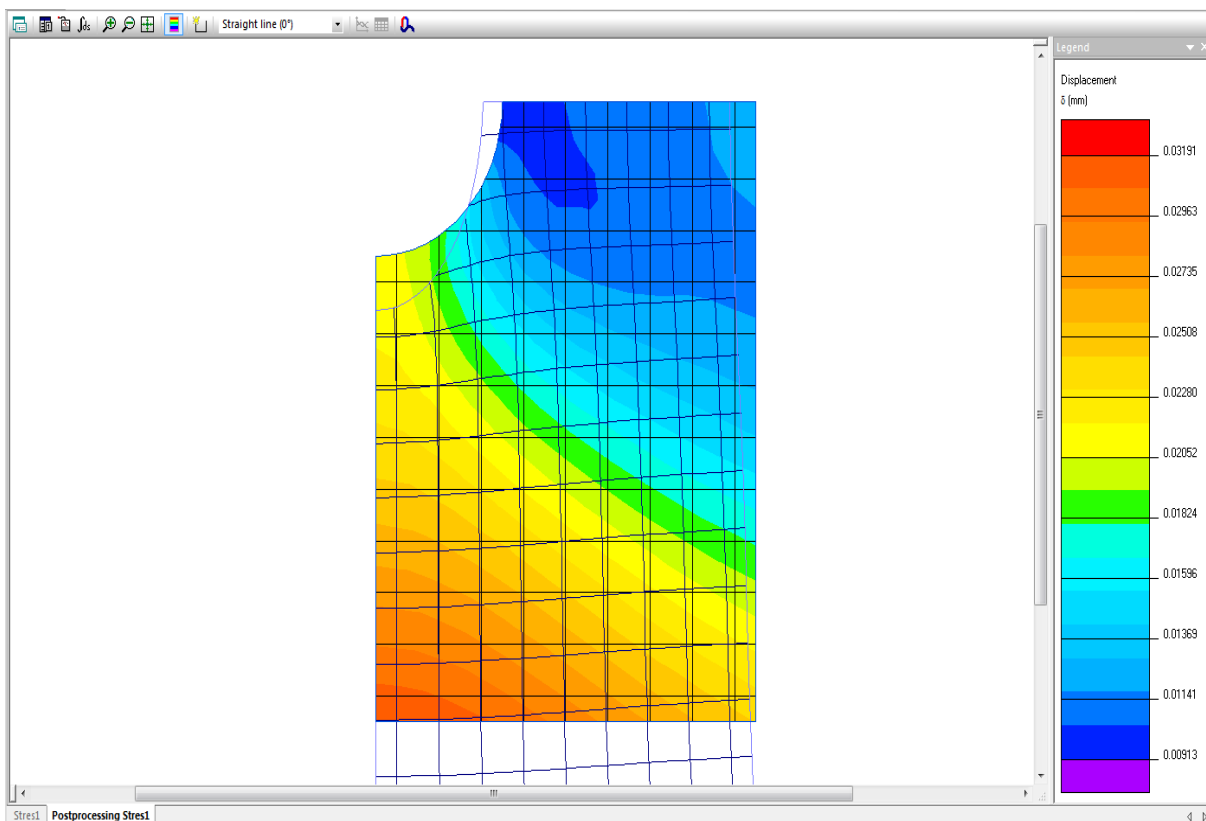
Το παραπάνω σχέδιο εισάγεται στο Quick Field όπως φαίνεται από κάτω :



Εικόνα 48

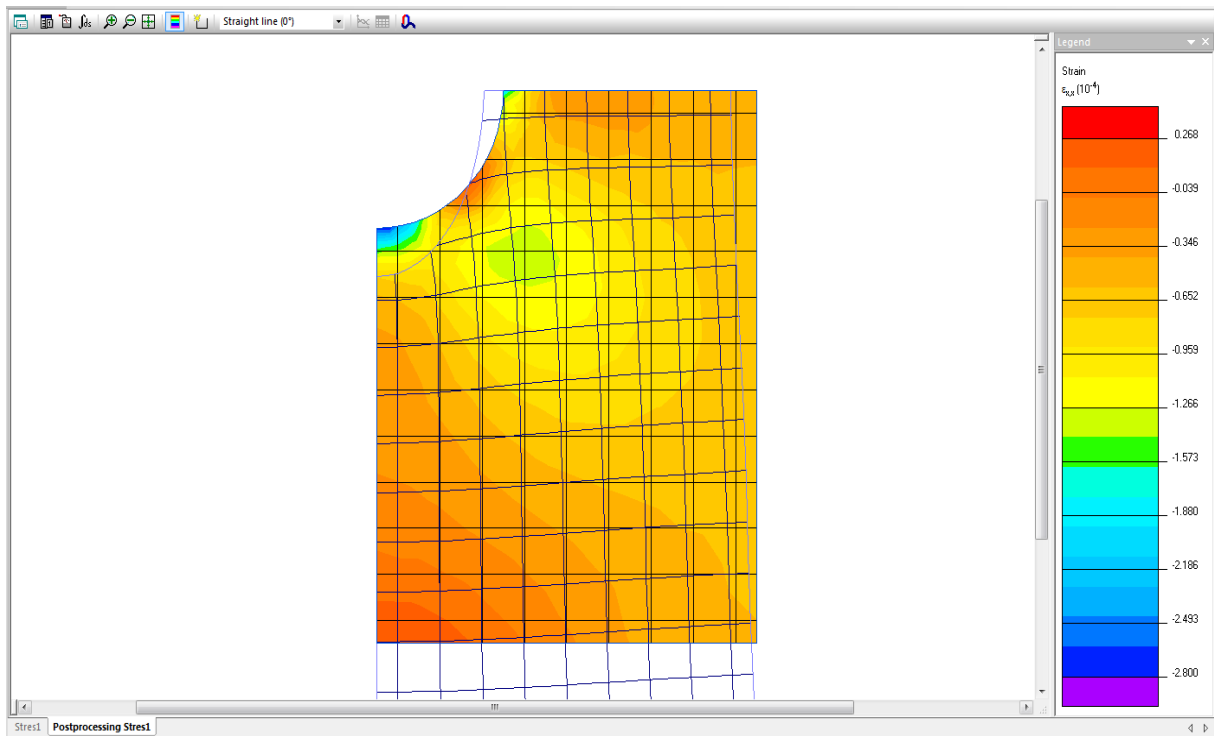
σχεδιασμός τμήματος της διάτρητης πλάκας

Η πλάκα είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο. Ότι χρειαζόμαστε για τις ιδιότητες του αλουμινίου το βρίσκουμε στη βιβλιοθήκη του Quick Field. Η ομοιόμορφη φόρτιση εφελκυσμού (40 N/mm^2) εφαρμόζεται στο κάτω άκρο της πλάκας. Επειδή το σχέδιο παρουσιάζει συμμετρία, για ευκολία στο σχεδιασμό του κυρίως χρησιμοποιούμε το 1/4 του σχεδίου.



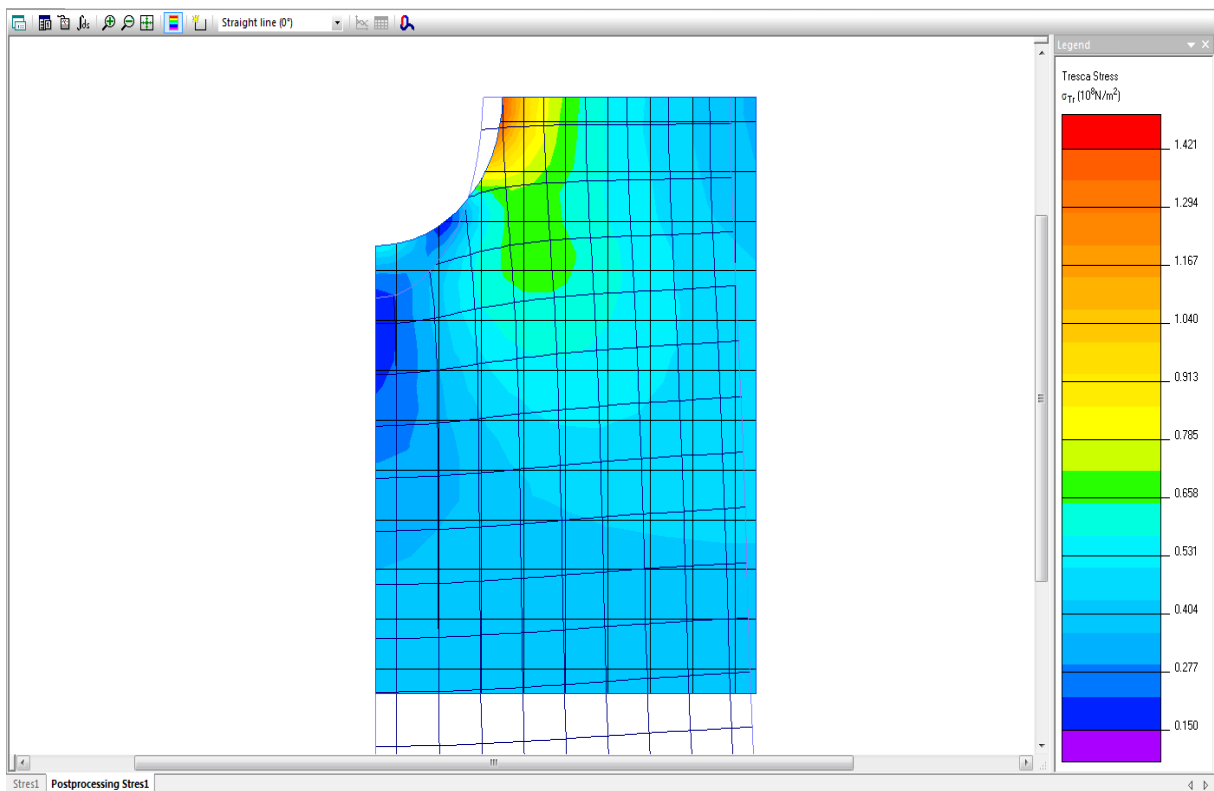
Εικόνα 49

εικ. απεικόνιση της μετατόπισης



Εικόνα 50

εικ. ένταση επιφανειακής τάσης



Εικόνα 51

εικ. κριτήριο Tresca

Στις παραπάνω εικόνες βλέπουμε τα αποτελέσματα μόνο στο 1/4 του συνολικού σχεδίου. Αφού η τάση εφελκυσμού όμως είναι ομοιόμορφη , μπορούμε να υποθέσουμε με σιγουριά ότι τα ίδια θα ισχύουν και στο υπόλοιπο σχέδιο. Ενώνοντας τα τέσσερα τμήματα δημιουργούμε το τελικό σχήμα στο οποίο παρατηρήσαμε ότι η στρογγυλή οπή μετατράπηκε σε έλλειψη.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι το σύστημα μετά από την καταπόνησή του παραμορφώθηκε και ότι το πιο καταπονημένο σημείο ήταν κοντά στην οπή.

Κεφάλαιο 3ο : Σύνθετα προβλήματα

Εκτός από τα είδη ανάλυσης που έχουν μέχρι τώρα αναφερθεί, το Quick Field μπορεί να λύσει ή να συσχετίσει και συνδυαστικά προβλήματα. Αυτά τα σύνθετα προβλήματα δίνουν ακόμα περισσότερη ρεαλιστικότητα στην εξομοίωση ενός προβλήματος. Για παράδειγμα, κατά την ανάλυση ενός μετασχηματιστή, μας ενδιαφέρει κατά κύριο λόγο το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στο εσωτερικό του μετασχηματιστή. Αλλά αν γνωρίζαμε ταυτόχρονα και την διάδοση της θερμότητας στα τυλίγματα του μετασχηματιστή τότε η ανάλυση μας θα ήταν πολύ πιο ακριβής. Έτσι στο πρόγραμμα ο χρήστης μπορεί να εκκινήσει ένα είδος ανάλυσης και στη συνέχεια μπορεί να εισάγει δεδομένα από τα αποτελέσματα σε άλλο σχετικό είδος ανάλυσης. Συνήθως σε ένα σύνθετο πρόβλημα μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε σε πρώτο βήμα ενά ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο σε κάποια συσκευή και στη συνέχεια να μελετήσουμε τυχόν αναπτυσσόμενες δυνάμεις ή παραμορφώσεις καθώς και τη διάδοση θερμότητας.

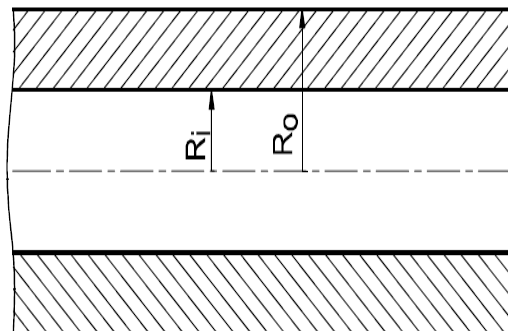
Παρακάτω παραθέτουμε δύο εφαρμογές σύνθετων προβλημάτων.

3.1 Εφαρμογή : Σύνθετο πρόβλημα 1

Coupl1MS/Coupl1SA: Μηχανική καταπόνηση σε σωληνοειδές

Ένα πολύ μακρύ σωληνοειδές διαρρέεται από ρεύμα το οποίο κατανέμεται ομοιόμορφα. Σκοπός της εφαρμογής είναι ο υπολογισμός της πυκνότητας της μαγνητικής ροής εντός και γύρω από το σωληνοειδές καθώς και η μηχανική καταπόνηση του.

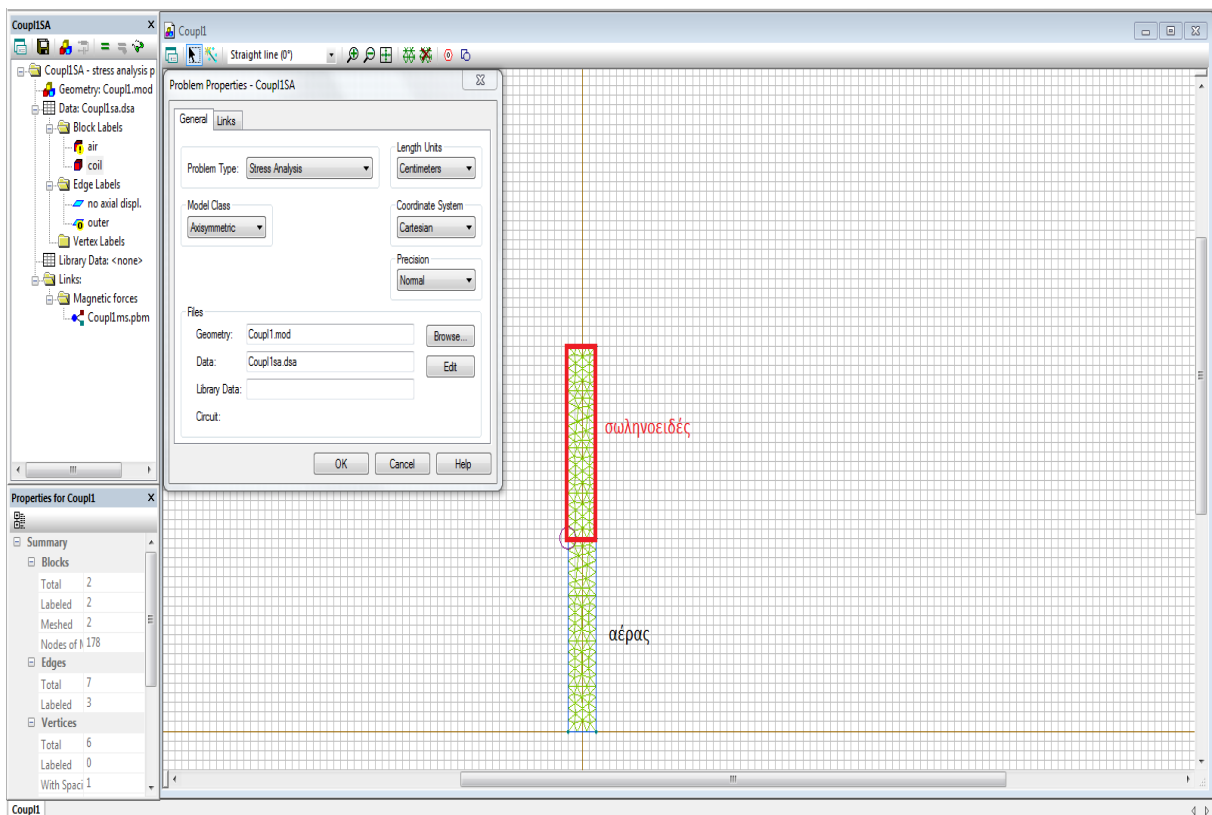
Geometry



Δεδομένα

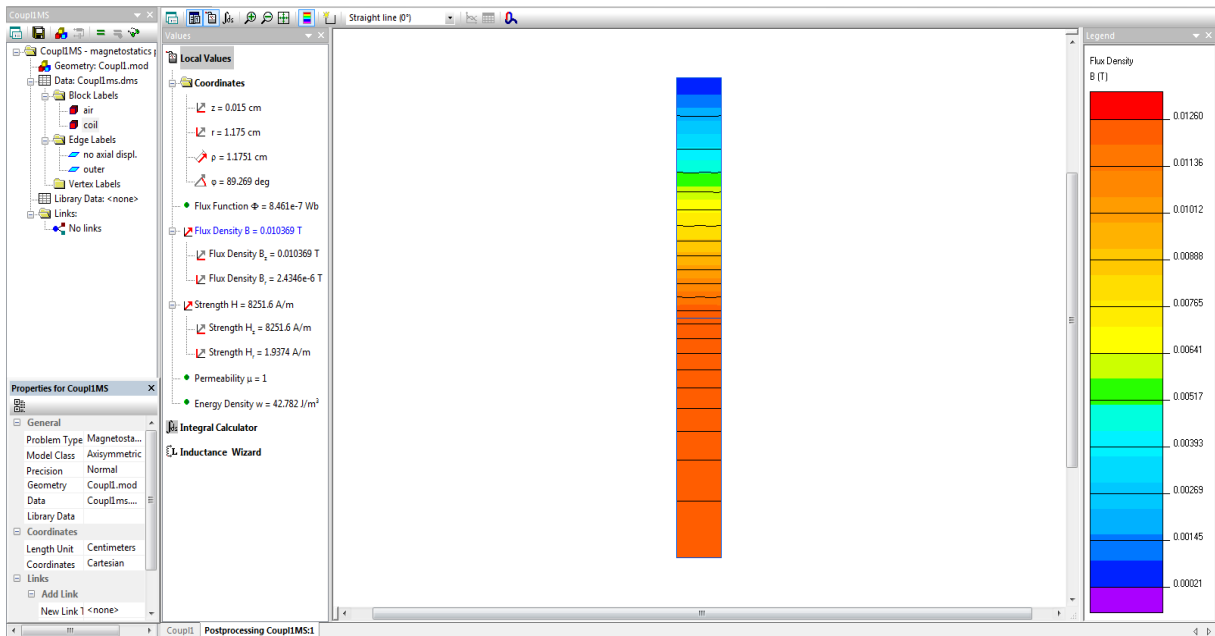
- i. διαστάσεις $R_i = 1\text{cm}$, $R_o = 2\text{cm}$
- ii. σχετική μαγνητική διαπερατότητα του αέρα και του τυλίγματος $\mu = 1$
- iii. πυκνότητα ρεύματος $j = 1 \cdot 10^5 \text{ A/m}^2$
- iv. δείκτης Young $E = 1,075 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$
- v. ρυθμός Poisson $\nu = 0.33$

Το σύνθετο αυτό πρόβλημα αποτελείται από δύο επιμέρους προβλήματα. Το πρώτο είναι η ανάλυση του στατικού μαγνητικού πεδίου μέσα στο σωληνοειδές. Αρχικά το σωληνοειδές σχεδιάζεται και εισάγονται στο πρόγραμμα τα δεδομένα του προβλήματος:



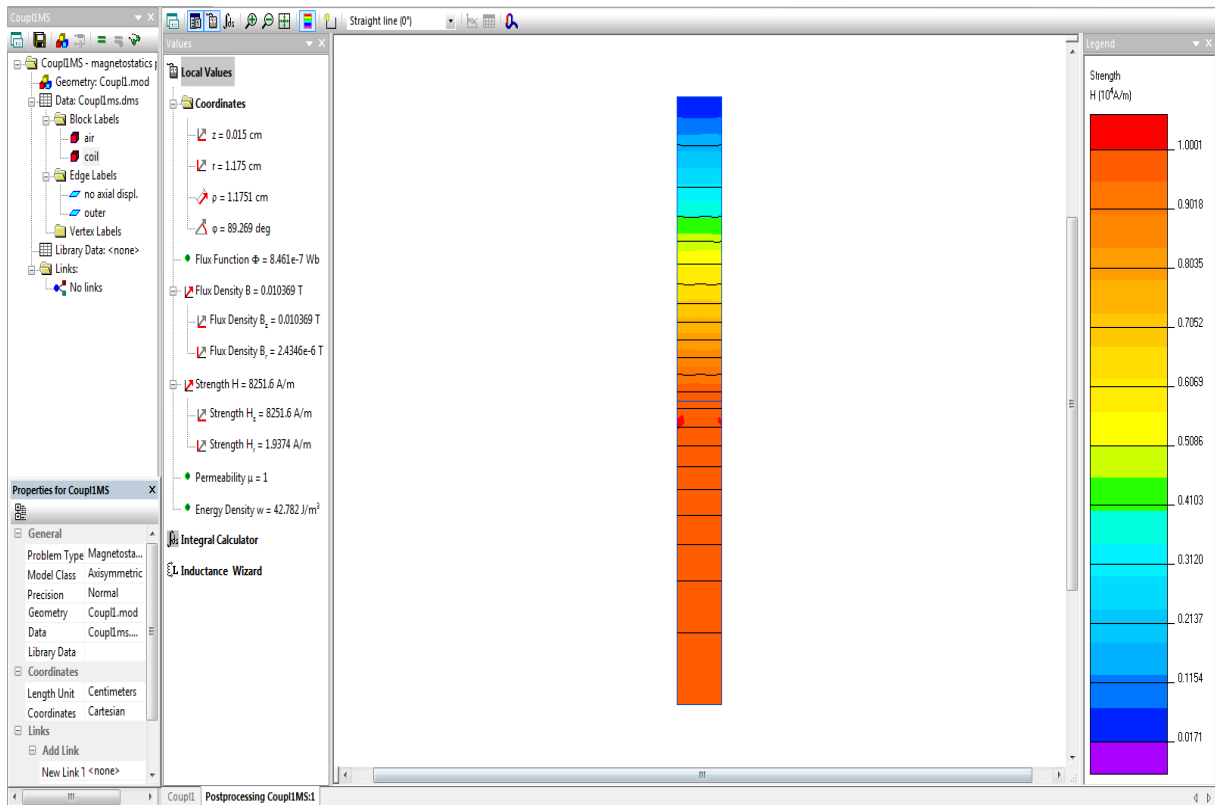
Εικόνα 52

Το πάνω μέρος στο σχέδιο είναι το σωληνοειδές και το κάτω ο αέρας. Το σύστημα δεν επηρεάζεται από εξωτερικό πεδίο. Στη συνέχεια βλέπουμε πως κατανέμονται διάφορα μαγνητικά μεγέθη στο σχήμα.



Εικόνα 53

απεικόνιση της μαγνητικής ροής του πεδίου

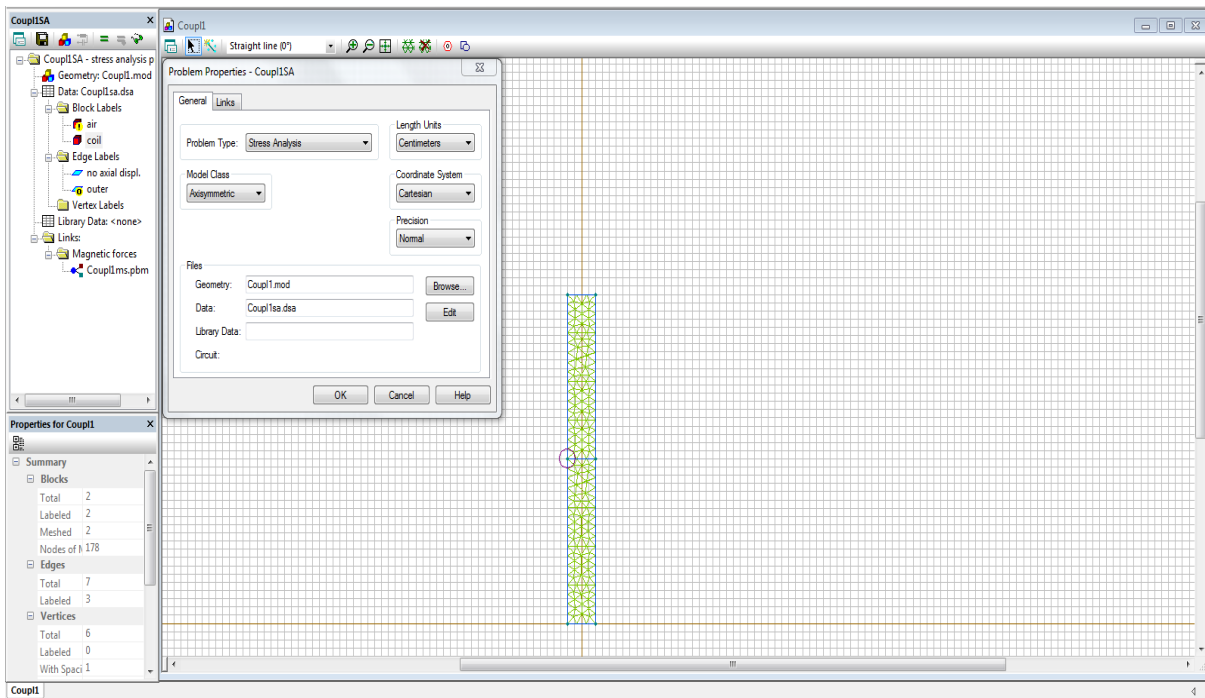


Εικόνα 54

απεικόνιση της έντασης του μαγνητικού πεδίου

Από την ανάλυση αυτή μπορούμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τα μαγνητικά χαρακτηριστικά του σωληνοειδούς . Μπορούμε για παράδειγμα να υπολογίσουμε σε οποιοδήποτε σημείο την πυκνότητα της μαγνητικής ροής. Στη συνέχεια ακολουθεί η δεύτερη ανάλυση , της οποίας αντικείμενο είναι η ανάλυση ασκούμενων δυνάμεων. Εδώ τα δεδομένα εξαρτώνται από το εφαρμοζόμενο πεδίο και για αυτό το λόγο τα αρχικά δεδομένα εισάγονται από την προηγούμενη ανάλυση.

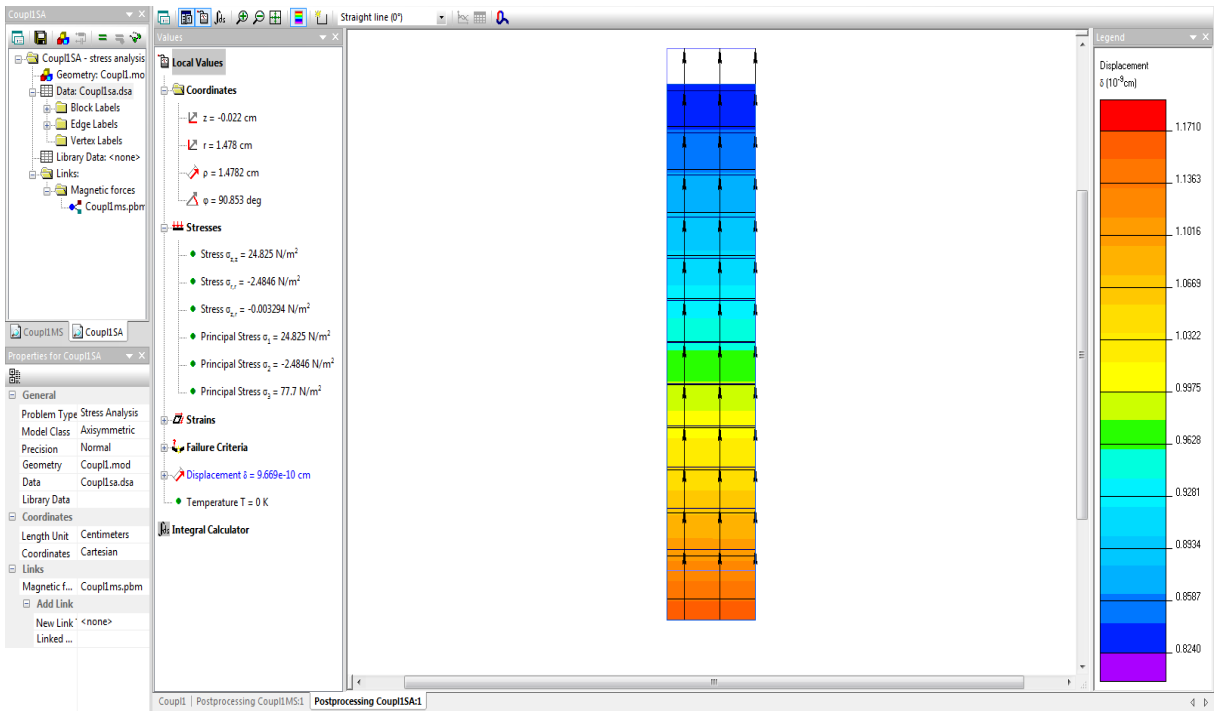
Το σχήμα της δεύτερης ανάλυσης φαίνεται παρακάτω :



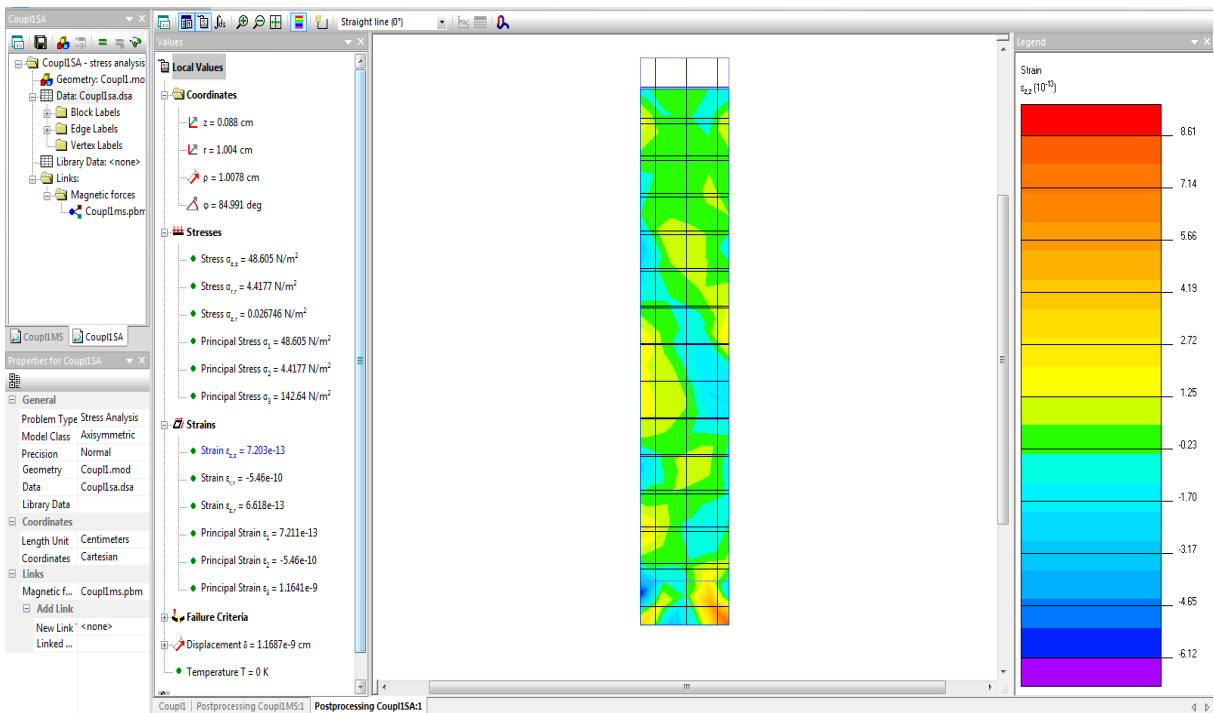
Εικόνα 55

Ο χρήστης απλά εισάγει τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών που εξομοιώνει και εισάγει τα υπόλοιπα από την ανάλυση του στατικού μαγνητικού πεδίου.

Παρακάτω βλέπουμε τη κατανομή της μετατόπισης και το διάνυσμα της φοράς της ασκούμενης δύναμης.



Εικόνα 56
κατανομή της μετατόπισης

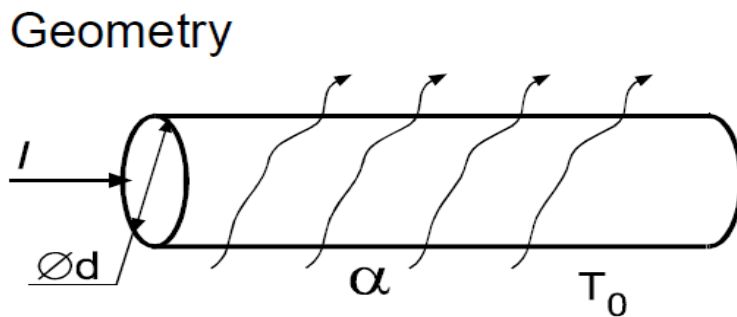


Εικόνα 57
δείκτης παραμόρφωσης

3.2 Εφαρμογή : Σύνθετο πρόβλημα 2

Coupl3: Κατανομή θερμοκρασίας σε ηλεκτροφόρο αγωγό

Στον αγωγό μεγάλου μήκους του παρακάτω σχήματος θέλουμε να υπολογίσουμε πως κατανέμεται η θερμοκρασία στο εσωτερικό του όταν αυτός διαρέεται από ρεύμα. Για ευκολία στο σχεδιασμό του θα χρησιμοποιήσουμε την τομή του αγωγού οπότε θα έχουμε ένα ορθογώνιο σχήμα. Το ύψος του θα είναι ίσο με τη διάμετρο του και το μήκος του παραλληλόγραμμου θα είναι όσο και το μήκος του αγωγού.



Given

Wire diameter $d = 10 \text{ mm}$;

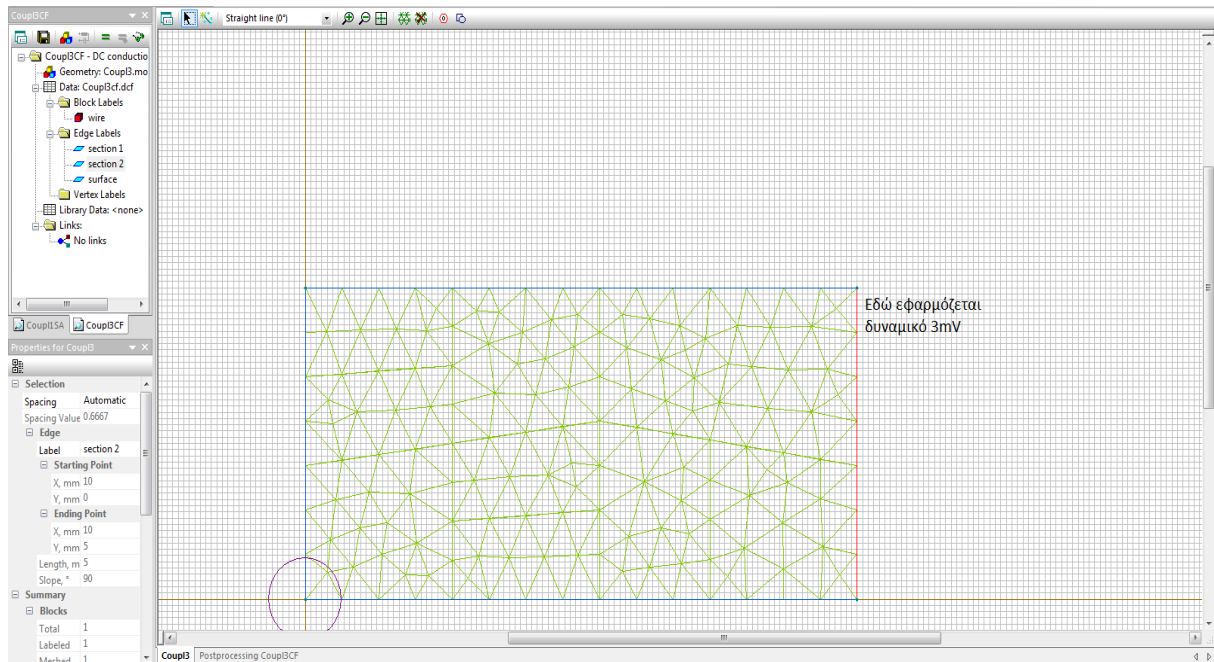
Resistance $\rho = 3 \cdot 10^{-4} \text{ Ohm/m}$;

Electric current $I = 1000 \text{ A}$;

Thermal conductivity $\lambda = 20 \text{ W/K}\cdot\text{m}$;

Convection coefficient $\alpha = 800 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$;

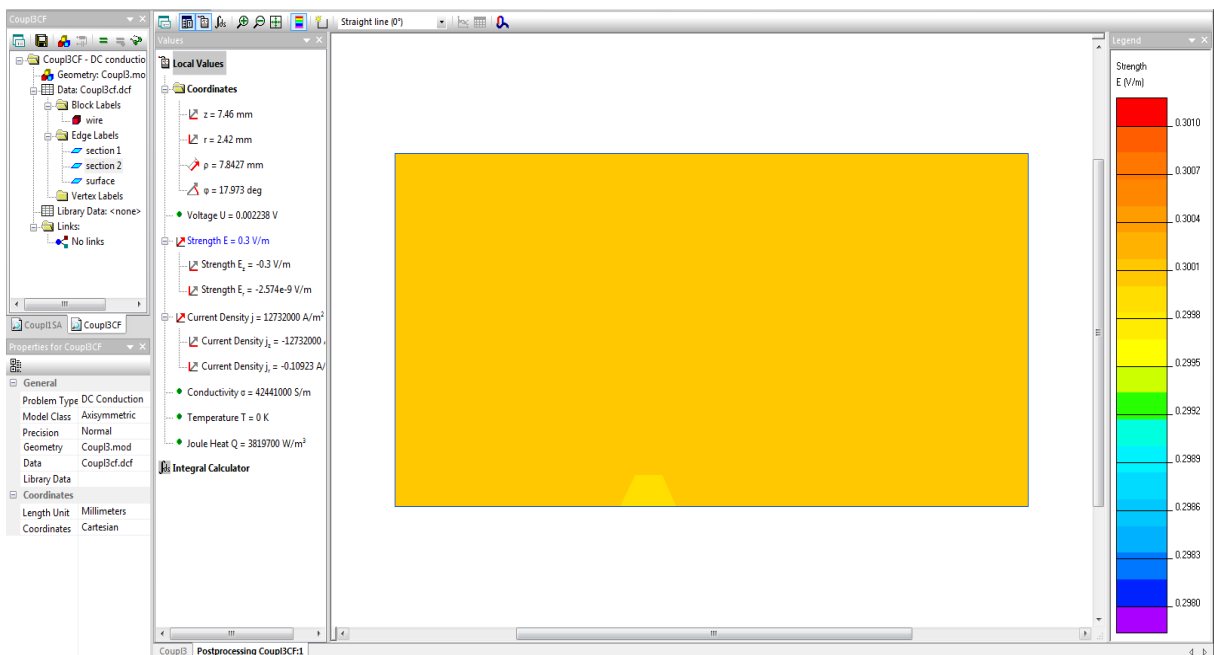
Ambient temperature $T_0 = 20^\circ\text{C}$.



Εικόνα 58

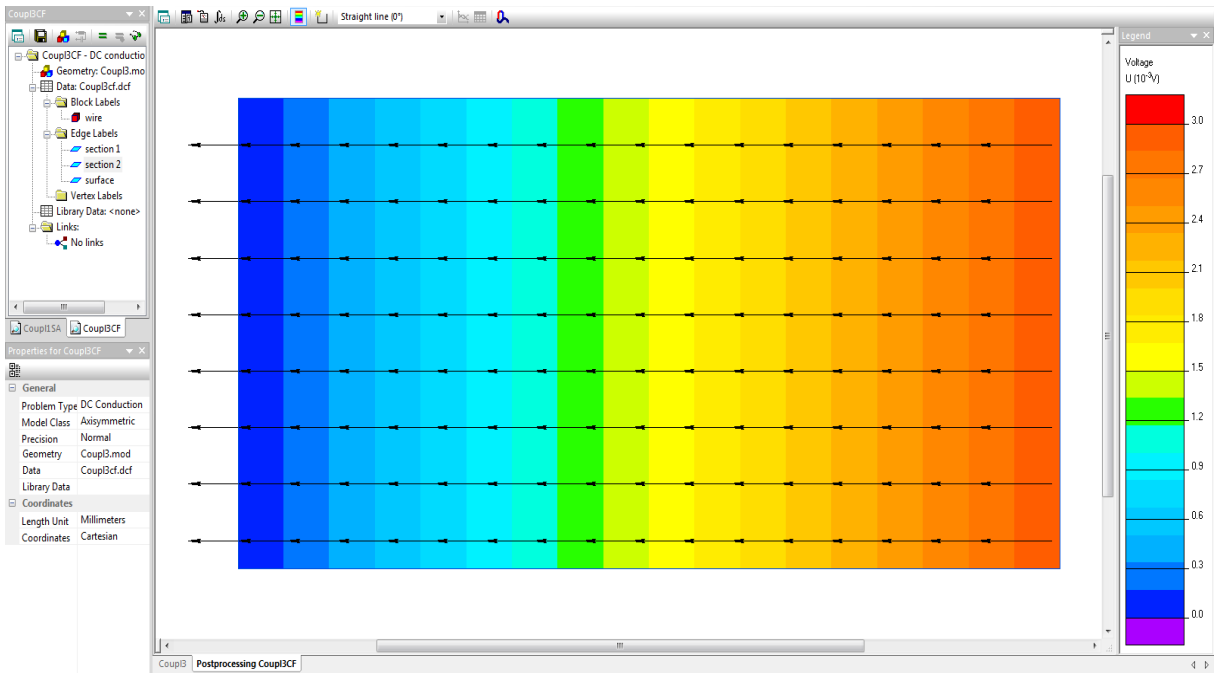
σχέδιο τομής αγωγού

Στο σχήμα παραπάνω βλέπουμε την τομή του αγωγού. Στο δεξί του σχήματος εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού 3mV. Το ηλεκτρικό πεδίο κατανέμεται ομοιόμορφα.



Εικόνα 59

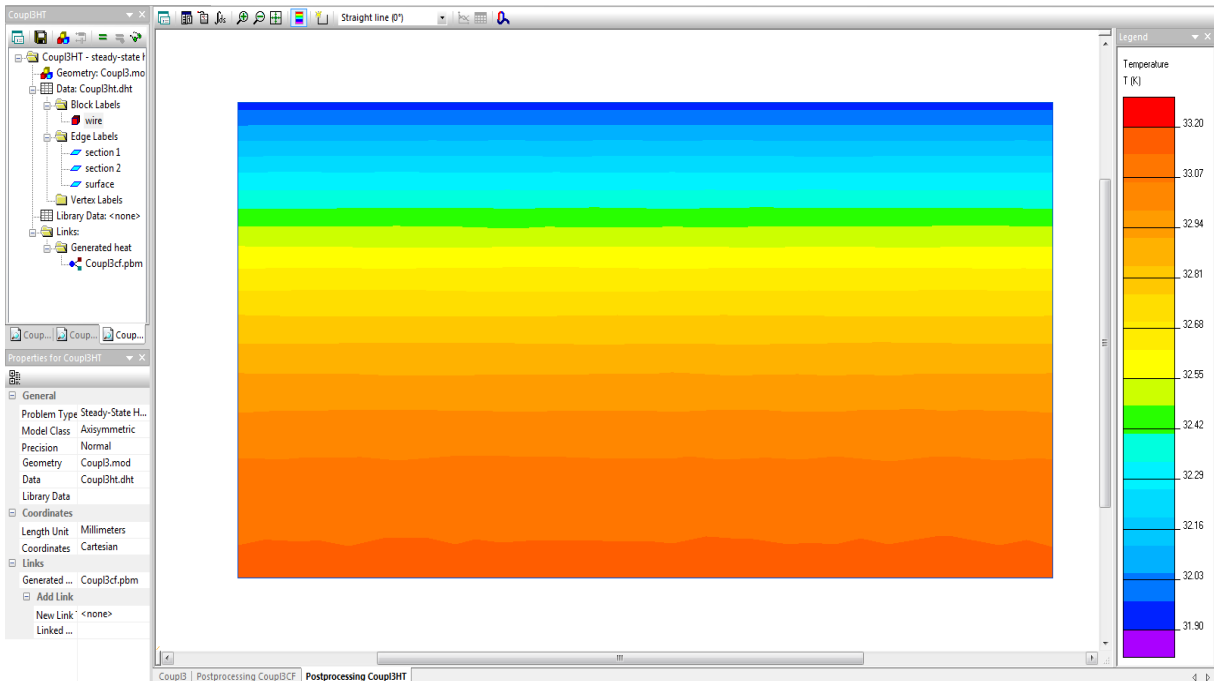
εικ. κατανομή ηλεκτρικού πεδίου



Εικόνα 60

εικ. κατανομή δυναμικού κατα μήκος του αγωγού

Από τη ροή ρεύματος εντός του αγωγού εκλύεται θερμότητα που μπορούμε να υπολογίσουμε με άλλο είδος ανάλυσης. Η ανάλυση που χρειαζόμαστε είναι ανάλυση μεταφοράς θερμότητας (Heat transfer analysis). Η κατανομή της θερμότητας στον αγωγό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 61

εικ. κατανομή θερμότητας στον αγωγό

Κεφάλαιο 4ο : Εφαρμογές

4.1 1-Φ Μετασχηματιστής

Σε αυτή την εξομοίωση σχεδιάσαμε έναν μονοφασικό μετασχηματιστή. Τα τυλίγματα είναι συγκεντρικά, δηλαδή το τυλίγμα χαμηλής τάσης είναι μέσα στο τυλίγμα υψηλής τάσης. Αυτό που μας ενδιαφέρει σε ένα μετασχηματιστή είναι:

- α) ο αριθμός των σπειρών των τυλιγμάτων
- β) η τάση εξόδου του Μ/Σ
- γ) η πυκνότητα μαγνητικής ροής που περικλείεται στον πυρήνα.

Χαρακτηριστικά 1-Φ Μ/Σ

μήκος = 10 cm

πλάτος = 10 cm

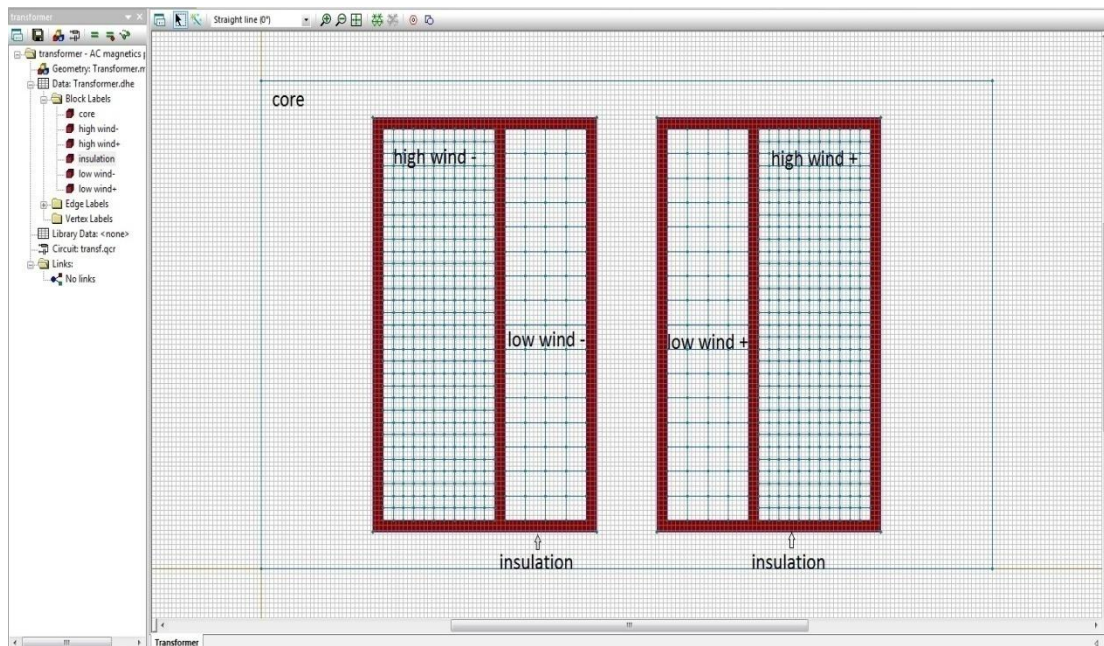
πάχος = 10 cm

$N1/N2=352/64=5.5$

τύπος κατασκευής : συγκεντρικός

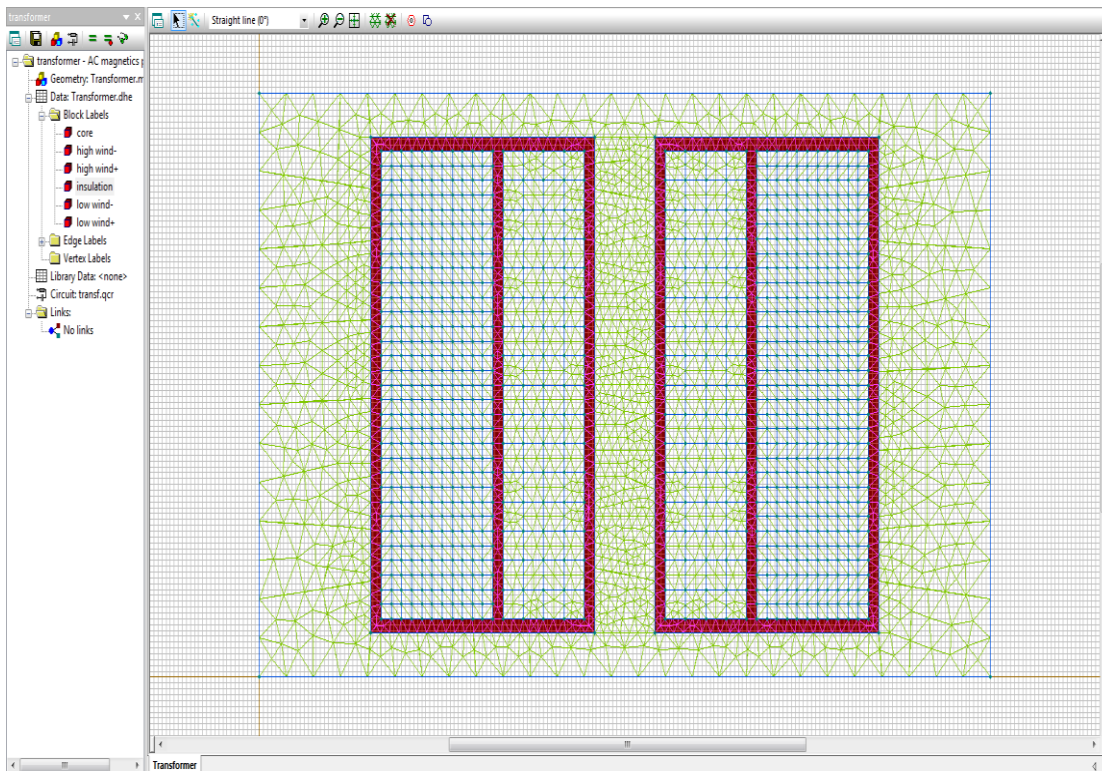
διάμετρος αγωγού τυλίματος Υ.Τ : 0,25cm

διάμετρος αγωγού τυλίματος Χ.Τ : 1cm



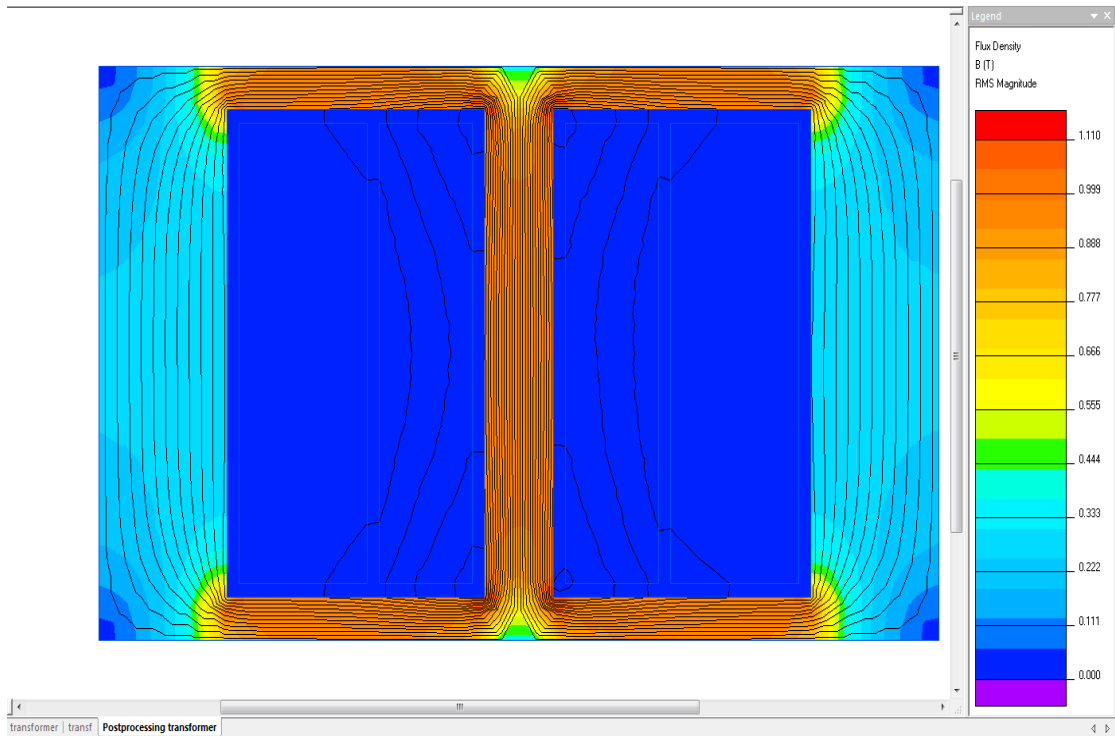
εικ.1 σχεδίαση τομής του 1-Φ μετασχηματιστή

Αφού έγινε η σχεδίαση του μετασχηματιστή (εικ.1), τώρα το πρόγραμμα για να μπορέσει να επεξεργαστεί το σχέδιο δημιουργεί ένα είδος πλέγματος (mesh) το οποίο αποτελείται από κόμβους (εικ.2). Οι κόμβοι (nodes) είναι τα σημεία δειγματοληψίας του προγράμματος. Όσο περισσότερα σημεία σχεδιάσει το πρόγραμμα τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος. Εμείς χρησιμοποιούμε την έκδοση Quick Field Lite Edition που έχει όριο 4000 nodes.

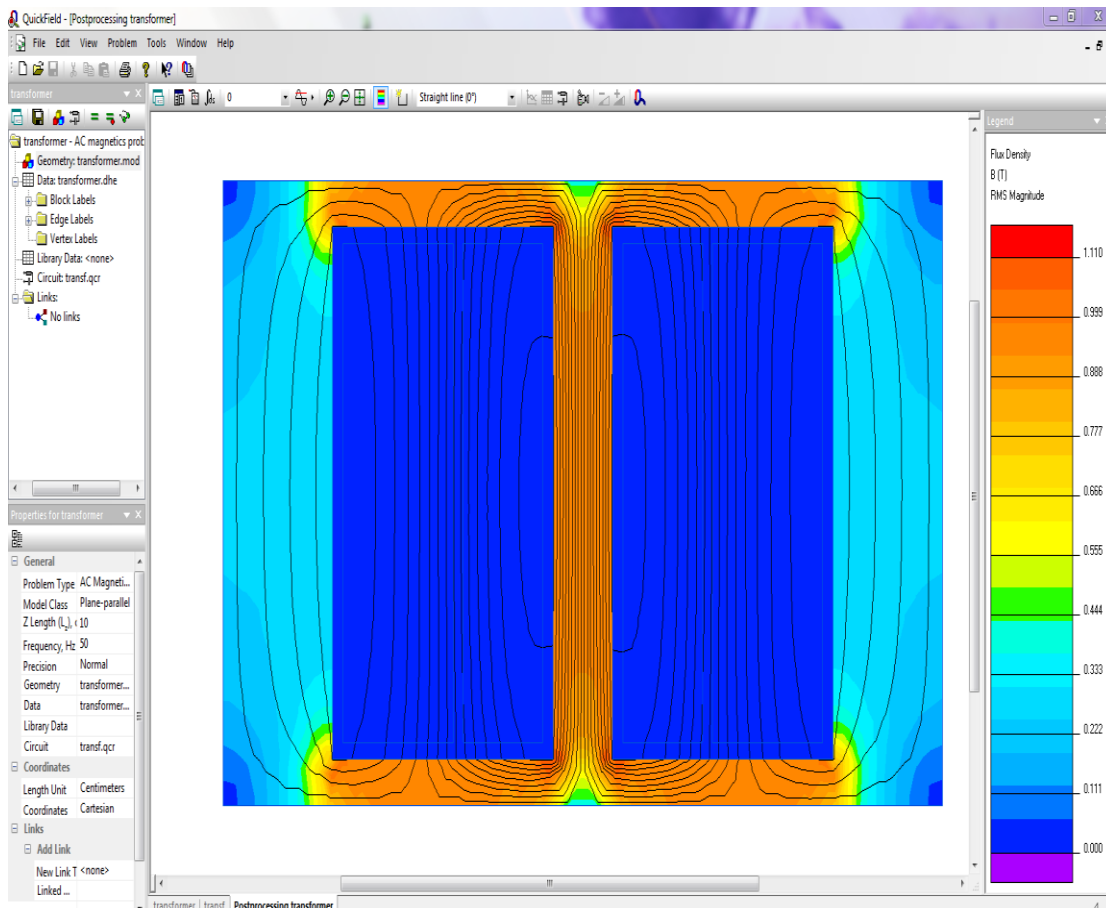


εικ.2 πλέγμα(mesh) του μετασχηματιστή

Μετά τη σχεδίαση του μετασχηματιστή δώσαμε ως δεδομένα για κάθε τμήμα τα ζητούμενα δεδομένα. Για την AC Magnetics analysis (ανάλυση AC μαγνητικών πεδίων) ζητήθηκε η σχετική μαγνητική διαπερατότητα και η αγωγιμότητα κάθε στοιχείου. Από αυτή την ανάλυση πήραμε αποτελέσματα για την μαγνητική ροή σε όλο το μετασχηματιστή εν κενώ (εικ.3) και με R-L φορτίο (εικ.4).

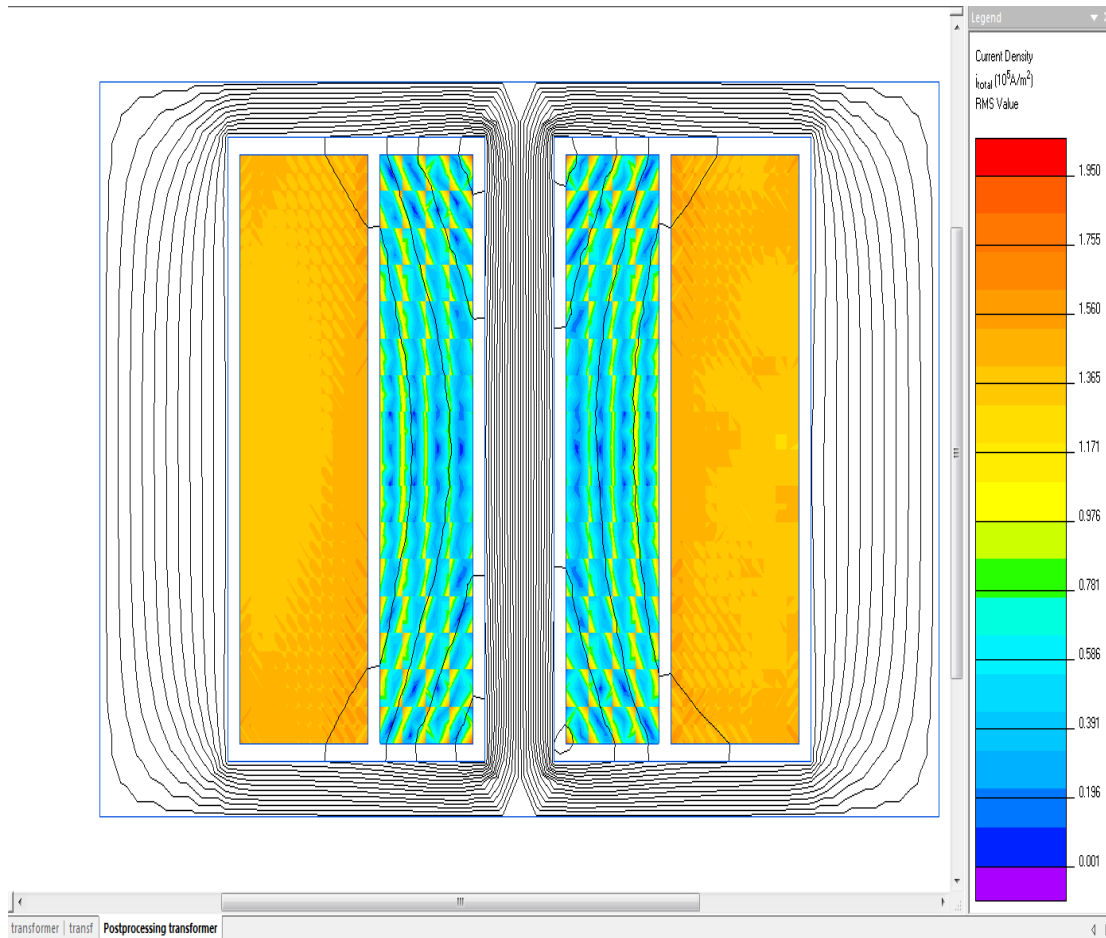


εικ 3. πυκνότητα ροής εν κενώ

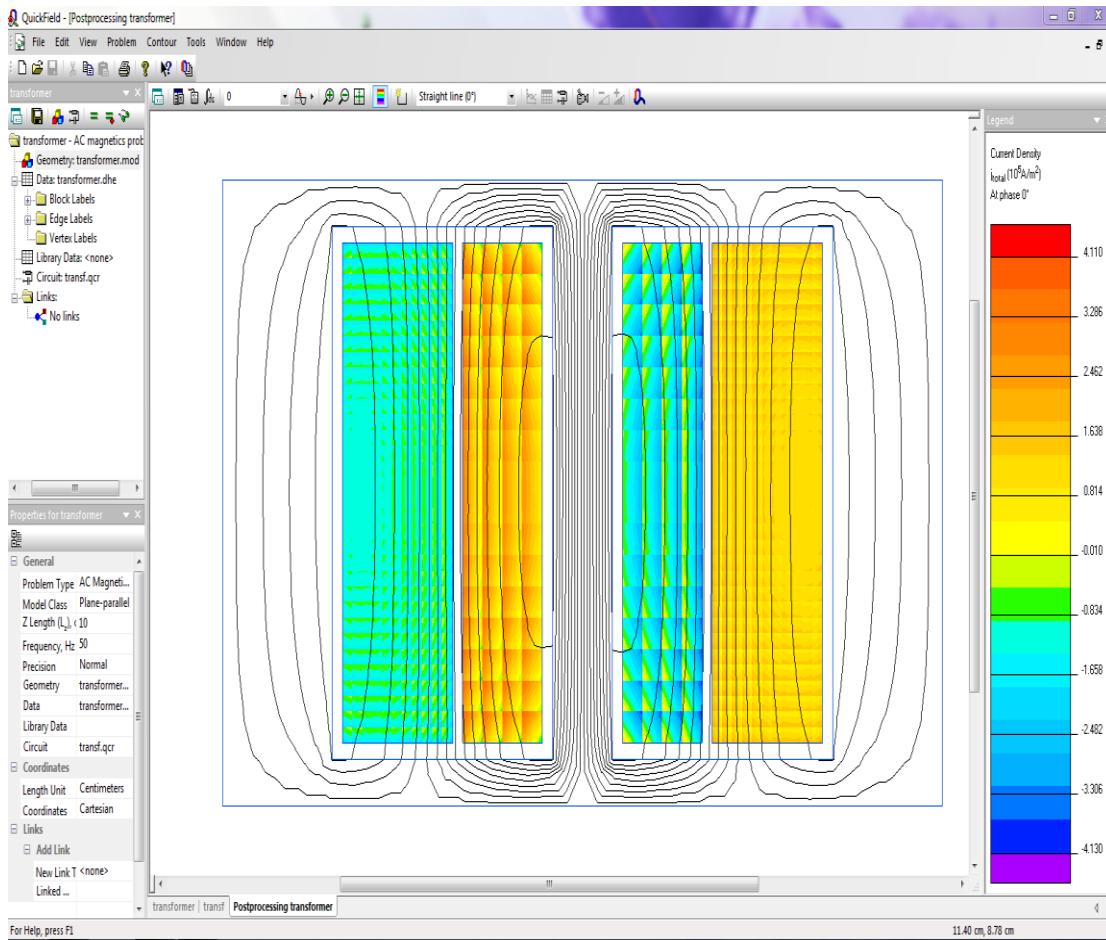


εικ 4. πυκνότητα ροής με R-L φορτίο

Επίσης από την AC Magnetics ανάλυση μπορέσαμε να έχουμε και την πυκνότητα ρεύματος , τόσο εν κενώ (εικ.5) όσο και με R-L φορτίο (εικ.6). Παρατηρώντας τις δύο εικόνες μπορούμε να εξάγουμε πολύ χρήσιμες πληροφορίες για τον μετασχηματιστή.

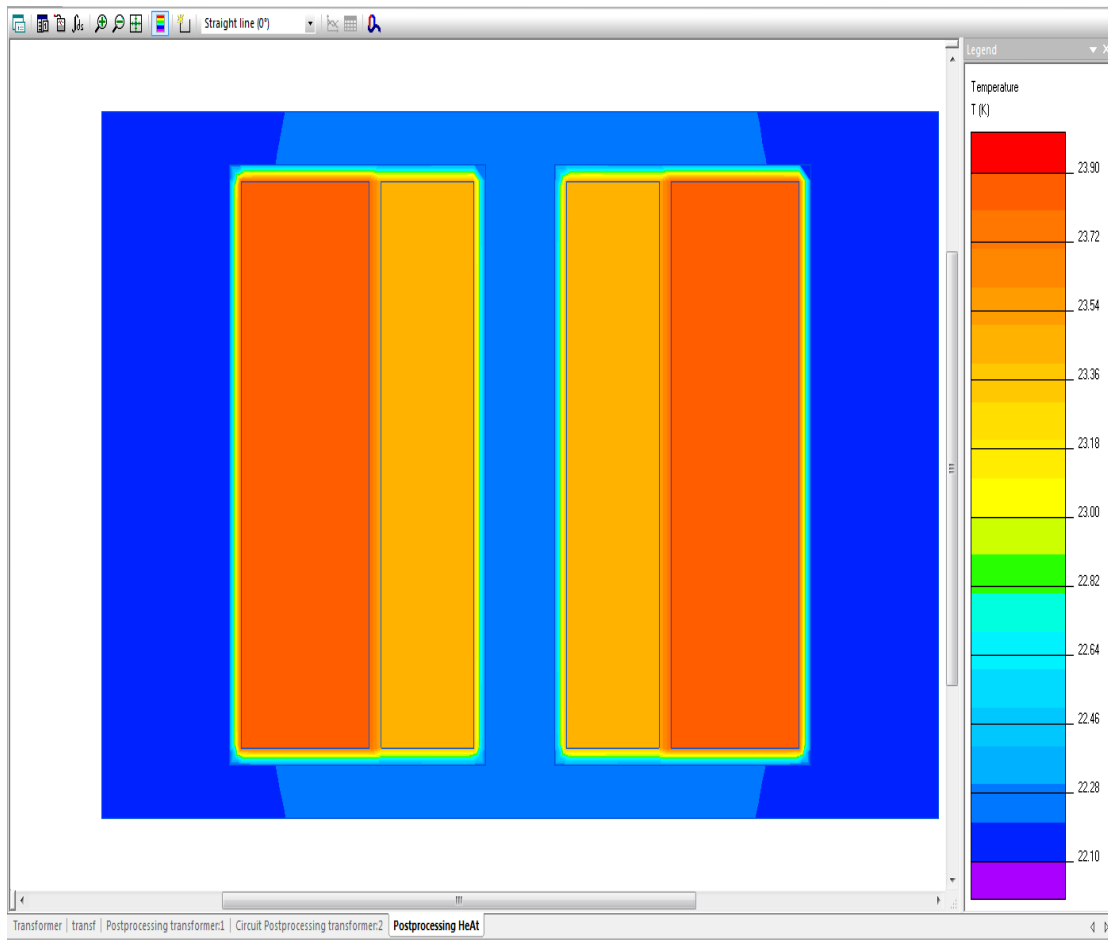


εικ 5. πυκνότητα ρεύματος M/Σ εν κενώ



εικ 6. πυκνότητα ρεύματος M/Σ με R-L φορτίο

Τέλος, ένα πολύ σημαντικό μέγεθος τόσο για τη λειτουργία όσο και για την ασφάλεια του M/Σ είναι η θερμοκρασία. Για αυτό, χρησιμοποιήσαμε την ανάλυση μεταφοράς θερμότητας (heat transfer analysis) όπου ως πηγή θερμότητας θεωρήσαμε το μαγνητικό πεδίο του μετασχηματιστή (σύνθετο ηλεκτροθερμικό πρόβλημα). Είναι ενδεικτική η υψηλότερη θερμοκρασία στο τύλιγμα υψηλής τάσης κατά τη λειτουργία με R-L φορτίο από ότι στο τύλιγμα χαμηλής τάσης (εικ.7).



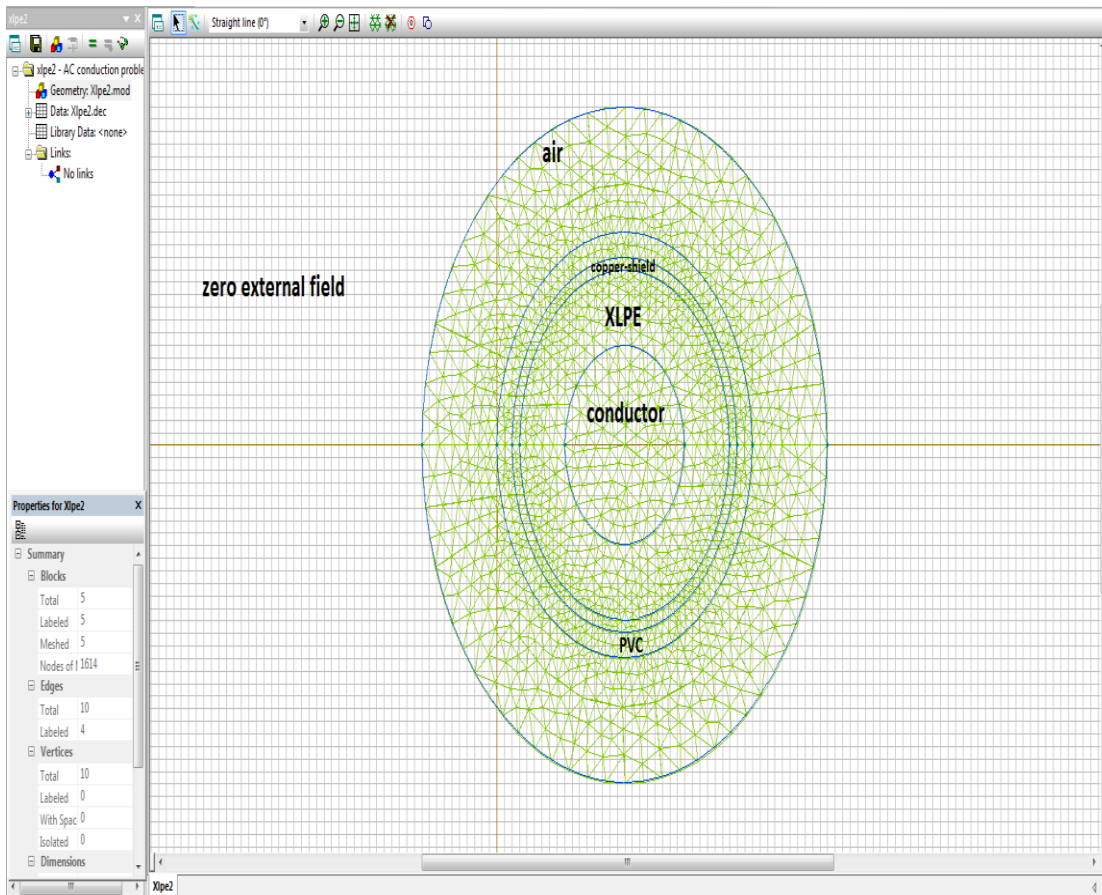
εικ 7. θερμοκρασία Μ/Σ με R-L φορτίο

4.2 3-Φ Γραμμή Μεταφοράς Μ.Τ με αγωγούς XLPE 20kV

Σε αυτή την εξομοίωση σχεδιάσαμε μια τριφασική γραμμή μεταφοράς μέσης τάσης με αγωγούς όπου το κύριο μονωτικό υλικό είναι XLPE (Cross-linked polyethylene). Για τη διεξαγωγή αυτής της εφαρμογής χρησιμοποιούμε αρχικά την AC Conduction analysis (ανάλυση AC αγωγιμότητας). Σχεδιάσαμε την τομή του καλωδίου (εικ.9) σύμφωνα με ένα εμπορικό προϊόν (εικ.8).

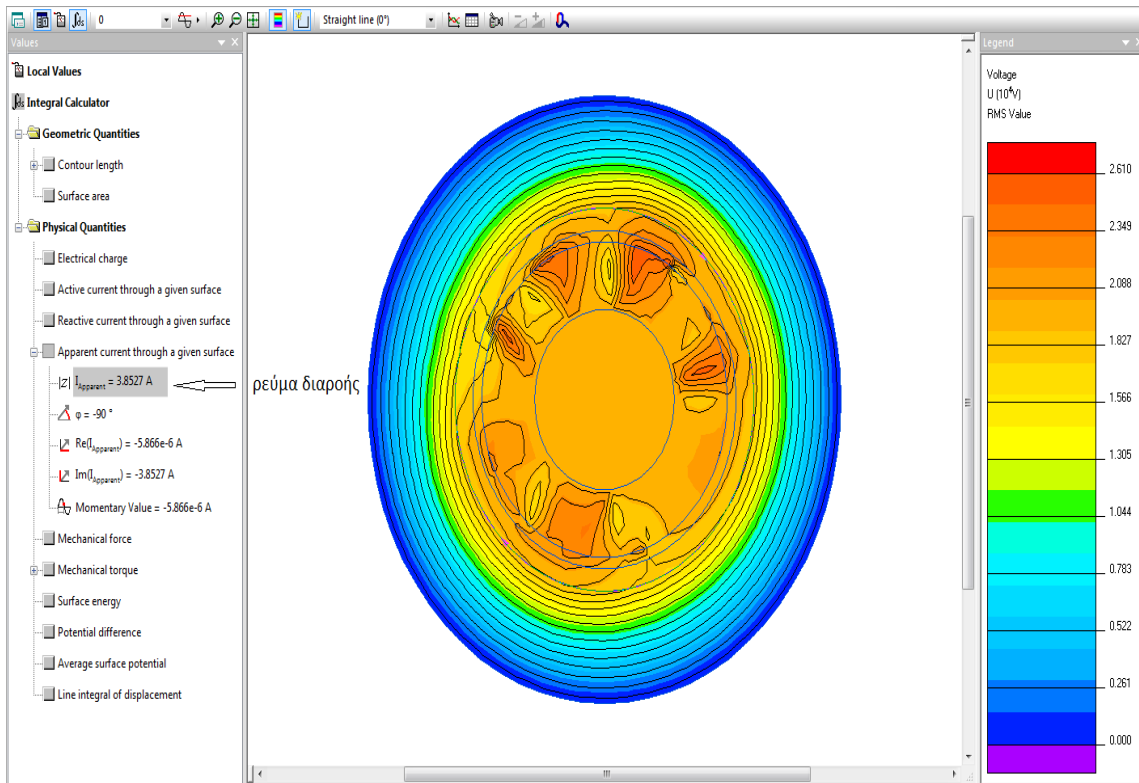


εικ.8 μονοπολικό καλώδιο XLPE Μ.Τ.

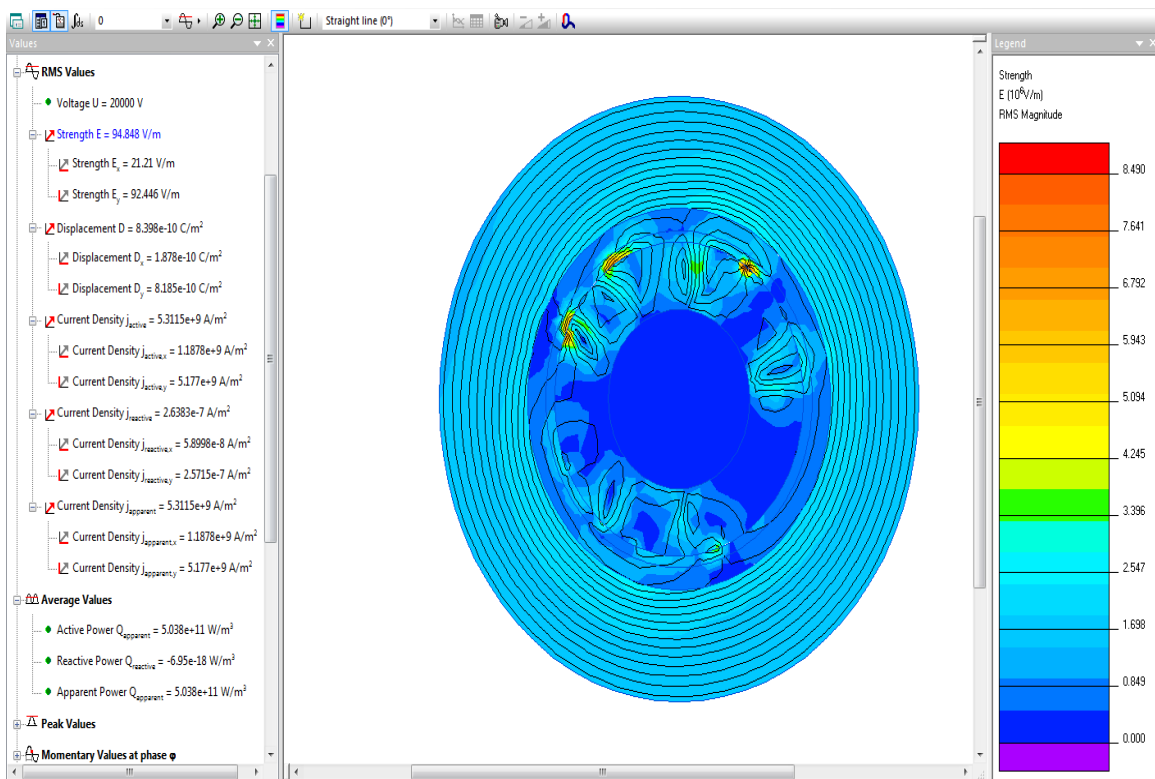


εικ.9 σχεδίαση καλωδίου XLPE

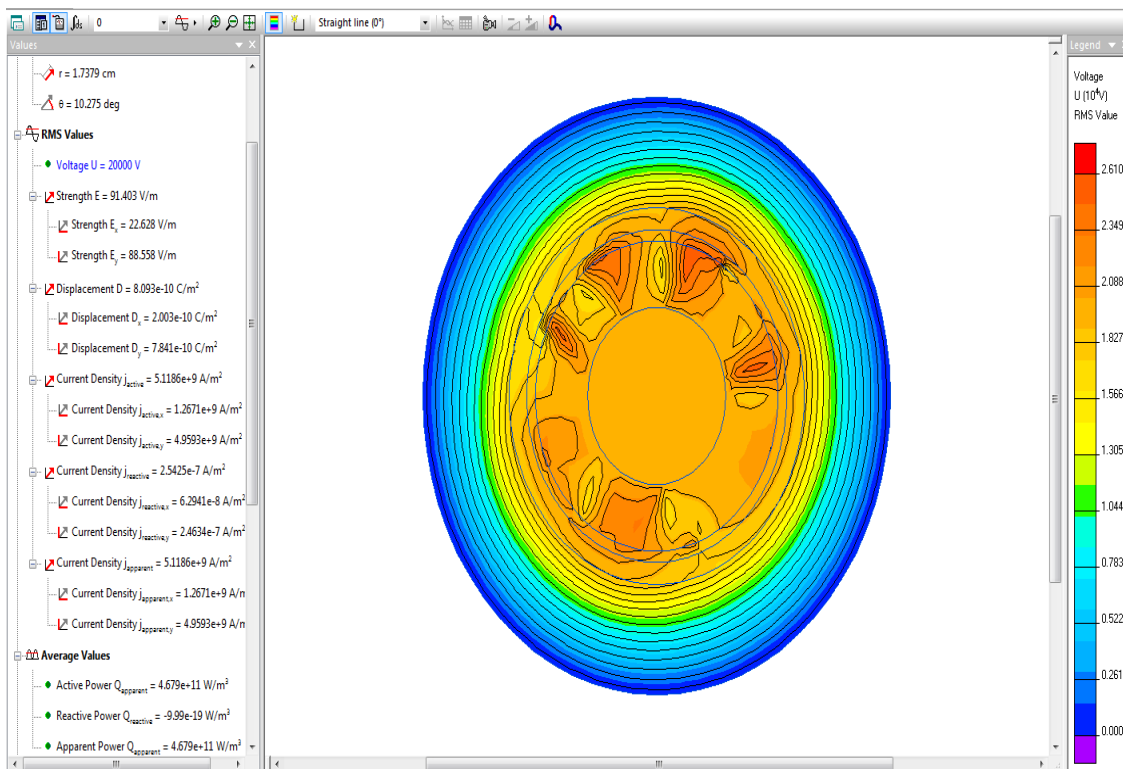
Με την ανάλυση AC αγωγιμότητας μπορούμε να βρούμε το ρεύμα διαροής της μόνωσης (εικ.10), την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (εικ.11) , την τάση στα άκρα του αγωγού (εικ.12) καθώς και την πυκνότητα ρεύματος (εικ.13). Το πρόγραμμα σε αυτό το στάδιο απαιτεί την διηλεκτρική σταθερά και την αγωγιμότητα του κάθε στοιχείου.



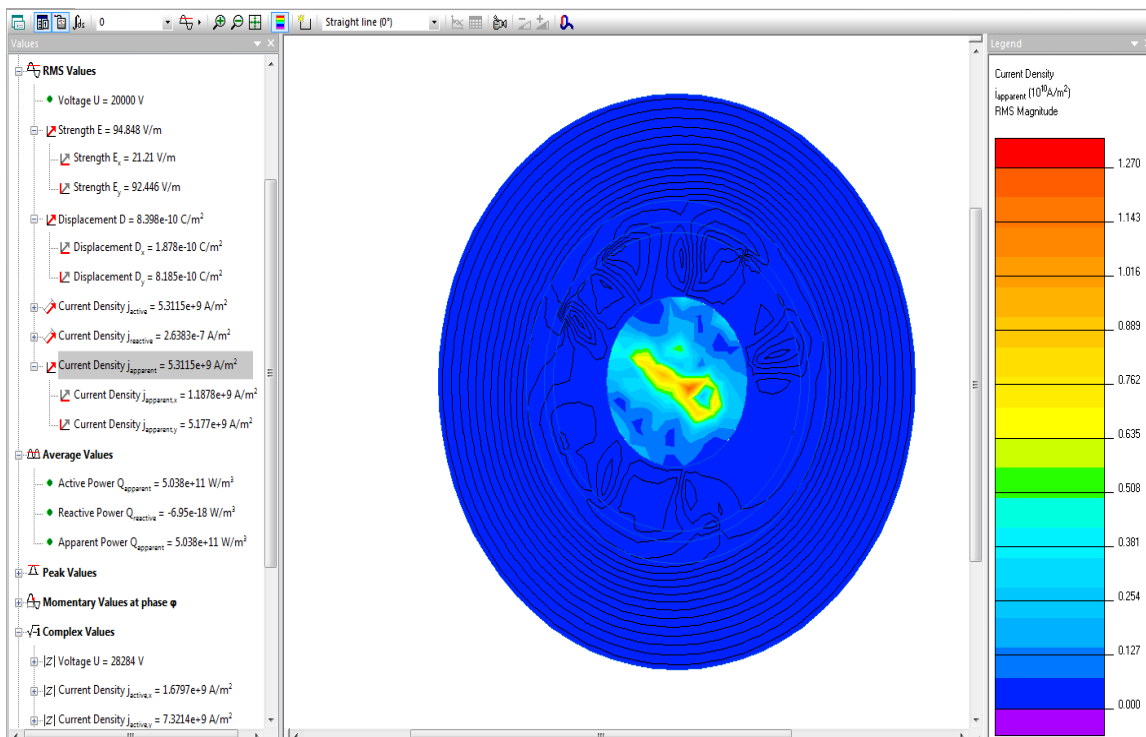
εικ.10 ρεύμα διαροής (αριστερά)



εικ.11 ένταση ηλεκτρικού πεδίου



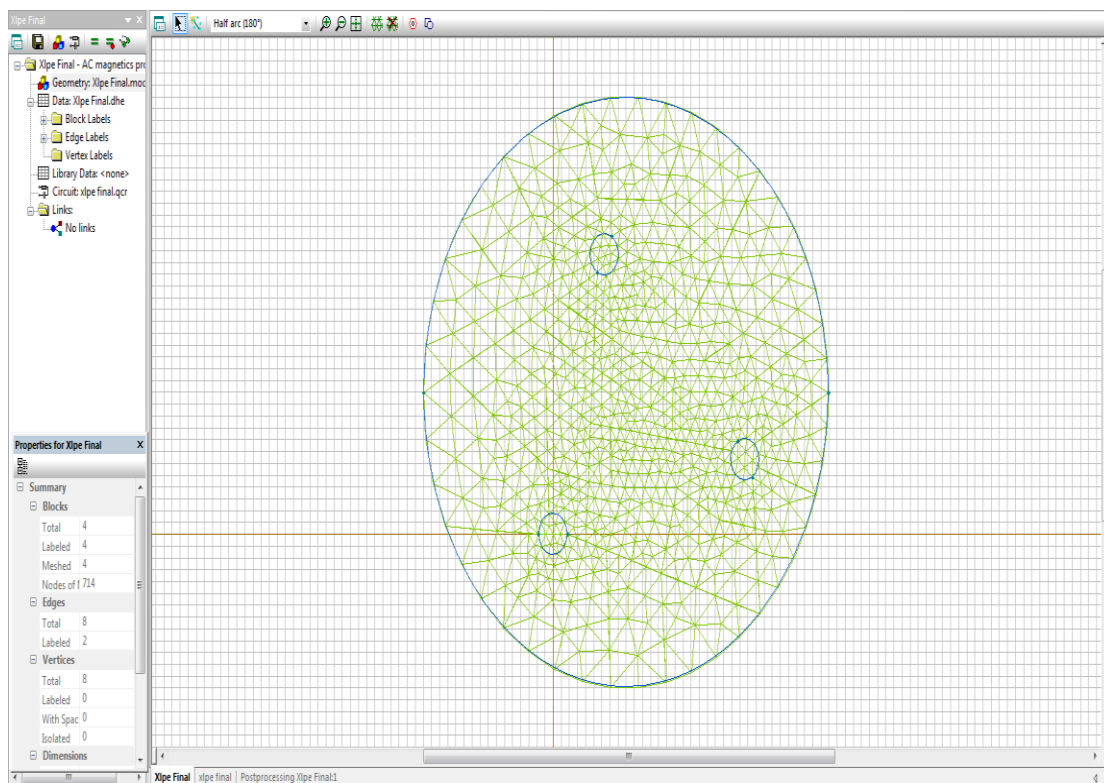
εικ.12 τάση καλωδίου XLPE



εικ.13 πυκνότητα ρεύματος καλωδίου XLPE

Αφού μελετήσαμε το καλώδιο με τη βοήθεια της AC ανάλυσης αγωγιμότητας (AC Conduction), τώρα θέλουμε να σχεδιάσουμε και να μελετήσουμε τη γραμμή μεταφοράς. Η γραμμή μεταφοράς είναι τριφασική με πολική τάση 20kV. Για την εξομοίωση της χρησιμοποιούμε την ανάλυση AC μαγνητικών πεδίων (AC Magnetics analysis).

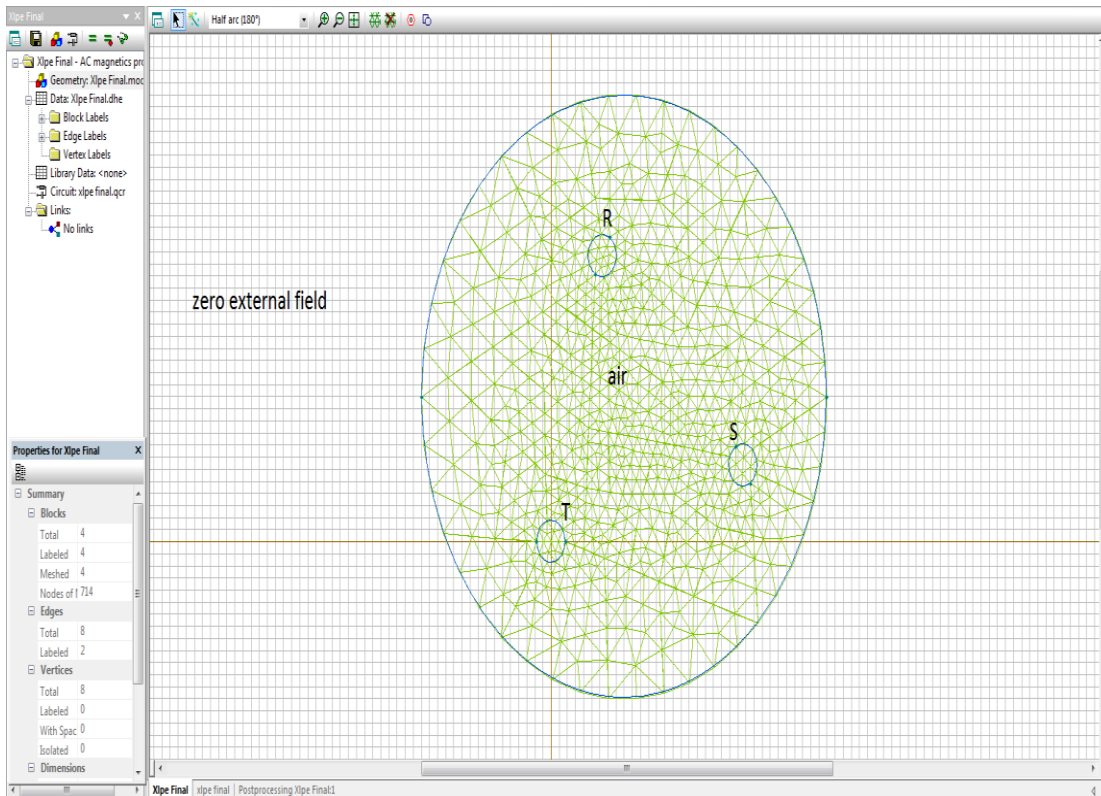
Χρησιμοποιώντας τον ίδιο αγωγό και για τις τρεις φάσεις, σχεδιάζουμε μια τριφασική εναέρια γραμμή μεταφοράς.



εικ 14. σχεδιασμός 3-Φ εναέριας Γ.Μ

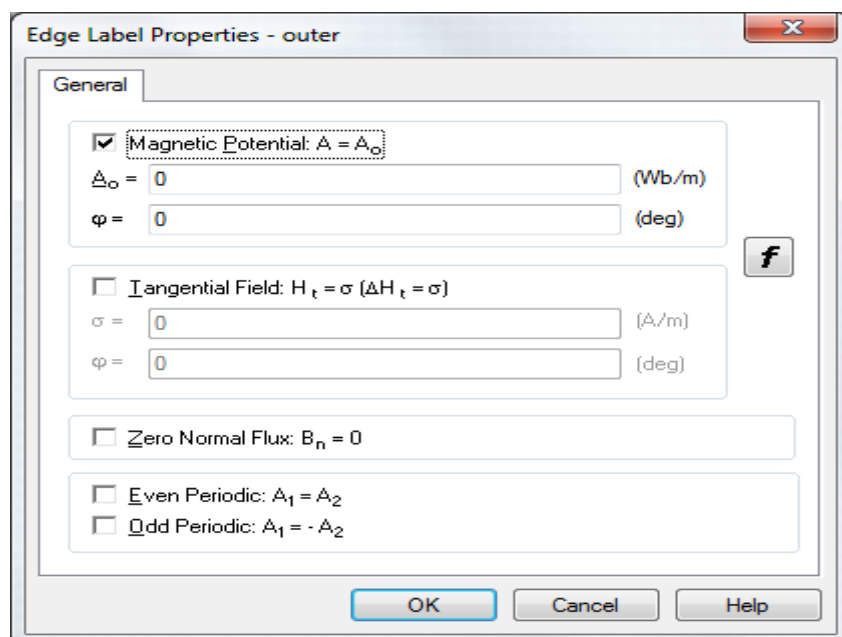
Όπως φαίνεται και από το σχήμα (εικ.14) οι τρεις αγωγοί διατάσσονται στο χώρο με μετατόπιση 120° . Τα 3 καλώδια XLPE σχεδιάστηκαν με βάση τη διατομή του αγωγίμου τμήματος και όχι βάσει της συνολικής διατομής που περιλαμβάνει τη μόνωση κ.α.

Στη συνέχεια σχεδιάσαμε ένα κύκλο ο οποίος αναπαριστά τον αέρα, εφόσον η γραμμή μεταφοράς είναι εναέρια. Έτσι το σχέδιο διαμορφώνεται ως εξής.



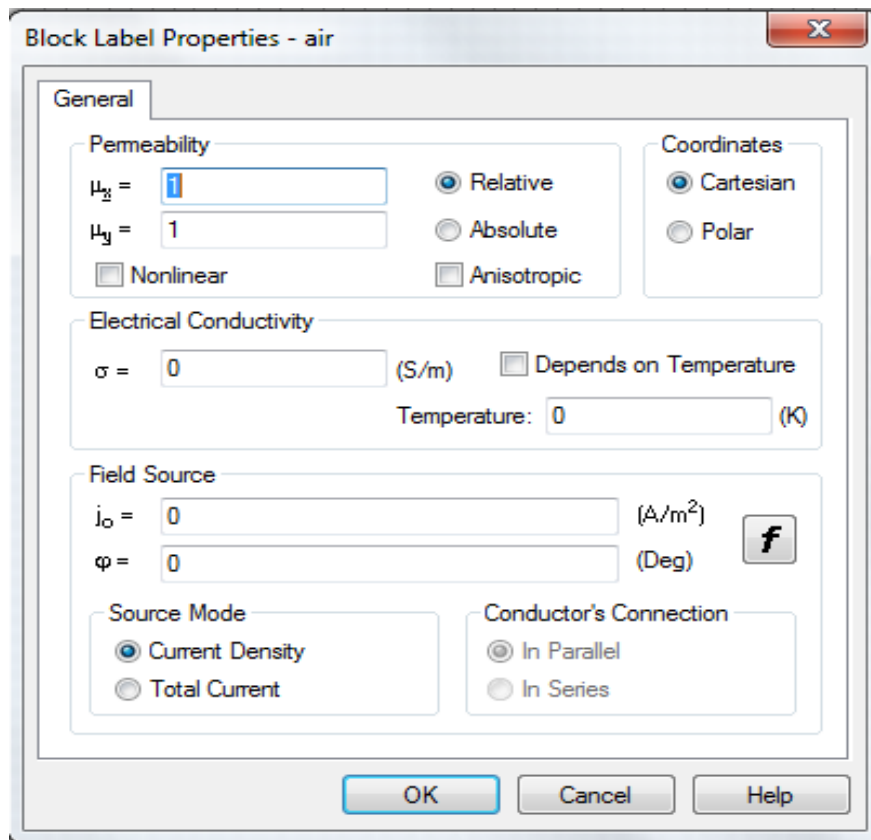
εικ 15. διαμόρφωση τελικού σχεδίου

Παραπάνω βλέπουμε πως τελικά διαμορφώνεται το σχήμα. Μετά το σχεδιασμό των φάσεων και του εμβαδού του αέρα στο οποίο το πρόγραμμα θα μας δώσει αποτελέσματα, πατάμε το Build Mesh απο την γραμμή εργαλειών. Τότε έχουμε το δίκτυο με τα σημεία δειγματοληψίας. Πέρα από το δικτυωμένο μέρος του σχεδίου ορίζουμε ότι δεν υπάρχει εξωτερικό πεδίο που να επηρεάζει το σύστημα μας.



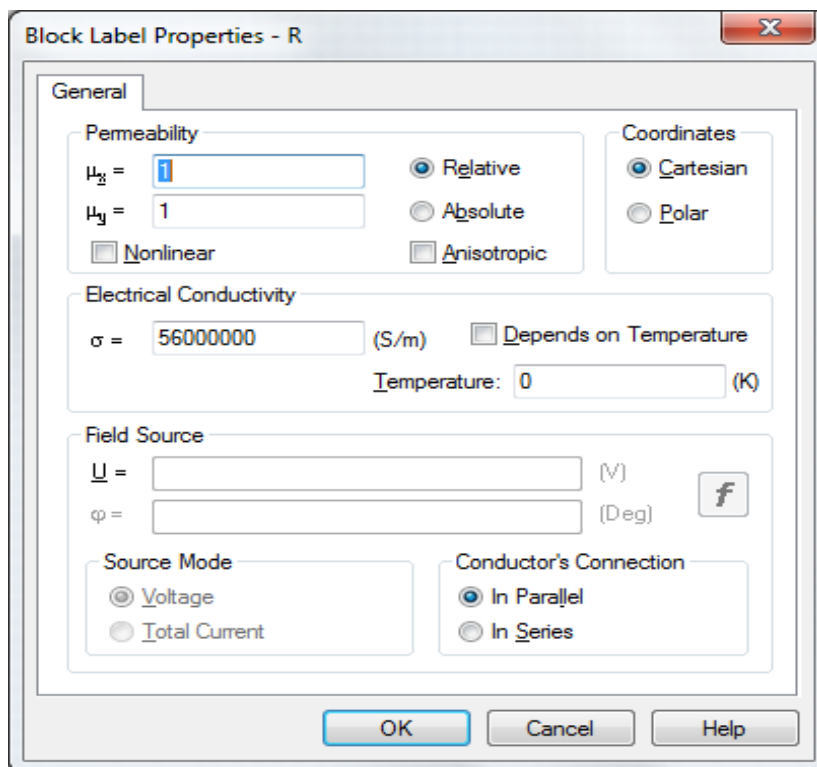
εικ 16.ιδιότητες εξωτερικού τμήματος

Στη συνέχεια χαρακτηρίζουμε τα επόμενα τμήματα του σχεδίου μας.



εικ 17. ιδιότητες αέριου τμήματος

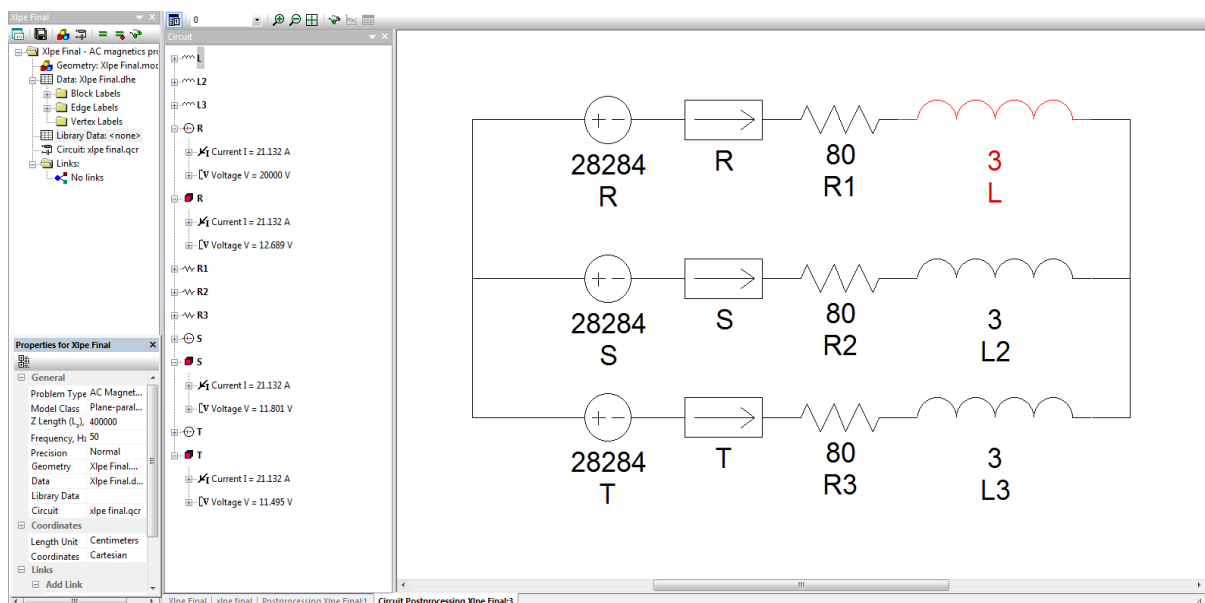
Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του αέρα είναι 1 (εικ.17). Η B-H χαρακτηριστική είναι γραμμική οπότε δεν επιλέγουμε το nonlinear. Επίσης ο αέρας συμπεριφέρεται ως μονωτής οπότε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του είναι 0 S/m. Με τις πιο κάτω επιλογές, τις πηγές πεδίου και το είδος πηγής, δεν ασχολούμαστε αφού στη συνέχεια θα κατασκευάσουμε το ηλεκτρικό κύκλωμα της γραμμής μεταφοράς.



εικ. 18 ιδιότητες φάσης R

Στα χαρακτηριστικά των φάσεων η σχετική μαγνητική διαπερατότητα είναι και εδώ 1, ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα του χάλκινου αγωγού είναι 56000000 S/m. Ότι ισχύει για τη φάση R, ισχύει και για τις δύο επόμενες.

Στη συνέχεια σχεδιάζουμε το ηλεκτρικό κύκλωμα της τριφασικής γραμμής μεταφοράς, και μελετάμε τη συμπεριφορά της κατά τη συμμετρική φόρτιση της με ωμικό - επαγωγικό φορτίο.



εικ 20. ηλεκτρικό κύκλωμα

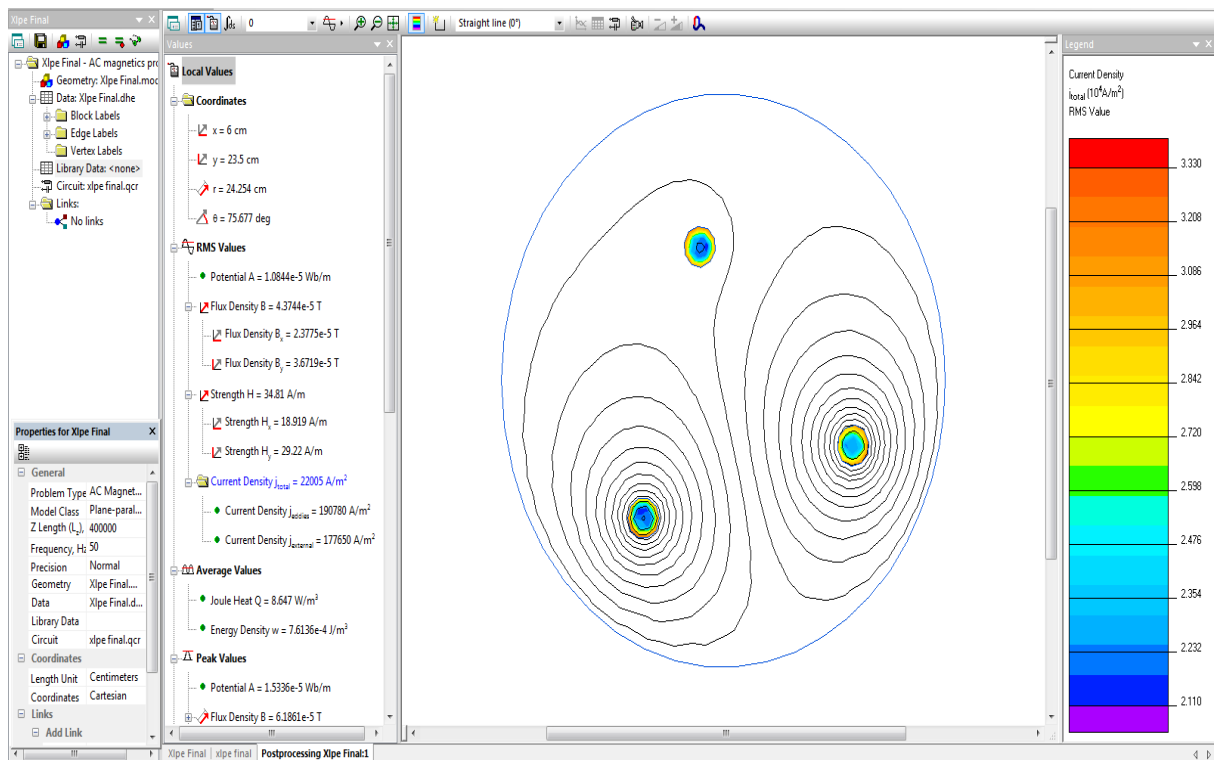
Για το σχεδιασμό του ηλεκτρικού κυκλώματος χρησιμοποιήσαμε 3 πηγές τάσης σε συνδεσμολογία αστέρα. Για τις πηγές ζητήθηκε να εισάγουμε το μέγιστο πλάτος της τάσης λειτουργίας, όπου στη Μέση τάση ισχύει $V_0 = 20 \cdot \sqrt{2} \text{ kV} = 28,284 \text{ kV}$ και η διαφορά φάσης που είναι 120° .

Στη συνέχεια εισάγουμε τη γραμμή μεταφοράς που έχουμε σχεδιάσει προηγουμένως. Με βάση τη σχεδίαση μας (τη διατομή, το υλικό, το μήκος κ.α) καθώς και με βάση το φορτίο στο τέλος της γραμμής, διαμορφώνονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της γραμμής (όπως η αντίσταση). Εισάγουμε τη γραμμή στο σχέδιο με την λειτουργία *Insert Block from Model* και στη συνέχεια με δεξιά κλικ την επιλέγουμε με βάση το χαρακτηρισμό που της έχουμε δώσει (R, S, T). Επαναλαμβάνοντας τα παραπάνω βήματα άλλες δυο φορές σχεδιάσαμε τις 3 πηγές και την γραμμή μεταφοράς. Τέλος στο άκρο της γραμμής μεταφοράς προσθέσαμε τριφασικό συμμετρικό φορτίο R - L.

Στο τελικό στάδιο της ανάλυσης AC Magnetics και αφού έχουμε σχεδιάσει και ορίσει ικανοποιητικά το σύστημα μας, επιστρέφουμε στο σχέδιο και πατάμε *solve* για να δούμε τα αποτελέσματα.

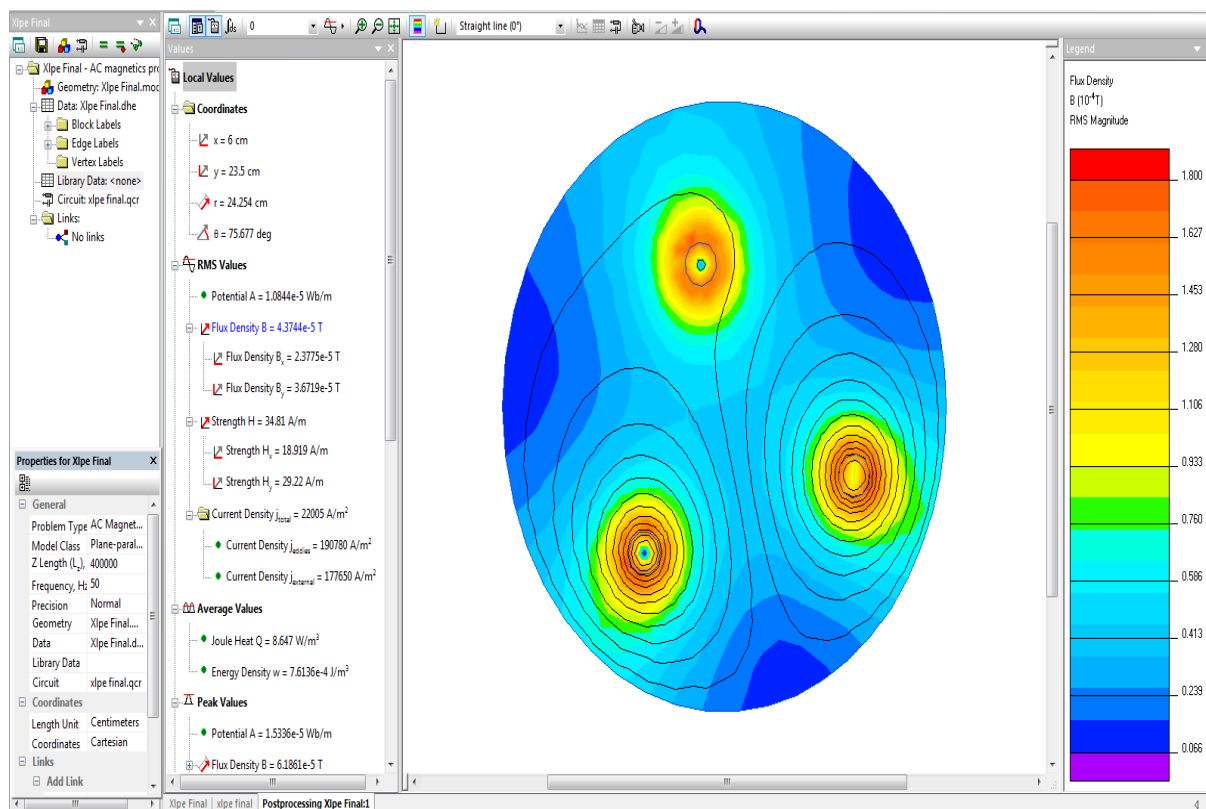
Για να δούμε τα αποτελέσματα με έγχρωμα γραφικά επιλέγουμε το *Field Picture Properties* και επιλέγουμε *Color Map* του στοιχείου που θέλουμε. Με το κουμπί *Legend* μπορούμε να έχουμε την κλίμακα του μετρούμενου μεγέθους.

Εκτός από τη γραφική απεικόνιση μπορούμε να έχουμε και όλα τα μεγέθη αναλυτικά σε οποιοδήποτε σημείο πατώντας *Calculator Window* και με το κουμπί *Local Values* επιλέγουμε το σημείο στο σχήμα που θέλουμε να μετρήσουμε.



εικ 21. πυκνότητα ρεύματος στους 3 αγωγούς

Στο σχήμα βλέπουμε όσα περιγράψαμε πιο πάνω , την έγχρωμη απεικόνιση, την κλίμακα στα δεξιά της φωτογραφίας και το παράθυρο αποτελεσμάτων για κάθε σημείο του σχεδίου.



εικ 22. πυκνότητα μαγνητικής ροής

Η πυκνότητα της μαγνητικής ροής είναι μεγάλη κοντά στους αγωγούς και όσο απομακρυνόμαστε από αυτούς μειώνεται.

Βιβλιογραφία

- i. <http://www.quickfield.com/>
- ii. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
- iii. Quick Field manual (user guide)
- iv. Ντοκόπουλος Πέτρος - Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών μέσης και χαμηλής τάσης