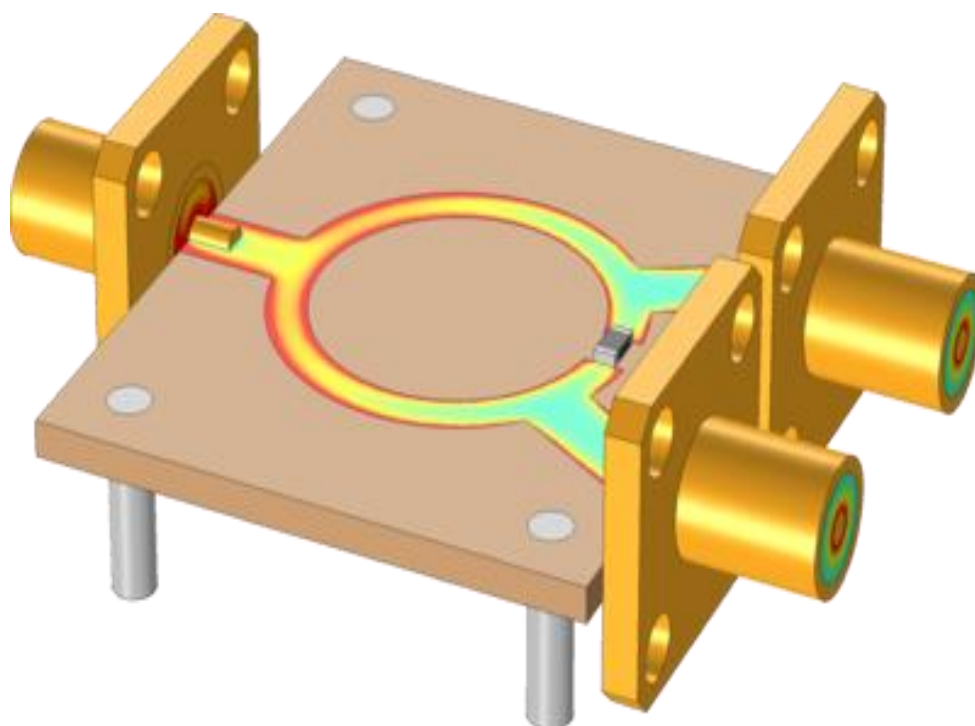


## Μικροκύματα II

Προαιρετικά Θέματα 10<sup>ου</sup> Κεφαλαίου:

Διαιρέτες και Κατευθυντικοί Ζεύκτες



Διδάσκων: Εμμανουήλ Κριεζής

Ονοματεπώνυμο Φοιτητή: Χρυσοβέργης Ηλίας

Α.Ε.Μ. Φοιτητή: 8009

E-mail Φοιτητή: [iliachry@ece.auth.gr](mailto:iliachry@ece.auth.gr)

24 Δεκεμβρίου 2016

## 10.1 Διαιρέτης Ισχύος Ευρείας Ζώνης

### a) Διαιρέτης Ισχύος Wilkinson

Ο υπολογισμός των παραμέτρων σκέδασης έγιναν στο script **Wilkinson.m**. Στην συνέχεια δίνονται σε κοινό διάγραμμα ο συντελεστής ανάκλασης στην θύρα 1, ο συντελεστής μετάδοσης από την θύρα 1 στην θύρα 2 (ο οποίος είναι ίσος με τους συντελεστές μετάδοσης από την θύρα 1 στην θύρα 3, από την θύρα 2 στην θύρα 1 και από την θύρα 3 στην θύρα 1 λόγω συμμετρίας του κυκλώματος και αμοιβαιότητας), ο συντελεστής ανάκλασης στην θύρα 2 (ο οποίος είναι ίδιος με τον συντελεστή ανάκλασης στην θύρα 3) και ο συντελεστής μετάδοσης από την θύρα 2 στην θύρα 3 (ο οποίος είναι ίδιος με τον συντελεστή μετάδοσης από την θύρα 3 στην θύρα 2):



Το εύρος ζώνης, χρησιμοποιώντας ως **κριτήριο ευρυζωνικότητας** την διατήρηση της **απομόνωσης** των θυρών εξόδους σε τιμές μικρότερες των **-20 dB**, προκύπτει ίσο με 36.2% σε σχέση με την  $f_0$ .

## Μικροκύματα II

### b) Διαιρέτης Ισχύος Webb

- i. Ο μετασχηματιστής Bramham αποτελείται από τον συνδυασμό 2 γραμμών μεταφοράς χαρακτηριστικών αντιστάσεων  $Z_1$  &  $Z_2$  και μήκους  $l_1, l_2$  αντίστοιχα.

Όπως είναι γνωστό για μία γραμμή μεταφοράς μήκους  $l$ , χαρακτηριστικής αντίστασης  $Z$  και σταθεράς διάδοσης  $\beta$  ισχύει:

$$ABCD = \begin{bmatrix} \cos(\beta l) & jZ_0 \sin(\beta l) \\ jY_0 \sin(\beta l) & \cos(\beta l) \end{bmatrix}$$

Οπότε, για τον μετασχηματιστή Bramham έχουμε:

$$\begin{aligned} ABCD &= ABCD_2 \times ABCD_1 = \\ &= \begin{bmatrix} \cos(\beta l_2) & jZ_2 \sin(\beta l_2) \\ jY_2 \sin(\beta l_2) & \cos(\beta l_2) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos(\beta l_1) & jZ_1 \sin(\beta l_1) \\ jY_1 \sin(\beta l_1) & \cos(\beta l_1) \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \cos(\beta l_1) \cos(\beta l_2) - \frac{Z_2}{Z_1} \sin(\beta l_1) \sin(\beta l_2) & j\{Z_2 \cos(\beta l_1) \sin(\beta l_2) + Z_1 \cos(\beta l_2) \sin(\beta l_1)\} \\ j\left\{\frac{\cos(\beta l_2) \sin(\beta l_1)}{Z_1} + \frac{\cos(\beta l_1) \sin(\beta l_2)}{Z_2}\right\} & \cos(\beta l_1) \cos(\beta l_2) - \frac{Z_1}{Z_2} \sin(\beta l_1) \sin(\beta l_2) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Γνωρίζουμε ότι ο μετασχηματισμός από πίνακα  $ABCD$  σε πίνακα  $[S]$  στην περίπτωση που έχουμε διαφορετικές χαρακτηριστικές αντιστάσεις μεταξύ των δύο θυρών προκύπτει εφαρμόζοντας στον πίνακα  $ABCD$  τον παρακάτω μετασχηματισμό και ύστερα μετατρέποντας σε πίνακα  $[S]$  με την γνωστή διαδικασία:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & \frac{Z_1}{Z_2} B \\ C & \frac{Z_1}{Z_2} D \end{bmatrix}$$

Οπότε για τους συντελεστές  $S_{11}$  &  $S_{22}$  (οι οποίοι είναι και αυτοί που θα χρησιμοποιήσουμε για να δούμε ποια μήκη γραμμών οδηγούν σε προσαρμογή) του πίνακα σκέδασης έχουμε:

$$S_{11} = \frac{A + \frac{B}{Z_2} - CZ_1 - \frac{DZ_1}{Z_2}}{A + \frac{B}{Z_2} + CZ_1 + \frac{DZ_1}{Z_2}} \quad \& \quad S_{22} = \frac{-A + \frac{B}{Z_2} - CZ_1 + \frac{DZ_1}{Z_2}}{A + \frac{B}{Z_2} + CZ_1 + \frac{DZ_1}{Z_2}}$$

Για να υπάρχει προσαρμογή θα πρέπει να ισχύει σε  $S_{11} = S_{22} = 0$ . Οπότε προκύπτει:

## Μικροκύματα II

$$\frac{2B}{Z_2} - 2Z_1C = 0 \text{ \& } 2A - \frac{2Z_1}{Z_2D} = 0 \Rightarrow \frac{B}{Z_2} = Z_1C \text{ [1] \& } A = \frac{Z_1}{Z_2}D \text{ [2]}$$

Από τις 2 τελευταίες εξισώσεις προκύπτει:

$$[1] \Rightarrow \cos(\beta l_1) \sin(\beta l_2) + \frac{1}{r} \cos(\beta l_2) \sin(\beta l_1) = \cos(\beta l_2) \sin(\beta l_1) + \frac{1}{r} \cos(\beta l_1) \sin(\beta l_2)$$

$$\Rightarrow \cot(\beta l_1) + \frac{1}{r} \cot(\beta l_2) = \cot(\beta l_2) + \frac{1}{r} \cot(\beta l_1) \text{ [3]}$$

Όπου

$$r = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$[2] \Rightarrow \cos(\beta l_1) \cos(\beta l_2) - r \sin(\beta l_1) \sin(\beta l_2) = \frac{1}{r} \cos(\beta l_1) \cos(\beta l_2) - \frac{1}{r^2} \sin(\beta l_1) \sin(\beta l_2)$$

$$\Rightarrow \cot(\beta l_1) \cot(\beta l_2) - r = \frac{1}{r} \cot(\beta l_1) \cot(\beta l_2) - \frac{1}{r^2} \text{ [4]}$$

Από την [3] προκύπτει ότι:

$$l_1 = l_2 = l \text{ [5]}$$

Από την [4] προκύπτει ότι:

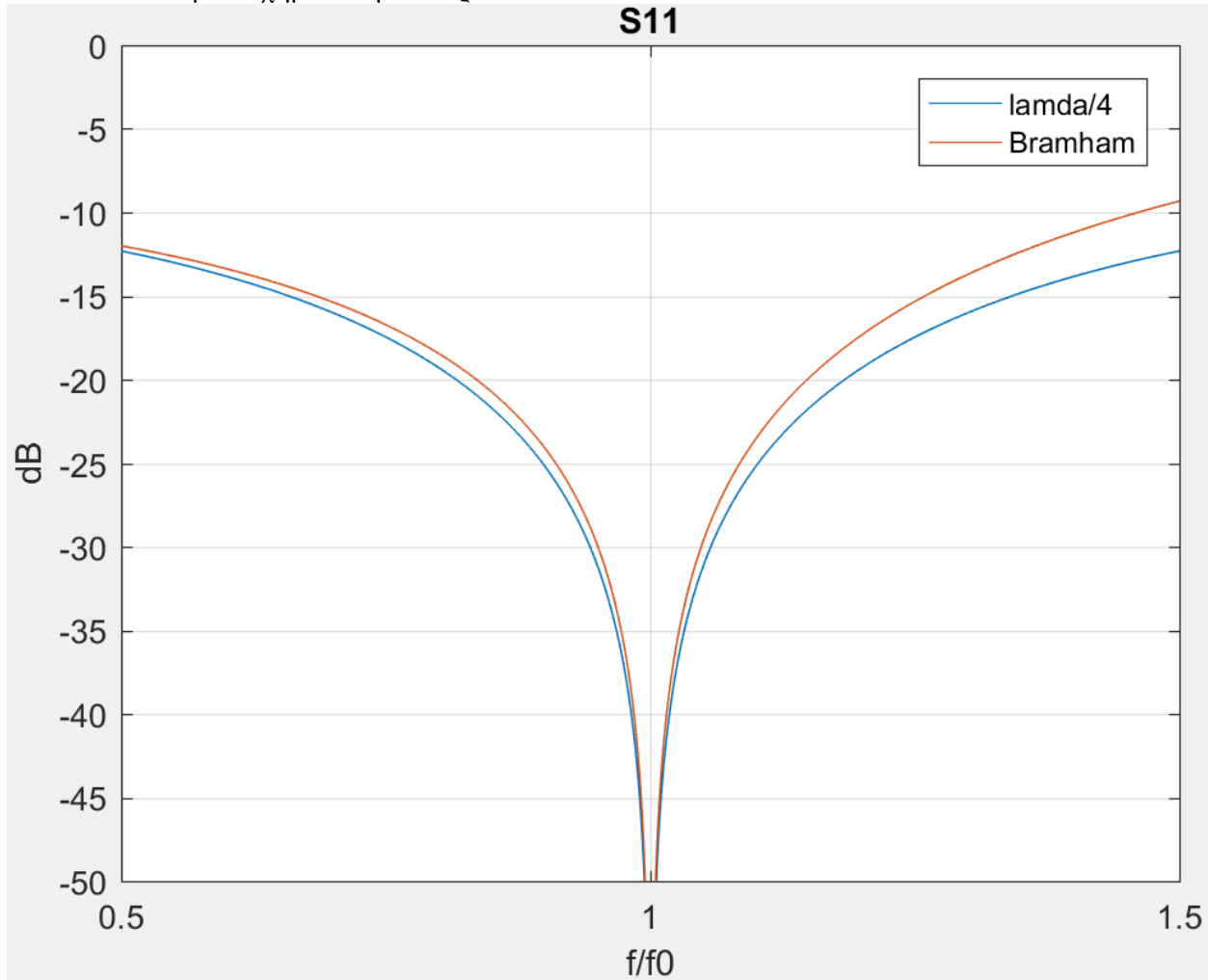
$$\cot(\beta l)^2 \left(1 - \frac{1}{r}\right) = r - \frac{1}{r^2} \Rightarrow \cot(\beta l)^2 = \frac{r^3 - 1}{r(r-1)} = \frac{(r-1)(r^2 + r + 1)}{r(r-1)} = r + 1 + r^{-1} \Rightarrow$$

$$l = \frac{1}{2\pi} \cot\left(\sqrt{1 + r + r^{-1}}\right)^{-1} \lambda \text{ [6]}$$

Από τις [5] και [6] προκύπτει και το ζητούμενο του ερωτήματος.

## Μικροκύματα II

Συγκρίνοντας σε κοινό διάγραμμα την μεταβολή της παραμέτρου  $S_{11}$  ως προς την κανονικοποιημένη συχνότητα για τον μετασχηματιστή **Bramham** και τον μετασχηματιστή  $\lambda/4$  προκύπτει:



Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο μετασχηματιστής Bramham είναι λιγότερο ευρυζωνικός από τον  $\lambda/4$ . Αυτό είναι λογικό διότι έχουμε μειώσει αρκετά το συνολικό μήκος της γραμμής μεταφοράς το οποίο προκύπτει :

$$l_{tl} = 2l = \frac{1}{2\pi} \cot(\sqrt{1 + 2 + 0.5})^{-1} \lambda = 0.1563\lambda$$

Ακόμη αξίζει να παρατηρήσουμε την ασυμμετρία του  $S_{11}$  για τον Bramham η οποία προκύπτει από την συνεφαπτομένη.

Οι εντολές για την δημιουργία αυτού του διαγράμματος βρίσκονται στο script **Bramham.m**.

## Μικροκύματα II

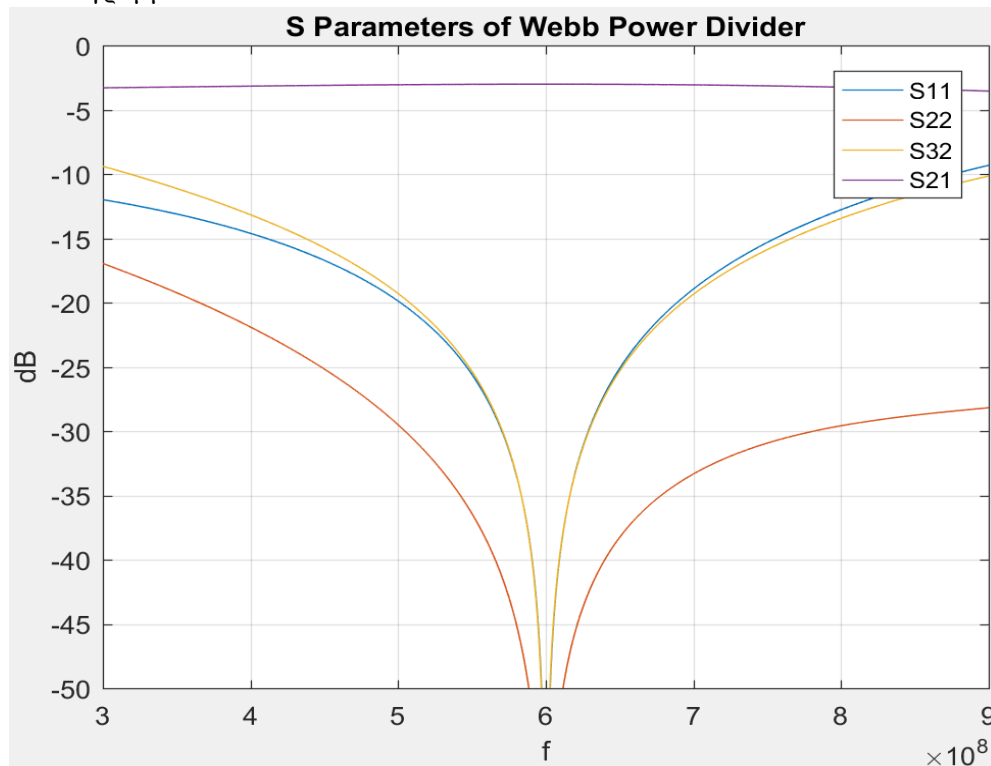
- ii. Για την μελέτη της προσαρμογής της θύρας 1, αναλύουμε το πρόβλημα της οδήγησης από τις θύρες 2 και 3 σε περιττό και άρτιο ισοδύναμο. Το άρτιο ισοδύναμο μας οδηγεί στην μελέτη του μετασχηματιστή Bramham. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιλέξουμε ως κατάλληλες τιμές των χαρακτηριστικών αντιστάσεων καθώς και των μηκών των γραμμών τις ίδιες τιμές με το προηγούμενο ερώτημα. Οπότε:

$$Z_1 = 50 \, \Omega, Z_2 = 100 \, \Omega, l_1 = l_2 = 0.0781\lambda$$

Λύνοντας το περιττό ισοδύναμο πρόβλημα μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές  $R$  και  $C$  ώστε ο διαιρέτης να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνδυαστής στην συχνότητα των 600 MHz. Ο υπολογισμός τους γίνεται στο script **Webb1.m**. Τα αποτελέσματα δίνονται στην συνέχεια:

$$R = 100 \, \Omega, C = 1.42 \, pF$$

- iii. Οι υπολογισμοί για το συγκεκριμένο ερώτημα έγιναν στο script **Webb2.m**. Οι παράμετροι σκέδασης για τον διαιρέτη ισχύος Webb δίνονται στην συνέχεια σε κοινό διάγραμμα:



Το εύρος ζώνης, χρησιμοποιώντας το κριτήριο του συντελεστή απομόνωσης προκύπτει ίσο με 30.8 % της  $f_0$ . Παρατηρούμε ότι αυτή η τιμή είναι μικρότερη από του διαιρέτη **Wilkinson**. Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι έχουν μειωθεί οι συνολικές διαστάσεις του κυκλώματος και αντίστοιχο με τα όσα ειπώθηκαν σε προηγούμενο ερώτημα για τον μετασχηματιστή **Bramham** και τον  $\lambda/4$ .

## Μικροκύματα II

### c) Διαιρέτης Ισχύος Vizmuller

Για να εκφραστούν τα μήκη των γραμμών ως κλάσμα του  $\lambda$  ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

$$2(l_1 + l_2) = \frac{\lambda_0}{4} \Rightarrow l_1 = \frac{l_1}{8(l_1 + l_2)} \lambda_0$$

Όμως :

$$\lambda_0 = \lambda \frac{f}{f_0}$$

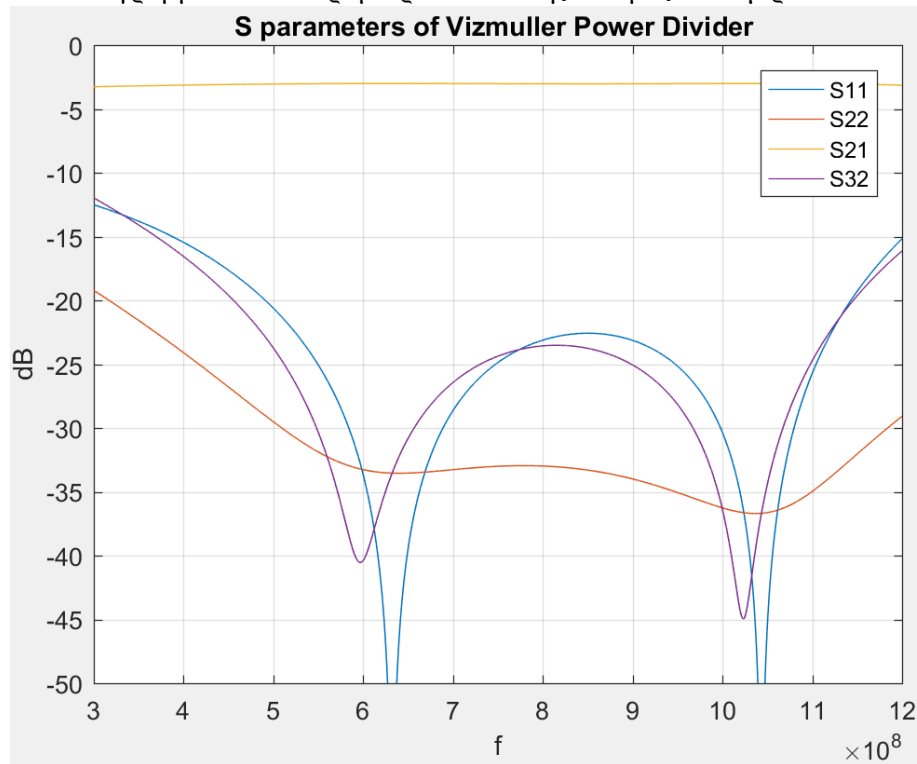
Οπότε:

$$l_1 = \frac{l_1}{8(l_1 + l_2)} \lambda \frac{f}{f_0}$$

Και αντίστοιχα :

$$l_2 = \frac{l_2}{8(l_1 + l_2)} \lambda \frac{f}{f_0}$$

Οι υπολογισμοί των S παραμέτρων έγιναν στο script **Vizmuller.m**. Στην συνέχεια δίνονται τα διαγράμματα των παραμέτρων σκέδασης που μας ενδιαφέρουν:



Το εύρος ζώνης του διαιρέτη προκύπτει ίσο με 115% της αρχικής συχνότητας.

## 10.2 Τετραγωνικά Υβριδικά Αυξημένου Εύρους Ζώνης

- a) Για τον υπολογισμό των  $S$  πινάκων των τεσσάρων τετραγωνικών υβριδικών χρησιμοποιούμε την μεθοδολογία των άρτιων και περιττών ρυθμών όπως αυτή αναλύθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 10.3.1 του βιβλίου. Στα Scripts **Hybrid\_1.m**, **Hybrid\_2.m**, **Hybrid\_3.m**, **Hybrid\_4.m** υπολογίζονται οι  $S$  παράμετροι των τεσσάρων διαφορετικών υβριδικών για μία τιμή της κανονικοποιημένης συχνότητας η οποία δίνεται σαν όρισμα στις συγκεκριμένες συναρτήσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της αμοιβαιότητας και της συμμετρικότητας του κυκλώματος αν υπολογίσουμε την μία γραμμή ή στήλη των πινάκων, μπορούμε να δημιουργήσουμε ολόκληρο τον πίνακα με κυκλική εναλλαγή.

Για τα 4 υβριδικά προκύπτει:

$$[S_1] = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad [S_2] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & -1 & j & 0 \\ -1 & 0 & 0 & j \\ j & 0 & 0 & -1 \\ 0 & j & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[S_3] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & -1 & j & 0 \\ -1 & 0 & 0 & j \\ j & 0 & 0 & -1 \\ 0 & j & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad [S_4] = \begin{bmatrix} 0.0146 & 0.7060j & 0.7079 & -0.0147j \\ 0.7060j & 0.0146 & -0.0147j & 0.7079 \\ 0.7079 & -0.0147j & 0.0146 & 0.7060j \\ -0.0147j & 0.7079 & 0.7060j & 0.0146 \end{bmatrix}$$

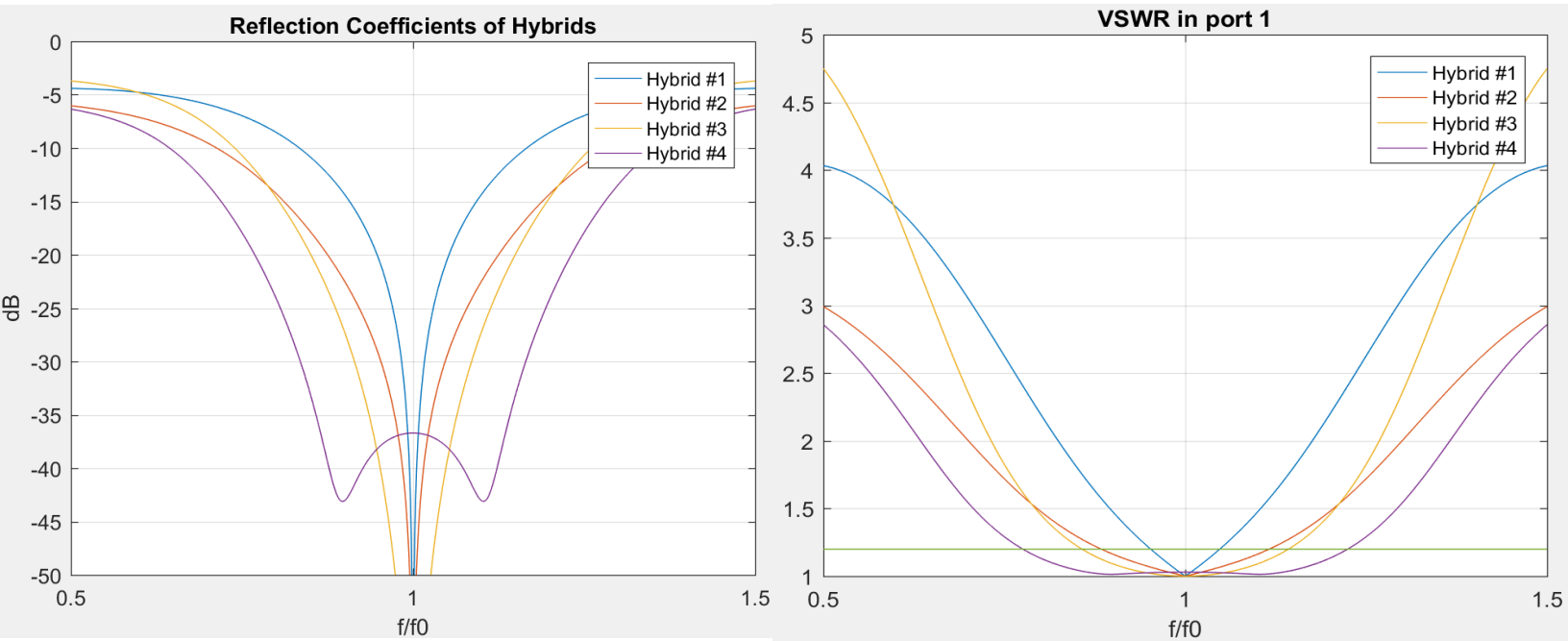
Παρατηρώντας τους 4 διαφορετικούς πίνακες σκέδασης βγάζουμε το συμπέρασμα ότι τα τέσσερα κυκλώματα έχουν σχεδόν ίδια συμπεριφορά στην συχνότητα  $f_0$ . Η μόνη αλλαγή που παρατηρούμε στα υβριδικά #2 και #3 είναι ότι οι πίνακες σκέδασης έχουν πολλαπλασιαστεί με έναν παράγοντα ίσο με  $-j$  κάτι που δεν έχει επηρεάσει σημαντικά το κύκλωμα. Ο παράγοντας αυτός δίνει απλώς διαφορετική διαφορά φάσης στις διαφορετικές θύρες σε σχέση με το υβριδικό #1. Το γεγονός ότι έχουμε μηδενική ανάκλαση και τέλεια απομόνωση καθώς και ίση διαίρεση ισχύος στις θύρες 2 και 3 δείχνει ότι τα 3 κυκλώματα είναι ισοδύναμα για την συχνότητα  $f_0$ .

Όσον αφορά το υβριδικό #4, αυτό παρουσιάζει μία μικρή απόκλιση από την ιδανική λειτουργία των τριών πρώτων υβριδικών. Λόγω αυτού του γεγονότος, αναμένουμε μεγαλύτερη ευρυζωνικότητα για το συγκεκριμένο υβριδικό, ενώ για το πρώτο υβριδικό αναμένουμε την χειρότερη ευρυζωνικότητα.

- b) Το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης καθώς και ο λόγος στασίμου κύματος στην είσοδο 1 υπολογίζονται στο script **QuestionB.m**. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα 2 ζητούμενα διαγράμματα:



## Μικροκύματα II

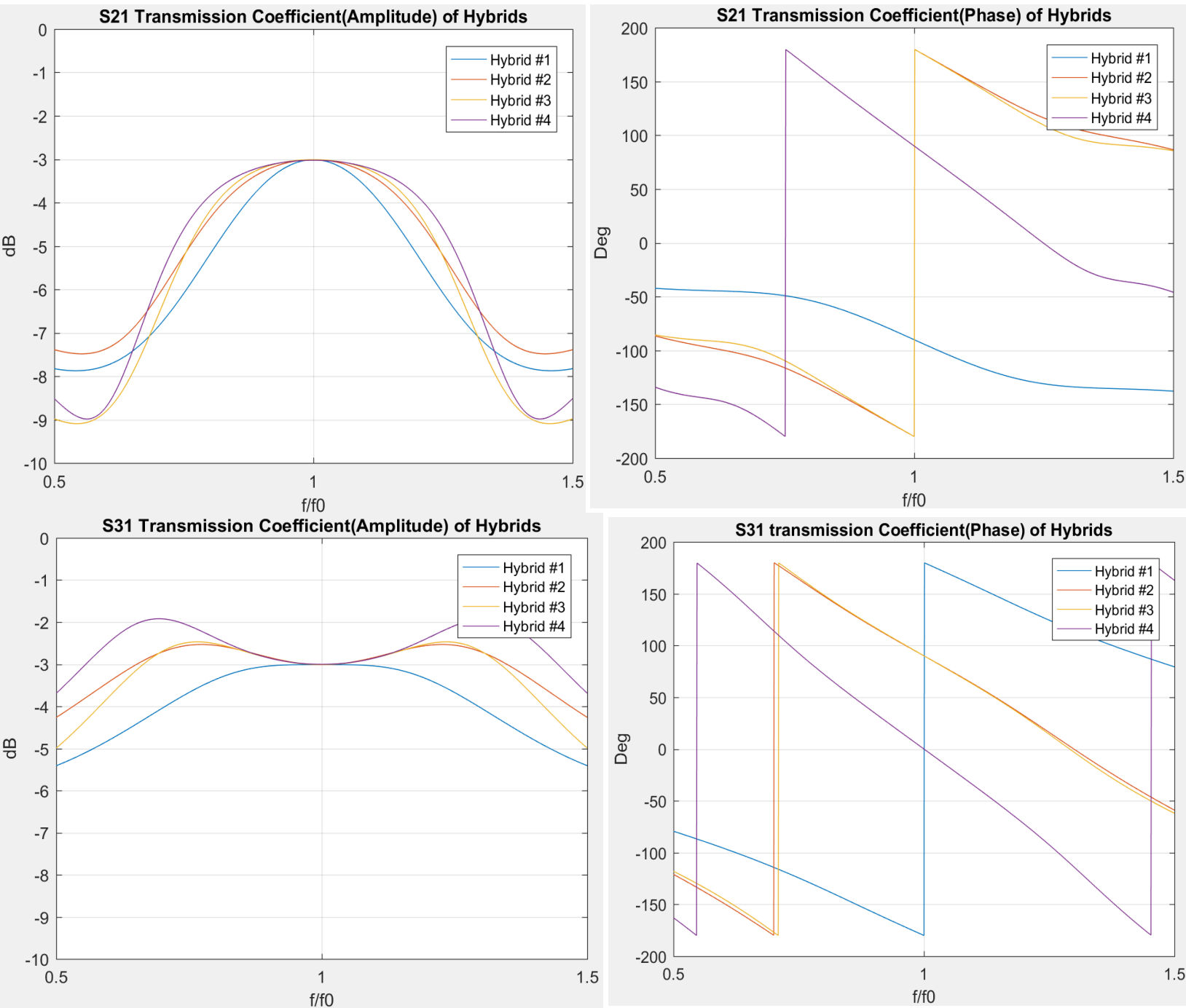


Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι αυτά που αναμέναμε από το πρώτο ερώτημα. Τα υβριδικά 2 και 3 είναι περισσότερο ευρυζωνικά από το υβριδικό 1, ενώ το υβριδικό 4 παρέχει την μεγαλύτερη **ευρυζωνικότητα**. Στον πίνακα στην συνέχεια δίνεται το εύρος ζώνης σε σχέση με την κεντρική συχνότητα για κάθε υβριδικό:

Υβριδικό	Εύρος Ζώνης
1	9.6 %
2	23.4 %
3	28.6 %
4	45 %

## Μικροκύματα II

- c) Το μέτρο και η φάση των συντελεστών μετάδοσης από την θύρα 1 στις θύρες 2 & 3 υπολογίστηκαν στο script **QuestionC.m**. Τα διαγράμματα δίνονται στην συνέχεια:



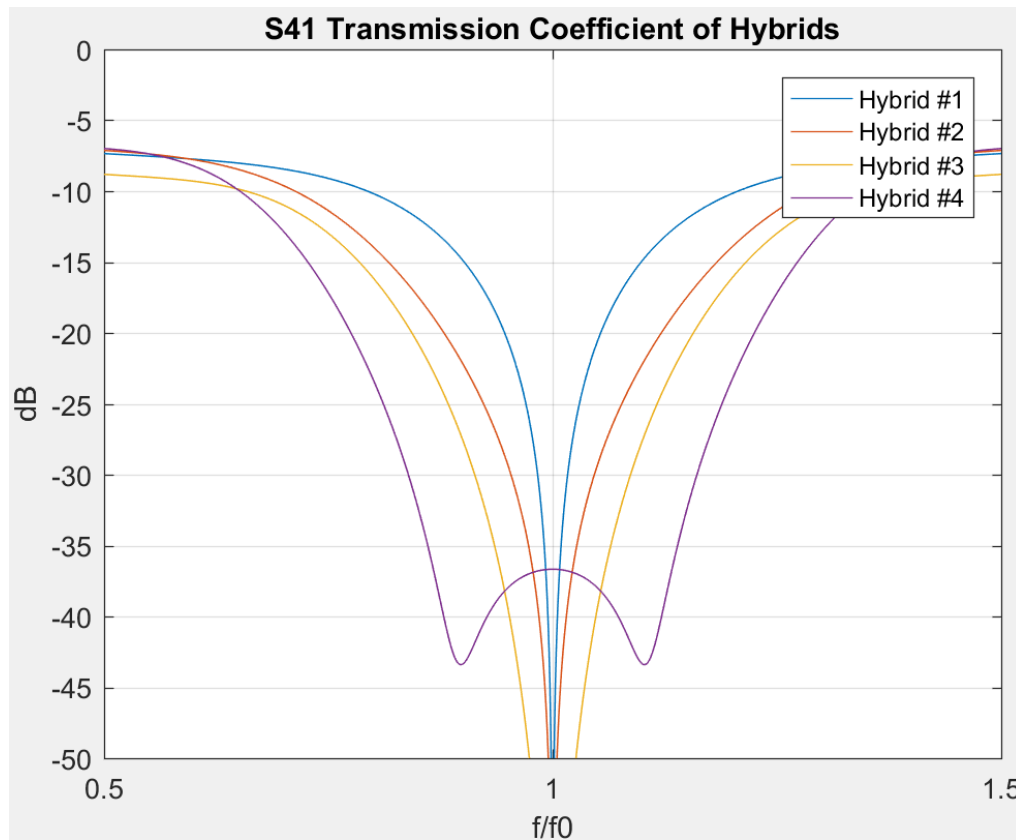
Μπορούμε και σε αυτά τα διαγράμματα να παρατηρήσουμε την διαφορά στην **ευρυζωνικότητα** των τεσσάρων υβριδικών. Στον πίνακα στην συνέχεια δίνεται το εύρος ζώνης σε σχέση με την κεντρική συχνότητα για κάθε υβριδικό:

## Μικροκύματα II

Υβριδικό	Εύρος Ζώνης
1	12.6 %
2	18.4 %
3	21.8 %
4	24 %

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι σύμφωνα με αυτό το κριτήριο δεν έχουμε τόσο μεγάλη διαφορά στο εύρος ζώνης στα τέσσερα υβριδικά σε σχέση με το κριτήριο του συντελεστή ανάκλασης.

- d) Ο συντελεστής μετάδοσης στην θύρα 4 για τα 4 υβριδικά υπολογίστηκε με το script **QuestionD.m**. Στην συνέχεια δίνεται το διάγραμμα του:



Παρατηρούμε και σε αυτό το διάγραμμα την διαφορά του εύρους ζώνης των τεσσάρων υβριδικών. Στην συνέχεια δίνεται η μέγιστη τιμή της απομόνωσης για κάθε υβριδικό στο εύρος ζώνης που εκτιμήθηκε στο ερώτημα (γ):

Υβριδικό	Μέγιστο
1	-18.63
2	-23.11
3	-26.13
4	-36.67