

Διατάξεις Υψηλών Συχνοτήτων

Project 2

Τσαρναδέλης Αθανάσιος Γρηγόριος, 10388

2.1. Μέτρηση διηλεκτρικής σταθεράς υλικού με κυματοδηγό

(α) Στην παρούσα άσκηση θα χρησιμοποιηθούν τύποι από το αρχείο «Εργαστηριακή Άσκηση Β – Εξήγηση διαδικασίας πειραματικού υπολογισμού διηλεκτρικής σταθεράς υλικού», καθώς το εργαστήριο είναι όμοιο με την αντικείμενη της άσκησης (χρησιμοποιείται και στα δύο κυματοδηγός WR-90). Έχοντας λοιπόν τα ελάχιστα του βραχυκυκλώματος, καθώς και του υλικού ακολουθούμενου είτε από βραχυκύκλωμα είτε από ανοιχτούκλωμα (βραχυκύκλωμα μετατοπισμένο κατά $\lambda/4$), βρίσκω τα $d_{A,min}$, $d_{B,min}$ για τα δύο υλικά.

Βραχυκύκλωμα: 48.4, 73.0, 97.5 και 122.2 mm

- $73-48.4=24.6$
- $97.5-73=24.5$
- $122.2-97.5=24.7$

$$\lambda_g=2*(24.6+24.5+24.7)/3 \Rightarrow \lambda_g=49.2 \text{ mm}$$

Υλικό 1

Μέτρηση A: 46.9, 71.5, 96.0 και 120.7 mm

- Το 46.9 αντιστοιχεί σε ελάχιστο που δεν μπορούμε να δούμε.
- $71.5-48.4=23.1$
- $96-73=23$
- $120.7-97.5=23.2$

$$d_{A,min}=(23.1 + 23 + 23.2)/3 =23.1 \text{ mm}$$

Μέτρηση B: 55.6, 80.2, 104.7 και 129.4 mm

- $55.6-48.4=7.2$
- $80.2-73=7.2$
- $104.7-97.5=7.2$
- $129.4-122.2=7.2$

$$d_{B,min}=7.2 \text{ mm}$$

Όμοια υπολογίζω και τα αντίστοιχα μεγέθη για το Υλικό 2.

$$d_{A,min}=22.9 \text{ mm}, \quad d_{B,min}=4.125 \text{ mm}$$

Εφαρμόζω τον τύπο:

$$\epsilon_r = \left(\frac{f_c}{f}\right)^2 - \frac{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}{\tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} d_{A,min}\right) + \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} d_{B,min}\right)}$$

όπου f_c η συχνότητα αποκοπής του WR-90 σε ρυθμό TE₁₀, $f_c=6.562 \text{ GHz}$, και παίρνω:

$$\begin{aligned} \epsilon_{r1} &= 2.3728 \\ \epsilon_{r2} &= 4.1830 \end{aligned}$$

(β) Για να πάρω το ίδιο αποτέλεσμα μόνο από την μέτρηση Α, υπολογίζω πρώτα την αντίσταση εισόδου του φορτίου, δηλαδή του διηλεκτρικού με βραχυκύκλωμα σύμφωνα με τον τύπο(θεωρώντας $SWR \rightarrow \infty$) :

$$Z_T = -j Z_0 \tan(\beta d_{min}) \quad (4)$$

$$Z_{T1} = j106.8229, \quad Z_{T2} = j121.4963$$

Η αντίσταση εισόδου του φορτίου είναι επίσης ίση με γραμμή μεταφοράς Z_0' , β' τερματισμένη σε βραχυκύκλωμα.

$$Z_0' = \frac{n'}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c'}{f}\right)^2}} = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_r} \sqrt{1 - \left(\frac{f_c'}{f}\right)^2}} = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_r \left(1 - \frac{f_c'^2}{f^2}\right)}} = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_r - \left(\frac{f_c'}{f}\right)^2}}$$

$$Z_g' = \frac{\frac{C}{\sqrt{\epsilon_r} f}}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c'}{f}\right)^2}} = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r} f \sqrt{1 - \frac{f_c'^2}{f^2}}} = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r f^2 - f_c'^2}} \quad (10)$$

$$\beta' = 2\pi / \lambda_g'$$

Τελικά προκύπτει η εξίσωση $j Z_0' \tan(\beta' d) = Z_T$, όπου d το μήκος του υλικού μέσα στον κυματοδηγό. Η παραπάνω εξίσωση είναι υπερβατική και λύνεται με την βοήθεια του MATLAB, αντικαθιστώντας τα παραπάνω μεγέθη και υπολογίζοντας το ϵ_r .

$$\begin{aligned} \text{er1_2} &= 0.6127 \\ \text{er2_2} &= 4.5756 \end{aligned}$$

Παρατηρώ πως ενώ το υλικό 2 είναι αρκετά κοντά, το υλικό 1 παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση. Μετά από δοκιμές, καταλήγω στα ιδανικά $d_{A,min}$, ώστε τα μεγέθη να είναι όσο πιο κοντά στα αρχικά.

$$\begin{aligned} d_ideal_1 &= 23.0270 \\ XL1 &= 112.1608 \\ \text{er1_2} &= 2.3764 \end{aligned}$$

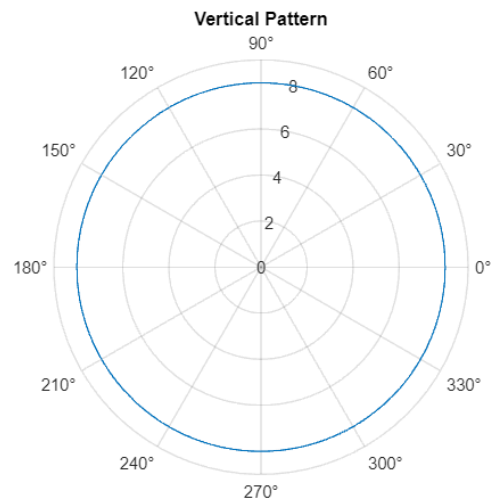
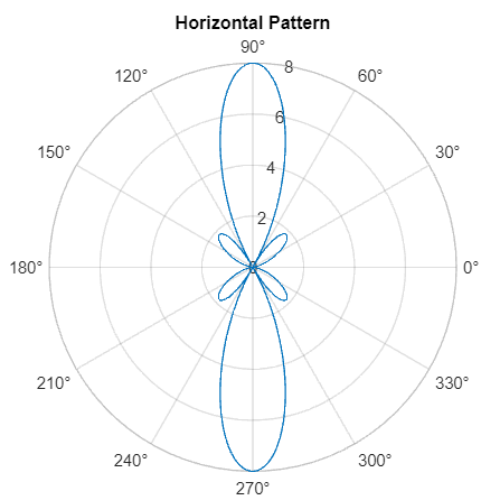
$$\begin{aligned} d_ideal_2 &= 22.9205 \\ XL2 &= 119.9850 \\ \text{er2_2} &= 4.1828 \end{aligned}$$

Παρατηρώ πως τα ιδανικά $d_{A,min}$ είναι πολύ κοντά στα υπολογισμένα, αλλά έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια. Για να έχω μεγαλύτερη ακρίβεια στα μετρούμενα μεγέθη πρέπει να έχω είτε πολλές θέσεις ελαχίστων, είτε να μετρήσω με ακρίβεια 3^{ου} ή 4^{ου} δεκαδικού τις θέσεις των ελαχίστων. Ούτε το πρώτο ούτε το δεύτερο είναι πάντα δυνατό με το Slotted Line, καθώς έχει πεπερασμένο μήκος και άρα πεπερασμένο δυνατό αριθμό ελαχίστων, καθώς και πεπερασμένη ακρίβεια(συνήθως 1^{ου} δεκαδικού). Συμπερασματικά, η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στο (α) είναι ακριβέστερη στην πράξη.

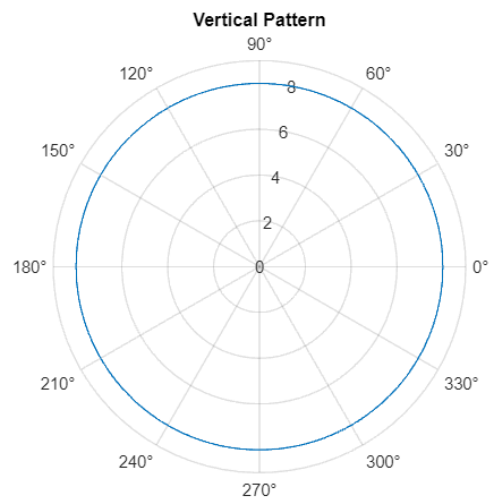
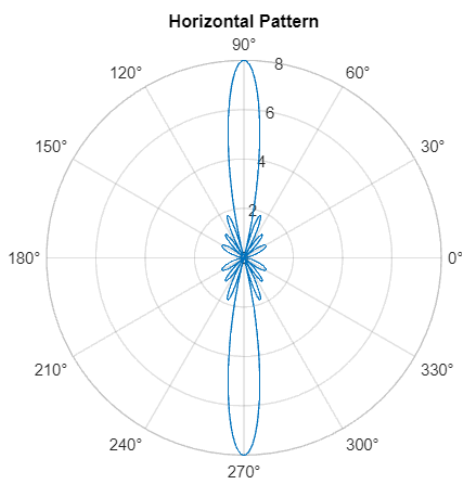
2.2 Πεδίο στοιχειοκεραίας

(α)

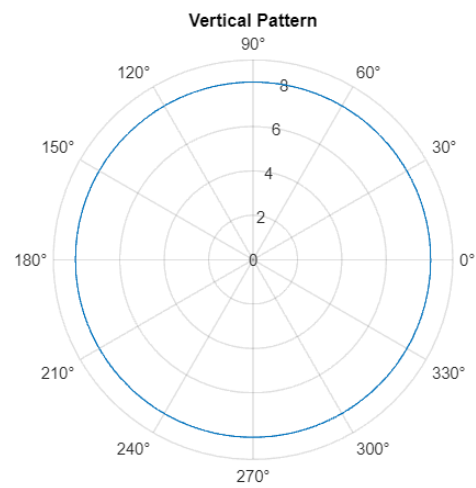
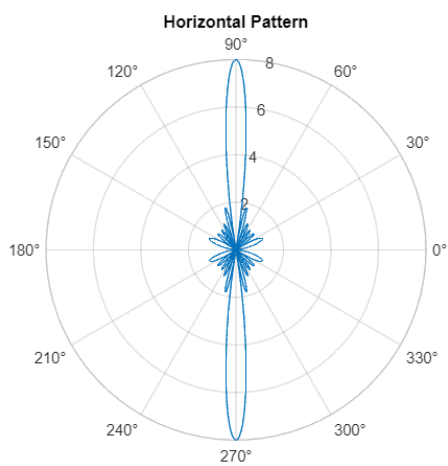
- Απόσταση $d=\lambda/4$, θετικά ρεύματα



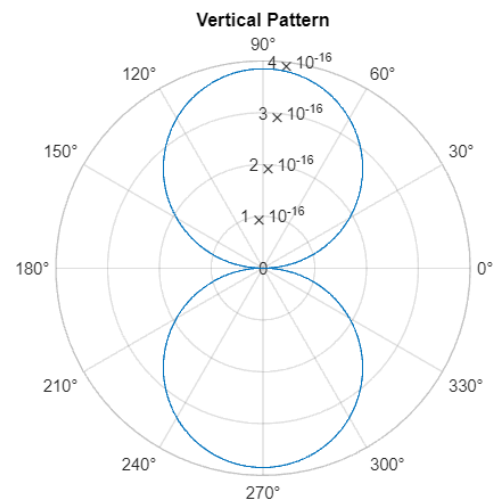
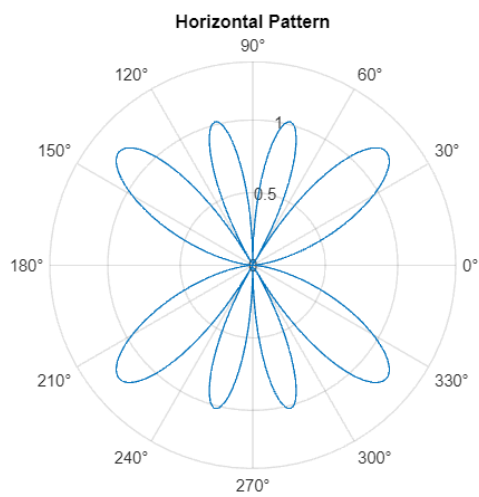
- Απόσταση $d=\lambda/2$, θετικά ρεύματα



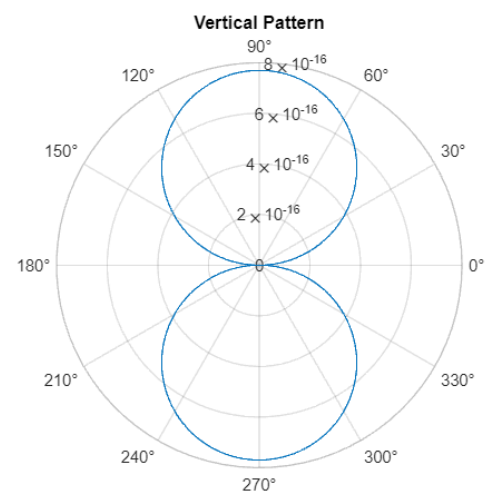
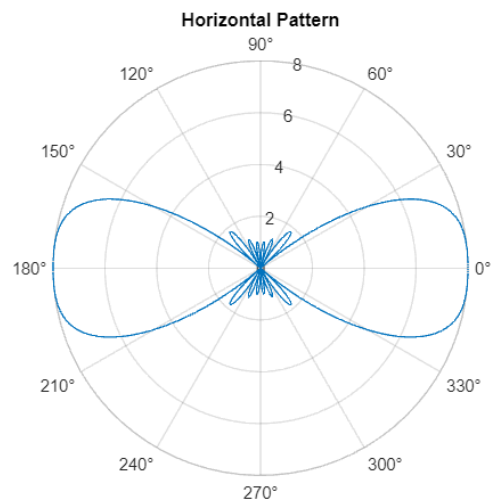
- Απόσταση $d=3\lambda/4$, θετικά ρεύματα



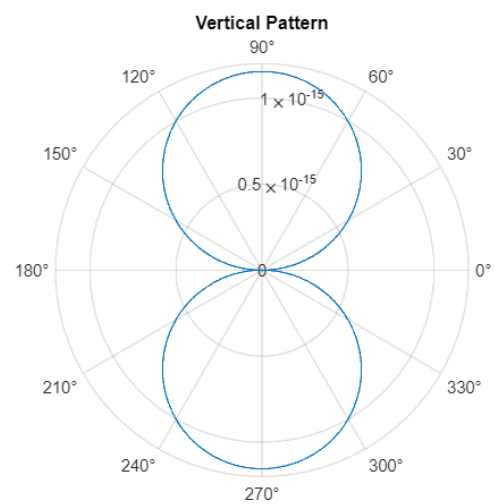
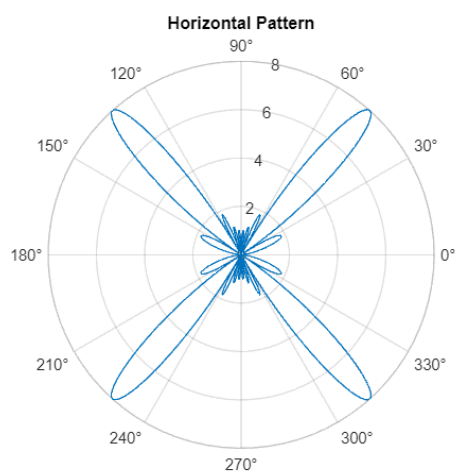
- Απόσταση $d=\lambda/4$, ρεύματα εναλλάξ



- Απόσταση $d=\lambda/2$, ρεύματα εναλλάξ

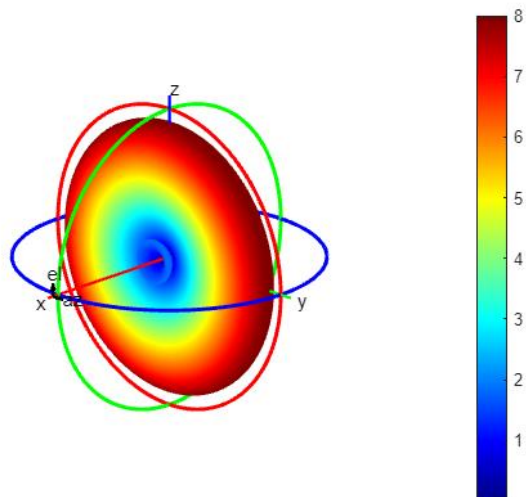


- Απόσταση $d=3\lambda/4$, ρεύματα εναλλάξ

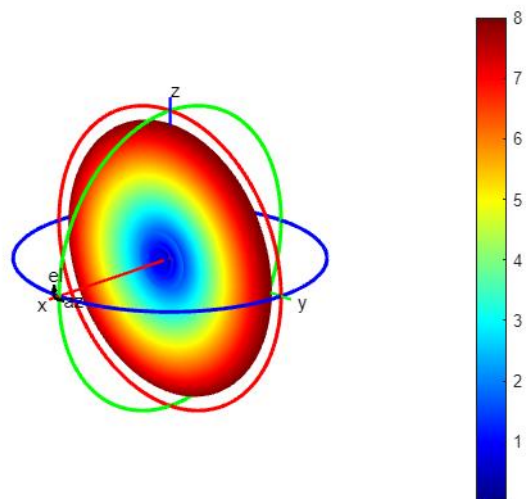


(β)

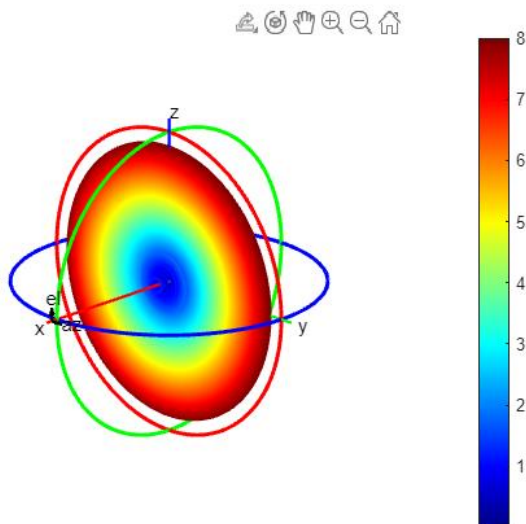
- Απόσταση $d=\lambda/4$, θετικά ρεύματα



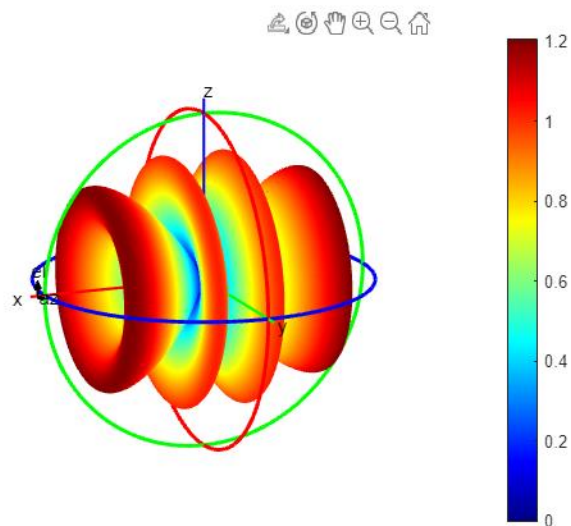
- Απόσταση $d=\lambda/2$, θετικά ρεύματα



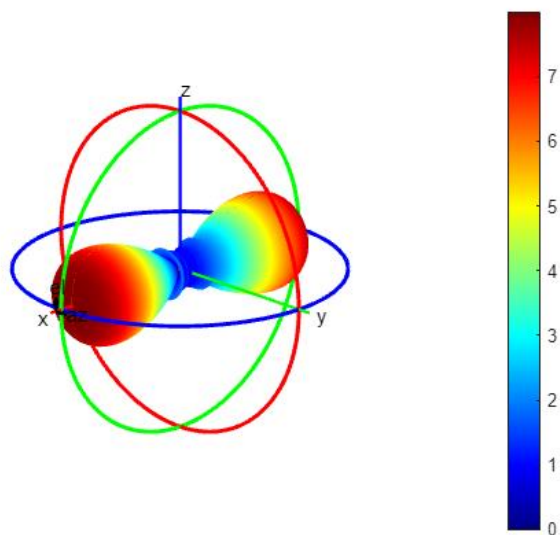
- Απόσταση $d=3\lambda/4$, θετικά ρεύματα



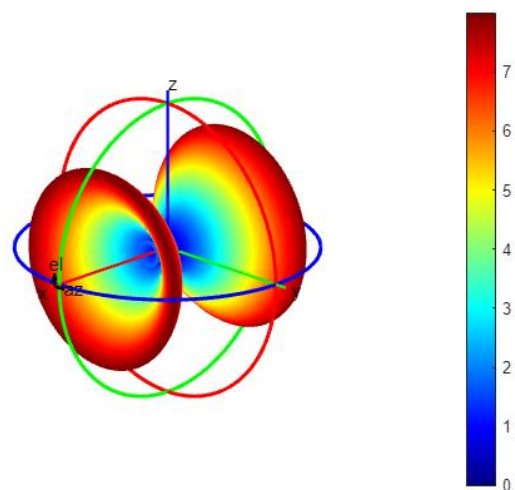
- Απόσταση $d=\lambda/4$, ρεύματα εναλλάξ



- Απόσταση $d=\lambda/2$, ρεύματα εναλλάξ



- Απόσταση $d=3\lambda/4$, θετικά ρεύματα



(γ) Από τα παραπάνω σχήματα, για να έχω μέγιστο ως προς y πρέπει τα ρεύματα να είναι θετικά. Όσο μεγαλύτερη η απόσταση, τόσο πιο κατευθυντική είναι η κεραία μου. Επιλέγω λοιπόν $d=3\lambda/4$, θετικά ρεύματα. Αντίστοιχα, για να έχω μέγιστο ως προς x πρέπει τα ρεύματα να έχουν εναλλάξ πρόσημο. Παρατηρώ ότι αν $d=\lambda/4$, $3\lambda/4$ έχω πολλαπλούς κύριους λοβούς. Άρα επιλέγω $d=\lambda/2$, εναλλάξ πρόσημο ρευμάτων.

(δ) Θεωρητικός τύπος κατευθυντικότητας:

- Ευρύπλευρη (broadside): $D = 2Nd/\lambda = 2 \cdot 8 \cdot (3\lambda/4)/\lambda = 12$
- Ακροπυροδοτική (endfire): $D = 4Nd/\lambda = 4 \cdot 8 \cdot (\lambda/2)/\lambda = 16$

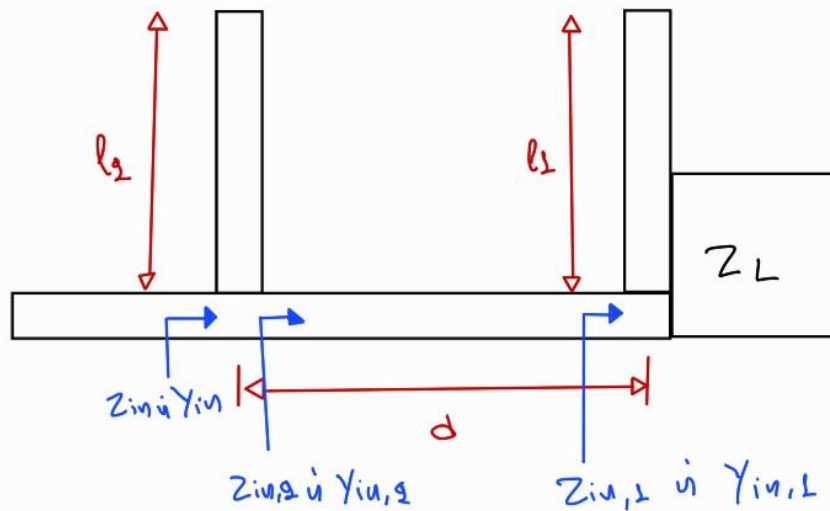
Αναλυτικός υπολογισμός σύμφωνα με τον τύπο:

$$D = \frac{P_{r,\max}}{P_{r,\text{av}}} = \frac{P_{r,\max}}{W_r/(4\pi r^2)} = \frac{4\pi P_{r,\max}}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi P_r \sin \theta d\theta d\phi}$$

- Ευρύπλευρη (broadside): $D = 11.54$
- Ακροπυροδοτική (endfire): $D = 1.4193e-30$ (προφανώς είναι λάθος)

2.3. Διπλός παράλληλος κλαδωτής (αναλυτική λύση και εύρος ζώνης)

(α)



Γνωρίζω $\bullet Z_L = R_L + jX_L$

$\bullet Z_0 = 50 \Omega$, $Y_0 = 1/Z_0$

$\bullet d$ απόσταση μεταξύ κλαδωτών

Για να έχω προσαρμολή πρέπει να έχω $\boxed{Y_{in} = Y_0}$

Από σχήμα:

$\bullet Y_{in,1} = Y_L + jB_1$ (1), όπου jB_1 η επιδεκτικότητα του δεξιού κλαδωτού

$\bullet Y_L = G_L + jB_L$ (2),

άρα από (1), (2) $\Rightarrow Y_{in,1} = G_L + j(B_1 + B_L)$ (3)

$\bullet Y_{in,2} = Y_0 \frac{Y_{in,1} + jY_0 \tan \beta d}{Y_0 + jY_{in,1} \tan \beta d}$ (4), από θεωρία, λόγω σταθμής μήκους d

$\bullet Y_{in} = Y_{in,2} + jB_2 \Rightarrow Y_{in,2} = Y_{in} - jB_2 \xrightarrow{Y_{in} = Y_0}$

$Y_{in,2} = Y_0 - jB_2$ (5)

$$\textcircled{4} \xrightarrow{\textcircled{3}, \textcircled{5}} Y_0 - jB_2 = Y_0 \frac{G_L + j(B_1 + B_L + Y_0 \tan \beta d)}{Y_0 + j(G_L + j(B_1 + B_L)) \tan \beta d}$$

$$= Y_0 \frac{G_L + j(B_1 + B_L + Y_0 \tan \beta d)}{(Y_0 - B_1 \tan \beta d - B_L \tan \beta d) + j G_L \tan \beta d}$$

$$\Rightarrow Y_0(Y_0 - B_1 \tan \beta d - B_L \tan \beta d) + j Y_0 G_L \tan \beta d$$

$$- j B_2(Y_0 - B_1 \tan \beta d - B_L \tan \beta d) + B_2 G_L \tan \beta d =$$

$$Y_0 G_L + j Y_0(B_1 + B_L + Y_0 \tan \beta d) \Rightarrow$$

$$Y_0^2 - Y_0 B_1 \tan \beta d - Y_0 B_L \tan \beta d + B_2 G_L \tan \beta d$$

$$+ j(Y_0 G_L \tan \beta d - B_2 Y_0 + B_1 B_2 \tan \beta d + B_L B_2 \tan \beta d) =$$

$$Y_0 G_L + j Y_0(B_1 + B_L + Y_0 \tan \beta d)$$

εξισώνω τα πραγματικά και φανταστικά μέρη:

$$Y_0^2 - Y_0 B_1 \tan \beta d - Y_0 B_L \tan \beta d + B_2 G_L \tan \beta d = Y_0 G_L \quad \textcircled{6}$$

$$Y_0 G_L \tan \beta d - B_2 Y_0 + B_1 B_2 \tan \beta d + B_L B_2 \tan \beta d = Y_0(B_1 + B_L + Y_0 \tan \beta d) \quad \textcircled{7}$$

Αντικαθιστώντας τα σωστά μέγεθος, υπολογίζω τα B_1, B_2 .

Για ρωσ κλειστή ραβδό $Y_{stub} = jB \Rightarrow Z_{stub} = -j \frac{1}{B}$

Για ανοικτοκυκλωμένο κλειδί :

$$Z_{stub} = -j Z_0 \cot \beta l \Rightarrow$$

$$-j \frac{1}{B} = -j Z_0 \cot \beta l \Rightarrow$$

$$l = \cot^{-1} \left(\frac{1}{B Z_0} \right) / \beta$$

Για βραχυκυκλωμένο κλειδί :

$$Z_{stub} = j Z_0 \tan \beta l \Rightarrow$$

$$-j \frac{1}{B} = j Z_0 \tan \beta l \Rightarrow$$

$$l = \tan^{-1} \left(\frac{-1}{B Z_0} \right) / \beta$$

(β) Εφαρμόζω την παραπάνω διαδικασία για $Z_L=10-j70$, $f=5$ GHz, $Z_0=50 \Omega$, $d=\lambda/8$, και υπολογίζω τα B1, B2

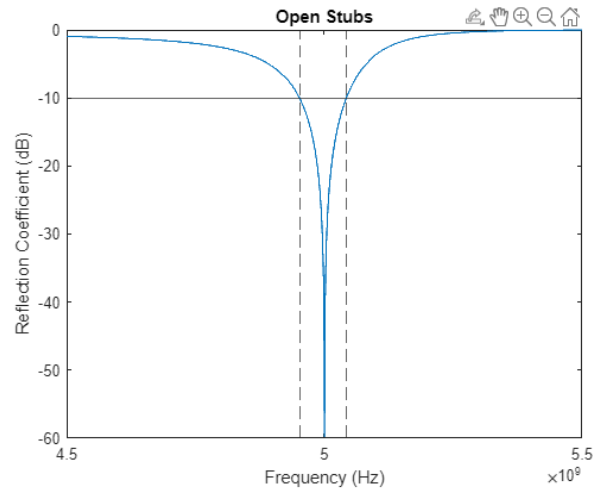
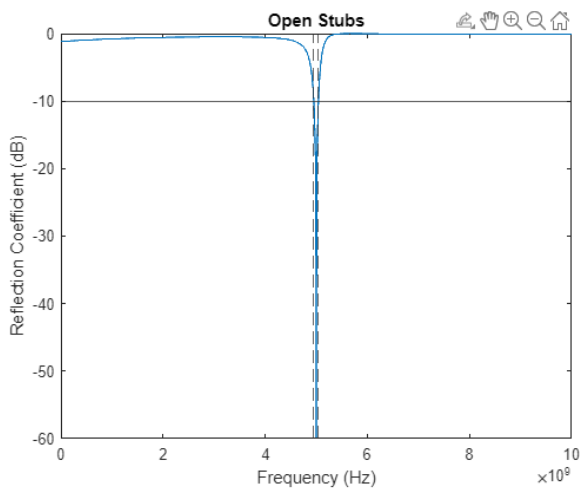
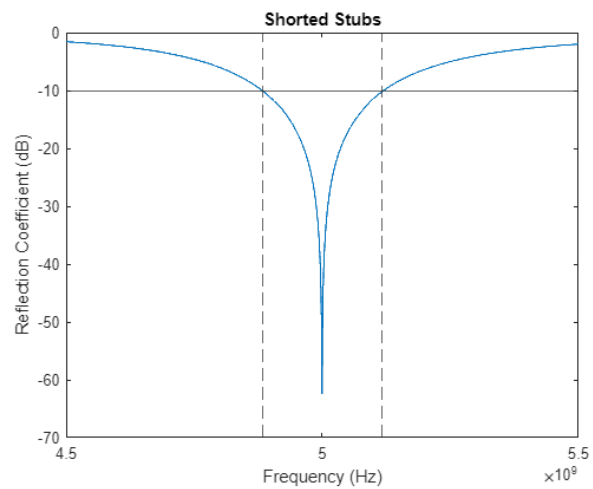
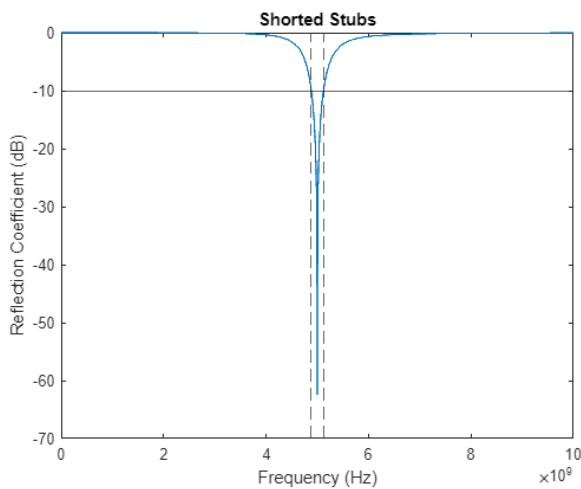
$$\begin{aligned} B1 &= 2 \times 1 \\ &= -0.1359 \\ &= 0.7359 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B2 &= 2 \times 1 \\ &= -3.3589 \\ &= 5.3589 \end{aligned}$$

Τα B (κανονικοποιημένες αγωγιμότητες ως προς Y_0) είναι είτε θετικά είτε αρνητικά. Για να έχω το ελάχιστο δυνατό μήκος κλαδωτή, χρησιμοποιώ βραχυκυκλωμένους κλαδωτές για να πετύχω αρνητικές αγωγιμότητες, και ανοιχτοκυκλωμένους για θετικές αγωγιμότητες.

$$\begin{aligned} l1_{\text{short}} &= 0.2285\lambda \\ l2_{\text{short}} &= 0.0461\lambda \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l1_{\text{open}} &= 0.1010\lambda \\ l2_{\text{open}} &= 0.2206\lambda \end{aligned}$$



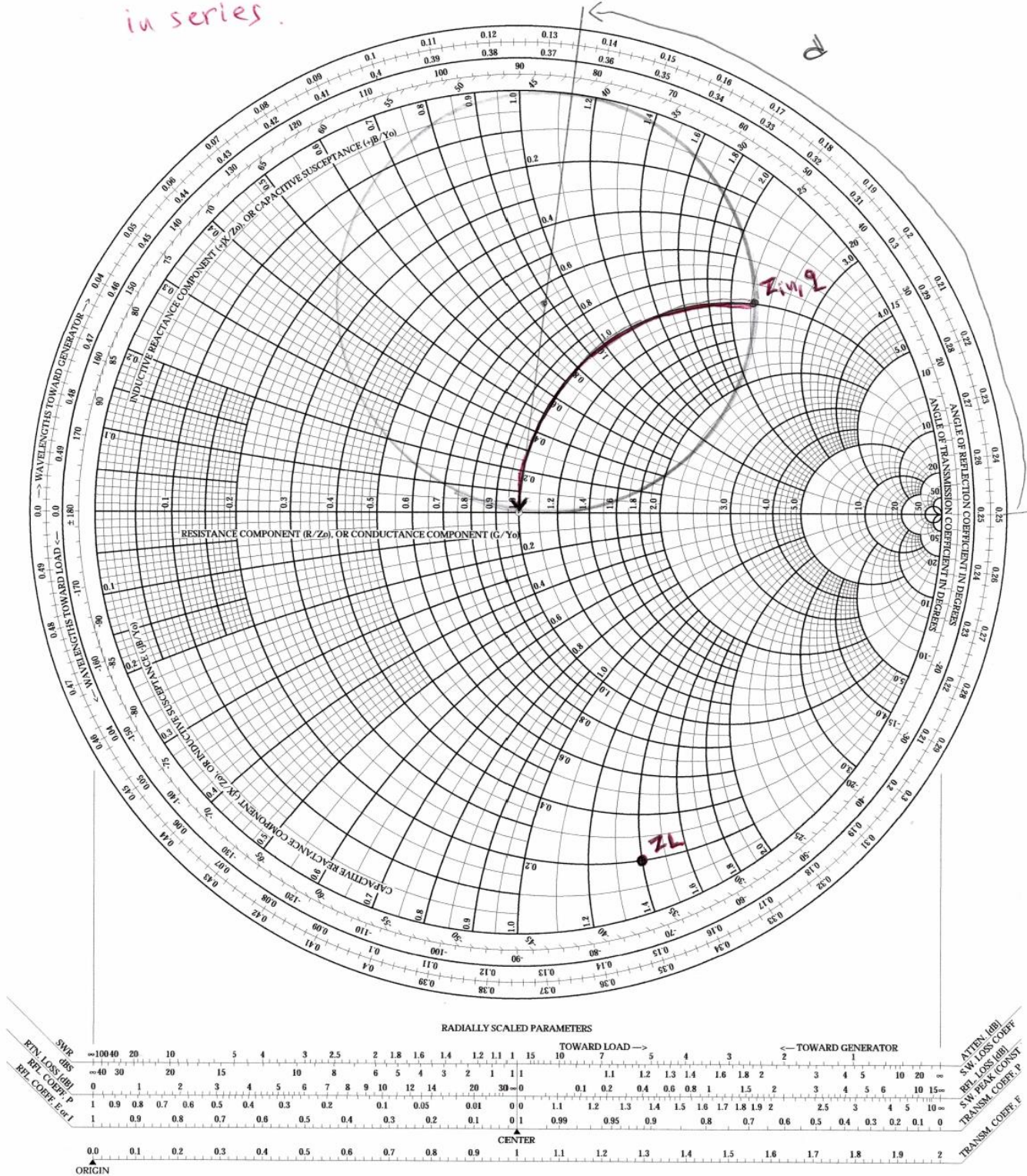
Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι ξεκάθαρο πως οι βραχυκυκλωμένοι κλαδωτές έχουν καλύτερο εύρος ζώνης καλής προσαρμογής ($|Γ| < -10\text{dB}$). Το εύρος των βραχυκυκλωμένων κλαδωτών είναι $\approx 235\text{MHz}$, και των ανοιχτοκυκλωμένων $\approx 85\text{MHz}$, και οι δύο γύρω από την κεντρική συχνότητα λειτουργίας 5 GHz.

(γ) Όμοια με την προσαρμογή διπλού κλαδωτή, χαράσσω τον κύκλο $r=1$ και το περιστρέφω κατά d προς το φορτίο. Βρίσκω το σημείο $Z_{in,2}$. Πρέπει όμως να πάω από το σημείο Z_{in} στο $Z_{in,2}$ με την χρήση μόνο πυκνωτή σε σειρά, δηλαδή αφαιρώντας αντίδραση, το οποίο είναι αδύνατο.

Epwmba (8)
 Double Stub tuning
 2 Capacitors
 in series.

The Complete Smith Chart

Black Magic Design



2.4 Παραλλαγές κυλινδρικού αντηχείου

(α) Για ρυθμό TM_{010} οι εκφράσεις ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι:

$$E_\rho = -\frac{\beta}{k_c} A J'_n(k_c \rho) \cos n\varphi \sin \beta z \Rightarrow E_\rho = 0$$

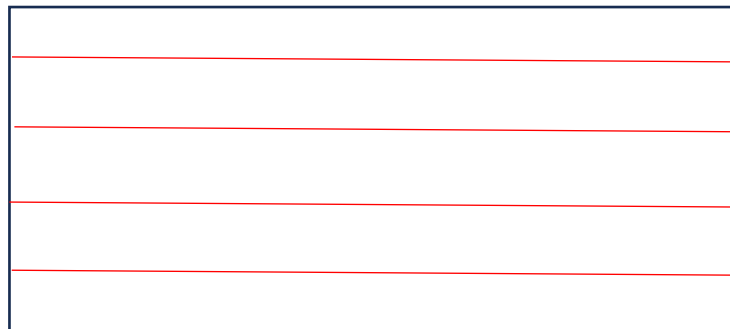
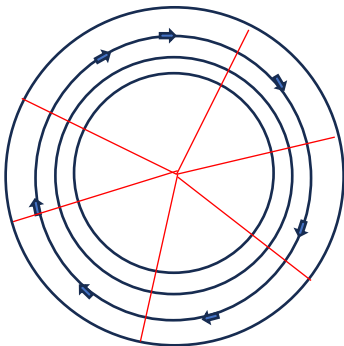
$$E_\varphi = -\frac{\beta n}{k_c^2 \rho} A J_n(k_c \rho) \sin n\varphi \sin \beta z \Rightarrow E_\varphi = 0$$

$$E_z = A J'_n(k_c \rho) \cos n\varphi \cos \beta z \Rightarrow E_z = A J'_0(k_c \rho)$$

$$H_\rho = -\frac{j\omega\epsilon n}{k_c^2 \rho} A J_n(k_c \rho) \sin n\varphi \cos \beta z \Rightarrow H_\rho = 0$$

$$H_\varphi = -\frac{j\omega\epsilon}{k_c} A J'_n(k_c \rho) \cos n\varphi \cos \beta z \Rightarrow H_\varphi = -\frac{j\omega\epsilon}{k_c} A J'_0(k_c \rho)$$

Υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο από το κέντρο της βάσης προς τις άκρες και στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο ομοαξονικά. Αφού $l=0$ δεν έχω καμιά μεταβολή $\lambda/2$ κατά το μήκος του αντηχείου, άρα έχω στάσιμο κύμα, απουσιάζει δηλαδή το κυματικό φαινόμενο.



(β) -

(γ) -

(δ) Πρόκειται για συντονιστή ομοαξονικού καλωδίου άρα η χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού του υπολογίζεται

ως εξής: $d = \frac{\lambda}{2} = \frac{c_0}{2f_{min}} \Rightarrow f_{min} = \frac{c_0}{2d}$

(ε) -