



## ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ & ΔΙΑΔΟΣΗ

(8ου εξαμήνου)

### Άσκηση με MININEC

**Αριθμός Ομάδας:** Ομάδα 6

**Μέλη της Ομάδας:**

Ανδριανόπουλος Ευστάθιος, AM:03114113

Αποστολίδης Παναγιώτης, AM:03114051

Γραφάκος Παναγιώτης, AM:03115045

Λιβιτσάνος Γεώργιος, AM:03115735

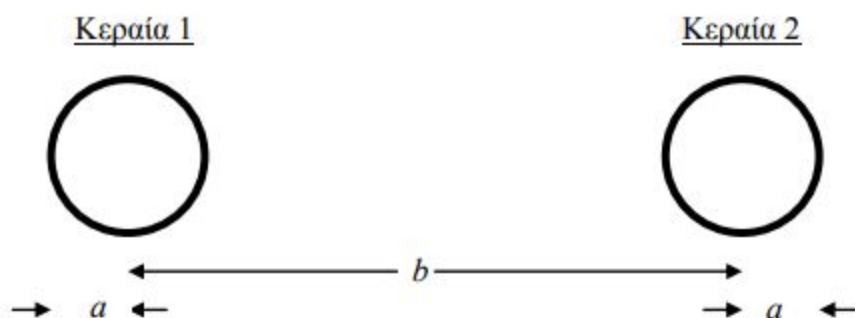
Μπαλλάς Αριστοτέλης, AM:03114925

Τσαμπάζη Μαρία, AM:03115716

### ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας άσκησης είναι η γνωριμία με την εφαρμογή ολοκληρωτικών εξισώσεων για στοιχειοκεραίες, καθώς και η επίλυση τους με χρήση του λογισμικού MININEC για την ανάλυση μιας στοιχειοκεραίας

Για την άσκηση, θεωρούμε μια στοιχειοκεραία που αποτελείται από 2 γραμμικές κεραίες όπως στο σχήμα:



Οι κεραίες είναι παράλληλες στον άξονα z, με ακτίνα  $a=0.001 \cdot \lambda$  και μήκος  $L=(\lambda/4)(1+5 \cdot \Psi_1/\Psi_2)$ , όπου στην περίπτωση μας  $\Psi_1=13$  και  $\Psi_2=51$  και λαμβάνοντας υπόψη ότι η συχνότητα είναι περίπου ίση με 300 MHz, έχουμε:  $\lambda=1$  m,  $L=0.569$  m και  $a=0.001$  m.

**α)** Σύμφωνα με την εκφώνηση οι κεραιές απέχουν απόσταση  $b = \lambda/2 = 0.5 \text{ m}$  τροφοδοτούνται από τάσεις  $V_1, V_2$  στα κέντρα τους ( $z=0$ ) οι οποίες είναι ίσες. Χτίζουμε την διάταξη:

**GEOMETRY NODES**

Point 4 of 4      Dimensions: meters      Coordinates: Cartesian

Environments: free space

X, Y, Z

-.25	0	-.284
-.25	0	.284
.25	0	-.284
.25	0	.284

X (meters)      Y      Z      Add

.25      0      .284      Modify

OK      Apply      Reset      Cancel      Delete

Θέτουμε περιβάλλον free space και εισάγουμε τα σημεία  $(x,y,z)=(-0.25,0,-0.284)$  και  $(-0.25,0,0.284)$  για το πρώτο δίπολο και τα σημεία  $(0.25,0,-0.284)$  και  $(0.25,0,0.284)$  για το δεύτερο και με διαστάσεις σε μέτρα. Ύστερα:

**STRAIGHT WIRES**

Wire 2 of 2

Radius, Segments, #1 point, #2 point, #1 Cap, #2 Cap

.001	40	1	2	no	no
.001	40	3	4	no	no

End #1 geometry      End #2 geometry      End #1 cap      Add

3      4      no      Modify

Radius (meters)      Number of segments      End #2 cap      Delete

.001      40      no

OK      Apply      Reset      Cancel

Στη συνέχεια επιλέγουμε Voltage/Current Sources και εισάγουμε πηγή τάσης 1V στο κεντρικό τεμάχιο του καλωδίου (nodes με αριθμό 20 και 59).

**VOLTAGE/CURRENT SOURCES**

Source 2 of 2

Node	Sector	Magnitude	Phase	Type
20	1	1.	0	voltage
59	1	1.	0	voltage

Source current node:  Sector:  Source type:

Magnitude (volts):  Phase (deg):

Παρακάτω επιλέγουμε Radiation Pattern και το εύρος γωνιών για το διάγραμμα ακτινοβολίας από  $0^0$  έως  $360^0$  με βήμα 2 μετρώντας ουσιαστικά 181 σημεία:

**New Problem Description**

Choose solution options:

☐ Near field

☒ Radiation pattern

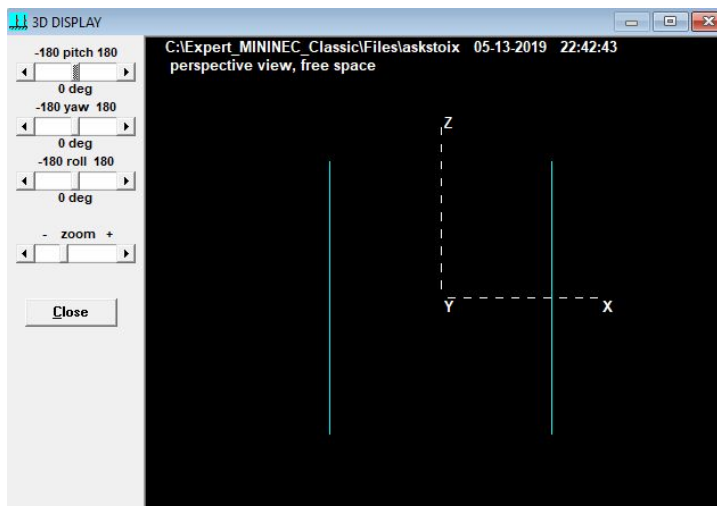
**RADIATION PATTERN**

ZENITH (DEG) Initial value:  Angle increment:  Number of angles:

AZIMUTH (DEG) Initial value:  Angle increment:  Number of angles:

Coordinate:

Η στοιχειοκεραία της άσκησης όπως προκύπτει από το μενού Diagnostics-3D display του MININEC φαίνεται παρακάτω:



α1)Πιο κάτω βλέπουμε τα βήματα που ακολουθήσαμε:

DISPLAY OPTIONS

☐ summary ☐ admittance ☐ impedance

☐ current moments ☐ charge density ☐ coupling

☒ current ☐ array synthesis

RUN

☒ Currents

admittance ☐ Electric near field

coupling ☐ Magnetic near field

effective height ☐ Radiation pattern

impedance

input power

NEAR FIELD: ☐ electric ☐ magnetic

PATTERN: ☐ volts/m ☐ dBi

Input power (watts)

0

Peak

OK Cancel Text Plot Spread sheet Cancel

CURRENT DENSITY peak

independent variable Frequency

z-axis 299.8 MHz

dependent variable

magnitude, amps

1 1st - Wire - 2nd 2

Minimum 0

Highest value 6.32E-03

Maximum .00631523

Lowest value 0

10 Number of steps 10

linear Scale type linear

Plot Cancel

CURRENT DENSITY peak

independent variable Frequency

z-axis 299.8 MHz

dependent variable

phase, deg

1 1st - Wire - 2nd 2

Minimum -62.0199

Highest value 0

Maximum 0

Lowest value -62.1

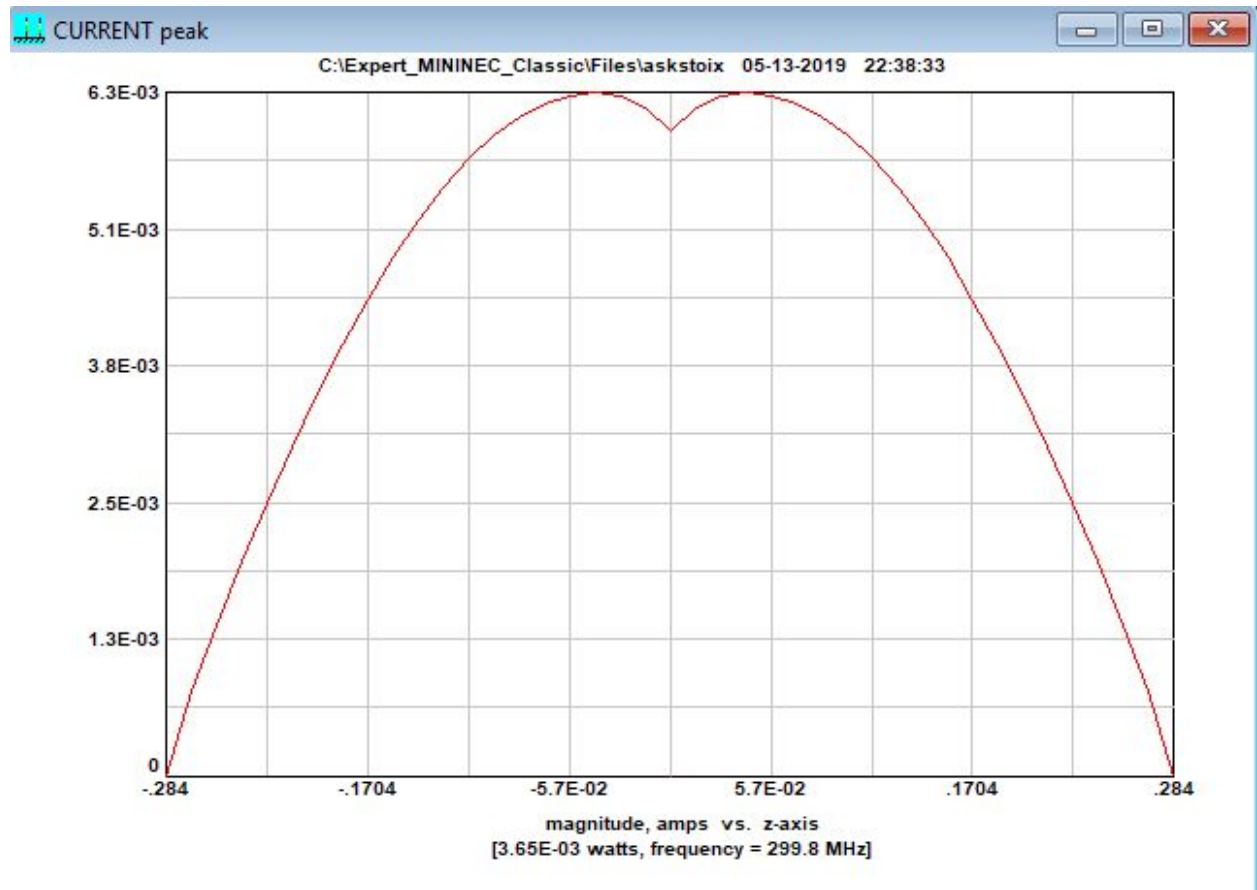
10 Number of steps 10

linear Scale type linear

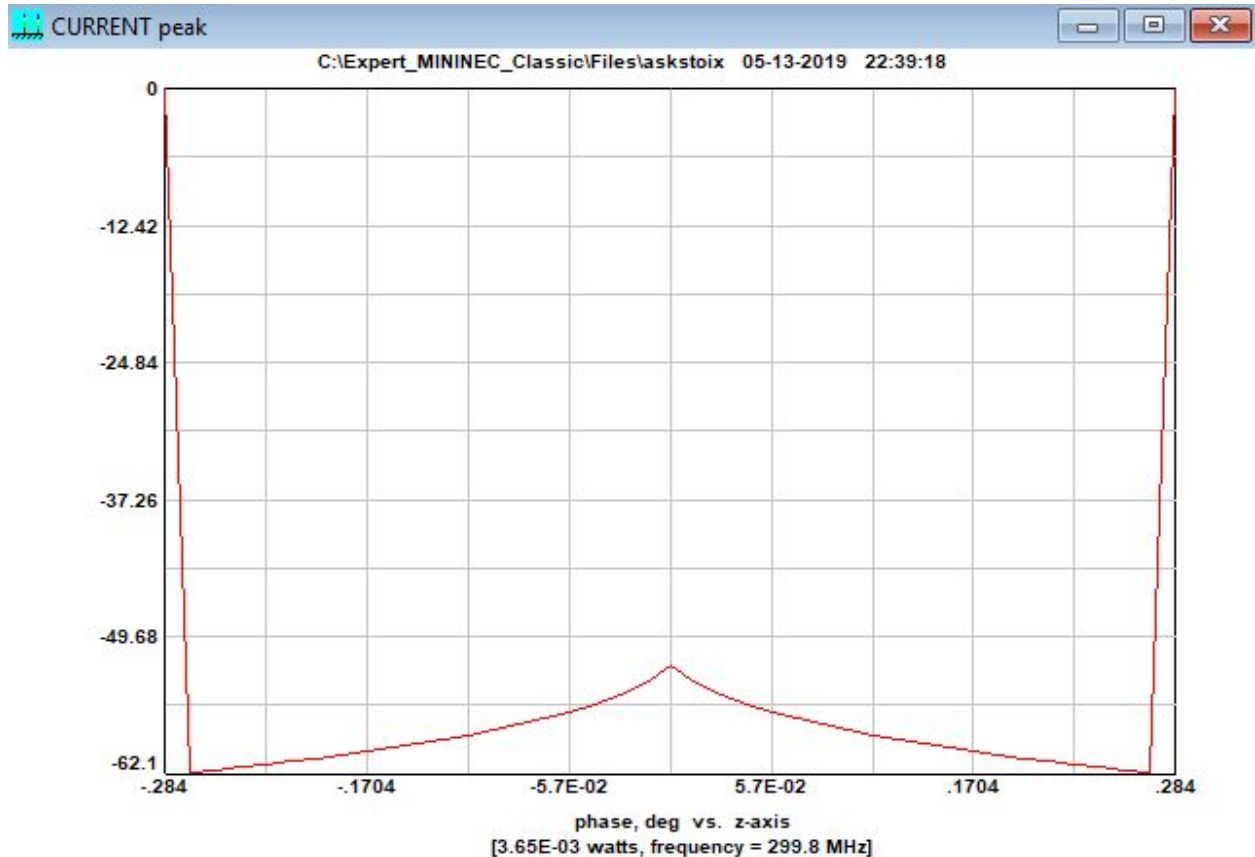
Plot Cancel

Τελικά:

Κατανομή μέτρου ρεύματος  $I_1(z)$



Κατανομή φάσης ρεύματος  $I_1(z)$



Ακριβώς ίδια μπορούμε να πούμε πως είναι και η κατανομή του  $I_2(z)$ ! Το περιμέναμε λόγω της ισοδυναμίας των δύο διπόλων. Τα δύο δίπολα έχουν ίδιο μήκος και ίδια διέγερση και συνεπώς οι εξισώσεις για τις κατανομές ρεύματος έχουν την ίδια λύση.

Για την αντίσταση εισόδου επιλέγουμε Output Display-> Display Options->impedance και στη συνέχεια text και εμφανίζονται τα παρακάτω στοιχεία:

C:\Expert\_MININEC\_Classic\Files\askstoix 05-13-2019 22:45:07

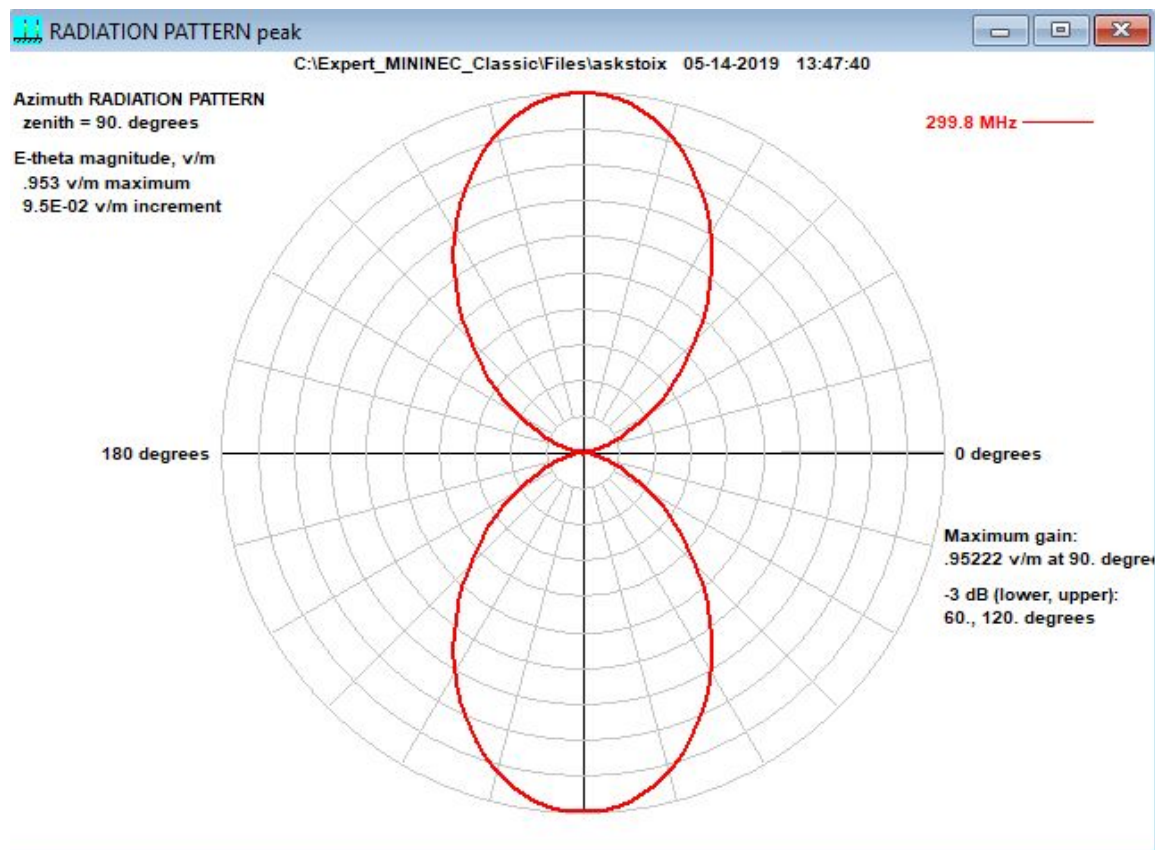
#### IMPEDANCE

normalization = 50.

freq	resist	react	imped	phase	VSWR	S11	
(MHz)	(ohms)	(ohms)	(ohms)	(deg)	dB	dB	dB
source = 1; node 20, sector 1							
299.8	102.59	132.59	167.64	52.27			
5.7938	-3.0287	-10.622					
source = 2; node 59, sector 1							
299.8	102.59	132.58	167.63	52.27			
5.7933	-3.0289	-10.621					

όπου διαβάζουμε τις αντιστάσεις εισόδου των δύο κεραιών. Για τον λόγο που εξηγήσαμε πριν, οι αντιστάσεις εισόδου είναι σχεδόν όμοιες και για τα δύο δίπολα.

**α2)** Στο επίπεδο  $z=0$ , η στοιχειοκεραία έχει το παρακάτω διάγραμμα ακτινοβολίας σε V/m:



Η στοιχειοκεραία είναι μετωπική καθώς δεν υπάρχει διαφορά φάσης στις τροφοδοσίες των διπόλων, κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από το παραπάνω διάγραμμα.

Με παρατήρηση του διαγράμματος ακτινοβολίας καταλήγουμε στο ότι:

- Το μέγιστο του διαγράμματος εμφανίζεται στις  $90^\circ$  και στις  $270^\circ$
- Βλέπουμε ότι το ελάχιστο εμφανίζεται στις  $0^\circ$  και  $180^\circ$ .
- Επίσης  $\Delta_0=180^\circ$ .



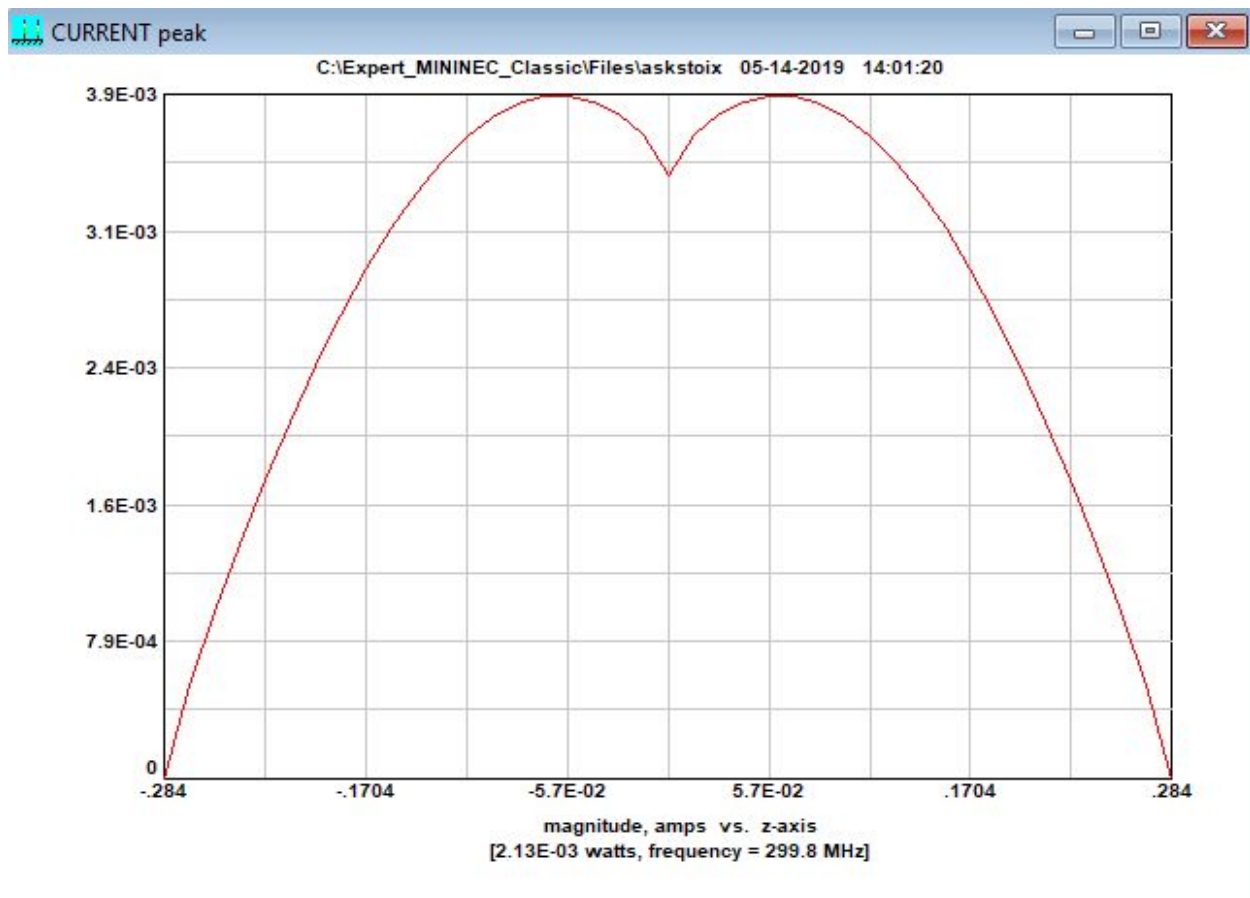
- Και τέλος,  $\Delta_{3db}=60^\circ$ .

β)

Στη συνέχεια “κατασκευάζουμε” στο MININEC αξονική στοιχειοκεραία δύο στοιχείων(δηλαδή διαφορά φάσης μεταξύ των δύο τάσεων 180 μοίρες) με απόσταση κεραιών = 0.5m.Πραγματοποιούμε όλα τα βήματα όπως και πριν:

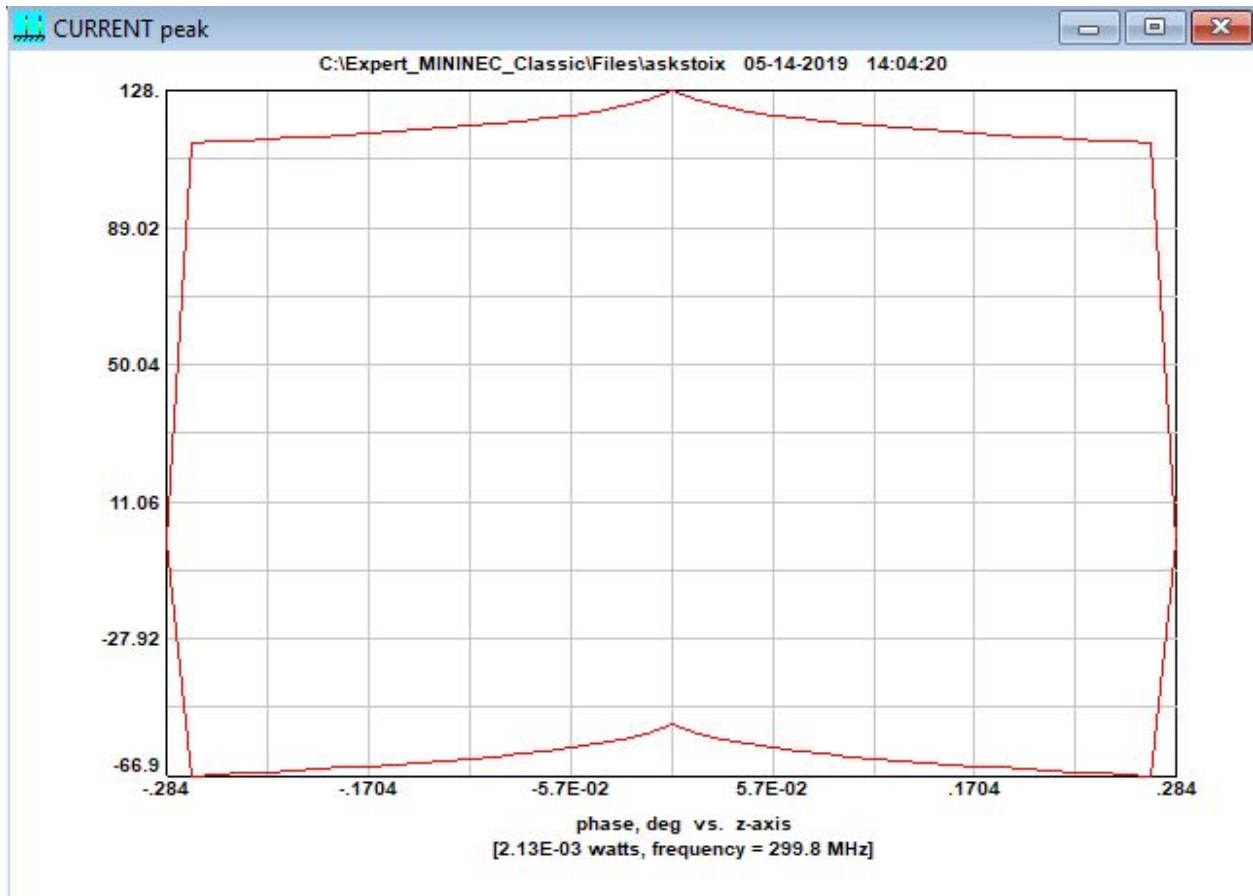
Υπολογίζουμε τις δύο κατανομές ρεύματος και (μέτρο και φάση) όπως φαίνονται παρακάτω:

### Κατανομή μέτρου ρεύματος $I_1(z)$



### Κατανομή ρευμάτων κατά φάση





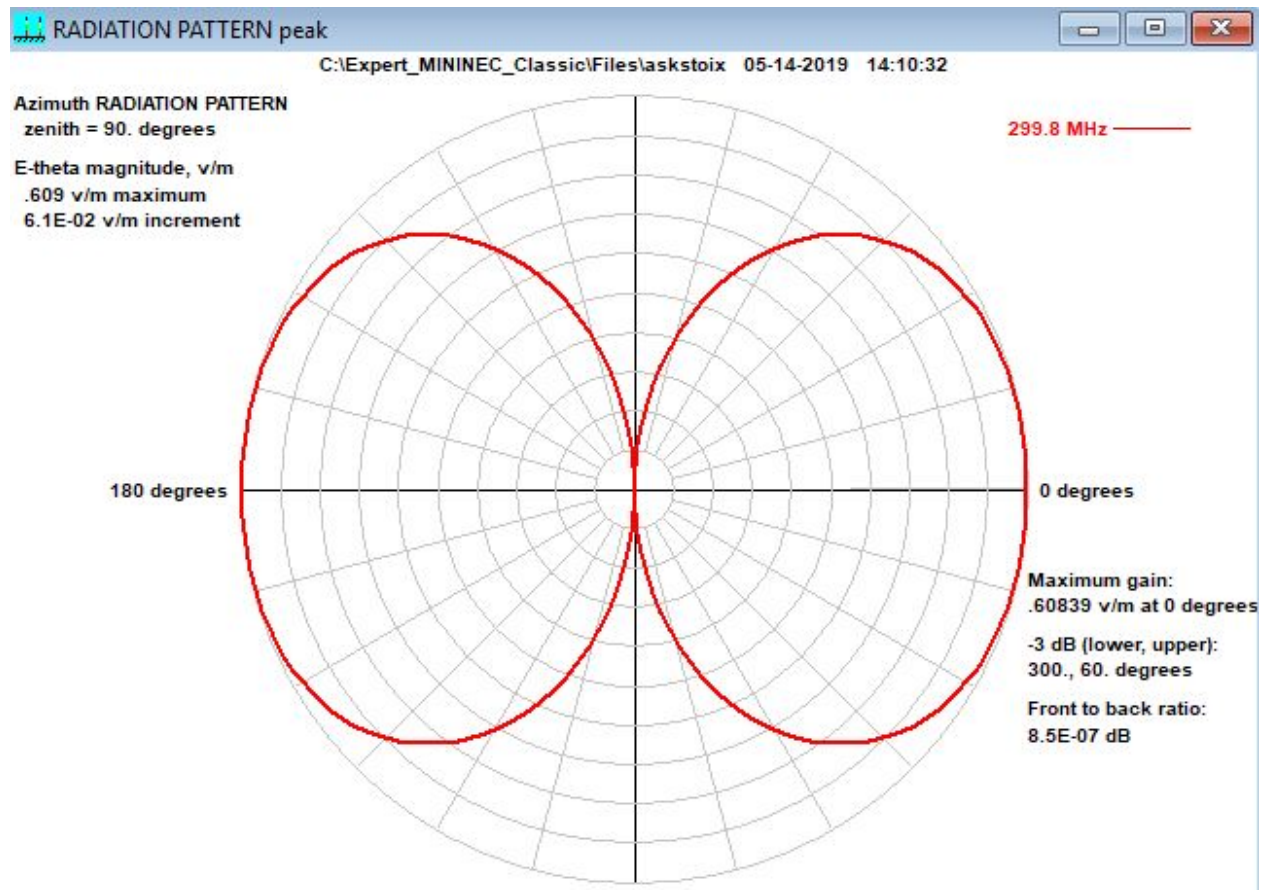
Παρατηρούμε από τα διαγράμματα ότι τα πλάτη των ρευματικών κατανομών των δυο στοιχείων είναι τα ίδια, ενώ οι φάσεις διαφέρουν κατά  $180^\circ$ , όπως αναμενόταν αφού τα δυο στοιχεία της κεραίας τροφοδοτούνται με την ίδια κατά πλάτος τάση αλλά με διαφορά φάσης  $180^\circ$ . Στη συνέχεια:

```
C:\Expert_MININEC_Classic\Files\askstoix 05-14-2019 14:07:23

IMPEDANCE
normalization = 50.
freq      resist  react  imped  phase  VSWR  S11
S12
(MHz)     (ohms)   (ohms)  (ohms) (deg)   dB    dB    dB
source = 1; node 20, sector 1
299.8     177.25   227.43  288.34  52.07
9.5588    -1.824   -14.452
source = 2; node 59, sector 1
299.8     177.24   227.4   288.32  52.07
9.5575    -1.8243  -14.451
```

όπου διαβάζουμε τις αντιστάσεις εισόδου των δύο κεραιών. Επίσης παρατηρούμε ότι και οι αντιστάσεις εισόδου των δυο κεραιών είναι ίσες, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο,

καθώς το ρεύμα τροφοδοσίας κατά πλάτος στα δύο δίπολα είναι το ίδιο. Στο επίπεδο  $z = 0$ , η στοιχειοκεραία έχει το παρακάτω διάγραμμα ακτινοβολίας σε V/m:



Παρατηρούμε ότι πρόκειται για αξονική στοιχειοκεραία, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο από την διαφορά φάσης μεταξύ των ρευμάτων τροφοδοσίας ( $180^\circ$ ).

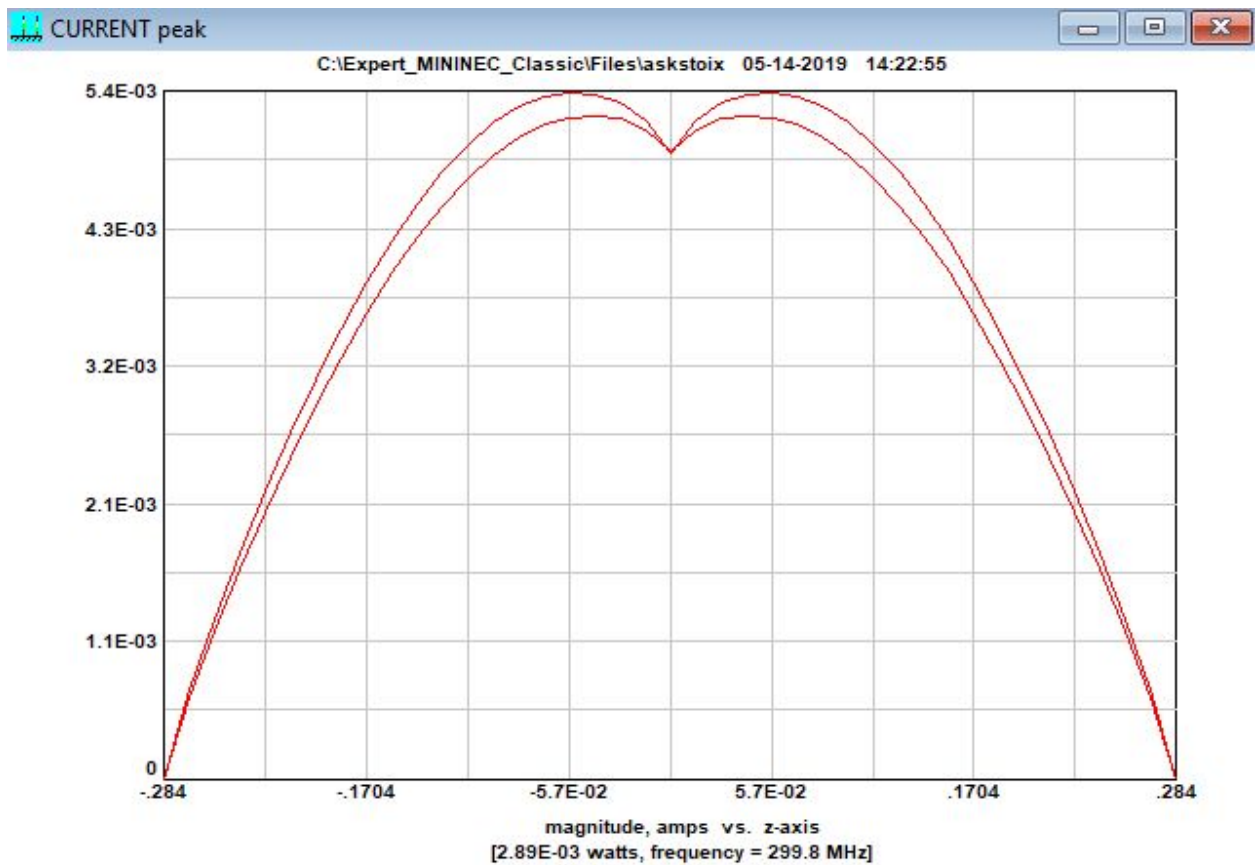
Με παρατήρηση των διαγραμμάτων ακτινοβολίας καταλήγουμε στο ότι:

- Το μέγιστο του διαγράμματος εμφανίζεται στις  $0^\circ$  και στις  $180^\circ$ .
- Βλέπουμε ότι το ελάχιστο εμφανίζεται στις  $90^\circ$  και στις  $270^\circ$ .
- Επίσης  $\Delta_0 = 180^\circ$ .
- Και τέλος,  $\Delta_{3db} = 120^\circ$ . περίπου

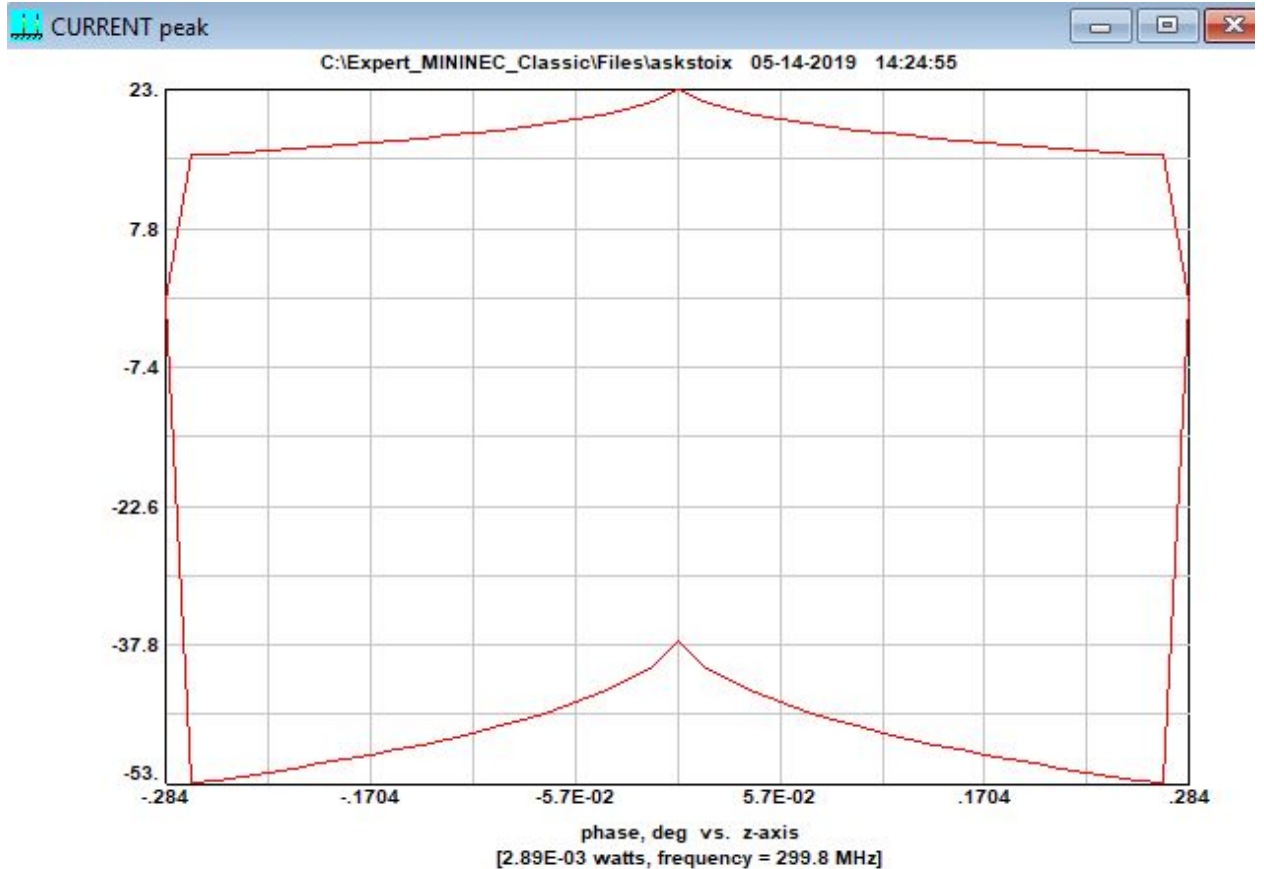
γ)

Στη συνέχεια κάνουμε προσομοίωση στο MININEC στοιχειοκεραία δύο στοιχείων με τάσεις (δηλαδή διαφορά φάσης μεταξύ των δύο τάσεων 90 μοίρες) και απόσταση κεραιών = 0.5m. Έχουμε:

### Κατανομή ρευμάτων $I_1(z)$ και $I_2(z)$ κατά μέτρο



### Κατανομή ρευμάτων $I_1(z)$ και $I_2(z)$ κατά φάση



Παρατηρούμε από τα παραπάνω ότι τα πλάτη των ρευματικών κατανομών των δυο στοιχείων δεν είναι πλέον ίσα αφού οι τάσεις διέγερσης δεν είναι πλέον ανάλογες μεταξύ τους, καθώς έχουν διαφορά φάσης 90 μοιρών. Για το λόγο αυτό, και τα ρεύματα έχουν διαφορά φάσης 90 μοιρών, όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο διάγραμμα των φάσεων των ρευμάτων. Επίσης:

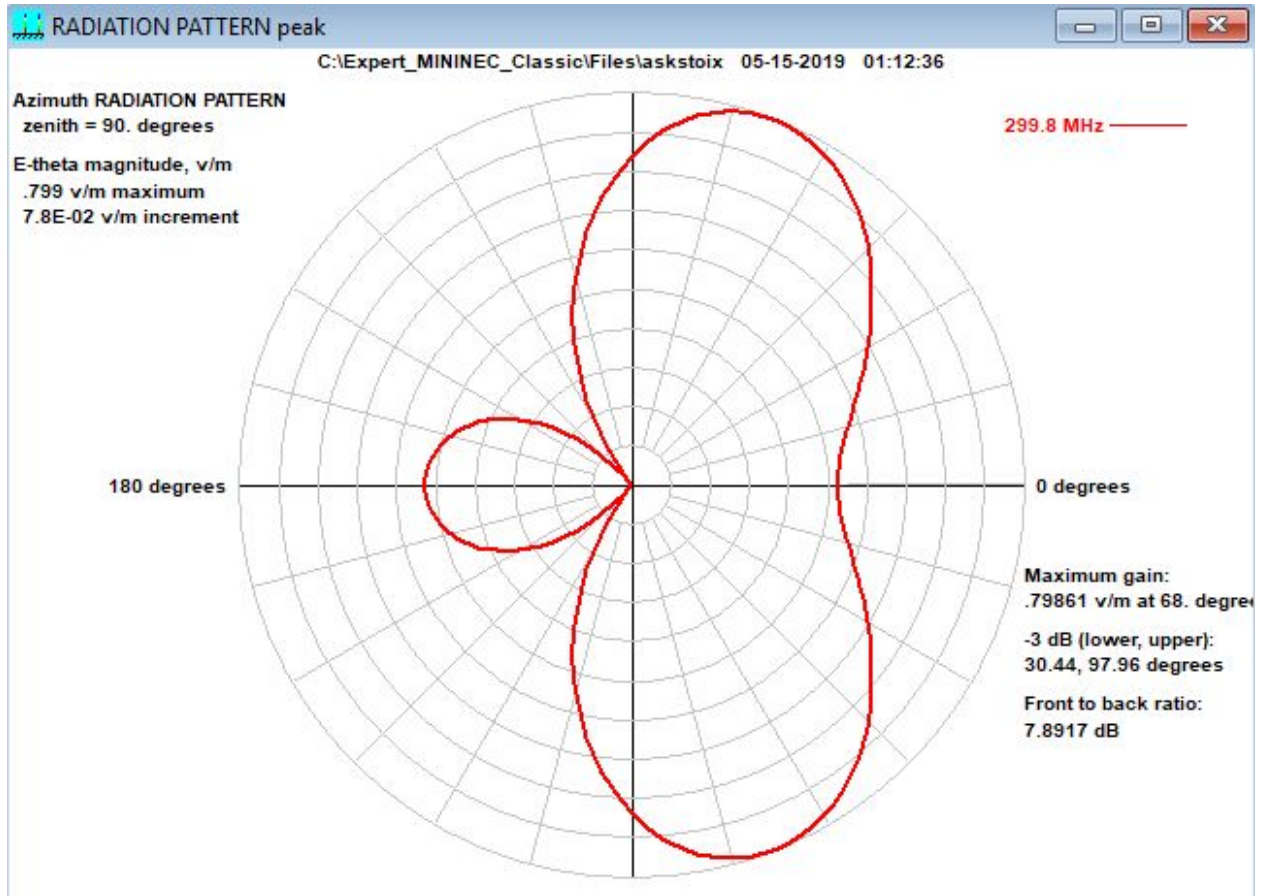
C:\Expert\_MININEC\_Classic\Files\askstoix 05-14-2019 14:27:11

#### IMPEDANCE

normalization = 50.

freq	resist	react	imped	phase	VSWR	S11	S12
(MHz)	(ohms)	(ohms)	(ohms)	(deg)	dB	dB	dB
source = 1; node 20, sector 1							
299.8	80.058	189.02	205.27	67.04			
11.061	-1.5749	-15.607					
source = 2; node 59, sector 1							
299.8	162.58	124.27	204.63	37.39			
5.269	-3.3374	-9.9234					

όπου διαβάζουμε τις αντιστάσεις εισόδου των δύο κεραιών. Επίσης, παρατηρούμε ότι οι αντιστάσεις εισόδου των δυο κεραιών διαφέρουν αρκετά λόγω της εξάρτησης τους από το πλάτος των ρευματικών κατανομών. Στο επίπεδο  $z = 0$ , η στοιχειοκεραία έχει το παρακάτω διάγραμμα ακτινοβολίας, σε V/m:



Με παρατήρηση των διαγραμμάτων ακτινοβολίας καταλήγουμε στο ότι:

- Το μέγιστο του διαγράμματος εμφανίζεται στις  $68^\circ$ .
- Βλέπουμε ότι το ελάχιστο εμφανίζεται περί τις  $120^\circ$  και  $-120^\circ$ .
- Επίσης  $\Delta_0 = 240^\circ$
- Ακόμα  $\Delta_{3\text{db}} = 195.92^\circ$ . (Πρόχειρα)



δ)

Επαναλαμβάνουμε διαδοχικά τις ενέργειες του ερωτήματος (α) όπου μελετήθηκε μετωπική στοιχειοκεραία για αποστάσεις  $b=\lambda/4=0.25\text{m}$  έως  $b=3\lambda/2=1.5\text{m}$  (με βήμα  $0.25\text{m}$ ) λαμβάνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

**b = 0.25m**

```
C:\Expert_MININEC_Classic\Files\askstoix 05-14-2019 20:54:20

IMPEDANCE
normalization = 50.
freq      resist  react   imped   phase   VSWR    S11
S12
(MHz)     (ohms)   (ohms)  (ohms)  (deg)   dB      dB      dB
source =  1; node 20, sector 1
299.8     191.43   111.8   221.68   30.29
5.2034    -3.3806  -9.832
source =  2; node 59, sector 1
299.8     191.44   111.81  221.7    30.29
5.2037    -3.3804  -9.8325
```

**b = 0.50m**

```
C:\Expert_MININEC_Classic\Files\askstoix 05-14-2019 20:55:39

IMPEDANCE
normalization = 50.
freq      resist  react   imped   phase   VSWR    S11
S12
(MHz)     (ohms)   (ohms)  (ohms)  (deg)   dB      dB      dB
source =  1; node 20, sector 1
299.8     102.59   132.59  167.64   52.27
5.7938    -3.0287  -10.622
source =  2; node 59, sector 1
299.8     102.59   132.58  167.63   52.27
5.7933    -3.0289  -10.621
```

**b = 0.75m**

C:\Expert\_MININEC\_Classic\Files\askstoix 05-14-2019 20:57:42

IMPEDANCE

normalization = 50.

freq	resist	react	imped	phase	VSWR	S11	
S12							
(MHz)	(ohms)	(ohms)	(ohms)	(deg)	dB	dB	dB
source = 1; node 20, sector 1							
299.8	97.851	201.51	224.02	64.1			
10.674	-1.6322	-15.324					
source = 2; node 59, sector 1							
299.8	97.849	201.53	224.03	64.1			
10.676	-1.632	-15.325					

**b = 1m**

C:\Expert\_MININEC\_Classic\Files\askstoix 05-14-2019 21:01:15

IMPEDANCE

normalization = 50.

freq	resist	react	imped	phase	VSWR	S11	
S12							
(MHz)	(ohms)	(ohms)	(ohms)	(deg)	dB	dB	dB
source = 1; node 20, sector 1							
299.8	154.26	210.1	260.65	53.71			
9.0215	-1.9336	-13.998					
source = 2; node 59, sector 1							
299.8	154.25	210.07	260.62	53.71			
9.0198	-1.9339	-13.997					

**b = 1.25m**

IMPEDANCE

normalization = 50.

freq	resist	react	imped	phase	VSWR	S11	
S12							
(MHz)	(ohms)	(ohms)	(ohms)	(deg)	dB	dB	dB
source = 1; node 20, sector 1							
299.8	161.76	166.02	231.8	45.74			
6.8051	-2.5714	-11.827					
source = 2; node 59, sector 1							
299.8	161.78	166.04	231.82	45.74			
6.8058	-2.5711	-11.828					



**b = 1.5m**

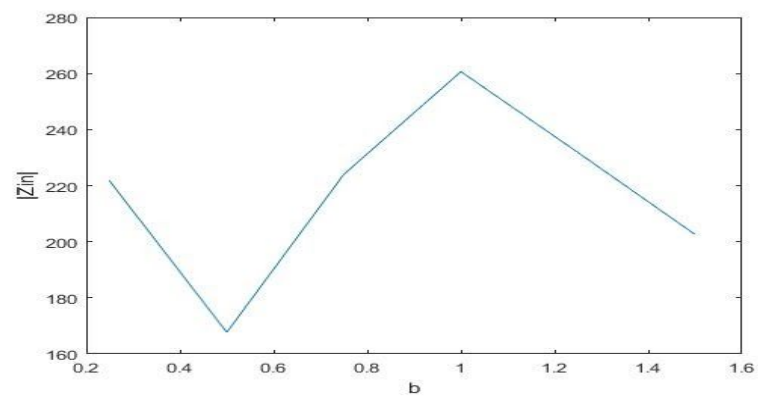
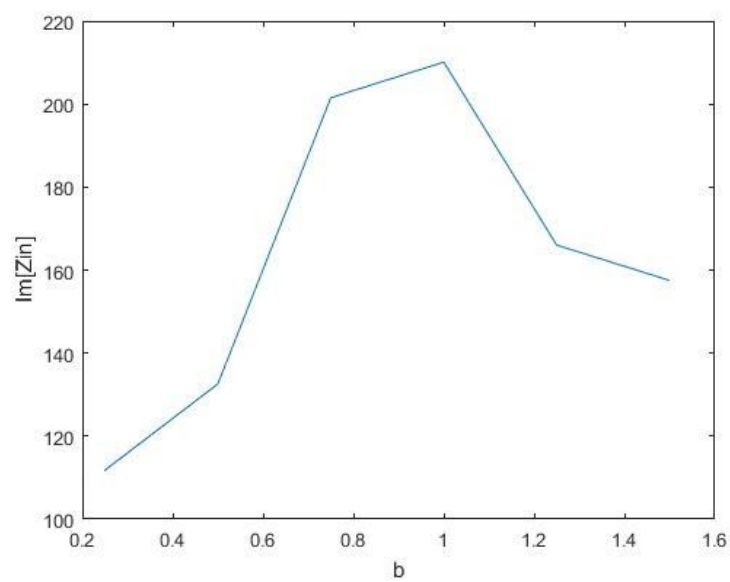
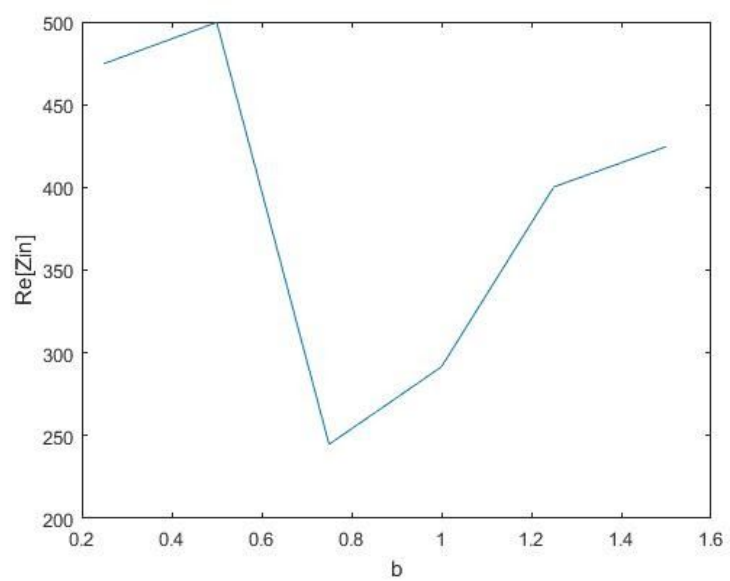
C:\Expert\_MININEC\_Classic\Files\askstoix 05-14-2019 21:04:48

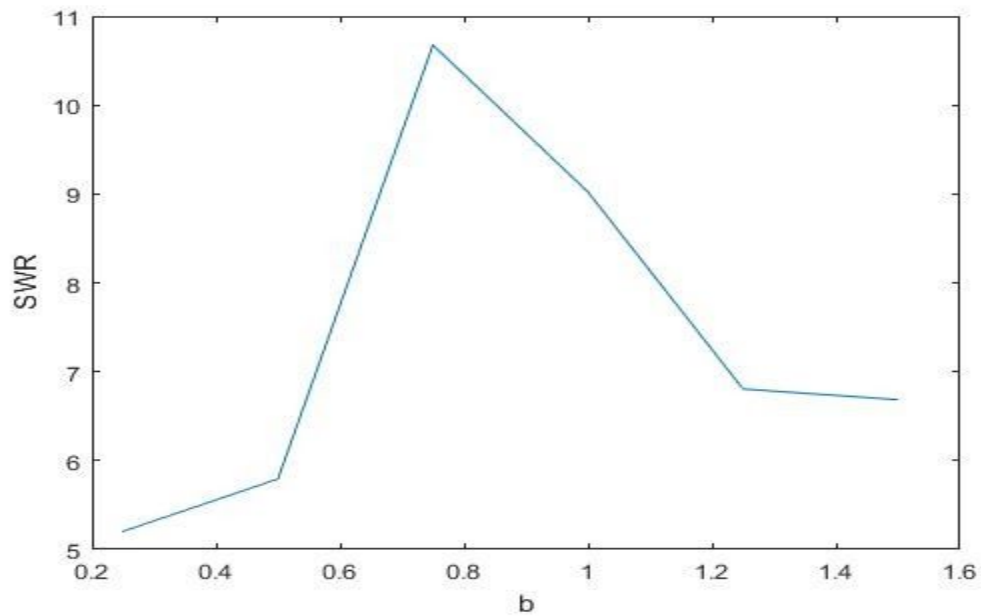
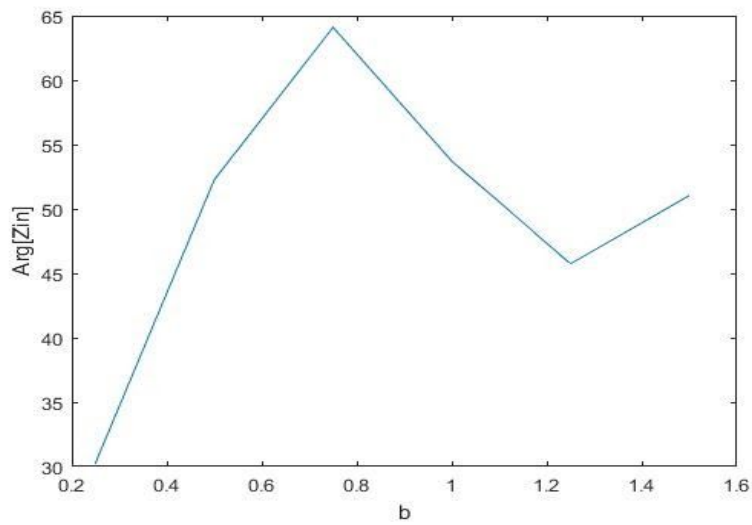
```
IMPEDANCE
normalization = 50.
freq      resist  react   imped   phase   VSWR    S11
S12
(MHz)     (ohms)   (ohms)  (ohms)  (deg)   dB      dB      dB
source =  1; node 20, sector 1
299.8     127.37   157.5   202.56   51.04
6.6854    -2.6181  -11.693
source =  2; node 59, sector 1
299.8     127.37   157.49  202.54   51.04
6.6848    -2.6183  -11.692
```

Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτουν τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα:

b (σε m)	Re{Zin} (σε Ω)	Im{Zin} (σε Ω)	Zin  (σε Ω)	Phase (σε μοίρες)	VSWR(σε dB)
0.25	191.43	111.8	221.68	30.29	5.2034
0.5	102.59	132.59	167.64	52.27	5.7938
0.75	97.851	201.51	224.02	64.1	10.674
1	154.26	210.1	260.65	53.71	9.0215
1.25	161.76	166.02	231.8	45.74	6.8051
1.5	127.37	157.5	202.56	51.04	6.6854

Από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα θα χαράξουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα:





Παρατηρούμε ότι το SWR ελαχιστοποιείται για απόσταση διπόλων  $b = 0.25\text{m}$ . Αν θέλουμε να κάνουμε καλύτερη σχεδίαση, δεδομένου ότι η χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής μεταφοράς είναι  $50\ \Omega$ , θέλουμε να επιτύχουμε προσαρμογή της γραμμής μεταφοράς στο φορτίο, οπότε επιθυμούμε  $\text{Re}(Z_{in})$  κοντά στα  $50\ \Omega$  και  $\text{Im}(Z_{in})$  κοντά στο 0 (στη συχνότητα συντονισμού ή στην περιοχή της συχνότητας συντονισμού).

