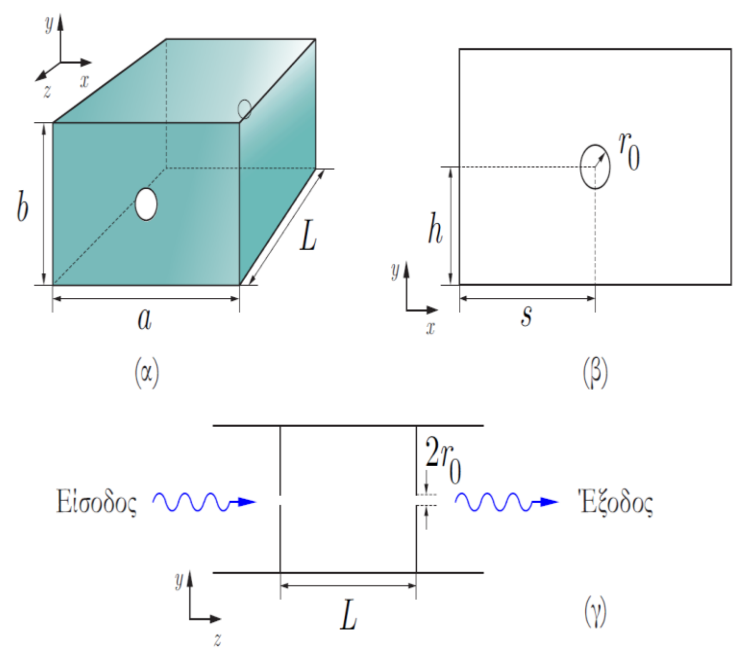
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή,
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών,
Τομέας Τηλεπικοινωνιών

Μικροκύματα 2

<u>Προαιρετικό Θέμα 7ου Κεφαλαίου</u>

Διέγερση Μικροκυματικών Κυκλωμάτων



Σχήμα 1. (α) Προοπτική αναπαράσταση του συντονιστή. (β) Εγκάρσιο επίπεδο και κυκλική οπή. (γ) Πλάγια όψη του συντονιστή.

Διδάσκων: Εμμανουήλ Ε. Κριεζής

Φοιτητής: Χρυσοβέργης Ηλίας

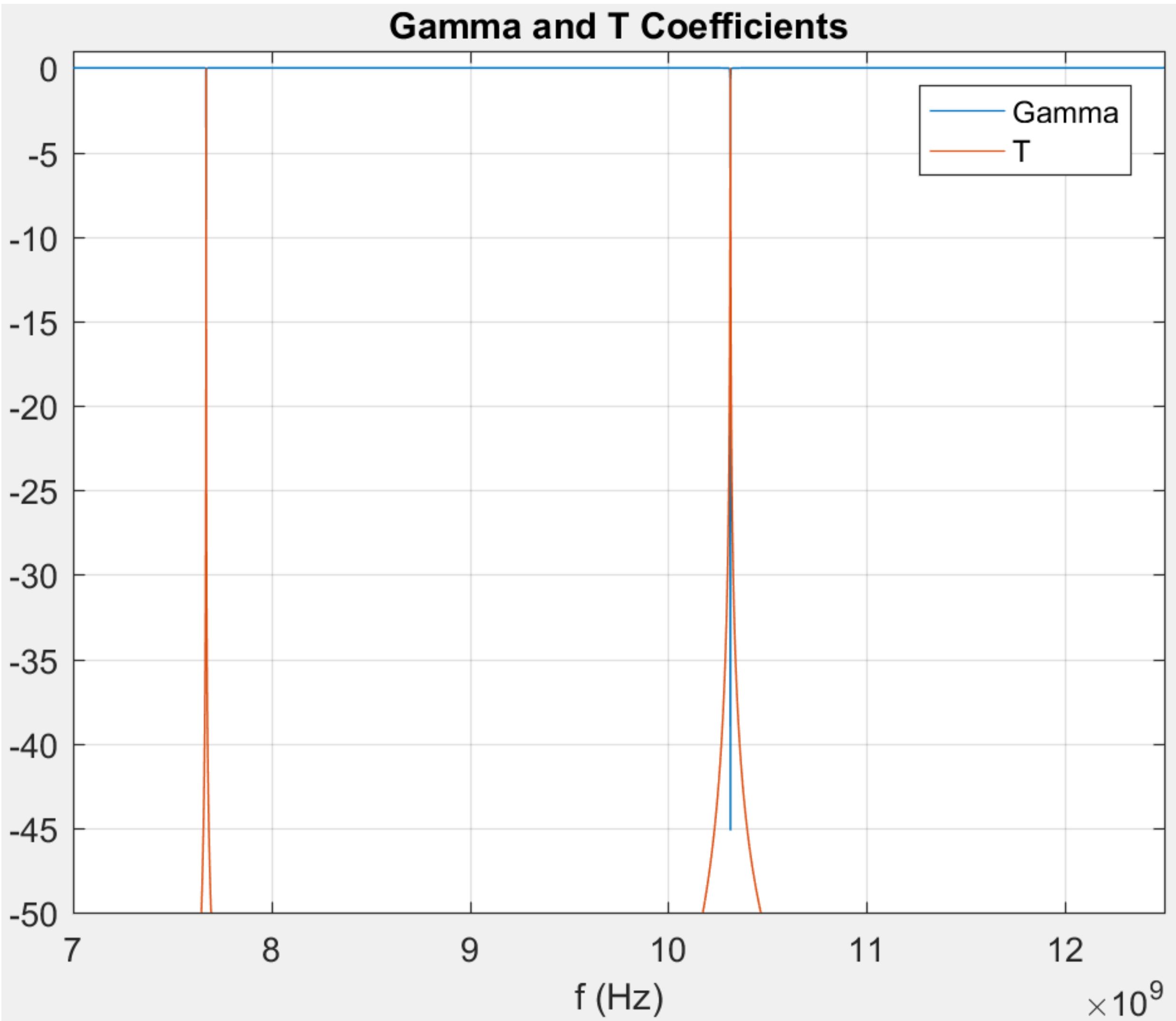
A.E.M.: 8009

E-mail: iliachry@ece.auth.gr

20/11/2016

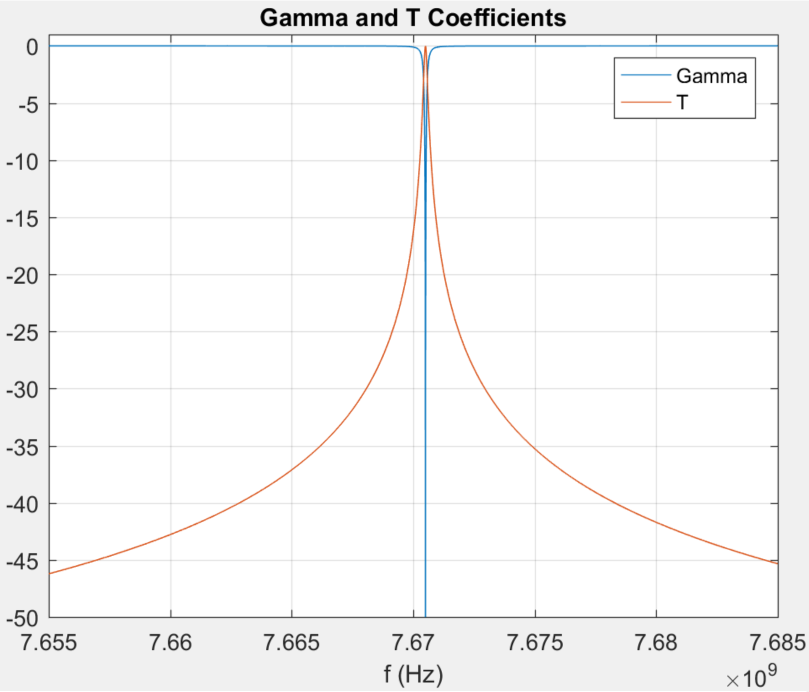
1. Στο πρώτο μέρος του προαιρετικού θέματος θεωρούμε ότι ο κυματοδηγός έχει τέλεια αγώγιμα τοιχώματα.

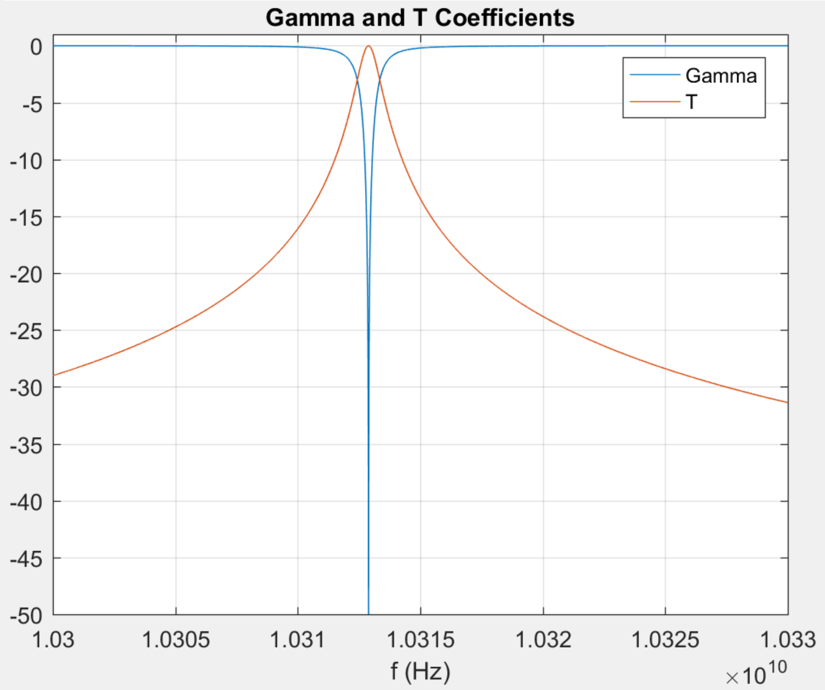
(α) Στο πρώτο ερώτημα ζητούνται οι συχνότητες συντονισμού της **X-band**. Η X-band ορίζεται για διαφορετικό εύρος τιμών ανάλογα με τον οργανισμό προτυποποίησης. Για τη συγκεκριμένη άσκηση επιλέχθηκε το εύρος από 7.0 έως 12.0 GHz για να είναι το εύρος όσο το δυνατόν μεγαλύτερο και να βρει όσο περισσότερους συντονισμούς γίνεται. Οι υπολογισμοί για το συγκεκριμένο ερώτημα υλοποιούνται με το αρχείο **Question1A.m** στο Matlab. Εκτελώντας την συνάρτηση για f από 7 έως 12 GHz με βήμα 1 kHz προκύπτει το εξής διάγραμμα για τους συντελεστές Γ και T:



Τα ελάχιστα/μέγιστα του συντελεστή Γ/Τ παρατηρούνται στις συχνότητες **7.67 GHz** και **10.31 GHz**.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια επικεντρώνουμε στις συχνότητες συντονισμού πυκνώνοντας το βήμα. Τα διαγράμματα που προκύπτουν δίνονται στην συνέχεια:





Παρατηρούμε ότι η 1η συχνότητα συντονισμού είναι **περισσότερο οξεία** από την 2η.

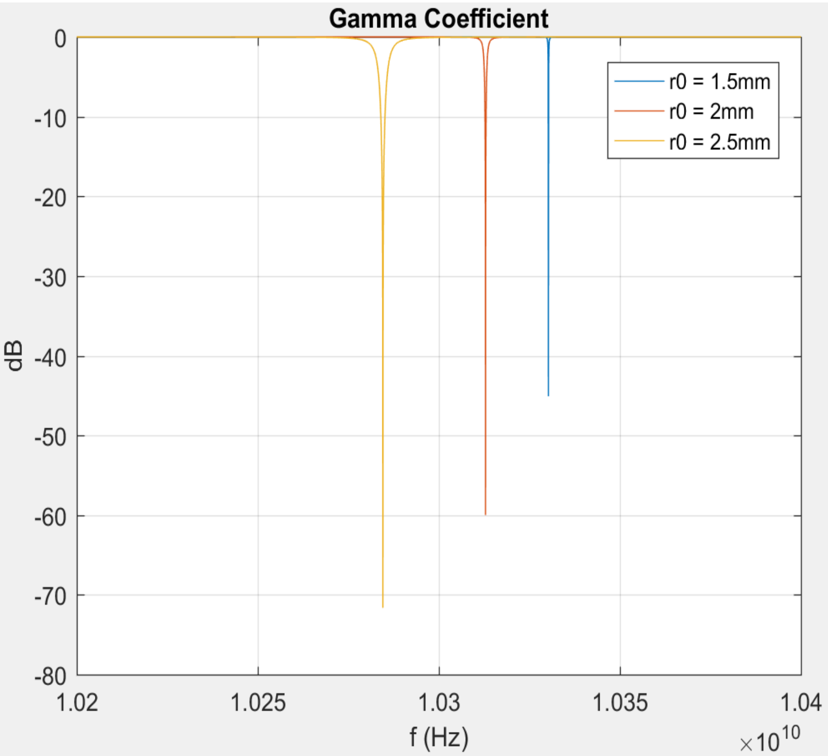
Από την βασική θεωρία των αντηχείων γνωρίζουμε ότι για τις συχνότητες συντονισμού σε κυλινδρικό αντηχείο έχουμε:

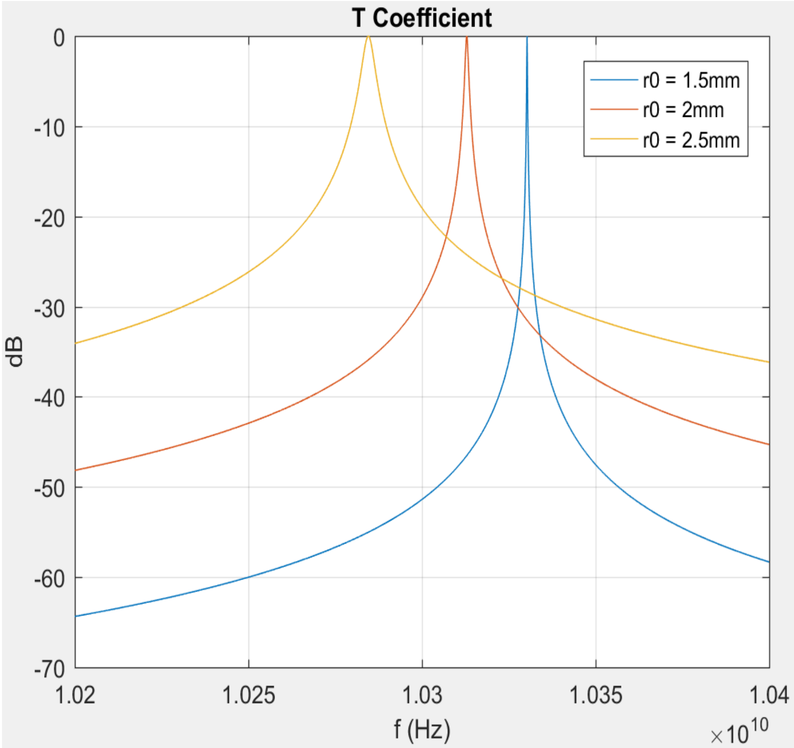
$$f_{mnl} = \frac{c_0}{2\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{d}\right)^2}$$

Για m = 1, n=0 και l=1,2 προκύπτει $f_1 = 7.6859\ GHz$ & $f_2 = 10.35\ GHz$.

Μπορούμε να πούμε ότι οι συχνότητες που προέκυψαν από την υπολογιστική ανάλυση συμπίπτουν με αυτές που προέκυψαν από το θεωρητικό τύπο. Η μικρή απόκλιση μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν οι οπές στην υπολογιστική ανάλυση κάτι που δεν ισχύει για τον θεωρητικό τύπο, καθώς θεωρούμε ότι το αντηχείο είναι από όλες τις πλευρές του κλειστό. Ακόμη, το σφάλμα μπορεί να προκαλείται και σε κάποιον βαθμό από απλοποιήσεις στους υπολογισμούς.

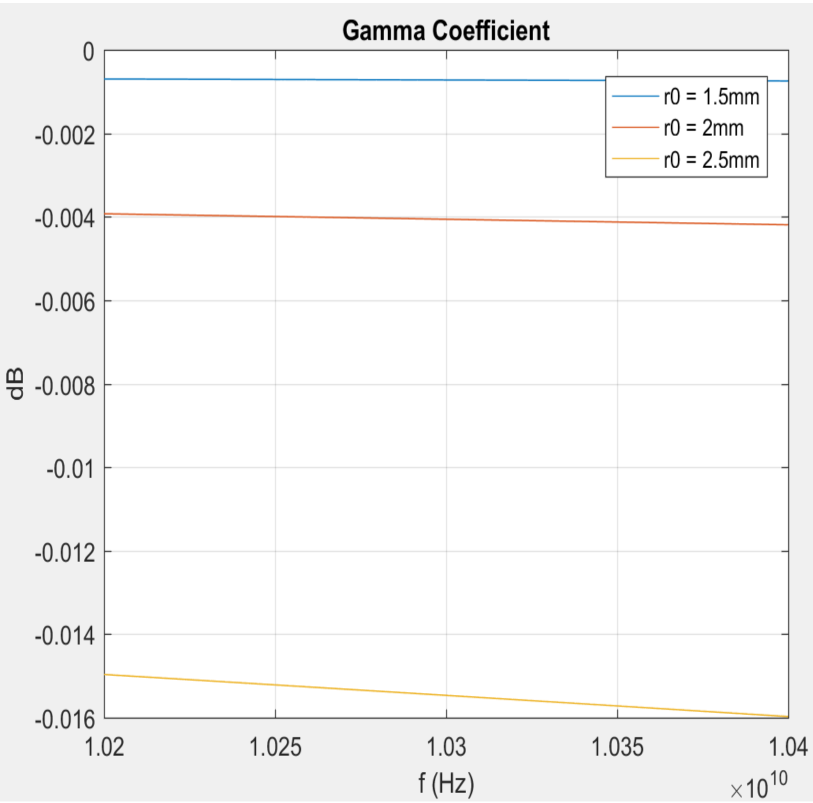
(β) Στο δεύτερο ερώτημα υπολογίζονται οι συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης ισχύος για οπές διαφορετικών ακτινών. Οι υπολογισμοί υλοποιήθηκαν στο αρχείο **Question1B.m** στο Matlab. Οι ζητούμενες γραφικές παραστάσεις δίνονται στην συνέχεια:

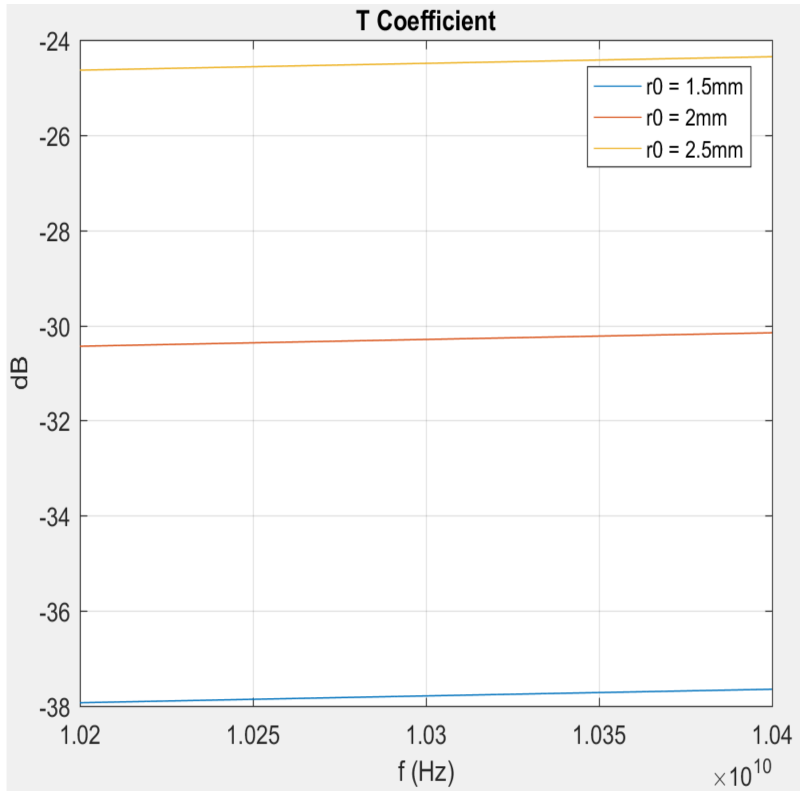




Μπορούμε να παρατηρήσουμε 2 σημαντικές μεταβολές που επιφέρει η αλλαγή της ακτίνας της οπής. Πρώτον, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η ακτίνα της οπής ο συντονισμός μετακινείται προς τα αριστερά στο διάγραμμα. Αυτό σημαίνει ότι ο συντονισμός εμφανίζεται **σε μικρότερη συχνότητα**. Ακόμη, παρατηρούμε ότι όσο μικρότερη είναι η ακτίνα της οπής τόσο **πιο οξύς** είναι ο συντονισμός. Η διαφορά στην μείωση του πλάτους των συντελεστών ανάκλασης για διαφορετική ακτίνα οπής, παρόλο που φαίνεται στο διάγραμμα δεν έχει και ιδιαίτερη σημασία καθότι τα – 50 dB αλλά και τα -70 dB είναι πρακτικά μηδέν και στις δύο περιπτώσεις.

Για ένα μεμονωμένο τοίχωμα με οπή προκύπτουν τα εξής διαγράμματα για τους συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης ισχύος, τα οποία υπολογιστήκαν στο αρχείο **Question1B2.m**:





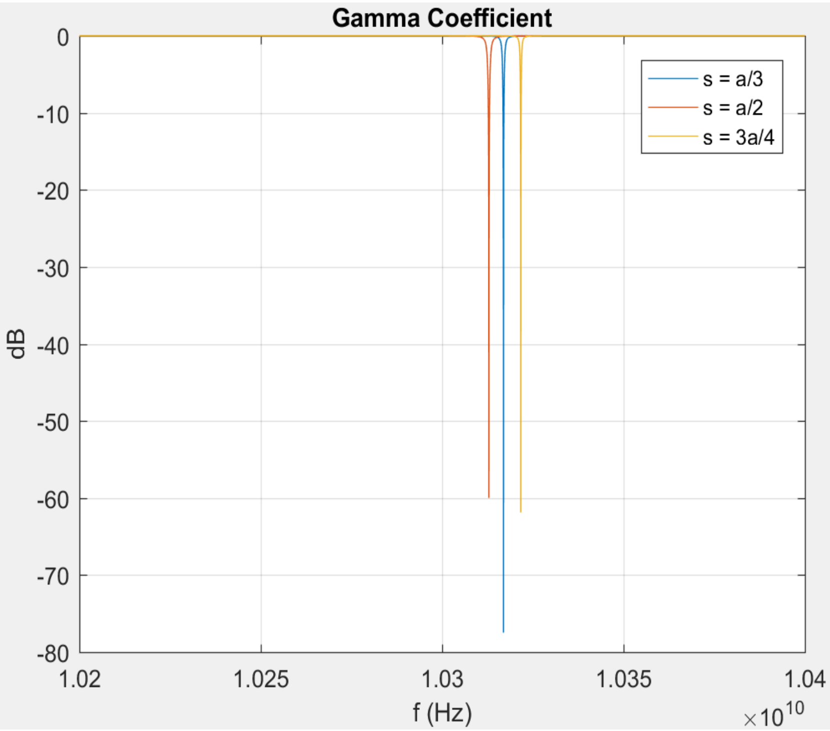
Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι όσο μεγαλώνει η ακτίνα της οπής τόσο μικρότερος είναι ο συντελεστής ανάκλασης και τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής μετάδοσης. Για αυτό το λόγο μπορεί να εξηγηθεί το γεγονός ότι όσο μεγαλώνει η ακτίνα της οπής τόσο λιγότερο οξύς είναι ο συντονισμός για τον συντονιστή.

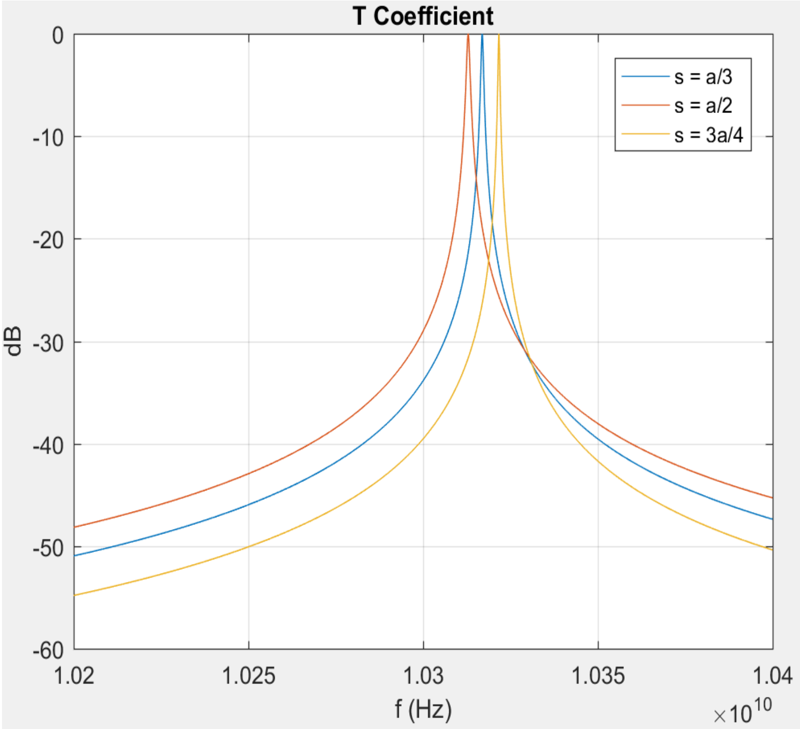
(γ) Για διαφορετικές θέσεις s της οπής ως προς τον άξονα $\hat{x}$ έγινε η αντίστοιχη ανάλυση με αυτή στις σελίδες 358 έως 363 ώστε να βρεθεί η ισοδύναμη επιδεκτικότητα της οπής.

Η επιδεκτικότητα της οπής προκύπτει ως εξής:

$$B = -\frac{ab}{2\beta_{10}\sin\left(\frac{\pi s}{a}\right)}Y_{10}$$

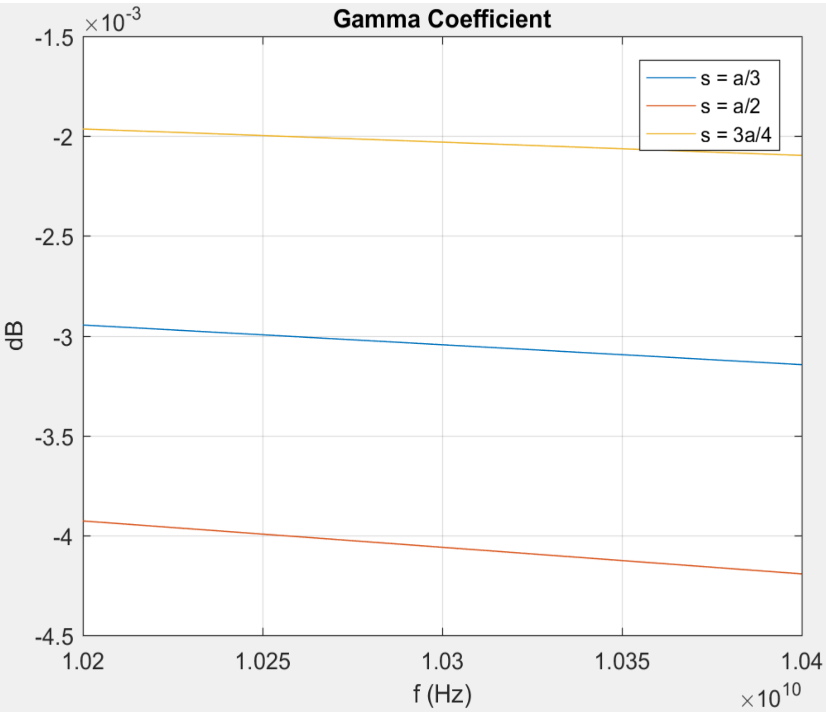
Οι υπολογισμοί και η απεικόνιση των γραφικών παραστάσεων έγιναν με το αρχείο **Question1C1.m** για το μικροκυματικό συντονιστή και με το αρχείο **Question1C2.m** με το μεμονωμένο τοίχωμα με οπή. Τα αποτελέσματα δίνονται στην συνέχεια:

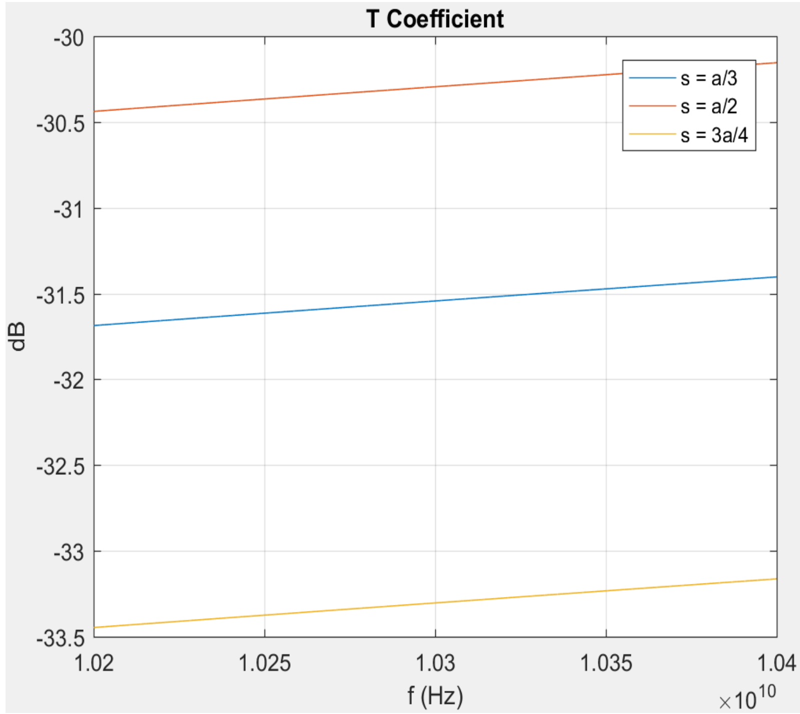




Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο του άξονα $\hat{x}$ τόσο πιο δεξιά μετακινείται ο συντονισμός στην συχνότητα. Ακόμη, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ταυτόχρονα ο συντονισμός γίνεται και περισσότερο οξύς. Η διαφορά στην μείωση του πλάτους των συντελεστών ανάκλασης και μετάδοσης είναι μηδαμινή διότι και τα -50 dB αλλά και τα -70 dB θεωρούνται ότι είναι αρκετά μικρές τιμές που προσεγγίζουν το μηδέν.

Στην συνέχεια μπορούμε να δούμε τους συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης ενός μεμονωμένου τοιχώματος με οπή. Το γεγονός ότι για $s = \frac{a}{2}$ παρατηρούμε ελάχιστο συντελεστή ανάκλασης και μέγιστο συντελεστή μετάδοσης εξηγεί την λειτουργία του μικροκυματικού συντονιστή για διαφορετικές τιμές του s.



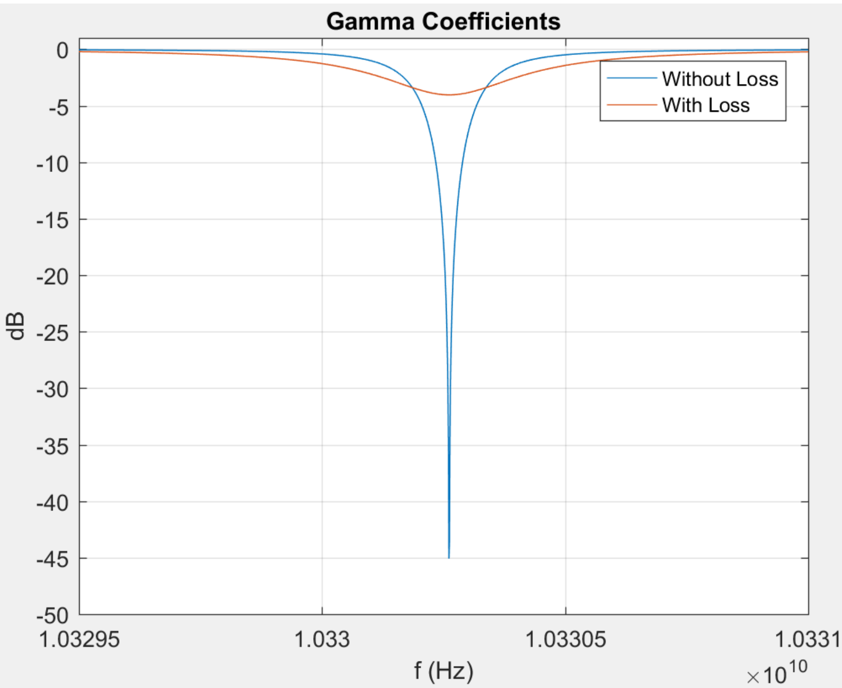


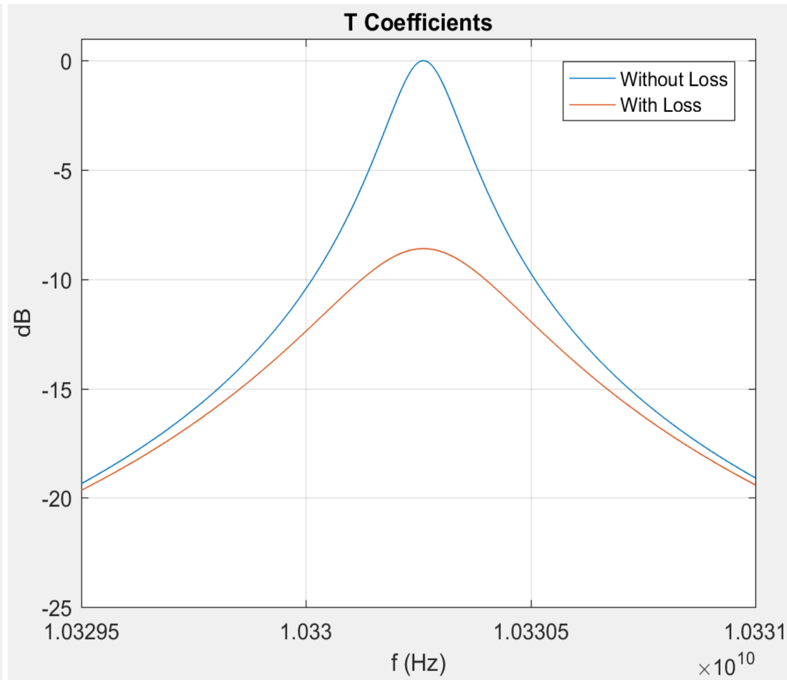
2. Στο δεύτερο μέρος του προαιρετικού θέματος θεωρούμε ότι τα τοιχώματα δεν είναι πλέον τελείως αγώγιμα, αλλά είναι κατασκευασμένα από χαλκό. Αυτό σημαίνει ότι η αγωγιμότητα είναι η εξής:

$$\sigma_c = 59.87 * 10^7 \frac{S}{m}$$

(α) Η μοναδική αλλαγή που έχουμε στην ανάλυση μας είναι ότι η σταθερά διάδοσης πλέον είναι μιγαδική διότι προστίθεται και ο παράγοντας απωλειών α_c.

Οι υπολογισμοί και οι γραφικές παραστάσεις υλοποιήθηκαν στο αρχείο **Question2A.m**. Τα διαγράμματα δίνονται στην συνέχεια:





Η συχνότητα συντονισμού προκύπτει η εξής: $f_r = 10330261\,kHz$. Στην συγκεκριμένη συχνότητα παρατηρούμε μέγιστο/ελάχιστο στο μέτρο του συντελεστή ανάκλασης/μετάδοσης αντίστοιχα και για τις 2 περιπτώσεις των τέλειων και πεπερασμένων αγώγιμων τοιχωμάτων. Η συχνότητα όπου ο συντελεστής μετάδοσης έχει πέσει κατά 3 dB για τον συντελεστή μετάδοσης είναι $f_{3dB} = 10330180\,kHz$ για τα τέλεια αγώγιμα τοιχώματα και $f_{3dB} = 10330040\,kHz$ για τα πεπερασμένα αγώγιμα τοιχώματα.

Οπότε, ο συντελεστής ποιότητας για τα τέλεια αγώγιμα τοιχώματα προκύπτει:

$$Q_L = \frac{f_r}{2(f_{3db} - f_r)} = \frac{10330261}{2(10330261 - 10330180)} = 63767{,}04$$

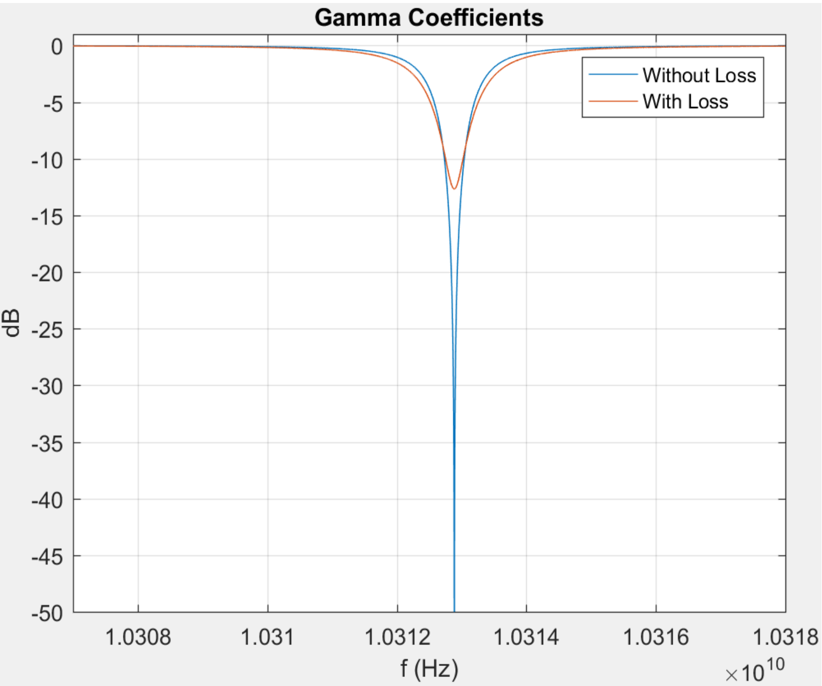
Αντίστοιχα, ο συντελεστής ποιότητας για πεπερασμένα αγώγιμα τοιχώματα προκύπτει:

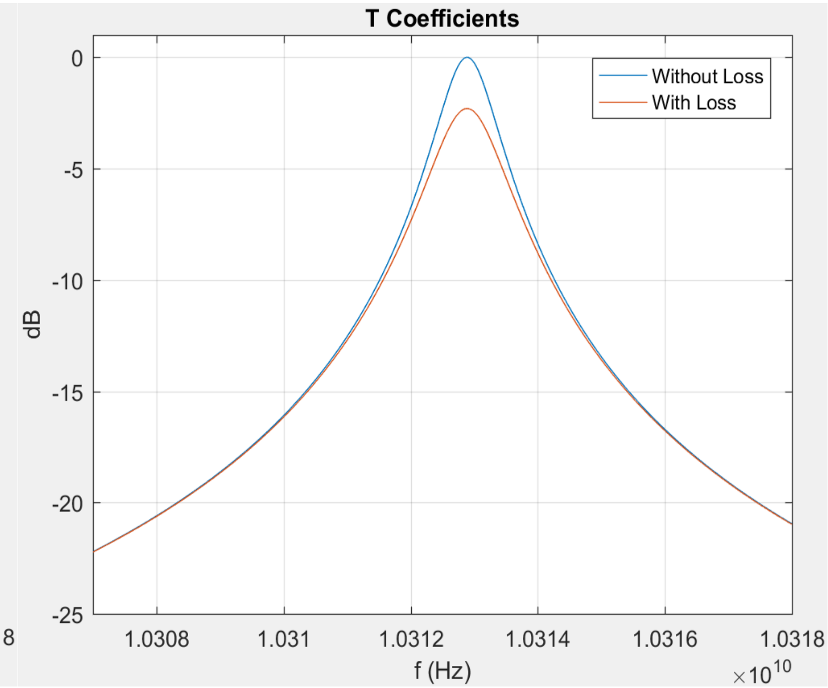
$$Q_L = \frac{f_r}{2(f_{3db} - f_r)} = \frac{10330261}{2(10330261 - 10330040)} = 23371{,}63$$

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο συντελεστής ποιότητας ελαττώνεται κατά 3 φορές περίπου. Αυτό οφείλεται στις απώλειες που έχουν προκύψει από τα πεπερασμένα αγώγιμα τοιχώματα.

(β) Οι υπολογισμοί και οι γραφικές παραστάσεις υλοποιήθηκαν και για αυτό το ερώτημα με το αρχείο **Question2A.m** όπου άλλαξε η τιμή της ακτίνας της οπής r_0 καθώς και οι συχνότητες στις οποίες κεντράρουμε για να «βρούμε» τον συντονισμό.

Για $r_0 = 2mm$ προκύπτει:





Έχουμε: $f_r = 10312887\ kHz, f_{3dB1} = 10312430\ kHz$ & $f_{3dB2} = 10312291\ kHz$

Οπότε:

$$Q_L = \frac{f_r}{2(f_{3db} - f_r)} = \frac{10312887}{2(10312887 - 10312430)} = 11288{,}24$$

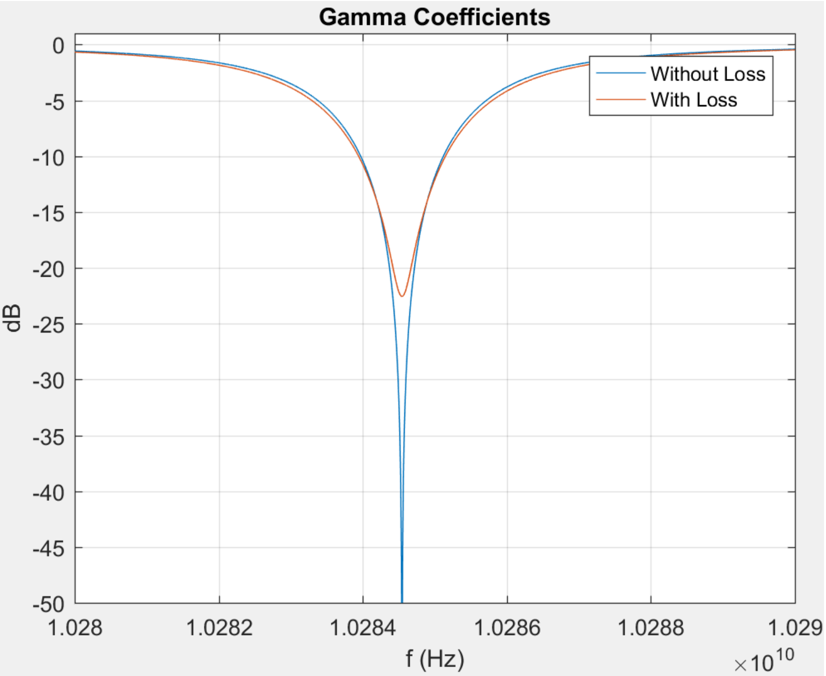
για την περίπτωση των τέλειων αγώγιμων τοιχωμάτων, και

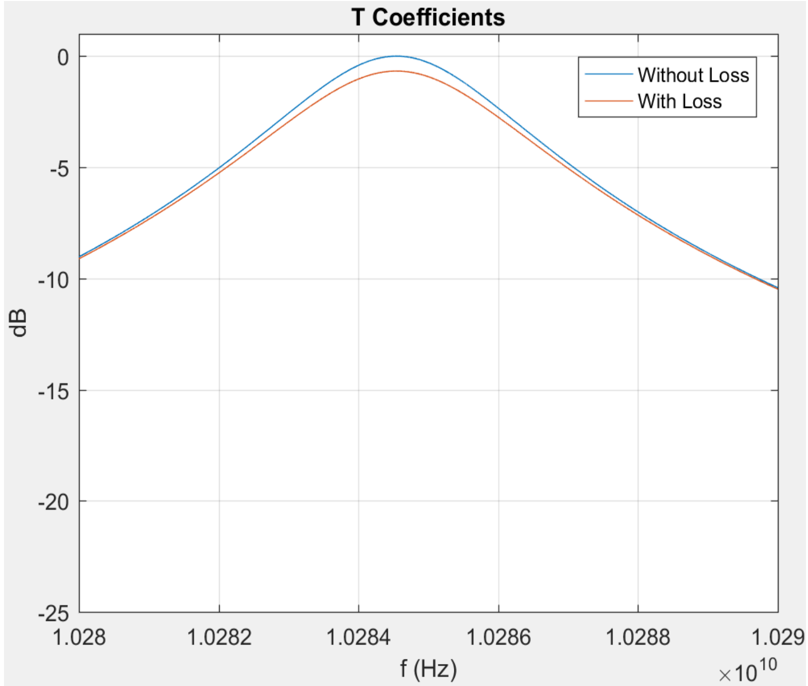
$$Q_L = \frac{f_r}{2(f_{3db} - f_r)} = \frac{10312887}{2(10312887 - 10312291)} = 8651{,}75$$

για την περίπτωση των πεπερασμένων αγώγιμων τοιχωμάτων.

Παρατηρούμε και από τα διαγράμματα αλλά και από τις τιμές των συντελεστών ποιότητας ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στις 2 περιπτώσεις σε σχέση με το προηγούμενο ερώτημα. Για την συγκεκριμένη ακτίνα της οπής έχουμε σχεδόν ίδια συμπεριφορά του μικροκυματικού συντονιστή για τέλεια και πεπερασμένα αγώγιμα τοιχώματα.

Για $r_0 = 2.5mm$ προκύπτει:





Για την δεδομένη ακτίνα οπής παρατηρήθηκε μία μικρή διαφορά στην συχνότητα συντονισμού των 2 περιπτώσεων. Προέκυψε $f_{r1} = 10284544\ kHz$ για την περίπτωση των τέλειων τοιχωμάτων και $f_{r2} = 10284545\ kHz$ για την περίπτωση των πεπερασμένα αγώγιμων τοιχωμάτων. Αντίστοιχα, οι συχνότητες 3dB δίνονται : $f_{3dB1} = 10282829\ kHz$ & $f_{3dB2} = 10282691\ kHz$.

Οπότε:

$$Q_L = \frac{f_r}{2(f_{3db} - f_r)} = \frac{10284544}{2(10284544 - 10282829)} = 2998{,}41$$

για την περίπτωση των τέλειων αγώγιμων τοιχωμάτων, και

$$Q_L = \frac{f_r}{2(f_{3db} - f_r)} = \frac{10284545}{2(10284545 - 10282691)} = 2773{,}61$$

για την περίπτωση των πεπερασμένων αγώγιμων τοιχωμάτων.

Παρατηρούμε ότι και σε αυτή την περίπτωση ο μικροκυματικός συντονιστής έχει σχεδόν ίδια συμπεριφορά για τις 2 περιπτώσεις. Επίσης, αξίζει να παρατηρήσουμε ότι ο συντελεστής ποιότητας έχει μειωθεί κατά πολύ σε σχέση με τον συντελεστή ποιότητας του προηγούμενου ερωτήματος.

Από τα 2 ερωτήματα μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι όσο αυξάνεται η ακτίνα της οπής μειώνεται ο συντελεστής ποιότητας του συντονιστή.

(γ) Γενικά ισχύει:

$$\frac{1}{Q_L} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{Q_i}$$

Για $r_0 = 1.5\ mm$ έχουμε $Q_L = 23371{,}63$ & $Q = 63767{,}04$. Οπότε προκύπτει $Q_i = 36892{,}2$.

Για $r_0 = 2\ mm$ έχουμε $Q_L = 8651{,}75$ & $Q = 11288{,}24$. Οπότε προκύπτει $Q_i = 37042{,}82$.

Για $r_0 = 2.5\ mm$ έχουμε $Q_L = 2998{,}41$ & $Q = 2773{,}61$. Οπότε προκύπτει $Q_i = 36{,}994$.

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι ο **εγγενής συντελεστής ποιότητας** προκύπτει σχεδόν ο ίδιος για τις 3 διαφορετικές περιπτώσεις. Αυτό είναι αρκετά λογικό διότι ο συγκεκριμένος συντελεστής ποιότητας εξαρτάται αποκλειστικά από τις απώλειες αγωγιμότητας της κοιλότητας η οποία είναι η ίδια και για τις 3 περιπτώσεις.

Επιβεβαιώνοντας την τιμή του εγγενή συντελεστή ποιότητας, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (8.40) από το βιβλίο προκύπτει ότι $Q_i = 36490{,}63$. Αξίζει να σημειωθεί ότι στον τύπο για τον υπολογισμό δεν χρησιμοποιήθηκε ο πρώτος όρος του αθροίσματος μέσα στην παρένθεση διότι αυτός ουσιαστικά εμπεριέχει τις απώλειες στους εγκάρσιους τοίχους.