



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ Α
ΠΡΟΒΛΗΜΑ 2

ΑΓΓΕΛΟΣ ΚΑΜΑΡΙΑΔΗΣ
03122674
angeloskamariadis@gmail.com | el22674@mail.ntua.gr

(Α) – ΕΥΡΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Τρεις περιοχές:

- $z < 0$: εισερχόμενο + ανακλώμενο κύμα
- $0 < z < h$: γενική λύση με εμπρός και πίσω κύμα
- $z > h$: μεταδιδόμενο κύμα

Ο άξονας διάδοσης είναι ο z . Το πεδίο είναι γραμμικά πολωμένο στον άξονα x .

⇒ Τα πεδία $E = E_x(z)$ και $H = H_y(z)$ για τις τρεις περιοχές δίδονται από τους παρακάτω τύπους:

- Περιοχή 1: $z < 0$

$$E_1(z) = E_0 e^{-ik_0 z} + R E_0 e^{ik_0 z}$$
$$H_1(z) = \frac{E_0}{\eta_0} (e^{-ik_0 z} - R e^{ik_0 z})$$

- Περιοχή 2: $0 < z < h$

$$E_2(z) = A e^{-ik_0 z} + B e^{ik_0 z}$$
$$H_2(z) = \frac{1}{\eta_0} (A e^{-ik_0 z} - B e^{ik_0 z})$$

- Περιοχή 3: $z > h$

$$E_3(z) = T E_0 e^{-ik_0 z}$$
$$H_3(z) = \frac{T E_0}{\eta_0} e^{-ik_0 z}$$

Συνοριακές Συνθήκες

- $z = 0$:

$$E_1(0) = E_2(0) \Rightarrow E_0 + R E_0 = A + B$$

$$H_2(0) - H_1(0) = \sigma E(0)$$

$$\frac{A - B}{\eta_0} - \frac{E_0(1 - R)}{\eta_0} = \sigma(E_0 + R E_0)$$

○ $z = h$:

$$E_2(h) = E_3(h) \Rightarrow Ae^{-ik_0h} + Be^{ik_0h} = TE_0e^{-ik_0h}$$

$$\frac{TE_0}{\eta_0} e^{-ik_0h} - \frac{Ae^{-ik_0h} - Be^{ik_0h}}{\eta_0} = \sigma TE_0 e^{-ik_0h}$$

(B) – ΕΥΡΕΣΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

$$K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$h \rightarrow \tilde{h} = \frac{h}{\lambda}$$

$$\tilde{\sigma} = \sigma \eta_0$$

• $z = 0$

$$\left. \begin{aligned} E_0(1+R) &= A+B \\ \frac{E_0}{\eta_0}(1+R) &= \frac{1}{\eta_0}(A-B) + \sigma [E_0(1+R)] \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} 1+R &= A+B \\ 1-R &= A-B + \tilde{\sigma}(1+R) \end{aligned}$$

$$\tilde{\sigma} = \sigma \eta_0$$

• $z = h$

$$\left. \begin{aligned} Ae^{-i\tilde{h}} + Be^{i\tilde{h}} &= Te^{-i\tilde{h}} \\ \frac{1}{\eta_0}(Te^{-i\tilde{h}}) &= \frac{1}{\eta_0}(Ae^{-i\tilde{h}} - Be^{i\tilde{h}}) + \sigma Te^{-i\tilde{h}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} Ae^{-i\tilde{h}} + Be^{i\tilde{h}} &= Te^{-i\tilde{h}} \\ Te^{-i\tilde{h}} &= Ae^{-i\tilde{h}} - Be^{i\tilde{h}} + \tilde{\sigma} Te^{-i\tilde{h}} \end{aligned}$$

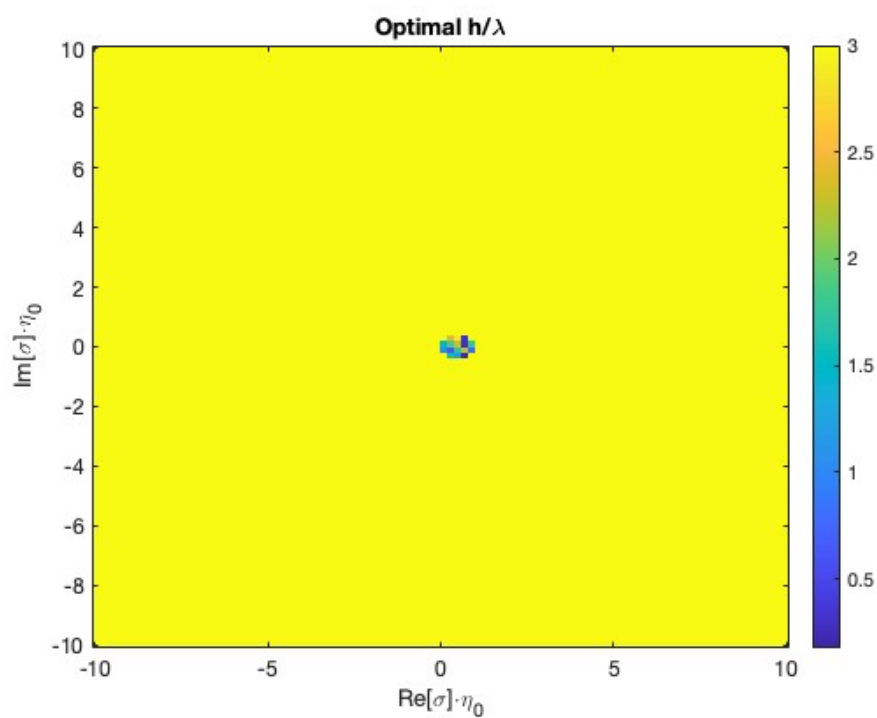
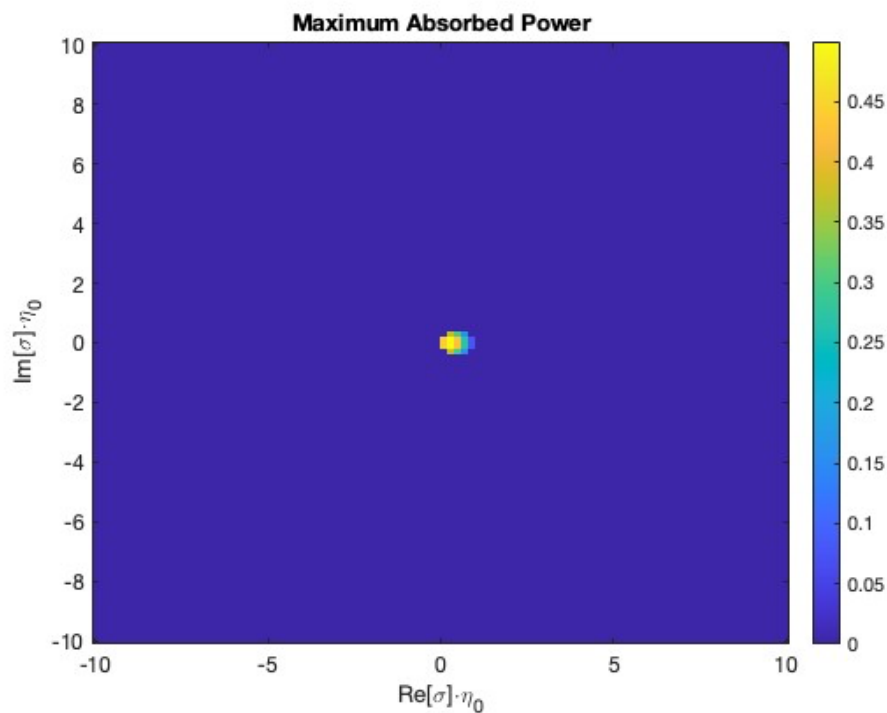
$$\phi = 2\pi\tilde{h}$$

$$\Rightarrow A = 1 - |R|^2 - |T|^2$$

Άρα ο κλειστός τύπος της ισχύος απορρόφησης είναι:

$$A = 1 - |R|^2 - |T|^2$$

(Γ) – ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

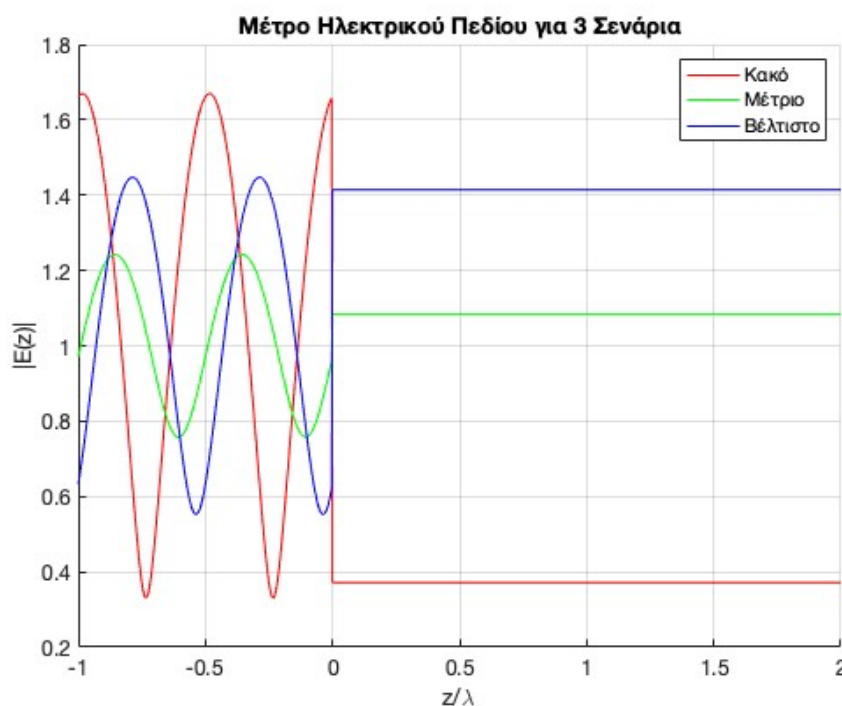


Τα παραπάνω γραφήματα απεικονίζουν τα αποτελέσματα βελτιστοποίησης της απορροφητικής απόδοσης ενός συστήματος με βάση την επιφανειακή αγωγιμότητα και την ηλεκτρική απόσταση h/λ .

Στο πρώτο γράφημα, για κάθε σημείο στο μιγαδικό επίπεδο της επιφανειακής αγωγιμότητας, έχει υπολογιστεί το μέγιστο ποσοστό απορρόφησης ισχύος που επιτυγχάνεται για κάποια τιμή h/λ . Μόνο ένα πολύ μικρό εύρος τιμών της αγωγιμότητας γύρω από το $0+0j$ (κέντρο) οδηγεί σε σημαντική απορρόφηση (μέγιστο γύρω στο 0.45). Εκτός αυτής της περιοχής, η απορρόφηση είναι σχεδόν μηδενική (μπλε).

Στο δεύτερο γράφημα, φαίνεται η τιμή του h/λ για την οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη απορροφητικότητα στο αντίστοιχο σημείο του επιπέδου της αγωγιμότητας. Στο μεγαλύτερο μέρος του πεδίου η βέλτιστη τιμή είναι μεγάλη (κοντά στο μέγιστο της κλίμακας). Μόνο κοντά στο "ευνοϊκό" σημείο της προηγούμενης εικόνας υπάρχει συγκέντρωση μικρότερων τιμών του h/λ (πιο σκούρες περιοχές).

(Δ) – ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΟΥ ΚΑΘΕ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



Στο παραπάνω γράφημα, απεικονίζεται το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου ($|E(z)|$) ως συνάρτηση της θέσης (z/λ) για τρία διαφορετικά σενάρια, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

Κόκκινη γραμμή: Αναφέρεται ως "Κακό". Δείχνει μια ταλαντευόμενη συμπεριφορά για $z/\lambda < 0$, με περιοδικές κορυφές και κοιλίες. Για $z/\lambda \geq 0$, το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου παραμένει σταθερό σε μια χαμηλή τιμή (περίπου 0.4).

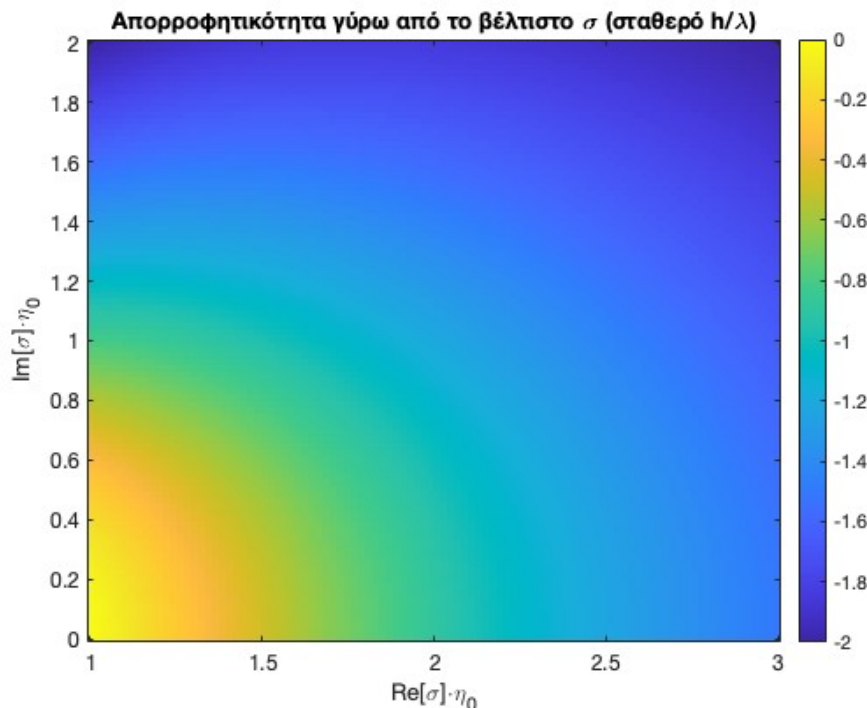
Πράσινη γραμμή: Αναφέρεται ως "Μέτριο". Εμφανίζει επίσης μια ταλαντευόμενη συμπεριφορά για $z/\lambda < 0$, αλλά με διαφορετική μορφή και εύρος από την κόκκινη γραμμή. Για $z/\lambda \geq 0$, το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου παραμένει σταθερό σε μια ενδιάμεση τιμή (περίπου 1.1).

Μπλε γραμμή: Αναφέρεται ως "Βέλτιστο". Δείχνει μια ταλαντευόμενη συμπεριφορά για $z/\lambda < 0$, και πάλι με διαφορετική μορφή. Για $z/\lambda \geq 0$, το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου παραμένει σταθερό σε μια υψηλή τιμή (περίπου 1.4).

Το γράφημα συγκρίνει την κατανομή του μέτρου του ηλεκτρικού πεδίου στις τρεις διαφορετικές καταστάσεις παραπάνω. Η περιοχή $z/\lambda < 0$ φαίνεται να είναι μια περιοχή όπου υπάρχει αλληλεπίδραση ή δημιουργία ενός ηλεκτρικού πεδίου με κυματική μορφή.

Στην περιοχή $z/\lambda \geq 0$, το ηλεκτρικό πεδίο σε κάθε σενάριο σταθεροποιείται σε μια συγκεκριμένη τιμή. Η "Βέλτιστη" ρύθμιση οδηγεί σε ένα σταθερά υψηλότερο μέτρο ηλεκτρικού πεδίου σε αυτήν την περιοχή, ενώ η "Κακή" ρύθμιση οδηγεί σε ένα σταθερά χαμηλότερο μέτρο. Η "Μέτρια" ρύθμιση βρίσκεται κάπου ενδιάμεσα.

(Ε) – ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ



Το παραπάνω γράφημα, είναι ένας χρωματικός χάρτης που απεικονίζει την απορροφητικότητα, συναρτήσεως δύο παραμέτρων που σχετίζονται με την σύνθετη επιφανειακή αγωγιμότητα.

Άξονας x: Αντιπροσωπεύει το πραγματικό μέρος της κανονικοποιημένης επιφανειακής αγωγιμότητας, όπου σ είναι η επιφανειακή αγωγιμότητα και η_0 είναι η αντίσταση ελεύθερου χώρου.

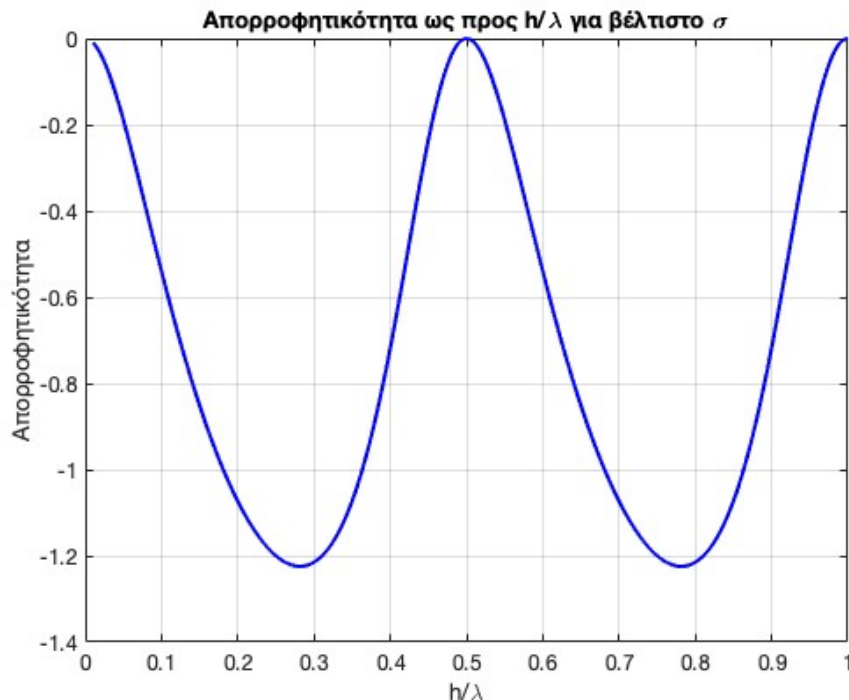
Άξονας y: Αντιπροσωπεύει το φανταστικό μέρος της κανονικοποιημένης επιφανειακής αγωγιμότητας.

Χρωματική κλίμακα: Δείχνει την τιμή της απορροφητικότητας που αντιστοιχεί σε κάθε χρώμα. Η κλίμακα κυμαίνεται από περίπου -2 (μπλε) έως 0 (κίτρινο). Οι πιο θερμές αποχρώσεις (κίτρινο, πορτοκαλί) υποδεικνύουν υψηλότερη απορροφητικότητα, ενώ οι πιο ψυχρές αποχρώσεις (μπλε, μωβ) υποδεικνύουν χαμηλότερη (ή αρνητική, που συχνά σημαίνει ανάκλαση ή μετάδοση με αλλαγή φάσης).

Σταθερό h/λ : Αυτή η σημείωση στον τίτλο υποδηλώνει ότι κατά τη δημιουργία αυτού του γραφήματος, ο λόγος ενός χαρακτηριστικού ύψους (h) της δομής προς το μήκος κύματος (λ) του προσπίπτοντος ηλεκτρομαγνητικού κύματος διατηρήθηκε σταθερός. Αυτό είναι σημαντικό γιατί η γεωμετρία της δομής σε σχέση με το μήκος κύματος επηρεάζει την απορροφητικότητα.

Το γράφημα απεικονίζει πώς η απορροφητικότητα μιας επιφάνειας ή μιας λεπτής στρώσης υλικού μεταβάλλεται καθώς αλλάζει η σύνθετη επιφανειακή της αγωγιμότητα. Η επιφανειακή αγωγιμότητα είναι μια ιδιότητα που περιγράφει πώς ένα υλικό αλληλοεπιδρά με ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στην επιφάνειά του. Το πραγματικό μέρος της αγωγιμότητας σχετίζεται με τις απώλειες ενέργειας (δηλαδή την απορρόφηση), ενώ το φανταστικό μέρος σχετίζεται με την αποθήκευση ενέργειας (δηλαδή την επαγωγική ή χωρητική συμπεριφορά).

Κάθε σημείο στο γράφημα αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο ζεύγος τιμών για το πραγματικό και το φανταστικό μέρος της κανονικοποιημένης επιφανειακής αγωγιμότητας, και το χρώμα σε αυτό το σημείο δείχνει την αντίστοιχη απορροφητικότητα.



Το παραπάνω γράφημα απεικονίζει την απορροφητικότητα συναρτήσει του λόγου h/λ , όπου h είναι ένα χαρακτηριστικό ύψος ή πάχος μιας δομής και λ είναι το μήκος κύματος του προσπίπτοντος ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Ο

τίτλος του γραφήματος είναι "Απορροφητικότητα ως προς h/λ για βέλτιστο σ ". Αυτό σημαίνει ότι για τη δημιουργία αυτού του γραφήματος, η σύνθετη επιφανειακή αγωγιμότητα (σ) του υλικού ή της δομής έχει διατηρηθεί στην "βέλτιστη" τιμή που βρέθηκε πιθανώς από το προηγούμενο γράφημα ή μέσω άλλης ανάλυσης.

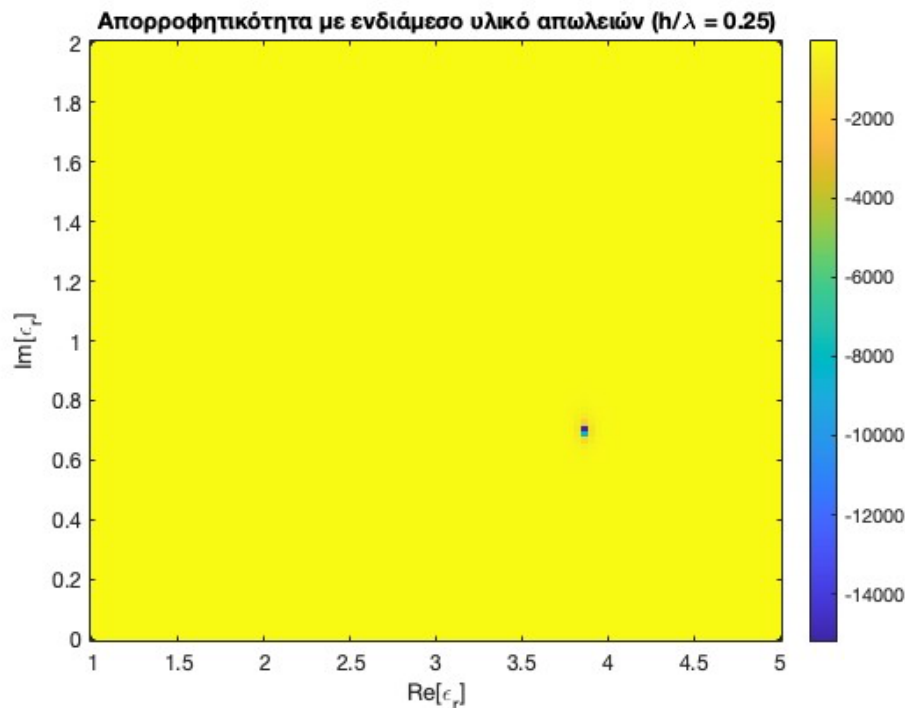
Άξονας x: Αντιπροσωπεύει τον κανονικοποιημένο ύψος ή πάχος της δομής, h/λ . Είναι ένας αδιάστατος λόγος που δείχνει τη γεωμετρική διάσταση της δομής σε σχέση με το μήκος κύματος. Η περιοχή που εμφανίζεται είναι από 0 έως 1.

Άξονας y: Αντιπροσωπεύει την απορροφητικότητα. Η κλίμακα κυμαίνεται από περίπου -1.4 έως 0.

Κυανή γραμμή: Δείχνει την τιμή της απορροφητικότητας για κάθε τιμή του h/λ , διατηρώντας τη σύνθετη επιφανειακή αγωγιμότητα (σ) σταθερή στη βέλτιστη τιμή.

Συνοψίζοντας, το γράφημα δείχνει πώς η απορροφητικότητα μιας δομής με βέλτιστες ηλεκτρικές ιδιότητες μεταβάλλεται καθώς αλλάζει το μέγεθός της σε σχέση με το μήκος κύματος, αποκαλύπτοντας μια περιοδική συμπεριφορά με περιοχές μέγιστης και ελάχιστης απορροφητικότητας που εξαρτώνται από τη γεωμετρία.

(Ζ) – ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ



Το παραπάνω γράφημα είναι ένας χρωματικός χάρτης που απεικονίζει την απορροφητικότητα μιας δομής που περιέχει ένα ενδιάμεσο υλικό με απώλειες, συναρτήσεως του πραγματικού και του φανταστικού μέρους ενός όρου που συμβολίζεται ως r_1 . Ο τίτλος του γραφήματος είναι "Απορροφητικότητα με ενδιάμεσο υλικό απωλειών ($h/\lambda = 0.25$)". Η σημείωση " $(h/\lambda = 0.25)$ " υποδηλώνει ότι ο λόγος του χαρακτηριστικού ύψους (h) προς το μήκος κύματος (λ) έχει διατηρηθεί σταθερός σε αυτή την τιμή.

Άξονας x: Αντιπροσωπεύει το πραγματικό μέρος του r_1 , $\text{Re}[r_1]$.

Άξονας y: Αντιπροσωπεύει το φανταστικό μέρος του r_1 , $\text{Im}[r_1]$.

Χρωματική κλίμακα: Δείχνει την τιμή της απορροφητικότητας που αντιστοιχεί σε κάθε χρώμα. Η κλίμακα κυμαίνεται από περίπου -14000 (μπλε) έως 0 (κίτρινο). Οι πιο θερμές αποχρώσεις (κίτρινο) υποδεικνύουν υψηλότερη απορροφητικότητα, ενώ οι πιο ψυχρές αποχρώσεις (μπλε) υποδεικνύουν πολύ χαμηλότερη (αρνητική, υποδηλώνοντας ισχυρή ανάκλαση ή μετάδοση με αλλαγή φάσης).

Το γράφημα εξετάζει πώς η απορροφητικότητα μιας δομής με ένα ενδιάμεσο υλικό που έχει απώλειες μεταβάλλεται καθώς αλλάζουν οι ιδιότητες που περιγράφονται από τον όρο r_1 . Ο όρος r_1 πιθανότατα σχετίζεται με τις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του ενδιάμεσου υλικού, όπως η διηλεκτρική σταθερά ή η μαγνητική διαπερατότητα, οι οποίες μπορεί να είναι σύνθετες για να λάβουν υπόψη τις απώλειες.

Συνοψίζοντας, αυτό το γράφημα δείχνει ότι για μια δομή με ένα ενδιάμεσο υλικό απωλειών και σταθερή γεωμετρία ($h/\lambda = 0.25$), υψηλή απορροφητικότητα επιτυγχάνεται μόνο για μια πολύ συγκεκριμένη και περιορισμένη περιοχή τιμών των παραμέτρων που περιγράφονται από το r_1 . Αυτό υπογραμμίζει την κρισιμότητα της επιλογής του υλικού και των ιδιοτήτων του για την επίτευξη αποτελεσματικής απορρόφησης.