

# ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΠΗΝΙΟΥ ΣΤΟ HFSS ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τσαρναδέλης Αθανάσιος Γρηγόριος  
10388

## Περιεχόμενα

Σχεδίαση πηνίου .....	3
Substrate.....	3
Μονωτικό – Oxide .....	4
Passivation .....	5
Air Body .....	6
Ground .....	7
Σχετικό σύστημα συντεταγμένων - Offset CS .....	8
Γεωμετρία πηνίου .....	9
Ground block.....	11
Sources .....	12
Τελική εικόνα .....	12
Προσομοίωση και ανάλυση S παραμέτρων.....	13
Analysis setup .....	13
Frequency Sweep .....	13
Διάγραμμα S παραμέτρων .....	14
Διαγράμματα αυτεπαγωγής, αντίστασης και συντελεστή ποιότητας .....	15

## Σχεδίαση πηνίου

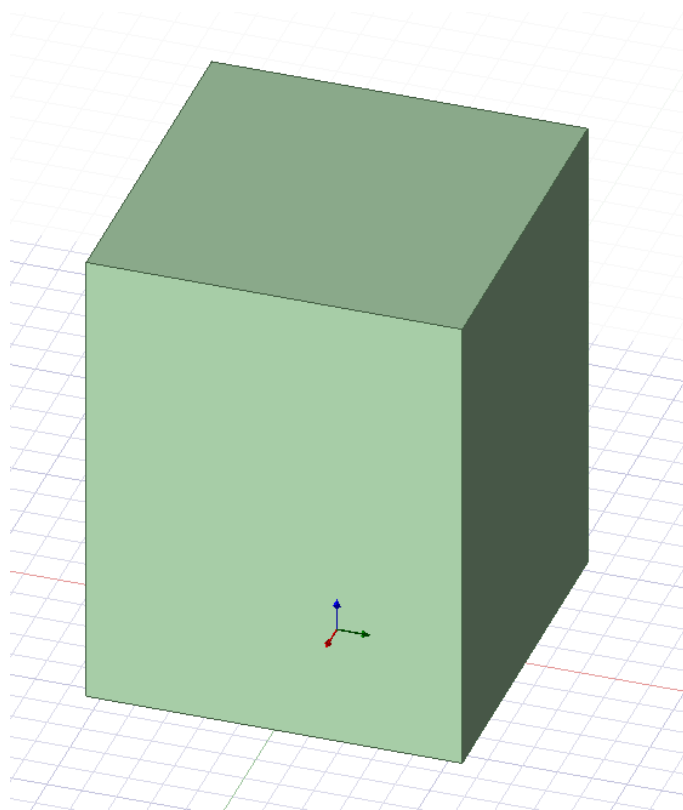
Για την σχεδίαση του πηνίου βασίζομαι στο δοσμένο υπόδειγμα PDF και τροποποιώ κατάλληλα για να σχεδιάσω σύμφωνα με τις δοσμένες προδιαγραφές. Αυτές είναι:

- Spiral 1T, πλάτος  $W=14\mu\text{m}$ , διάμετρος  $D=185\mu\text{m}$ , πάχος  $3.3\mu\text{m}$ , υλικό Copper
- Substrate πάχους  $700\mu\text{m}$  από υλικό Silicon Oxide (το υλικό δίνεται στο υπόδειγμα)
- Μονωτικό πάχους  $14\mu\text{m}$  από υλικό  $\text{SiO}_2$
- Passivation πάχους  $0.7\mu\text{m}$ ,  $\epsilon_r=7.9$  (το υλικό δίνεται στο υπόδειγμα)

Για το συγκεκριμένο πηνίο 1T δεν χρειάζεται underpass και via μεταξύ των μετάλλων. Τέλος η απόσταση του μετάλλου 9, το μέταλλο του πηνίου, από το substrate είναι  $5.1\mu\text{m}$ .

## Substrate

Σχεδιάζω με βάση το υπόδειγμα με το καινούριο πάχος και ορίζω το υλικό όπως στο υπόδειγμα.



Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description
Command	CreateBox			
Coordinate Sys...	Global			
Position	-270 , -270 , 0	um	-270um , -270um , 0um	
XSize	540	um	540um	
YSize	540	um	540um	
ZSize	700	um	700um	

View / Edit Material

Material Name  
 My\_Sub

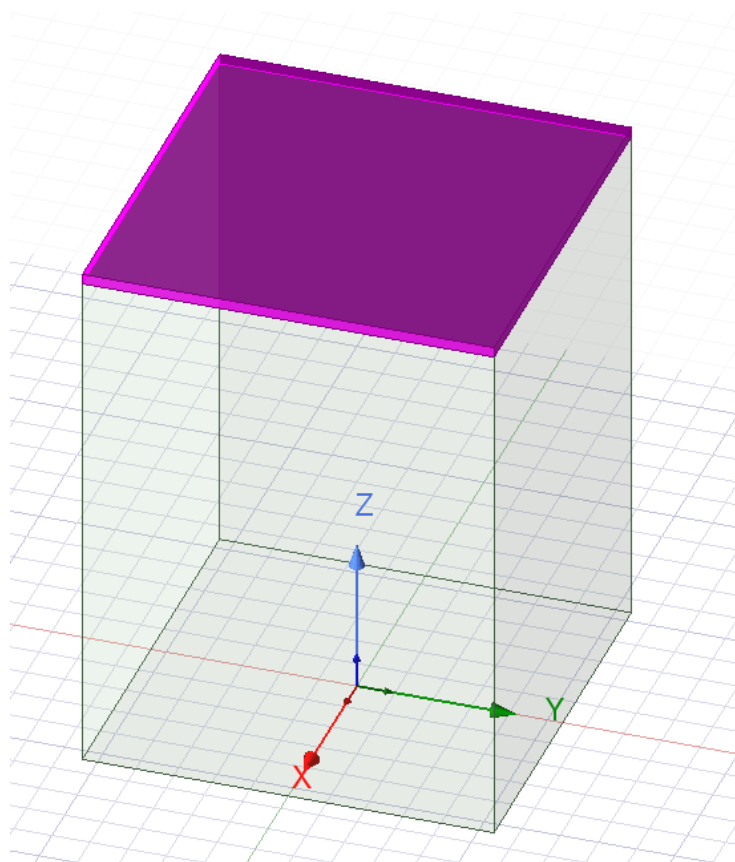
Properties of the Material
 

Name	Type	Value	Units
Relative Permittivity	Simple	11.9	
Relative Permeability	Simple	1	
Bulk Conductivity	Simple	10	siemens/m
Dielectric Loss Tangent	Simple	0	
Magnetic Loss Tangent	Simple	0	
Magnetic Saturation	Simple	0	tesla
Lande G Factor	Simple	2	
Delta H	Simple	0	A_per_meter
Measured Frequency	Simple	9.4e+09	Hz
Mass Density	Simple	0	kg/m^3

FIGURE 1: ΣΧΕΔΙΟ, ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ, ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ SUBSTRATE

## Μονωτικό – Oxide

Ομοίως με πριν σχεδιάζω το Oxide. Δεν χρειάζεται να ορίσω υλικό, καθώς το silicon dioxide υπάρχει έτοιμο.



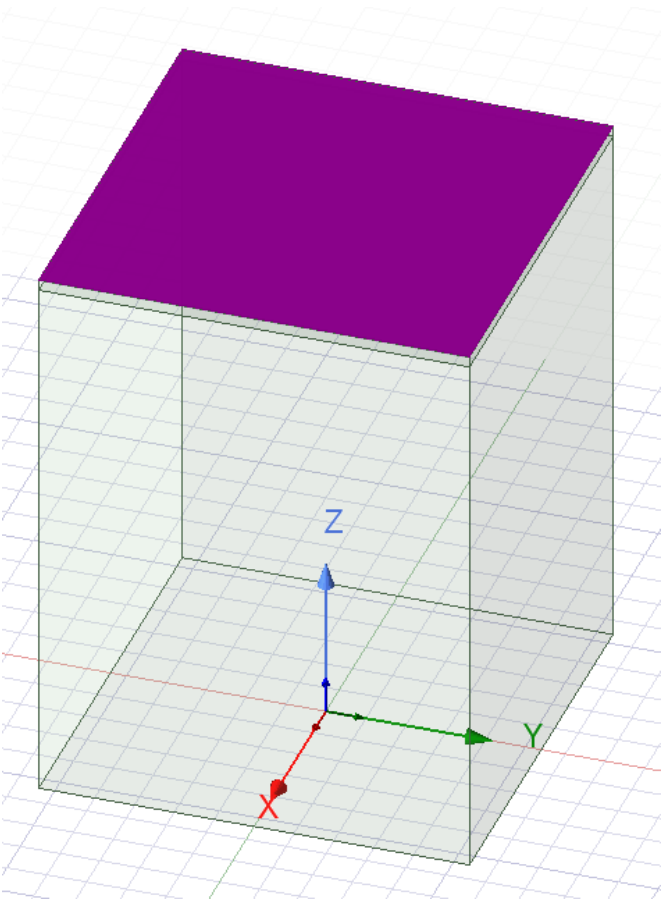
Name	Value	Unit	Evaluated Value
Command	CreateBox		
Coordinate Sys...	Global		
Position	-270 , -270 , 700	um	-270um , -270um , 700um
XSize	540	um	540um
YSize	540	um	540um
ZSize	14	um	14um

View / Edit Material				
Material Name silicon_dioxide				
Properties of the Material				
Name	Type	Value	Units	
Relative Permittivity	Simple	4		
Relative Permeability	Simple	1		
Bulk Conductivity	Simple	0	siemens/m	
Dielectric Loss Tangent	Simple	0		
Magnetic Loss Tangent	Simple	0		
Magnetic Saturation	Simple	0	tesla	
Lande G Factor	Simple	2		
Delta H	Simple	0	A_per_meter	
· Measured Frequency	Simple	9.4e+09	Hz	
Mass Density	Simple	2220	kg/m^3	

FIGURE 2: ΣΧΕΔΙΟ, ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ, ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΜΟΝΩΤΙΚΟΥ

Passivation

Όμοια με το substrate, σχεδιάζω με βάση το υπόδειγμα, με το ίδιο πάχος και ορίζοντας το ίδιο υλικό.



Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler

Command				
Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description
Command	CreateBox			
Coordinate Sys...	Global			
Position	-270 ,270 ,714	um	-270um , -270um , 714um	
XSize	540	um	540um	
YSize	540	um	540um	
ZSize	0.7	um	0.7um	

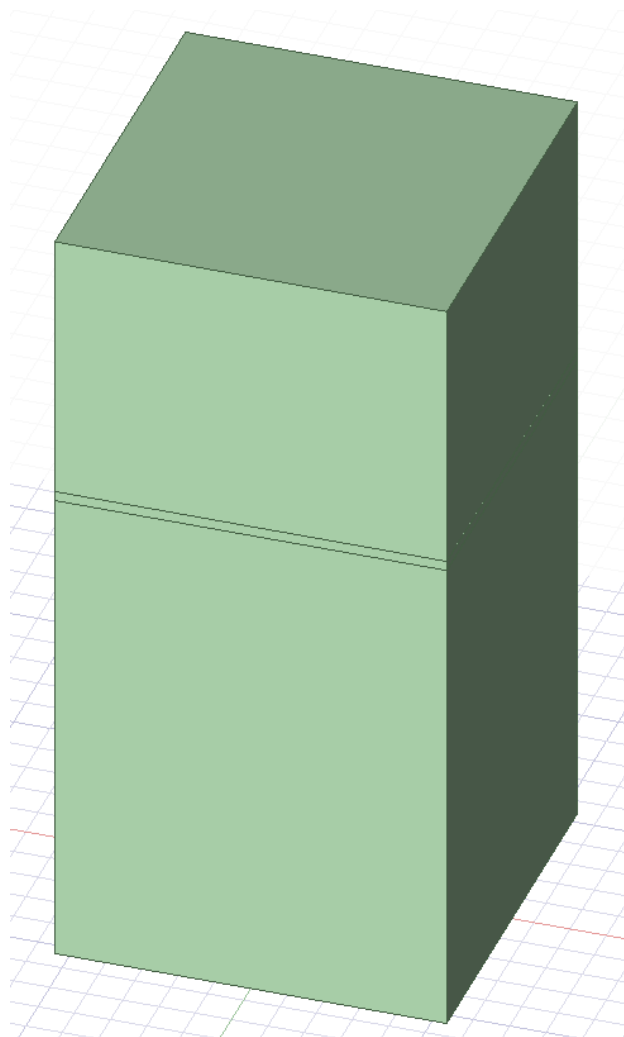
View / Edit Material

Material Name				
My_Pass				
Properties of the Material				
Name	Type	Value	Units	
Relative Permittivity	Simple	7.9		
Relative Permeability	Simple	1		
Bulk Conductivity	Simple	0	siemens/m	
Dielectric Loss Tangent	Simple	0		
Magnetic Loss Tangent	Simple	0		
Magnetic Saturation	Simple	0	tesla	
Lande G Factor	Simple	2		
Delta H	Simple	0	A_per_meter	
- Measured Frequency	Simple	9.4e+09	Hz	
Mass Density	Simple	0	kg/m^3	

FIGURE 3:ΣΧΕΔΙΟ, ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ, ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ PASSIVATION

## Air Body

Το air body στο υπόδειγμα είναι μικρότερο από το substrate μου, άρα αυξάνω το πάχος του air body στα 1100μm. Σαν υλικό επιλέγω το ήδη έτοιμο vacuum. Μετέπειτα κάνω Assign Radiation Boundary.



Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler

Command

	Name	Value	Unit	Evaluated Value
Command	CreateBox			
Coordinate Sys...	Global			
Position	-270 ; -270 ; 0		um	-270um ; -270um ; 0um
XSize	540		um	540um
YSize	540		um	540um
ZSize	1100		um	1100um


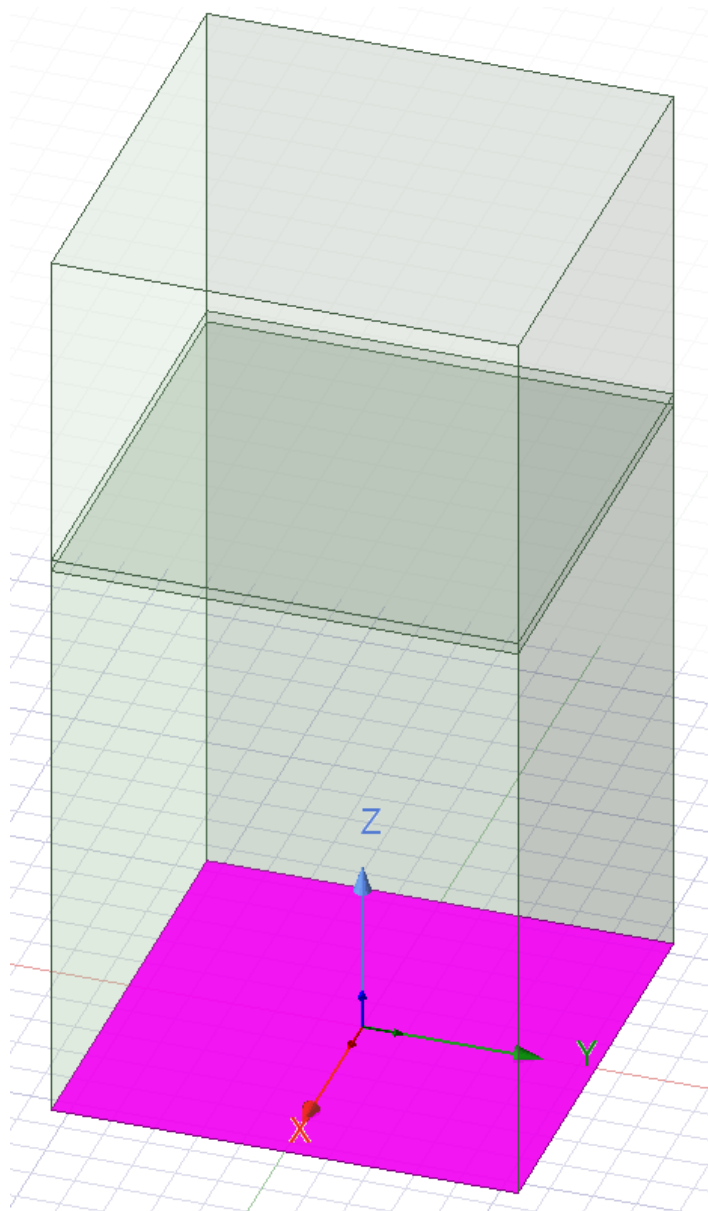
Name	Value	Unit	Evaluated Value
Name	Air		
Material	"vacuum"		"vacuum"
Solve Inside	<input checked="" type="checkbox"/>		
Orientation	Global		
Model	<input checked="" type="checkbox"/>		
Group	Model		
Display Wi...	<input type="checkbox"/>		
Material A...	<input type="checkbox"/>		
Color			
Transparent	0		

FIGURE 4: ΣΧΕΔΙΟ, ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ, ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ AIR BODY

## Ground

Δημιουργώ το Ground και έπειτα κάνω Assign Perfect E στο ground.



Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler

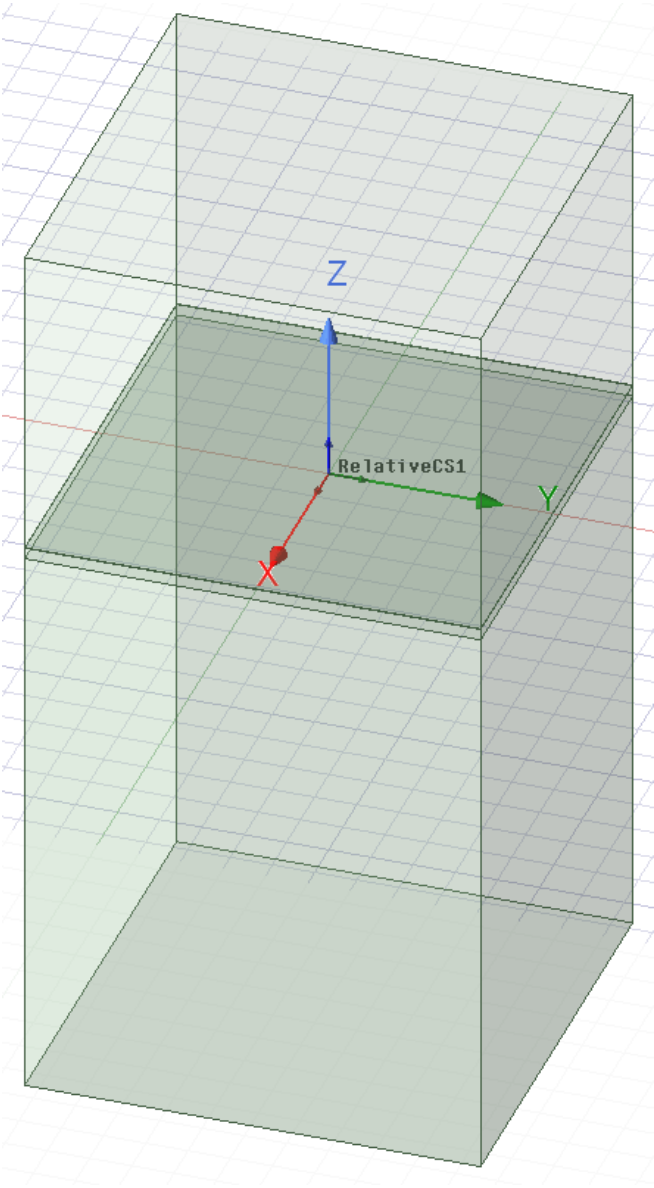
Command

Name	Value	Unit	Evaluated Value
Command	CreateRectangle		
Coordinate Sys...	Global		
Position	-270 ,270 ,0	um	-270um , -270um , 0um
Axis	Z		
XSize	540	um	540um
YSize	540	um	540um

FIGURE 5:ΣΧΕΔΙΟ, ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ GROUND

### Σχετικό σύστημα συντεταγμένων - Offset CS

Δημιουργώ το σχετικό σύστημα συντεταγμένων εντός του μονωτικού, και σε απόσταση 5.1um από το substrate, καθώς αυτή πρέπει να είναι η απόσταση του πηνίου από το substrate.



Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler

Coord System				
	Name	Value	Unit	Evaluated Value
Type	Relative			
Name	RelativeCS1			
Reference CS	Global			
Mode	Axis/Position			
Origin	0,0,705.1		um	0um,0um,70...
X Axis	1,0,0		um	1um,0um,0um
Y Point	0,1,0		um	0um,1um,0um

FIGURE 6:ΣΧΕΔΙΟ, ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΧΕΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ



## Γεωμετρία πηνίου

Χρησιμοποιώ το υπόδειγμα για να βρω τα σημεία του πηνίου με τις δικές μου διαστάσεις. Επίσης προσθέτω το κατάλληλο πάχος. Το πρώτο και τελευταίο σημείο αφορούν τις δύο θύρες του πηνίου. Δεν χρειάζεται underpass, άρα το πηνίο είναι στο μέταλλο 9 και είναι επίπεδο. Επίσης δεν χρειάζεται νία μεταξύ των μετάλλων. Σαν υλικό επιλέγω το ήδη έτοιμο copper.

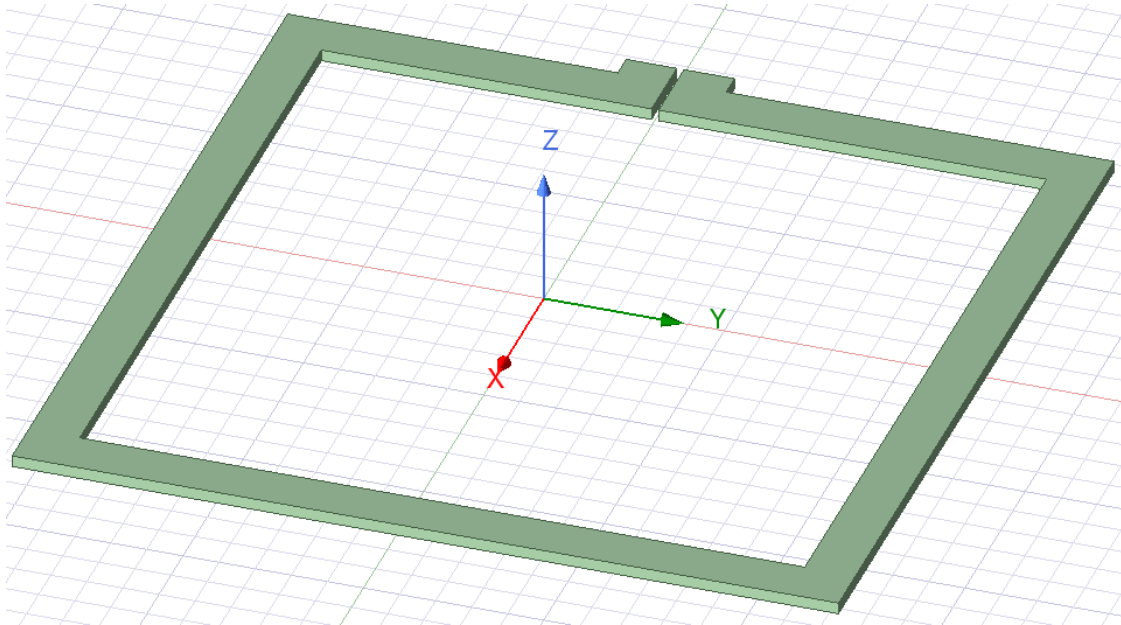


FIGURE 7: ΣΧΕΔΙΟ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΠΗΝΙΟΥ

Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler

Command

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description
Command	CreatePolyline			
Coordinate Sys...	RelativeCS1			
Number of points	8			
Number of cur...	7			
Cross Section				
Type	Rectangle			
Orientation	Auto			
Width/Diameter	14	um	14um	
Top Width	0	um	0um	
Height	3.3	um	3.3um	
Number of Seg...	0		0	
Bend Type	Corner			

FIGURE 8: ΠΥΘΜΙΣΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΑΧΟΥΣ ΠΗΝΙΟΥ

Line 1

Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler				
Segment				
Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Segment Type	Line			
Point1	-99.5 , -8 , 1.65	um	-99.5um , -8um , 1.65um	
Point2	-99.5 , -99.5 , 1.65	um	-99.5um , -99.5um , 1.65um	

Line 2

Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler				
Segment				
Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Segment Type	Line			
Point1	-113.5 , -8 , 1.65	um	-113.5um , -8um , 1.65um	
Point2	-99.5 , -8 , 1.65	um	-99.5um , -8um , 1.65um	

Line 3

Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler				
Segment				
Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Segment Type	Line			
Point1	-99.5 , -99.5 , 1.65	um	-99.5um , -99.5um , 1.65um	
Point2	115.5 , -99.5 , 1.65	um	115.5um , -99.5um , 1.65um	

Line 4

Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler				
Segment				
Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Segment Type	Line			
Point1	115.5 , -99.5 , 1.65	um	115.5um , -99.5um , 1.65um	
Point2	115.5 , 115.5 , 1.65	um	115.5um , 115.5um , 1.65um	

Line 5

Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler				
Segment				
Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Segment Type	Line			
Point1	115.5 , 115.5 , 1.65	um	115.5um , 115.5um , 1.65um	
Point2	-99.5 , 115.5 , 1.65	um	-99.5um , 115.5um , 1.65um	

Line 6

Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler				
Segment				
Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Segment Type	Line			
Point1	-99.5 , 115.5 , 1.65	um	-99.5um , 115.5um , 1.65um	
Point2	-99.5 , 8 , 1.65	um	-99.5um , 8um , 1.65um	

Line 7

Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler				
Segment				
Name	Value	Unit	Evaluated Value	
Segment Type	Line			
Point1	-99.5 , 8 , 1.65	um	-99.5um , 8um , 1.65um	
Point2	-113.5 , 8 , 1.65	um	-113.5um , 8um , 1.65um	

FIGURE 9: ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΠΗΓΙΟΥ

Έπειτα κάνω Seed Mesh Conductors. Έχω τελειώσει με την γεωμετρία του πηγίου και προχωρώ στα sources και στο ground block.

### Ground block

Στο υπόδειγμα δημιουργείται ένα ground ring γύρω από το πηνίο. Για το συγκεκριμένο πηνίο όμως, αρκεί ένα ground block για να χρησιμοποιήσω ως αναφορά για τις πηγές που θα προσθέσω μετέπειτα. Σαν υλικό επιλέγω το pec, όπως στο υπόδειγμα.

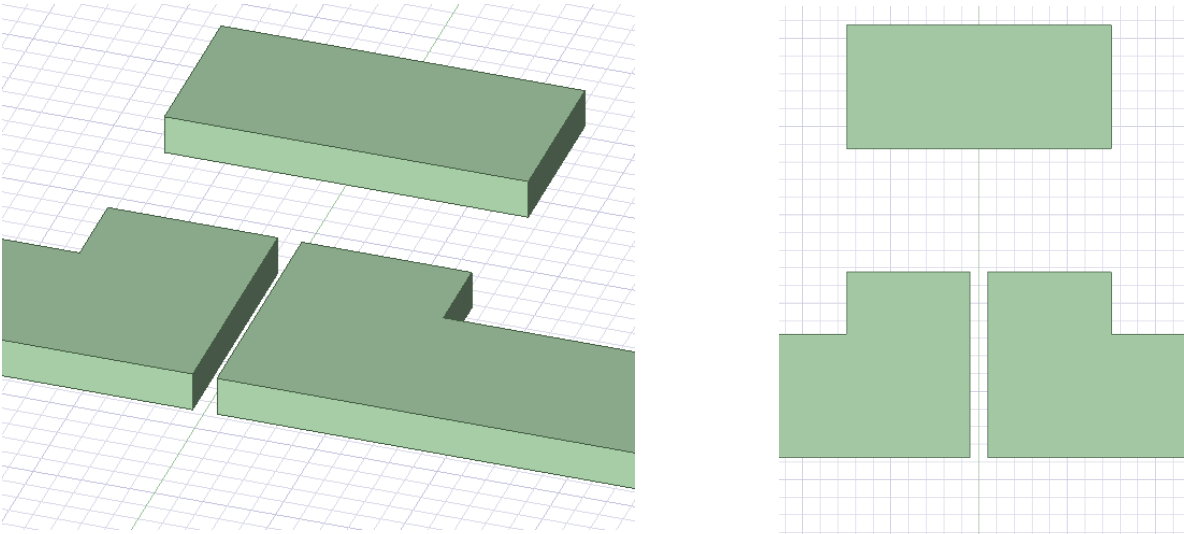


FIGURE 10:ΣΧΕΔΙΟ ΤΟΥ GROUND BLOCK Α) ΔΙΑΓΩΝΙΑ Β) ΠΡΟΒΟΛΗ ΑΠΟ ΠΑΝΩ

Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler

Name	Value	Unit	Evaluated Value
Command	CreateBox		
Coordinate Sys...	RelativeCS1		
Position	-127.5 , -15 , 0	um	-127.5um , -15um , 0um
XSize	-14	um	-14um
YSize	30	um	30um
ZSize	3.3	um	3.3um

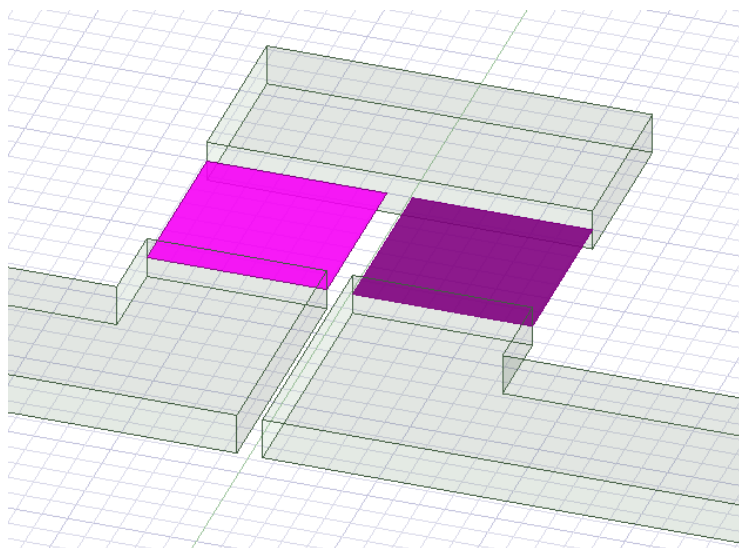
Properties

Name	Value	Unit	Evaluated Value
Name	GroundBlock		
Material	"pec"		"pec"
Solve Inside	<input type="checkbox"/>		
Orientation	Global		
Model	<input checked="" type="checkbox"/>		
Group	Model		
Display Wi...	<input type="checkbox"/>		
Material A...	<input type="checkbox"/>		
Color			
Transparent	0		

FIGURE 11: ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ, ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ GROUND BLOCK

## Sources

Τοποθετώ τις πηγές μου με τροποποιημένο μέγεθος. Έπειτα κάνω Assign Excitation (Lumped Port) για τις δύο πηγές. Χρησιμοποιώ το ground block ως αναφορά.



Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler

Command | **Source1**

Name	Value	Unit	Evaluated Value
Command	CreateRectangle		
Coordinate Sys...	RelativeCS1		
Position	-113.5 , 1 , 1.65	um	-113.5um , 1um , 1.65um
Axis	Z		
XSize	-14	um	-14um
YSize	14	um	14um

Properties: TelecomElectronics - HFSSDesign1 - Modeler

Command | **Source2**

Name	Value	Unit	Evaluated Value
Command	CreateRectangle		
Coordinate Sys...	RelativeCS1		
Position	-113.5 , -1 , 1.65	um	-113.5um , -1um , 1.65um
Axis	Z		
XSize	-14	um	-14um
YSize	-14	um	-14um

FIGURE 12: ΣΧΕΔΙΟ, ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ SOURCES

## Τελική εικόνα

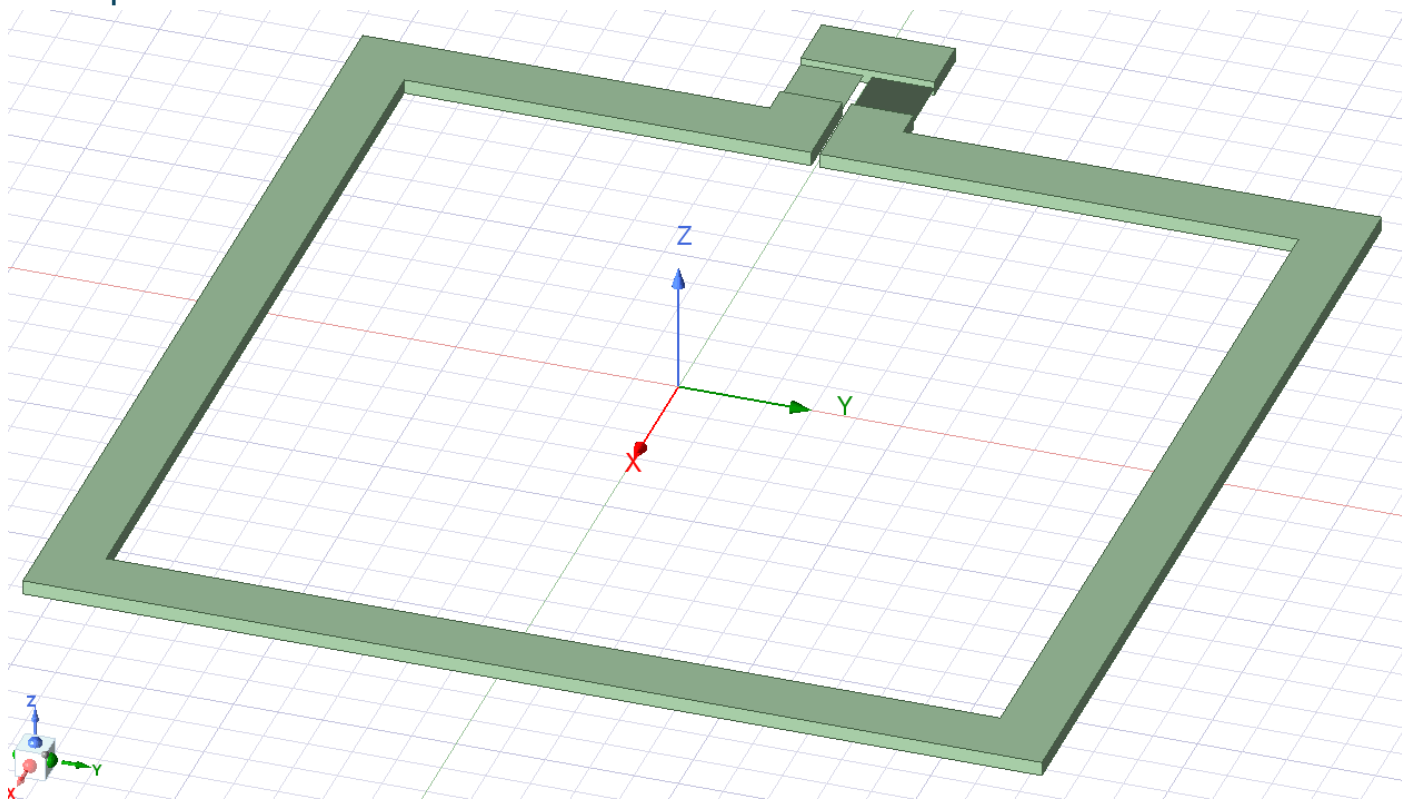


FIGURE 13: ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΠΗΝΙΟΥ

## Προσομοίωση και ανάλυση S παραμέτρων

### Analysis setup

Δημιουργώ ένα analysis setup σύμφωνα με το υπόδειγμα.

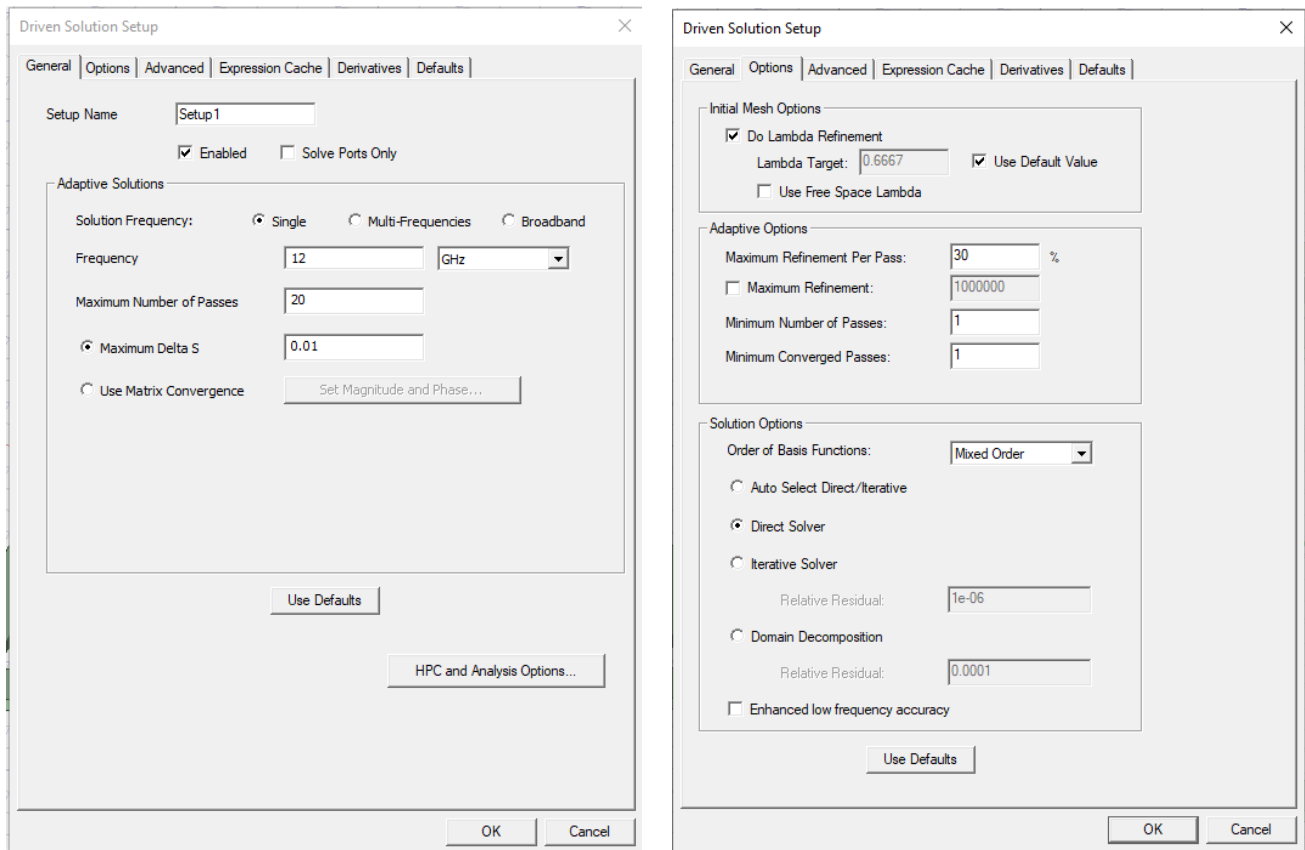


FIGURE 14: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ANALYSIS SETUP

### Frequency Sweep

Όμοια δημιουργώ ένα frequency sweep για τις συχνότητες της εκφώνησης.

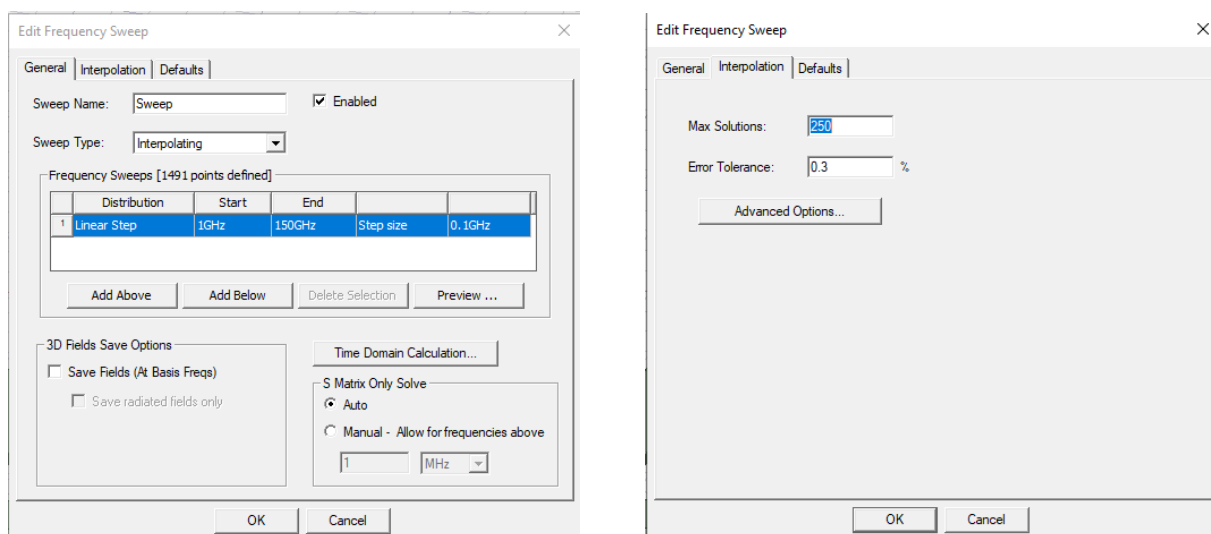


FIGURE 15: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ FREQUENCY SWEEP

## Διάγραμμα S παραμέτρων

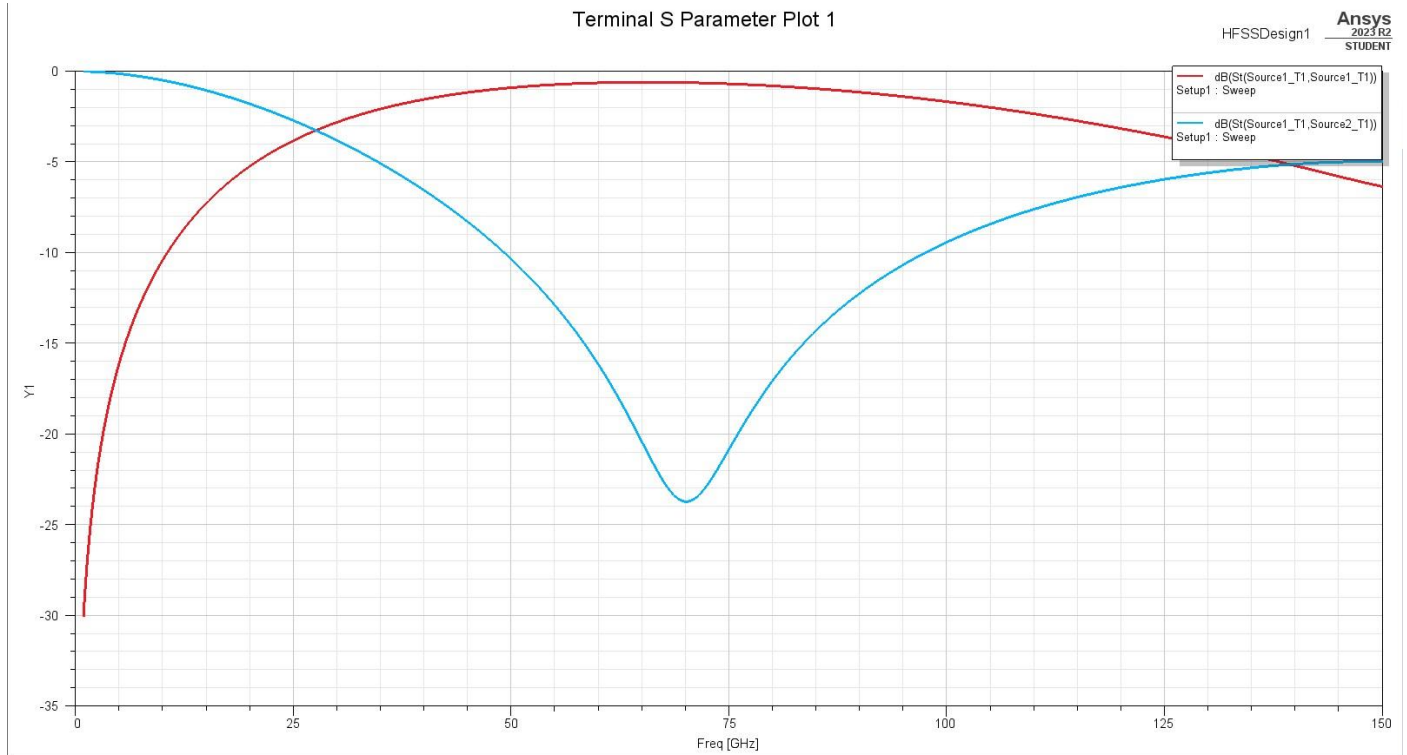
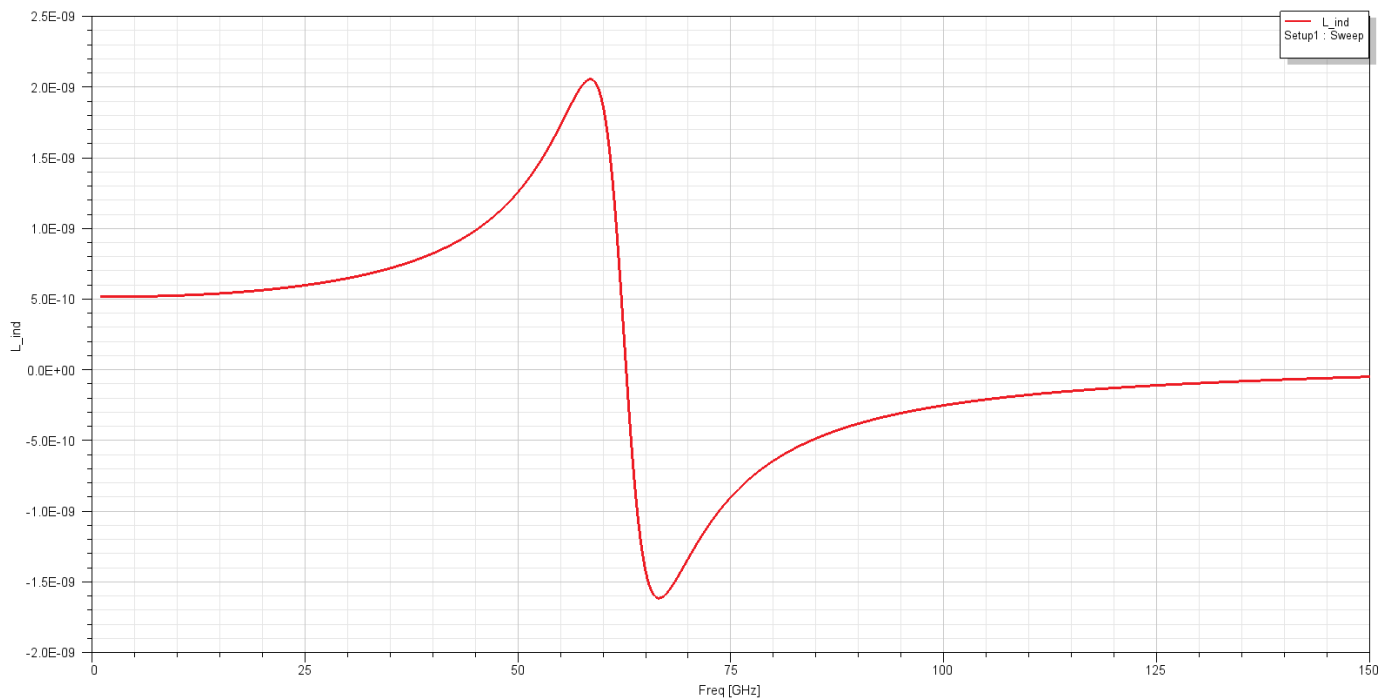


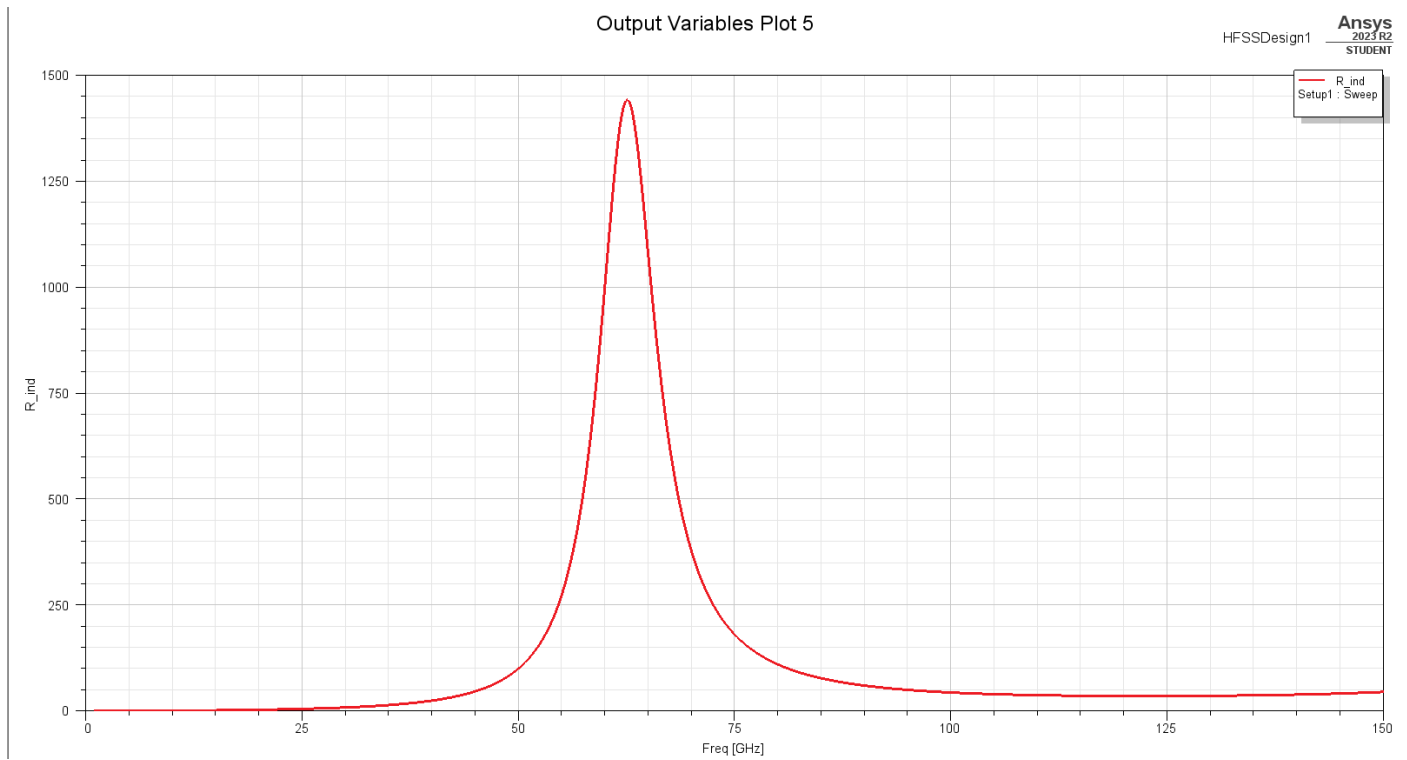
FIGURE 16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ S ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

## Διαγράμματα αυτεπαγωγής, αντίστασης και συντελεστή ποιότητας

Output Variables Plot 4

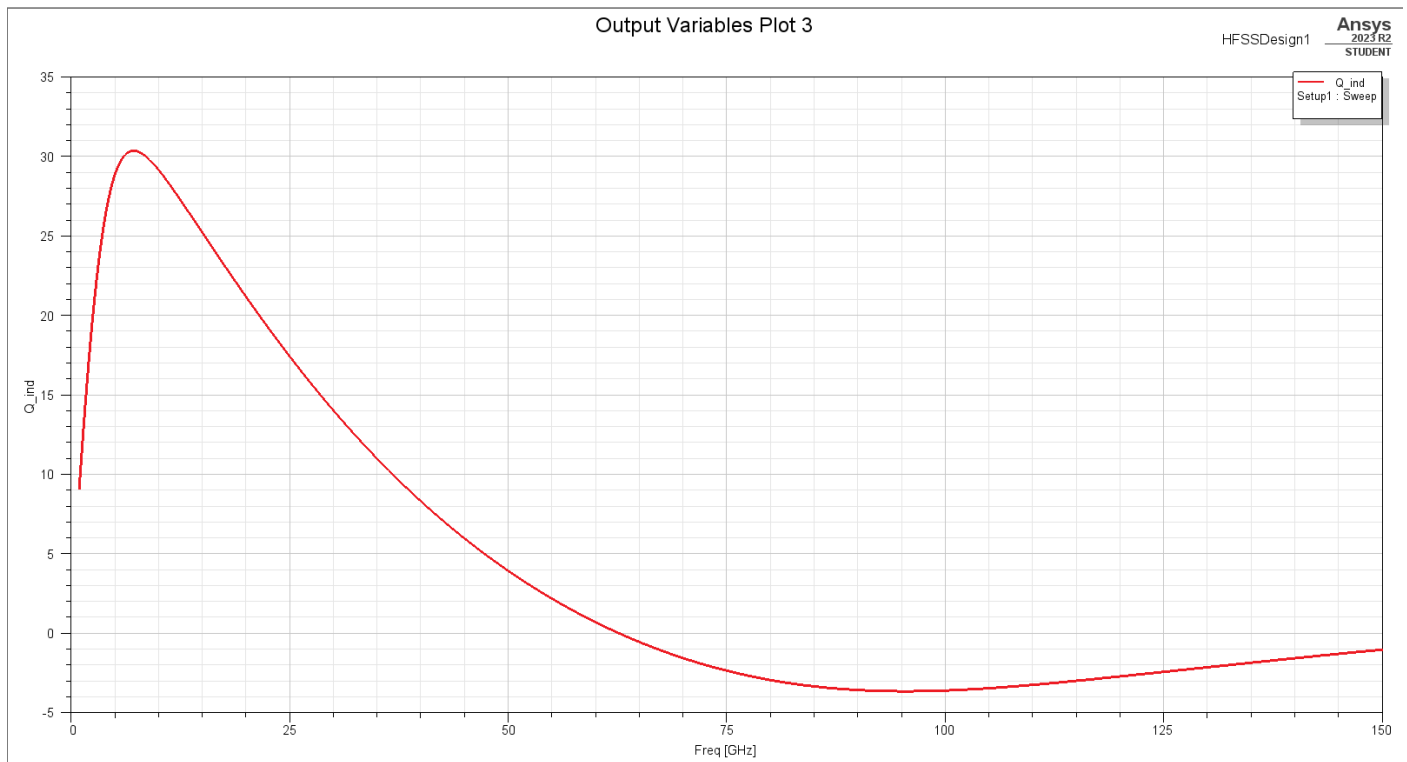
HFSSDesign1  
Ansys  
2023 R2  
STUDENT**FIGURE 17: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗΣ L**

Παρατηρώ ότι έχω τιμές μεγάλου L της τάξης 1.5-2 nH για τις συχνότητες 50-60 GHz. Για χαμηλότερες συχνότητες έχω μικρότερη και σχετικά σταθερή τιμή αυτεπαγωγής, ενώ για υψηλότερες έχω απότομη πτώση στα αρνητικά, λόγω των παρασιτικών χωρητικοτήτων του πηνίου με το substrate.

**FIGURE 18: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ R**

Παρατηρώ ότι για τις συχνότητες που έχω υψηλές τιμές αυτεπαγωγής (50-60 GHz) έχω μικρή αλλά όχι μηδενική τιμή αντίστασης, της τάξης των 500Ω . Παρατηρώ μια κορυφή στα 65 GHz.



**FIGURE 19: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ Q**

Για τις συχνότητες 50-60 GHz παρατηρώ ότι ο συντελεστής Q είναι 1 έως 4, με καλύτερο συντελεστή ποιότητας για χαμηλότερες συχνότητες. Και από τα 3 διαγράμματα παραπάνω συμπεραίνω πως έχω καλύτερη συμπεριφορά κοντά στα 50 GHz, καθώς έχω ικανοποιητικά μεγάλα L,Q και μικρότερη R, σε σχέση με τα 60 GHz.