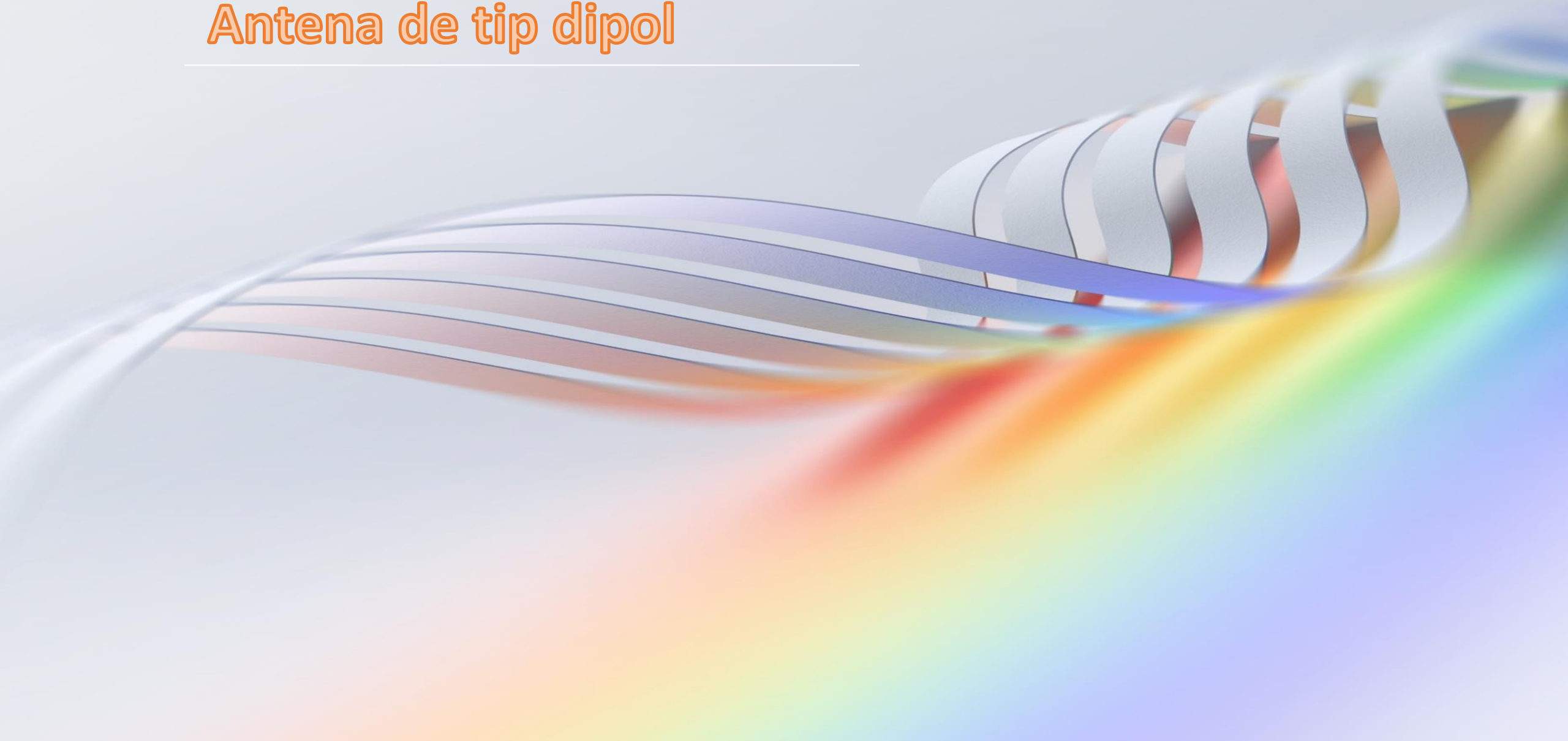
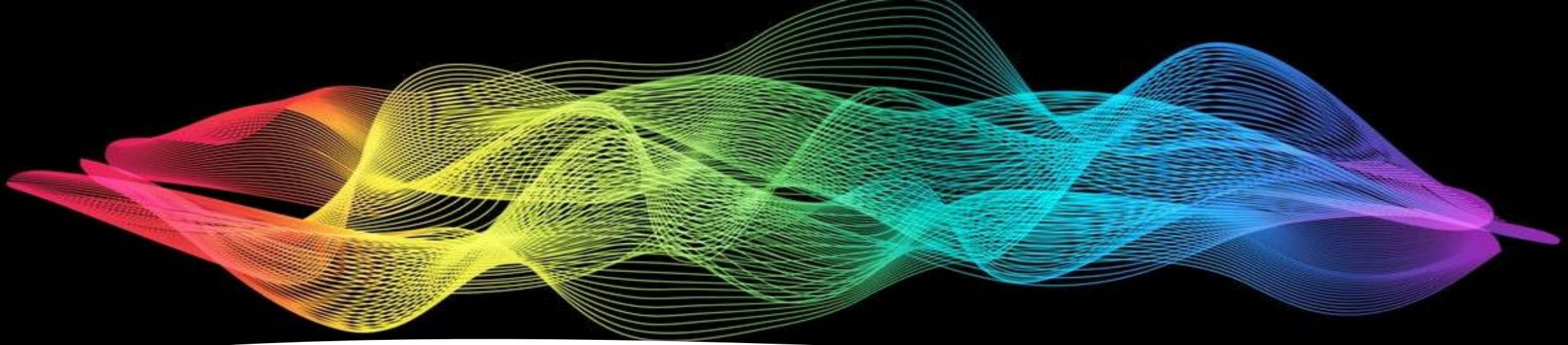


# Antena de tip dipol

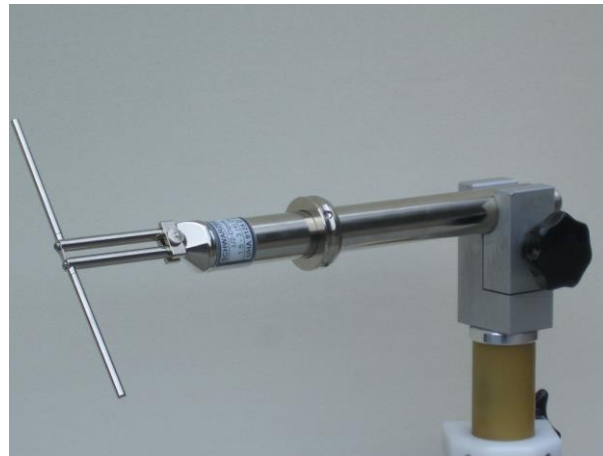
---





Să se proiecteze și modeleze o antenă de tip dipol de jumătate de lungime de undă care are frecvența de operare  $f=1$  GHz

## Enunțul lucrării



**JABLOTRON**  
CREATING ALARMS

# Enunțul lucrării

Să se proiecteze și modeleze o antenă de tip dipol de jumătate de lungime de undă care are frecvența de operare  $f=1$  GHz

$$c = f \cdot \lambda$$

Lungimea de undă pentru frecvența de operare dorită:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = \frac{3}{10} = 0,3 \text{ m}$$

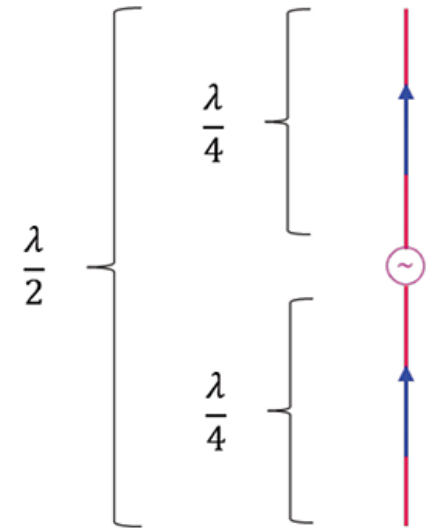
$$\lambda = 300 \text{ mm}$$

Lungimea antenei dipol este:

$$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{ mm}$$

Lungimea brațului antenei dipol este:

$$L_{\text{brat}} = \frac{L}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$$



# Obiectivele lucrării

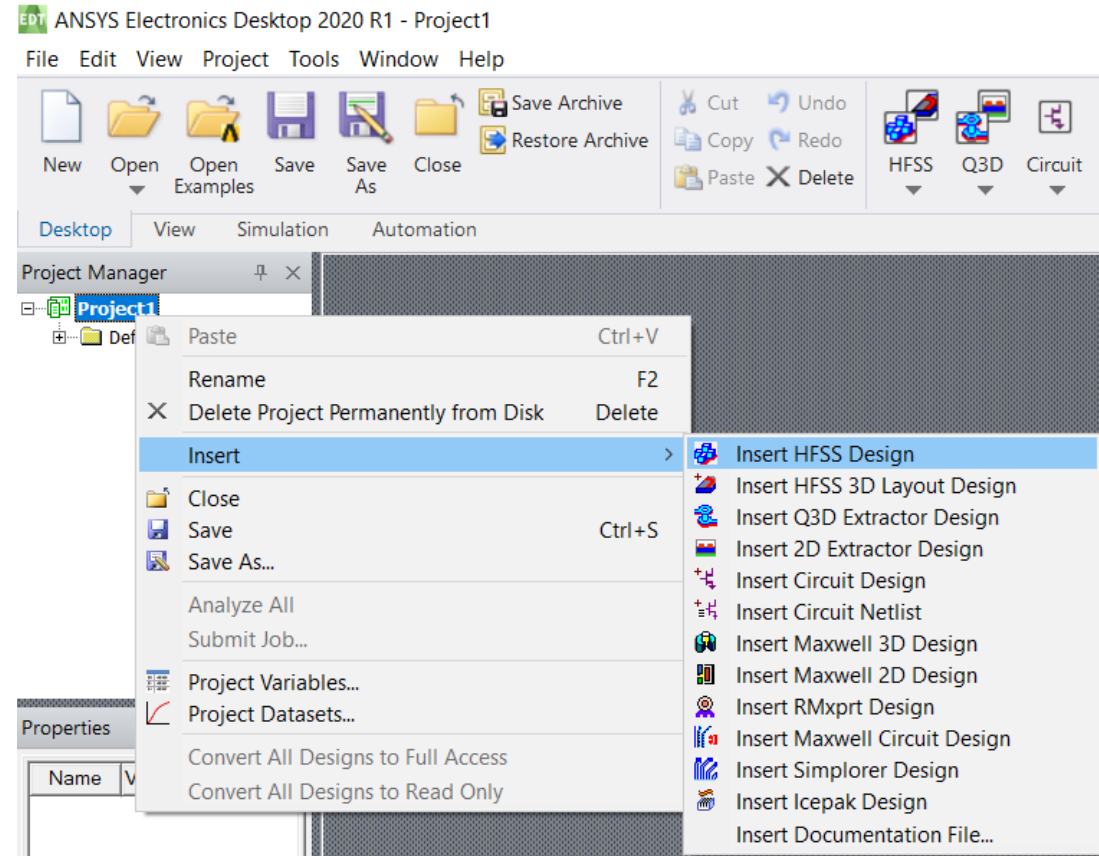
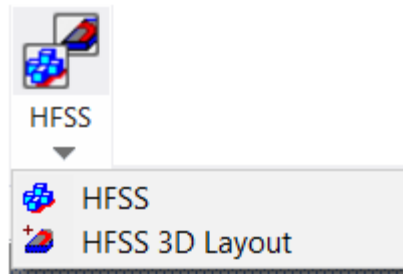
- Modelarea unei antene dipol care funcționează la 1 GHz
- Reprezentarea parametrilor S
- Determinarea matricii parametrilor S
- Reprezentarea mesh-ului
- Determinarea benzii de frecvență pe care antena funcționează
- Reprezentarea părții reale și imaginare a impedanței structurii
- Reprezentarea în cod de culori a câmpului electric în regiunea definită
- Reprezentarea în cod de culori a câmpului electric în dipol
- Reprezentarea 2D a câștigului antenei
- Reprezentarea 3D a câștigului antenei

# Implementarea modelului pentru modelare numerică

- Se deschide Ansys Electronics Desktop

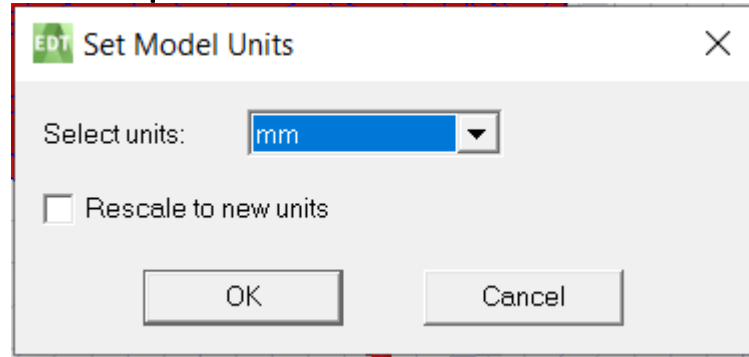


- Se va alege să se modeleze un proiect HFSS

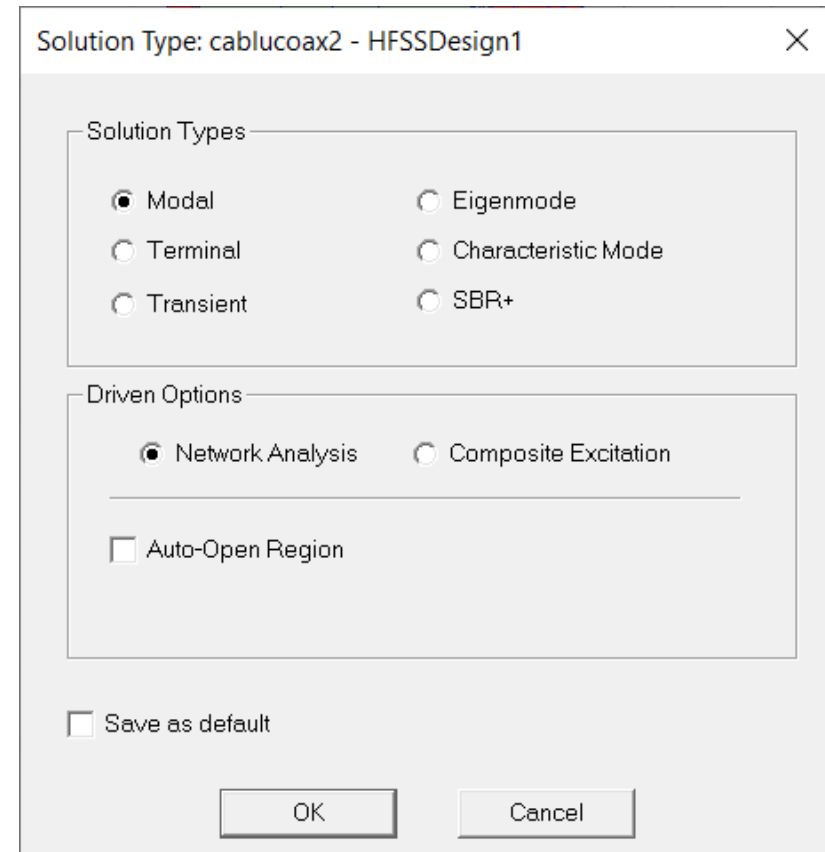


# Implementarea modelului pentru modelare numerică

- Vom alege unitatea de măsură pentru model din Modeler ->Units...

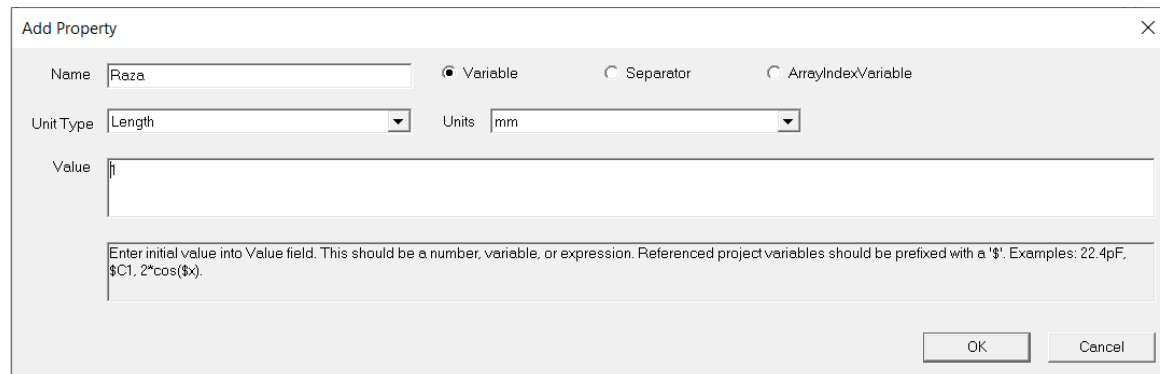
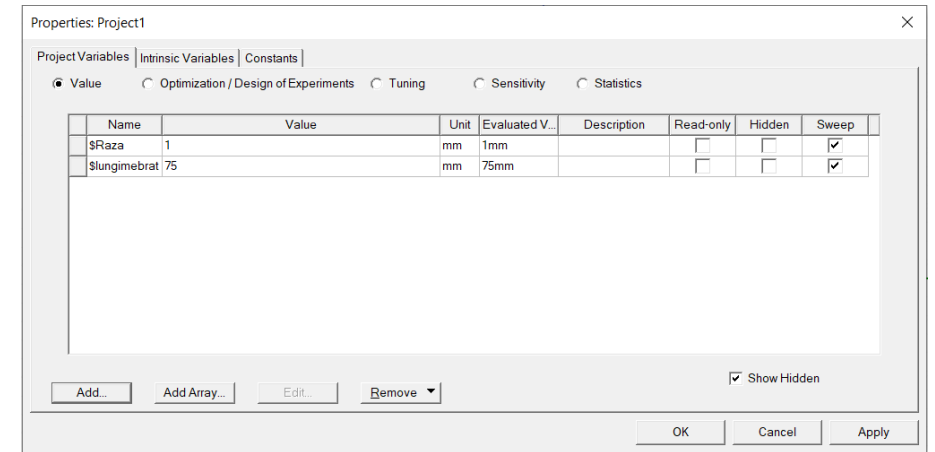
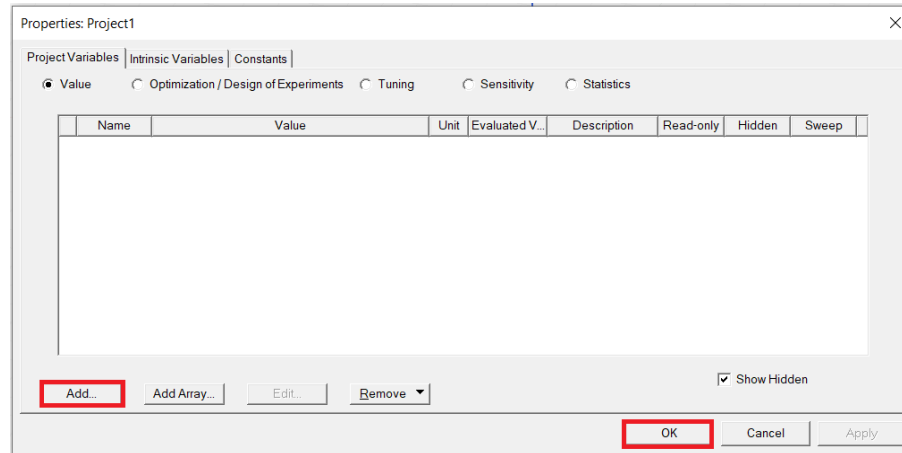
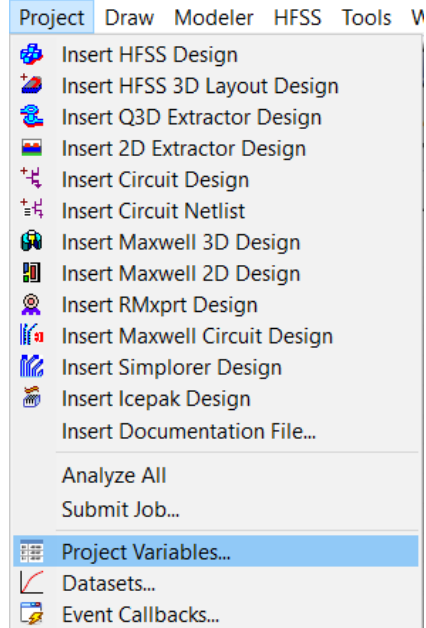


- Vom alege tipul soluției din HFSS->Solution Type



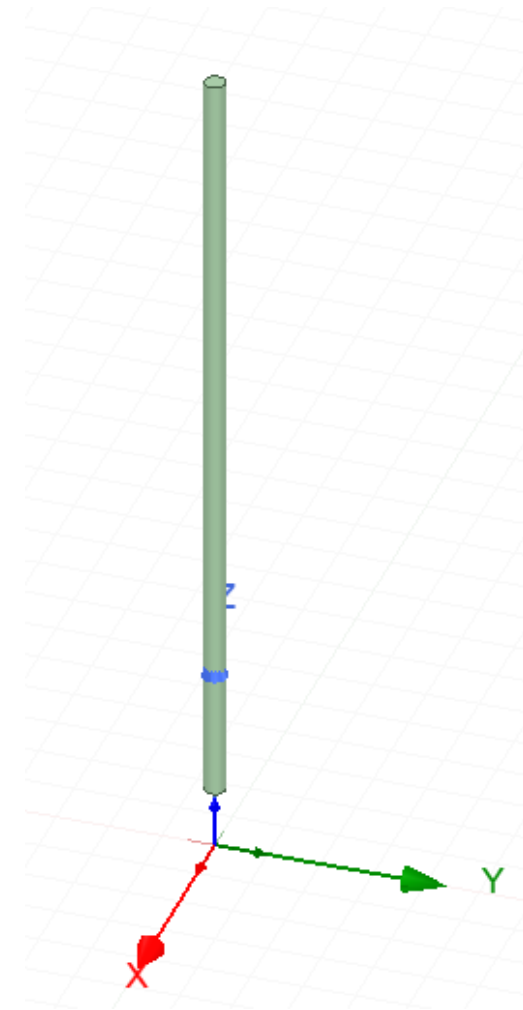
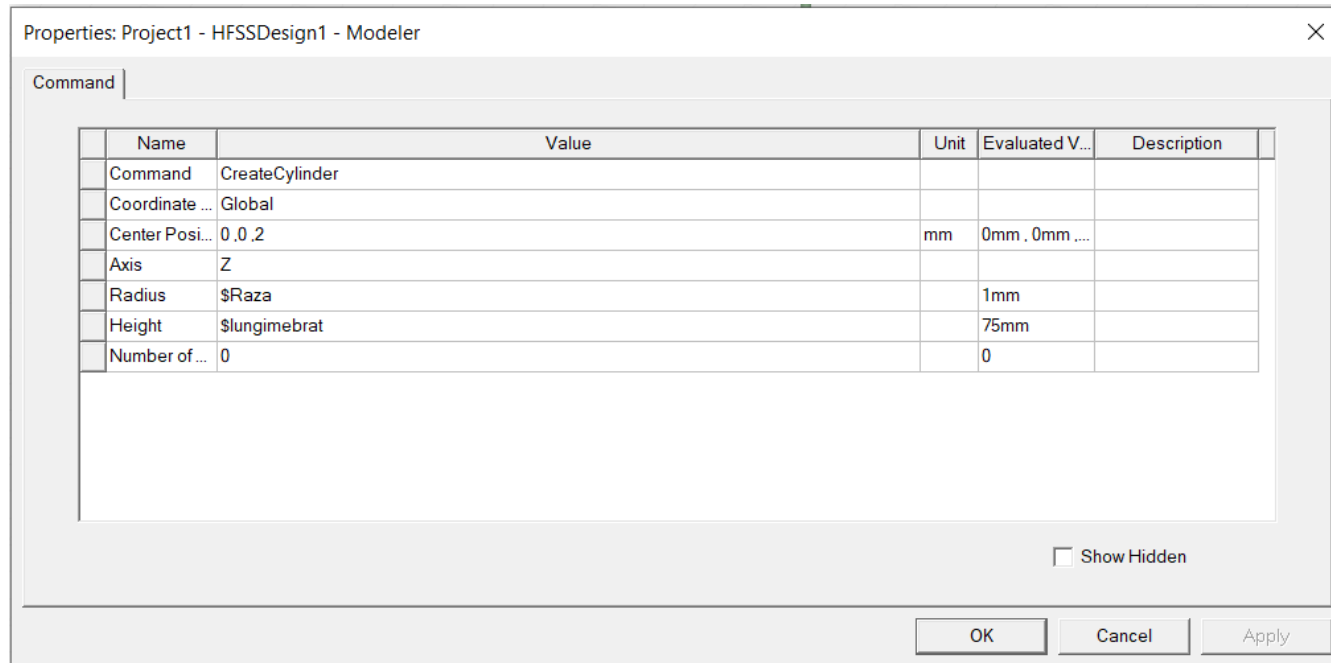
# Definirea variabilelor de proiect

- Vom defini variabilele de proiect pe care tocmai le-am calculat selectând din meniul Project opțiunea Project Variables



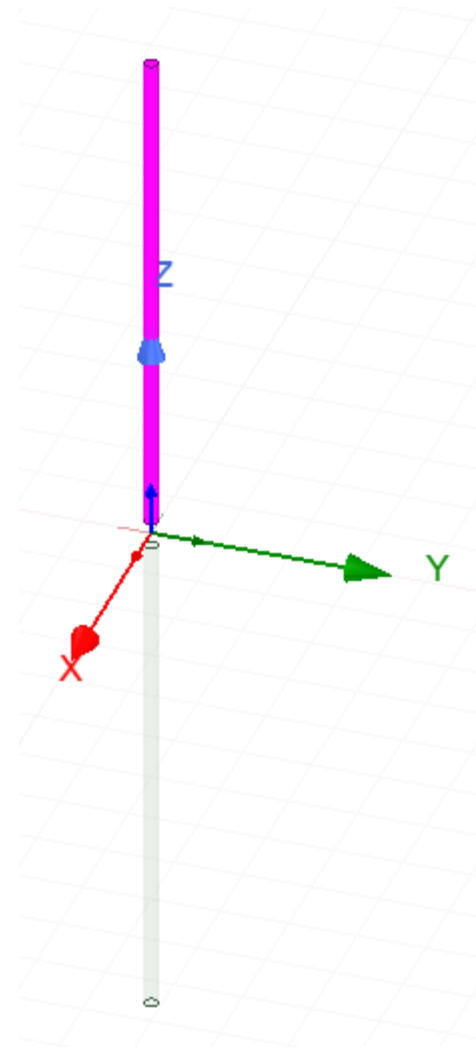
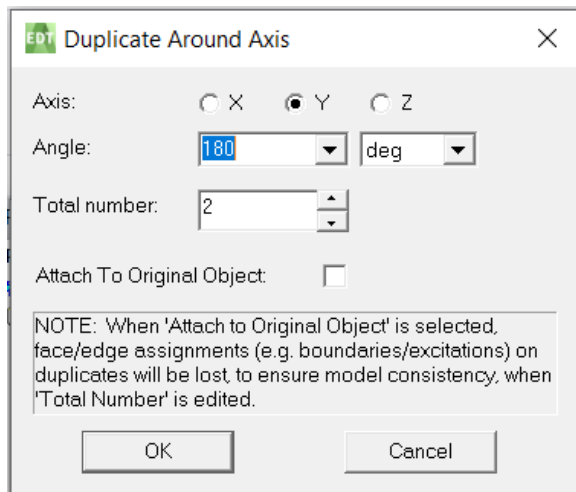
# Implementarea brațului de sus al dipolului

Desenăm un cilindru de dimensiuni oarecare, după care introducem dimensiunile de mai jos



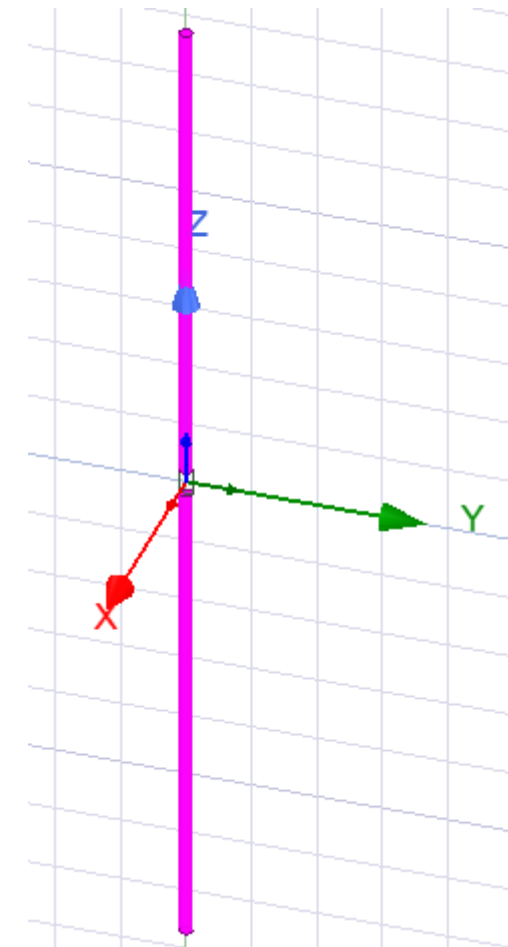
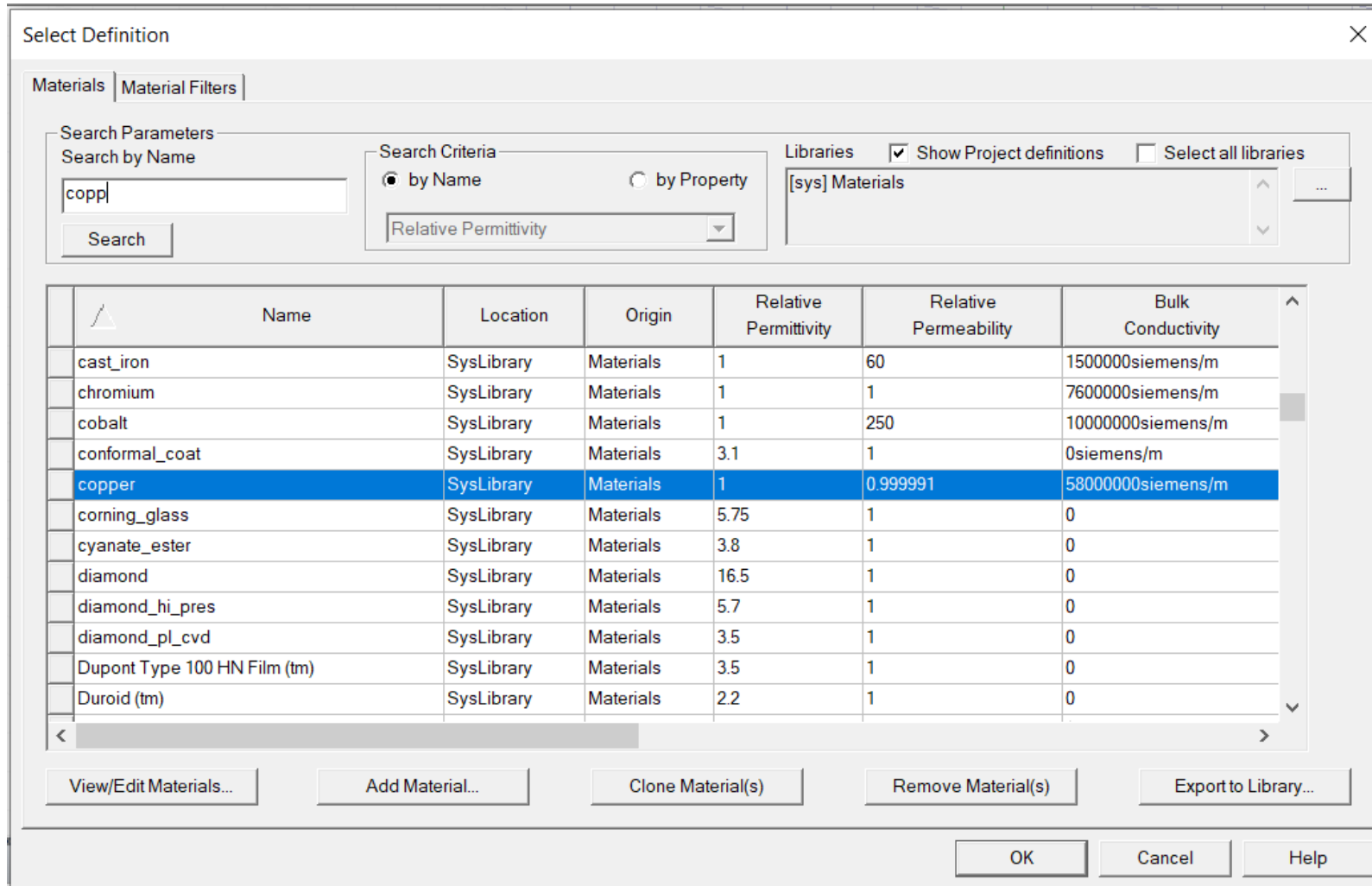
# Implementarea brațului de jos al dipolului

Selectăm brațul deja creat și din meniul Edit selectăm Duplicate ->Around Axis. În fereastra care apare se fac setările de mai jos

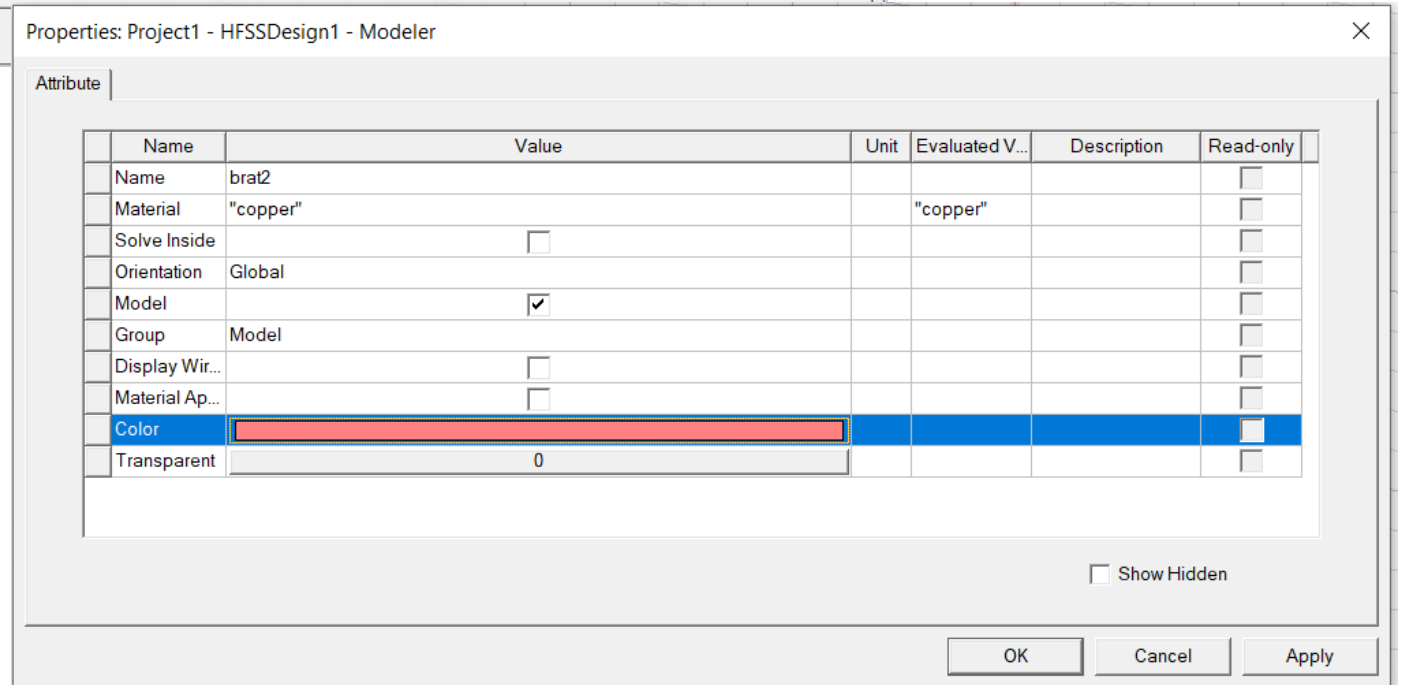
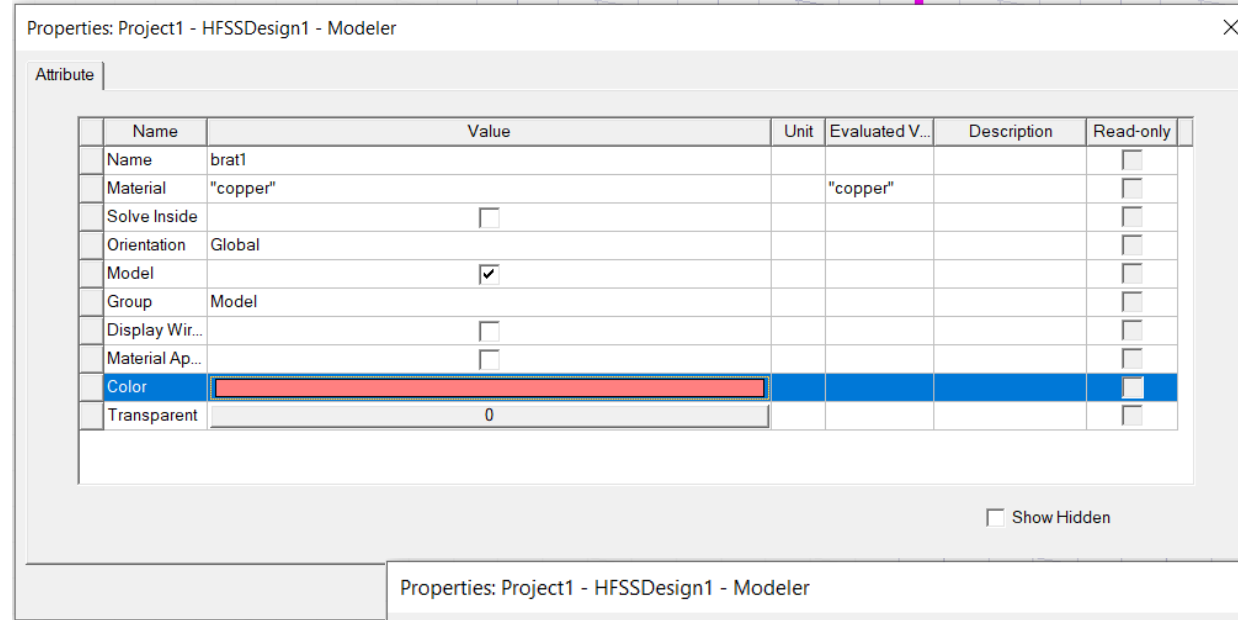
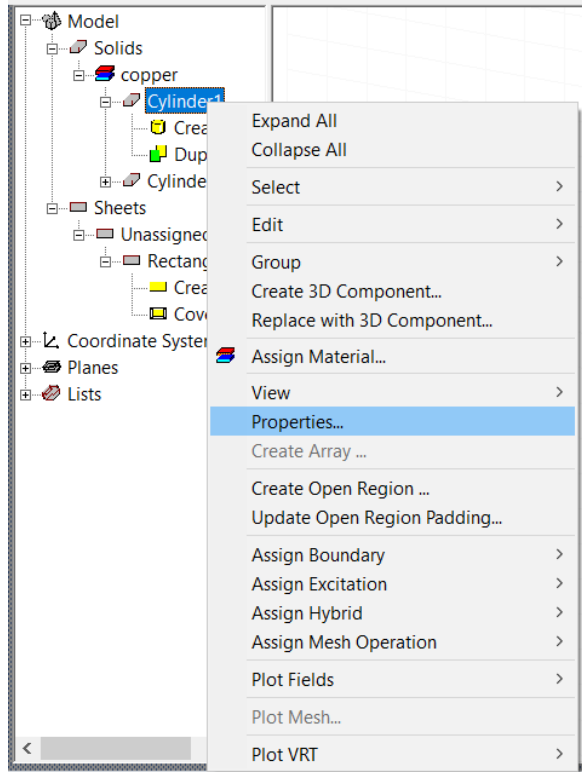


# Atribuirea materialului pentru cele 2 brațe ale antenei dipol

- Selectăm cele 2 brațe și le atribuim cupru fie din fereastra de proprietăți, fie accesând meniul Modeler->Assign material

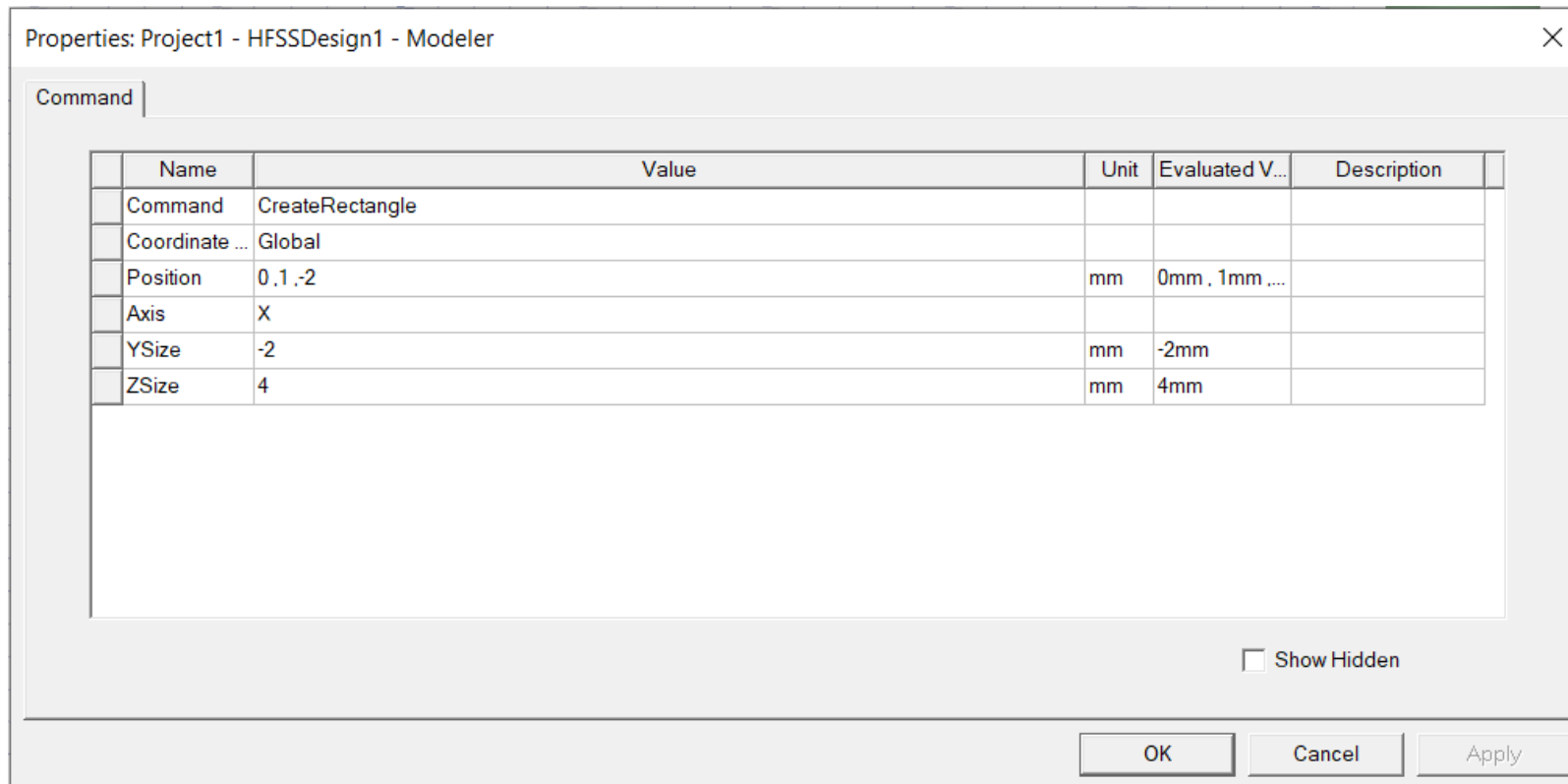


# Atribuiiri pentru cele 2 brațe ale antenei



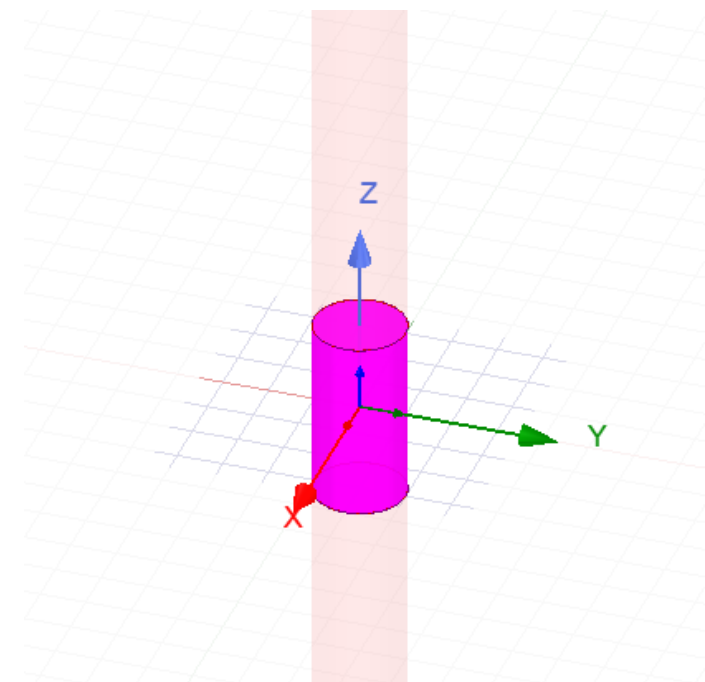
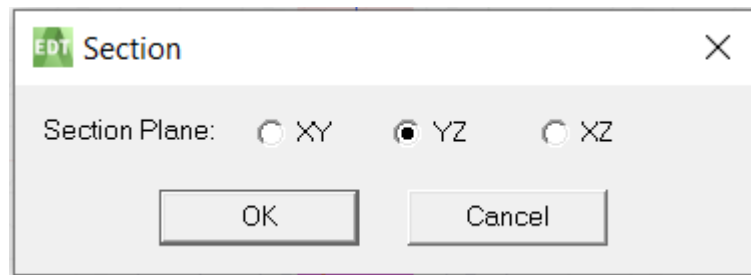
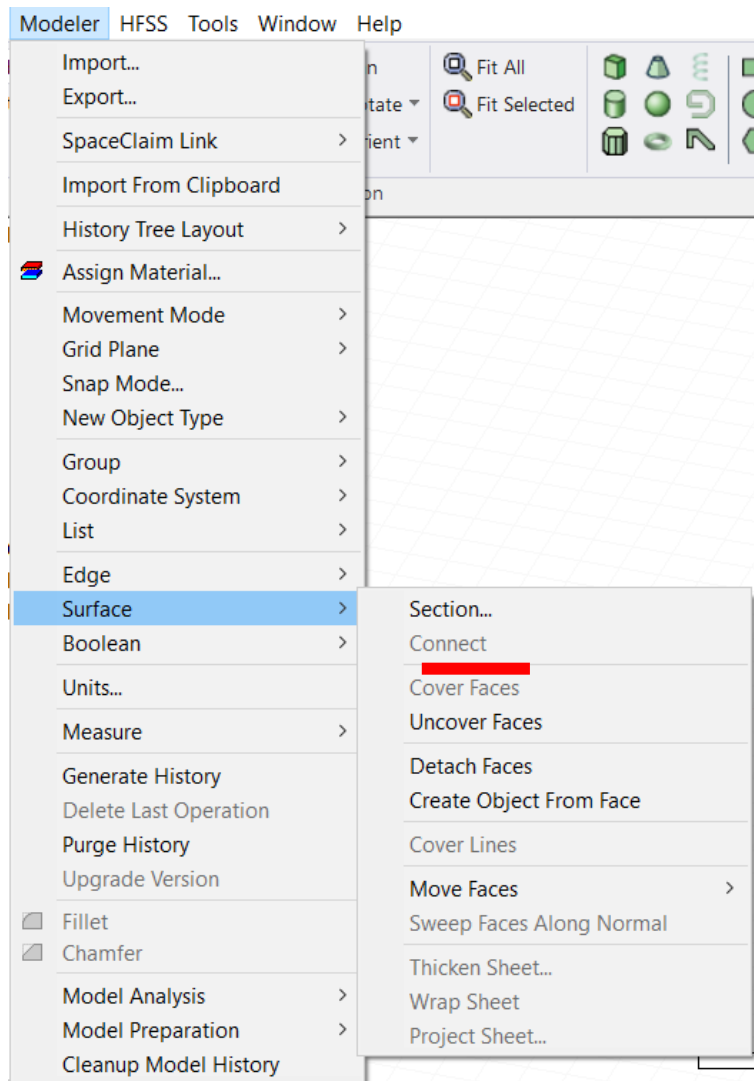
# Crearea unui dreptunghi ce va servi ca sursă

- Se va schimba planul pentru modelare din XY în YZ
- Se va desena un dreptunghi de coordonate:



# Crearea unui dreptunghi ce va servi ca sursă-îmbunătățirea modelului

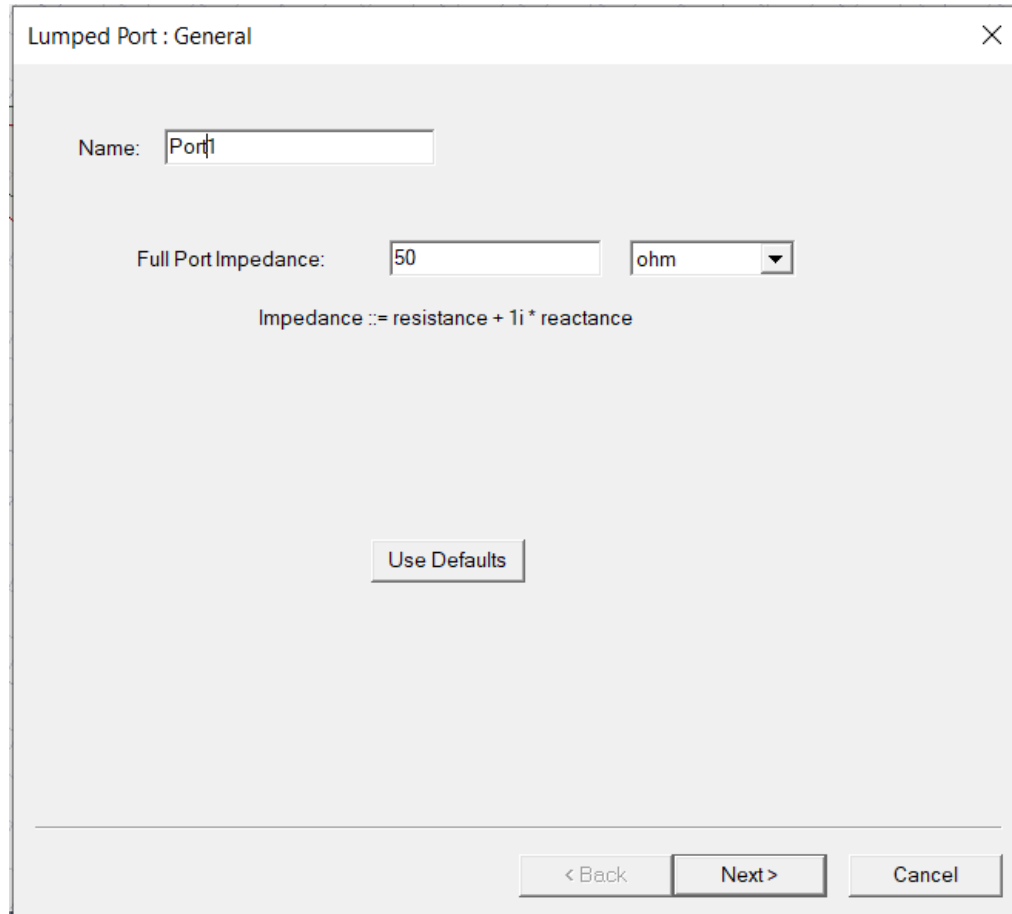
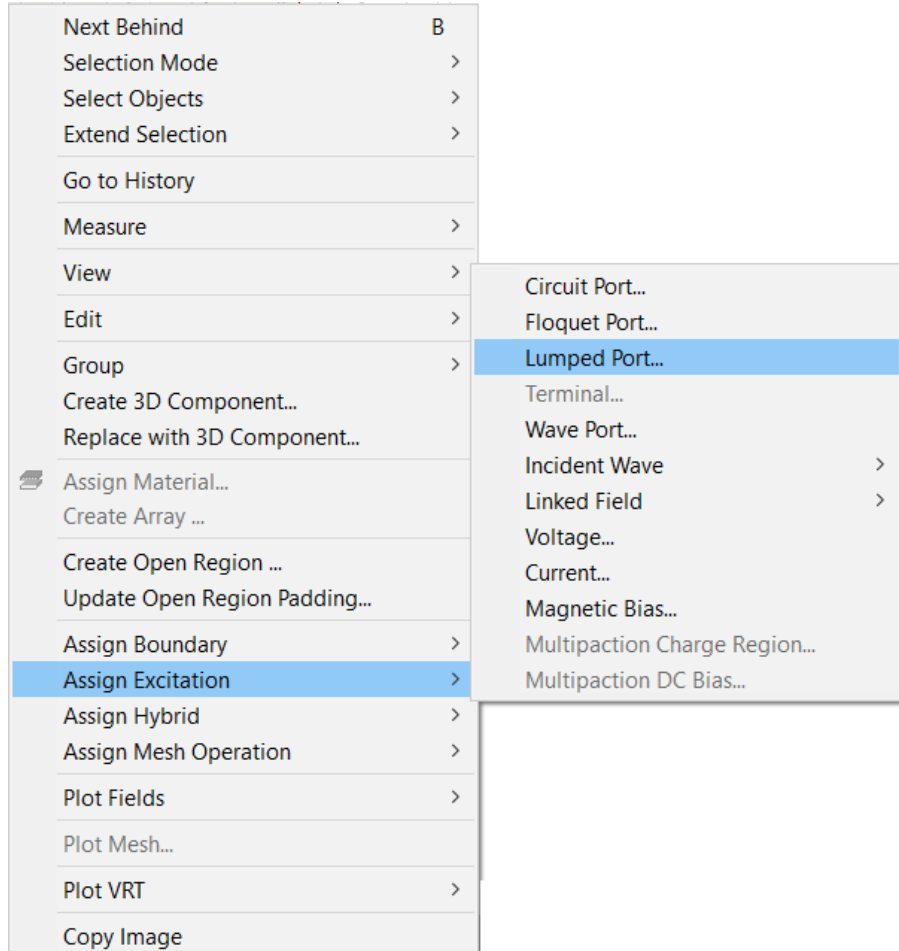
- Se creează un cilindru definit ca aer și apoi se face secțiunea acestuia cu comanda de mai jos



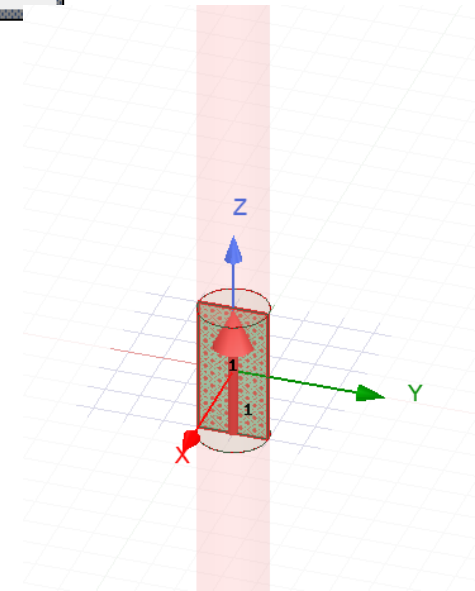
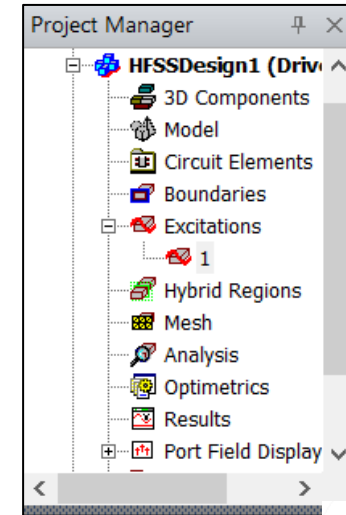
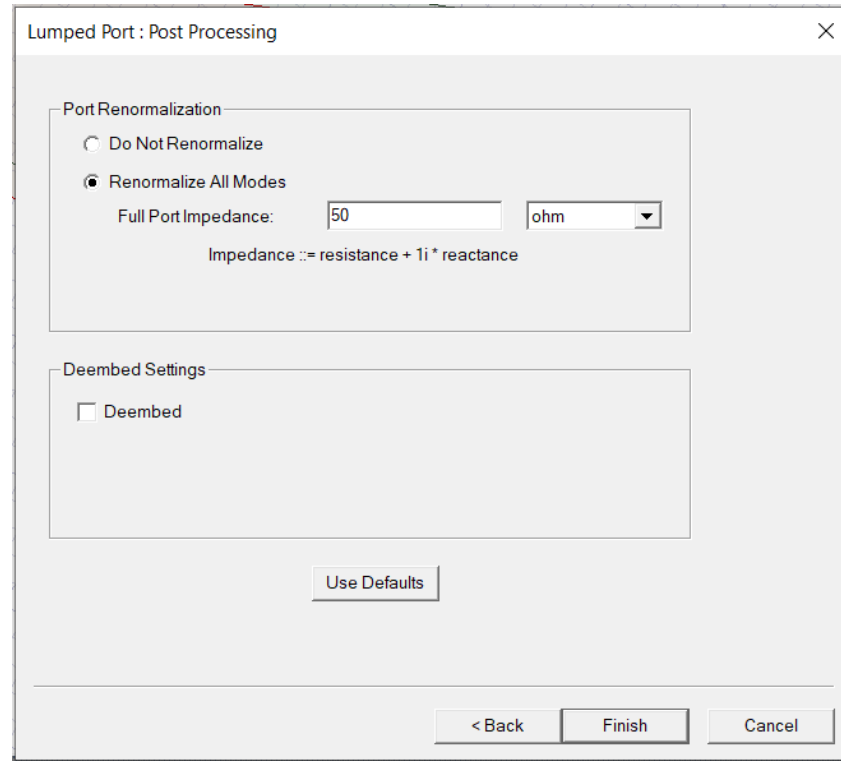
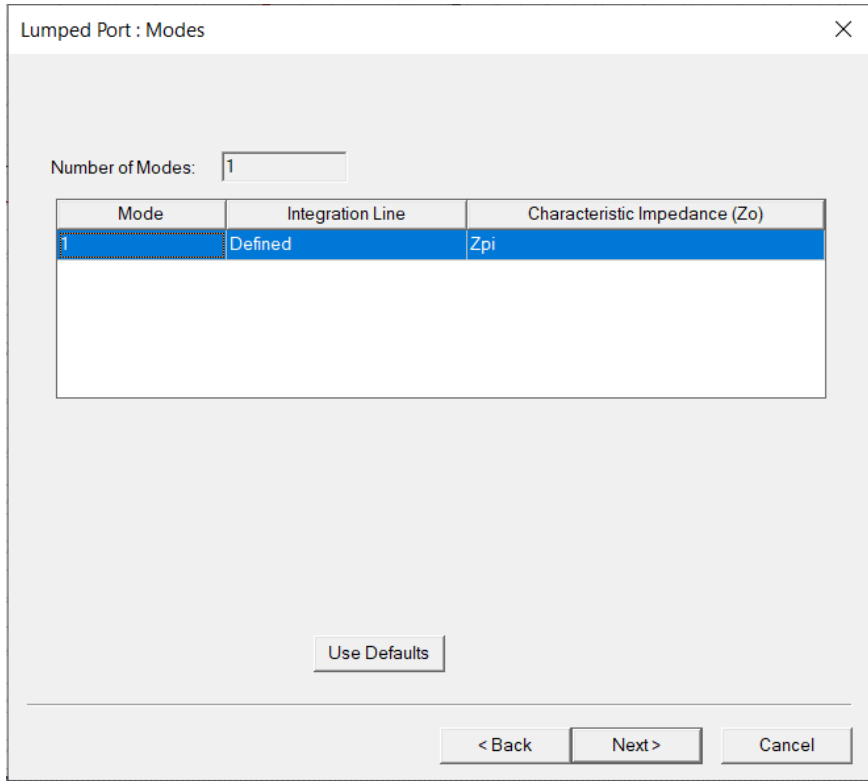
Ce se întâmplă cu secțiunea dacă modificăm mărimea cilindrului de aer nou creat?

# Atribuirea surselor și a condițiilor de frontieră

- Se va selecta primul dintre dreptunghiuri pentru a atribui o sursă de tip Lumped Port

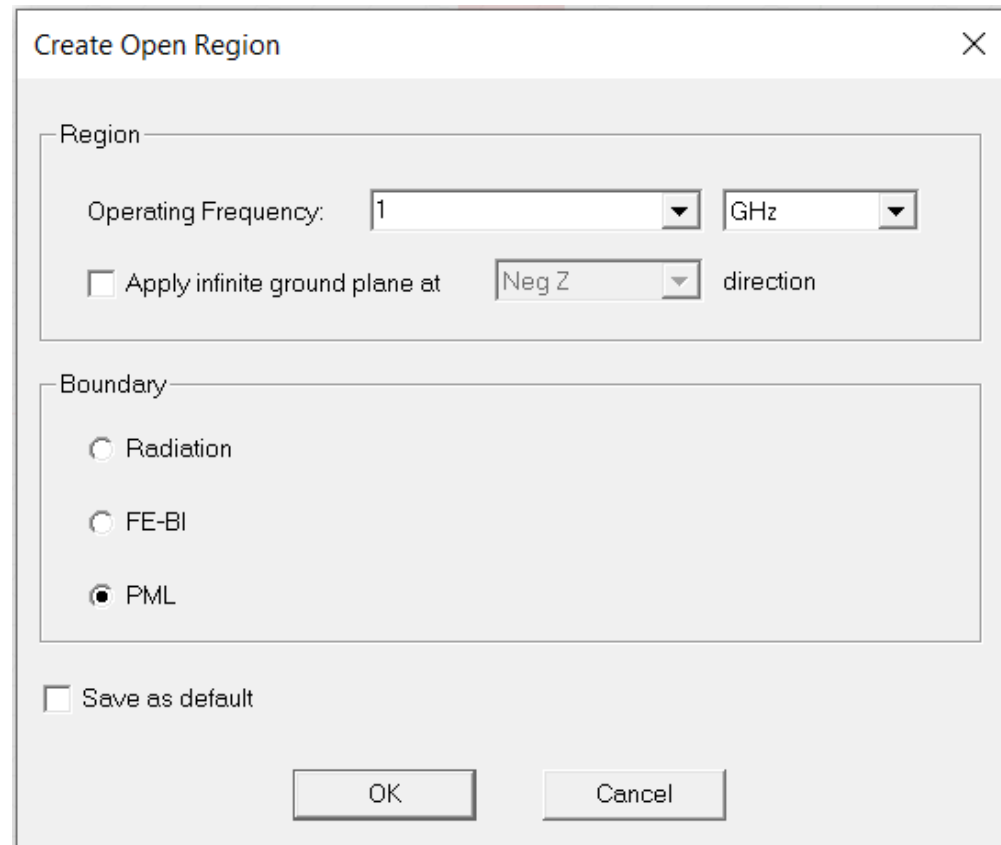
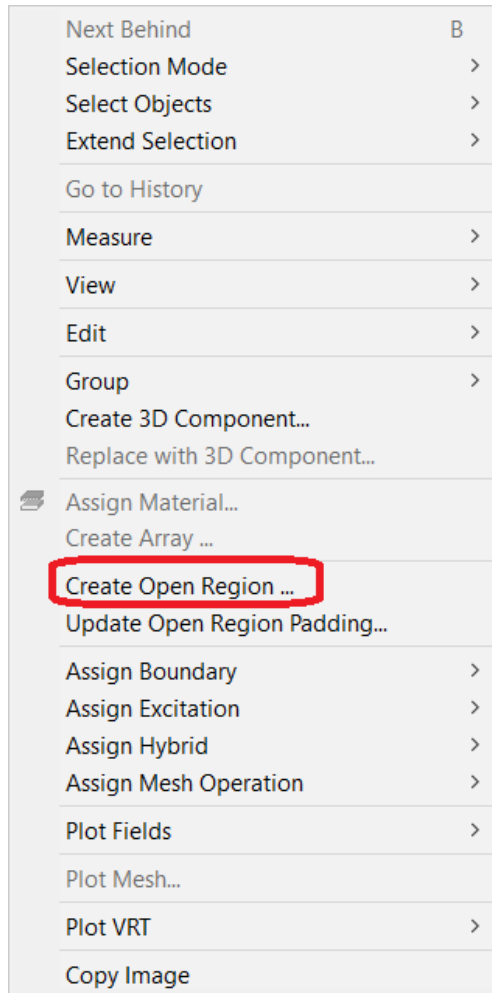


# Atribuirea surselor și a condițiilor de frontieră



# Atribuirea surselor și a condițiilor de frontieră

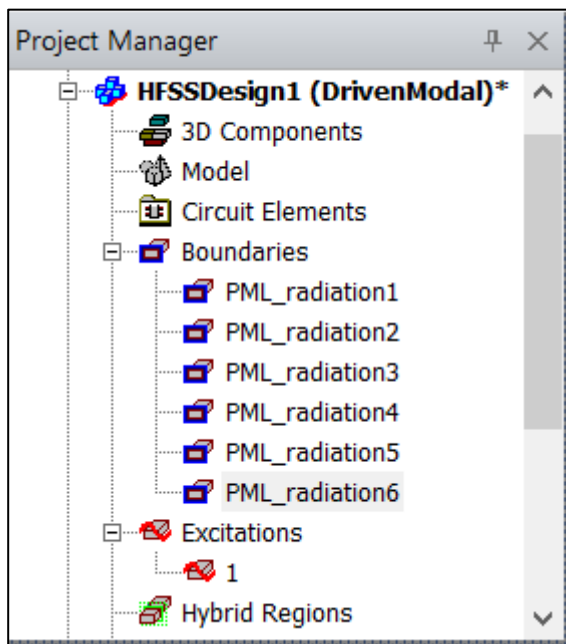
- Se va crea o zonă pe care dorim să afișăm radiația dispozitivului nou creat. Acest lucru îl putem obține prin crearea unui spațiu Region sau prin noua opțiune din care apare în meniul care este accesat prin click dreapta în fereastra de lucru Create Open Region; PML se folosește pentru o acuratețe mai mare a soluției pentru câmpul îndepărtat



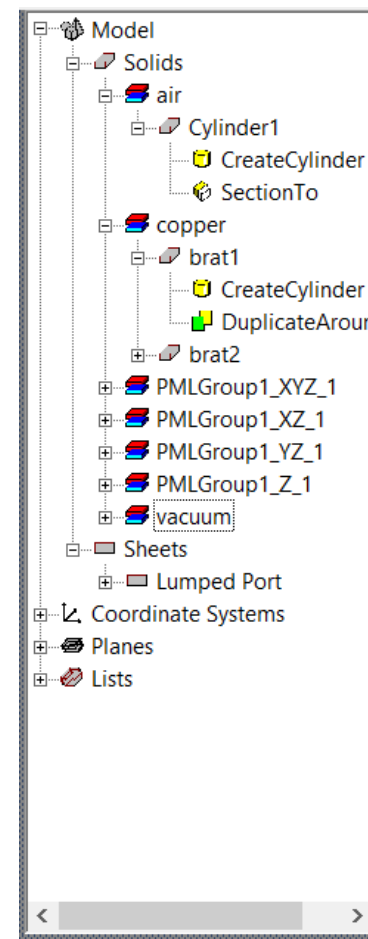


# Atribuirea surselor și a condițiilor de frontieră

- Observați toate condițiile de frontieră și alimentările create din fereastra Project Manager

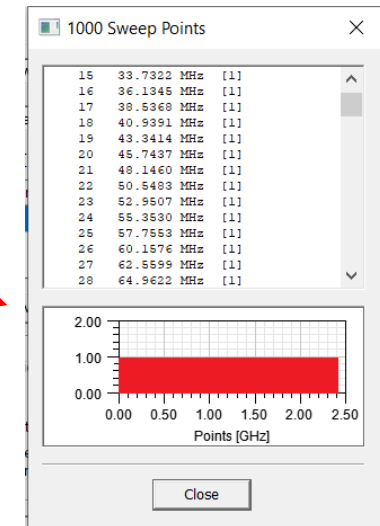
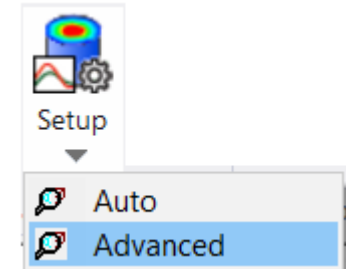
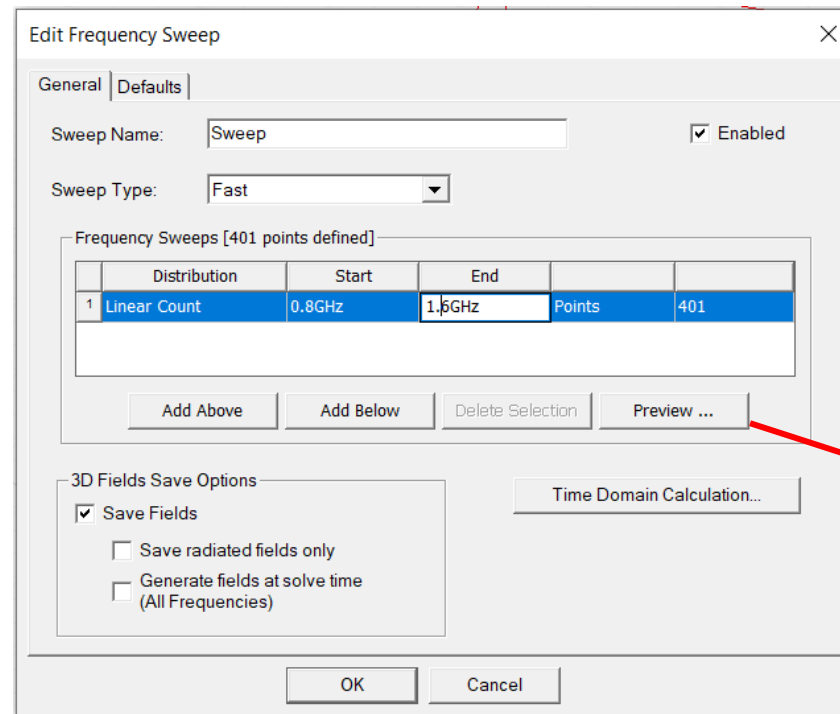
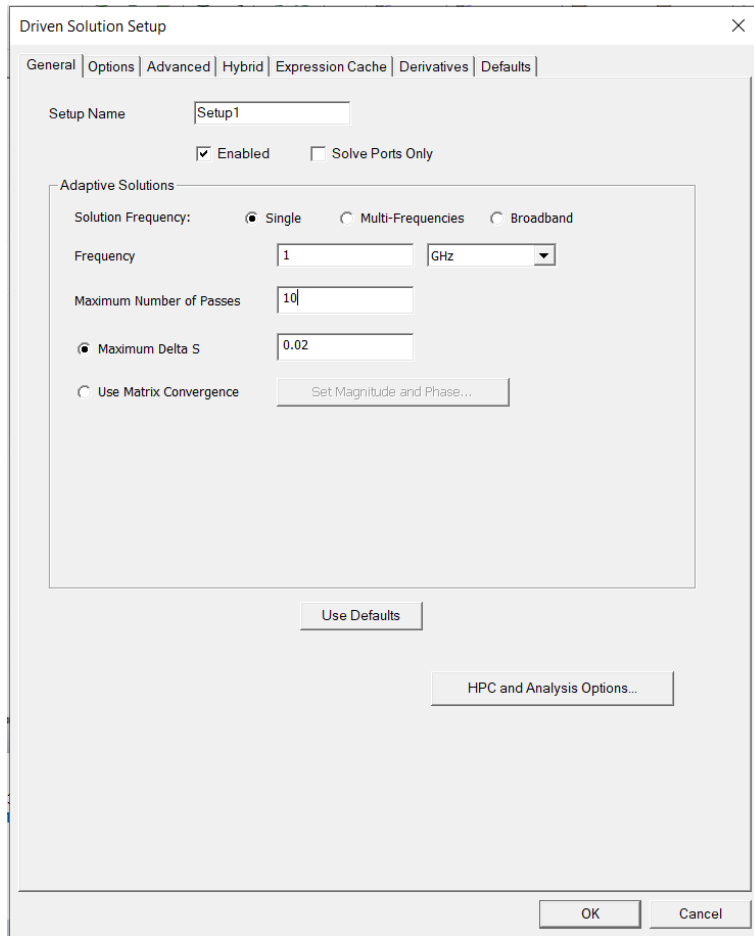


Accesați din arborele modelului elementele de tip PML nou create pentru a le observa

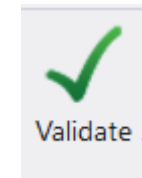
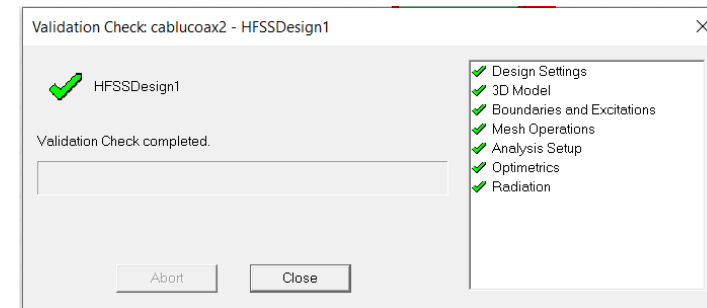
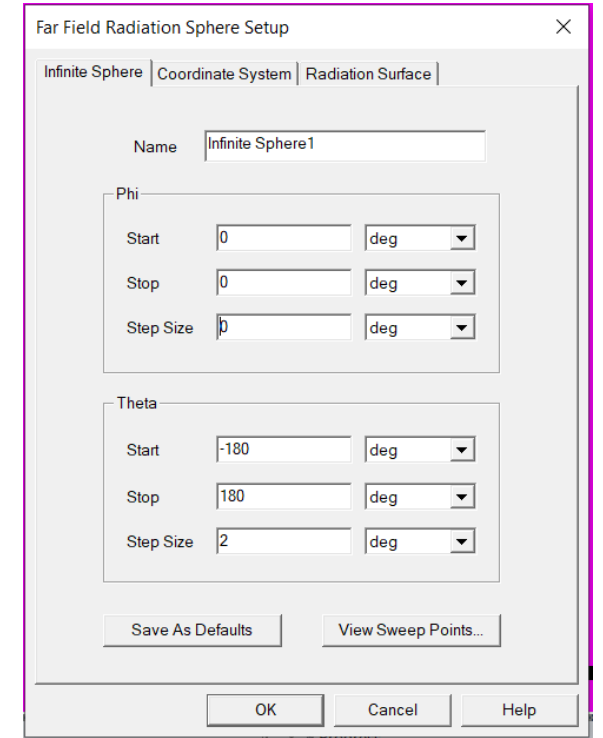
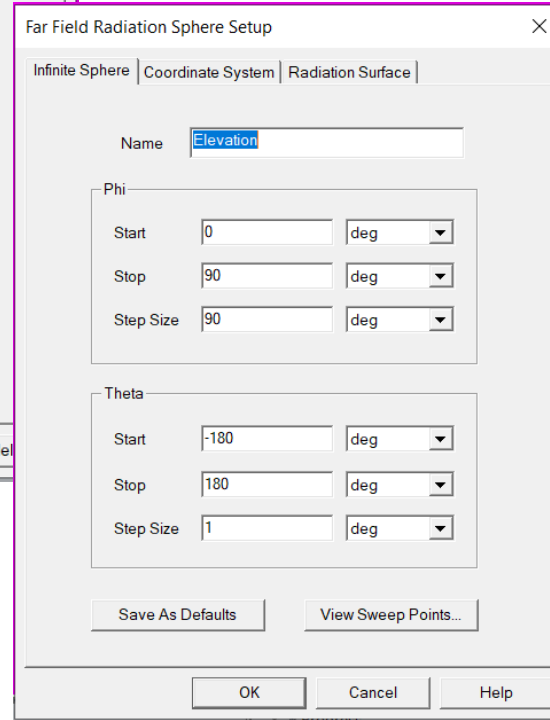
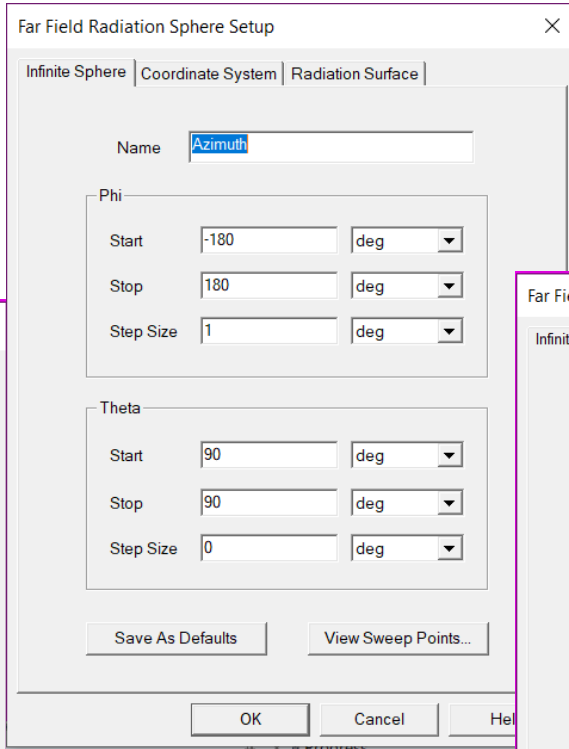
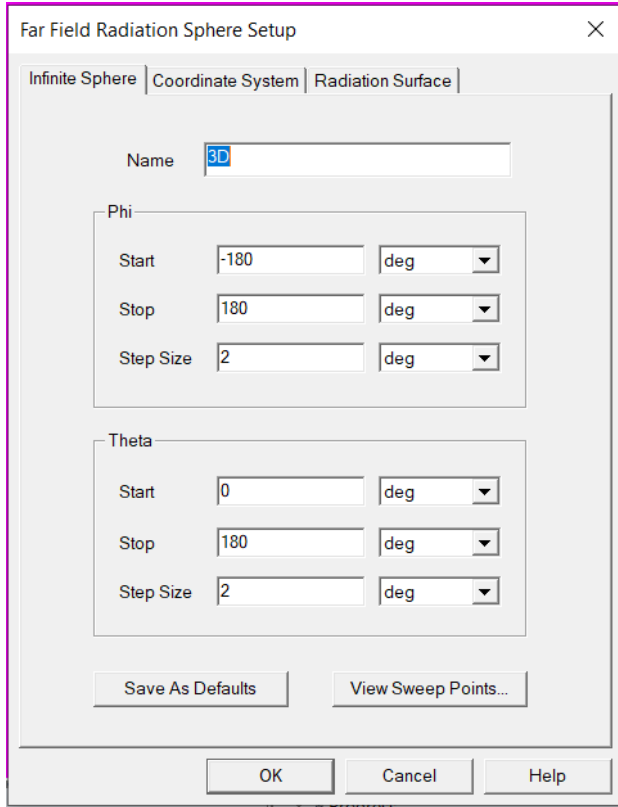
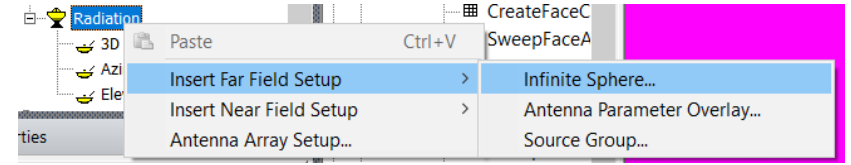
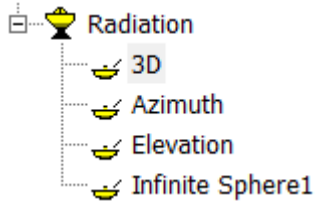


# Setarea parametrilor care se doresc a fi determinați în cadrul lucrării

- Se vor impune setările de rulare/rezolvare/soluționare



# Setarea parametrilor care se doresc a fi determinați în cadrul lucrării



- Se vor rula numeric problema modelată

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

Solutions: dipol - HFSSDesign1

Simulation: Setup1

Design Variation: \$lungimebrat='75mm' \$Raza='1mm' Raza='0.2000000000000001mm'

Profile | Convergence | Matrix Data | Mesh Statistics

Number of Passes	Pass Number	Solved Elements	Max Mag. Delta S
Completed 4	1	8272	N/A
Maximum 10	2	10752	0.1029
Minimum 1	3	13978	0.042204
	4	18173	0.015609

Max Mag. Delta S  
Target 0.02  
Current 0.015609

View: Table

Export...

CONVERGENCE

Consecutive Passes  
Target 1  
Current 1

Default Settings  
Save Defaults

Solutions: dipol - HFSSDesign1

Simulation: Setup1

Design Variation: \$lungimebrat='75mm' \$Raza='1mm' Raza='0.2000000000000001mm'

Profile | Convergence | Matrix Data | Mesh Statistics

Task	Real Time	CPU Time	Memory	
Matrix Assembly	00:00:01	00:00:02	236 M	Disk = 0 Bytes, 18173 tetrahedra, 1 lumped port(s)
Solver DCS4	00:00:10	00:00:17	950 M	Disk = 37.9 MBytes, 1 lumped port(s), 1 lumped port(s), 1 lumped port(s), 1 lumped port(s)
Field Recovery	00:00:00	00:00:00	950 M	Disk = 4.3 MBytes, 1 excitations
Frequency Sweep				Elapsed time: 00:00:14
Simulation Sum...				
Design Validation				Elapsed time: 00:00:00, total memory: 74.7 MB
Adaptive Meshing				Elapsed time: 00:00:23, total memory: 0.818 GB
Frequency Sweep				Elapsed time: 00:00:14, total memory: 0.9272 GB
Solution Process				Elapsed time : 00:00:38 , Hfss ComEngine Memory : 84.5 M
Total				Time: 02/04/2022 13:22:55, Status: Normal Completion

Export...

Close

Solutions: dipol - HFSSDesign1

Simulation: Setup1

Design Variation: \$lungimebrat='75mm' \$Raza='1mm' Raza='0.2000000000000001mm'

Profile | Convergence | Matrix Data | Mesh Statistics

Total number of elements: 24132

	Num Tets	Min edge length	Max edge length	RMS edge length	Min tet vol	Max tet vol	Mean tet vol	Std Devn (vol)
brat1	2985	0.539594	5.99702	2.42151	2.16764e-05	1.21917	0.0778314	0.0958241
brat2	2974	0.539594	5.99702	2.42004	2.25268e-05	1.21917	0.0781178	0.0948682
Cylinder1	165	0.881139	4	1.84989	0.00473726	0.464419	0.0742174	0.0626858
PML_RadiatingSurface_1	181	37.2269	107.48	68.2432	2890.05	46258.5	12380	8274.97
PML_RadiatingSurface_2	151	41.1442	107.48	71.3888	3973.01	46683	14839.6	9557.01
PML_RadiatingSurface_3	526	26.2469	117.964	56.8957	888.514	67011.3	8520.09	9179.78
PML_RadiatingSurface_4	521	25.643	131.551	57.7636	824.445	60844.8	8601.86	9214.19
PML_RadiatingSurface_5	522	28.2424	127.063	58.0071	1184.28	66107.6	8585.38	9020.68
PML_RadiatingSurface_6	549	24.4753	123.061	57.9213	892.532	72268	8163.15	8647.26
PML_RadiatingSurface_7	73	42.5668	123.217	80.6503	3643.58	62009.7	19586	18371.3
PML_RadiatingSurface_8	84	34.9777	123.217	74.3912	3418.31	59574.1	17021.2	18983.7
PML_RadiatingSurface_9	79	46.6679	123.217	76.8832	3510.86	59574.1	18098.5	19218.3
PML_RadiatingSurface_10	78	47.6043	123.217	77.2713	3258.69	59574.1	18330.5	19148.4
PML_RadiatingSurface_11	60	48.4934	123.217	87.4027	4912.49	64208.6	23829.7	19145.1
PML_RadiatingSurface_12	75	48.4934	123.217	77.7002	3587.39	59574.1	19063.7	19196.9
PML_RadiatingSurface_13	76	48.4934	123.217	78.3036	6076.36	59574.1	18812.9	17614
PML_RadiatingSurface_14	65	57.2012	123.217	82.1958	6719.51	59781	21996.6	19101.7
PML_RadiatingSurface_15	186	36.6	133	73.6402	2281.27	116543	15374	17215.5
PML_RadiatingSurface_16	188	33.7441	152	75.9999	1981.01	108382	15210.4	17399.7
PML_RadiatingSurface_17	183	31.524	157.031	73.6155	1614.74	113314	15626	18648.5
PML_RadiatingSurface_18	182	32.3246	132.217	73.9385	1727.24	85907.3	15711.9	15240.7
PML_RadiatingSurface_19	29	48.4934	137.16	92.3998	4751.57	90193.3	31458.7	31438.1
PML_RadiatingSurface_20	29	48.4934	137.16	92.3998	4751.57	90193.3	31458.7	31438.1
PML_RadiatingSurface_21	32	34.29	137.16	90.2094	4751.57	79480.5	28509.4	27039.8
PML_RadiatingSurface_22	32	34.29	137.16	90.2094	4751.57	79480.5	28509.4	27039.8
PML_RadiatingSurface_23	29	48.4934	137.16	92.3998	4751.57	90193.3	31458.7	31438.1
PML_RadiatingSurface_24	26	65.5003	137.16	97.5172	9071.27	79480.5	35088.5	26379.3
PML_RadiatingSurface_25	29	48.4934	137.16	92.3998	4751.57	90193.3	31458.7	31438.1
PML_RadiatingSurface_26	26	65.5003	137.16	97.5172	9071.27	79480.5	35088.5	26379.3
RadiatingSurface	13997	0.690335	76	17.0365	3.68163e-05	28589.7	501.76	1778.49

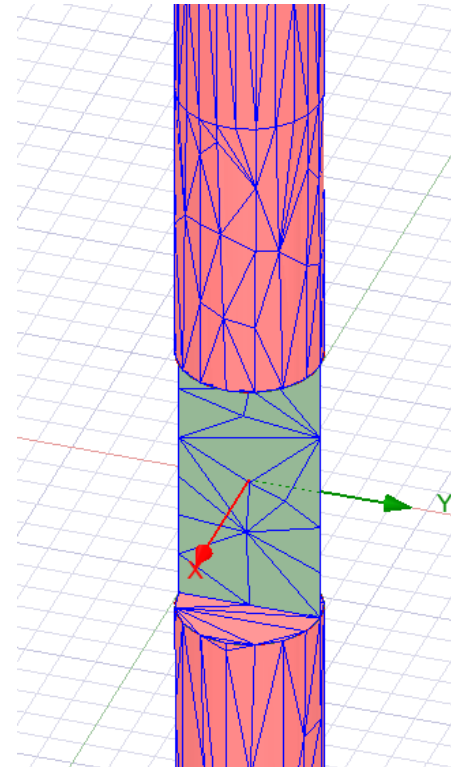
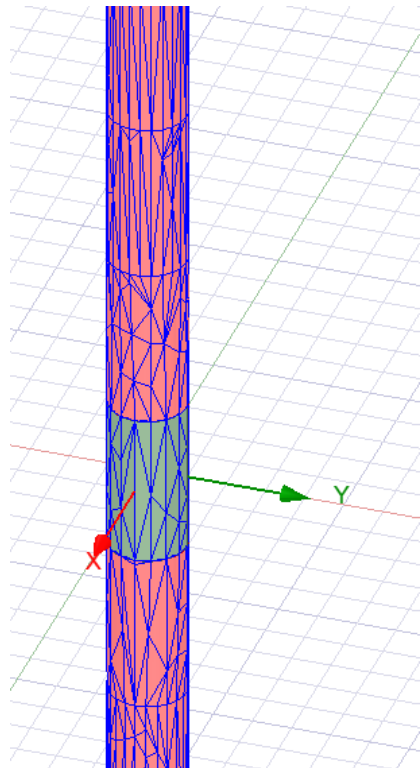
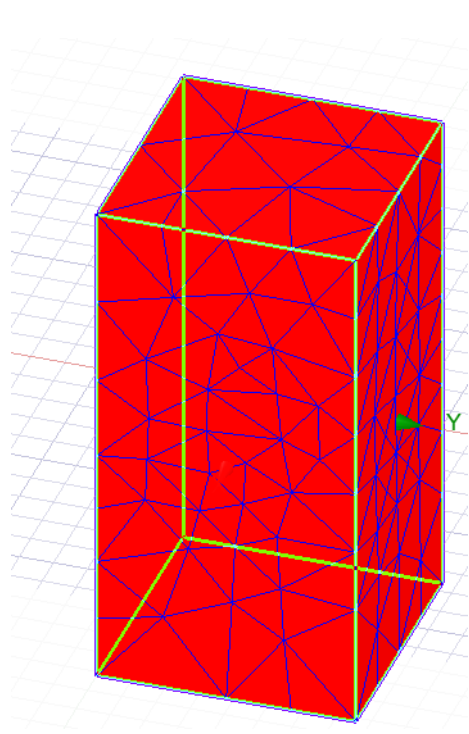
Export...

Close

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Meshul creat pentru proiectul analizat

- Pentru a observa Mesh-ul creat vom da click dreapta pe zona de lucru și vom alege Plot Mesh după ce am selectat geometria pentru care se dorește a fi reprezentat.



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea parametrilor S

HFSS Tools Window Help

- Solution Type...
- List...
- Validation Check...
- Analyze All
- Submit Job...
- Edit Notes...
- Toolkit >
- 3D Model Editor
- Set Object Temperature...
- Design Settings...
- Model >
- Boundaries >
- Excitations >
- Hybrid >
- Mesh >
- Analysis Setup >
- Optimetrics Analysis >
- Fields >
- Radiation >
- Results >
- Boundary Display (Solver View)
- Design Properties...
- Design Datasets...

- Create Modal Solution Data Report >
  - Rectangular Plot
- Create Fields Report >
- Create Report From File...
- Delete All Reports
- Report Templates >
- User Defined Solutions...
- Create User Defined Solution >
- Dataset Solutions...
- Output Variables...

Report: dipol - HFSSDesign1 - New Report - New Trace(s)

Context

Solution: Setup1 : Sweep

Domain: Sweep

TDR Options...

Trace Families Families Display

Primary Sweep: Freq All

X:  Default Freq

Y: dB(S(1,1)) Range Function...

Category:	Quantity:	Function:
Variables	S(1,1)	<none>
Output Variables		ang_deg
S Parameter		ang_deg_val
Y Parameter		ang_rad
Z Parameter		arg
VSWR		cang_deg
Gamma		cang_deg_val
Port Zo		cang_rad
Lambda		dB
Epsilon		dB10normalize
Group Delay		dB20normalize
Active S Parameter		dBc
Active Y Parameter		im
Active Z Parameter		mag
Active VSWR		normalize
Passivity		re
Design		

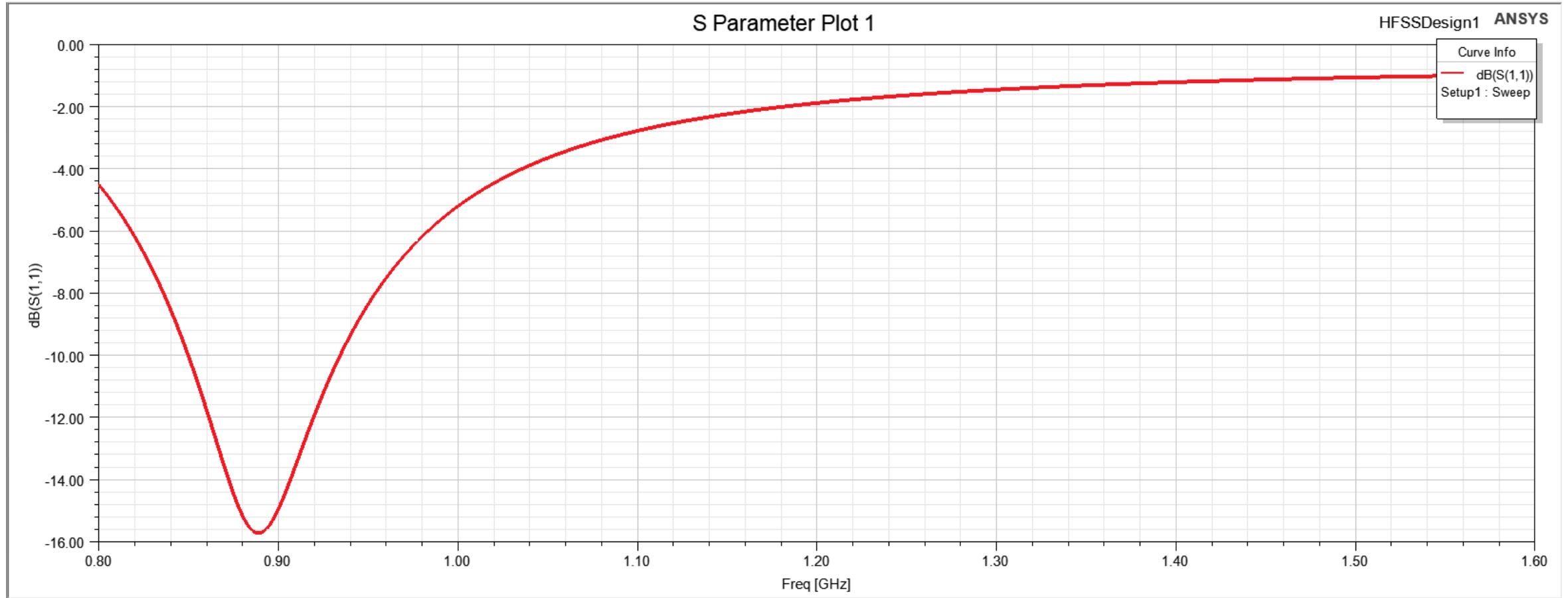
Update Report

Real time Update

Output Variables... Options... New Report Apply Trace Add Trace Close

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea parametrilor S



- Se poate observa că antena nu are frecvența de rezonanță la valoarea dorită, acest lucru datorându-se efectelor de capăt care fac ca antena să pară mai lungă de  $\lambda/2$

# Modificarea lungimii antenei pentru a avea frecvența de rezonanță dorită

- Modeler->Project Variable și modificăm \$lungime cu Edit, după care vo da din nou Analyze All

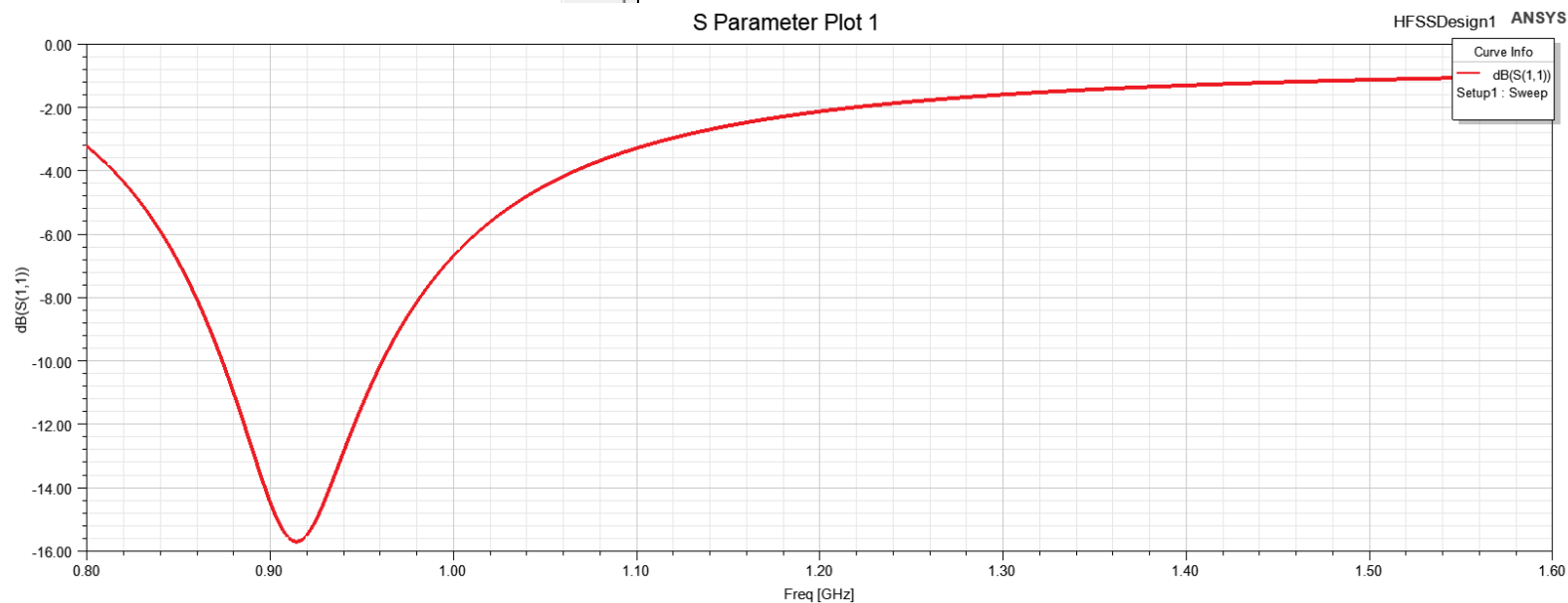
Properties: dipol

Project Variables | Intrinsic Variables | Constants

Value  Optimization / Design of Experiments  Tuning  Sensitivity  Statistics

Name	Value	Unit	Evaluated V...	Description	Read-only	Hidden	Sweep
\$Raza	1	mm	1mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
\$lungimebrat	73	mm	73mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Add... Add Array... Edit... Remove ▾



Determinați dimensiunea pentru ca antena să rezoneze la 1GHz

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Dimensiunea antenei care rezonază la 1GHz

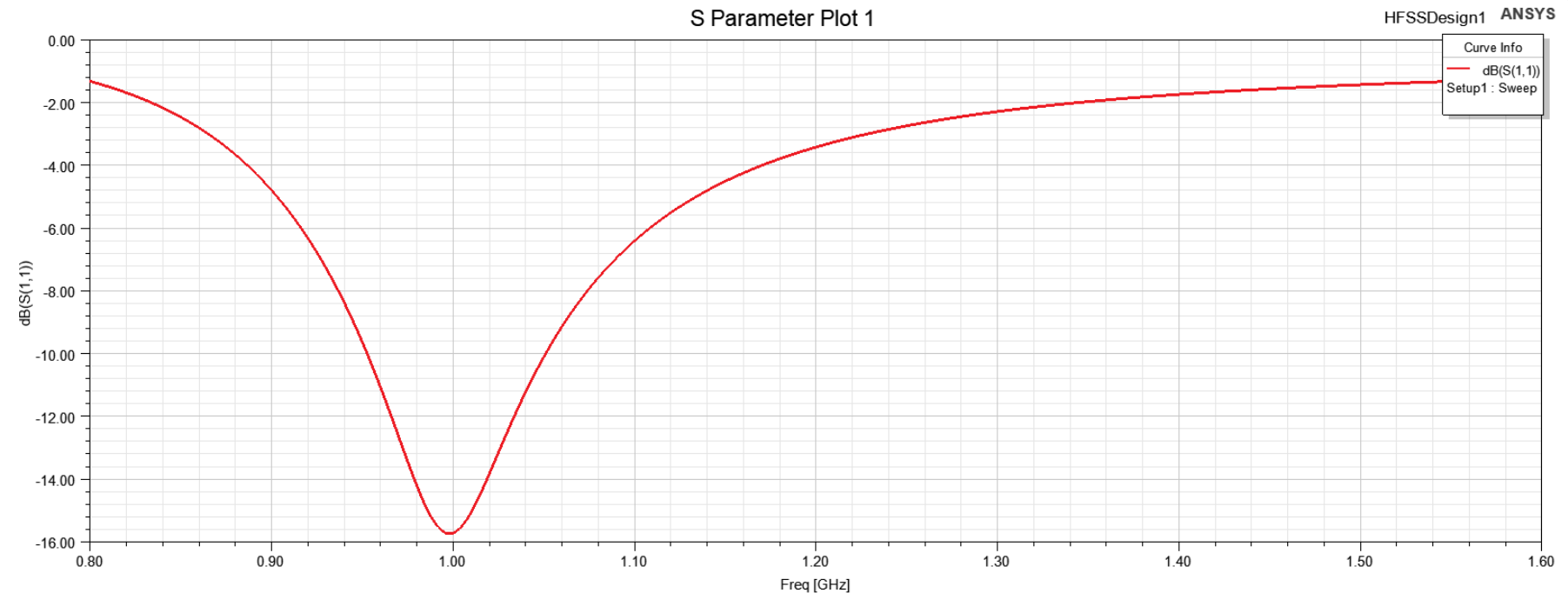
Properties: dipol

Project Variables | Intrinsic Variables | Constants

Value  Optimization / Design of Experiments  Tuning  Sensitivity  Statistics

Name	Value	Unit	Evaluated V...	Description	Read-only	Hidden	Sweep
\$Raza	1	mm	1mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
\$lungimebrat	66.5	mm	66.5mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

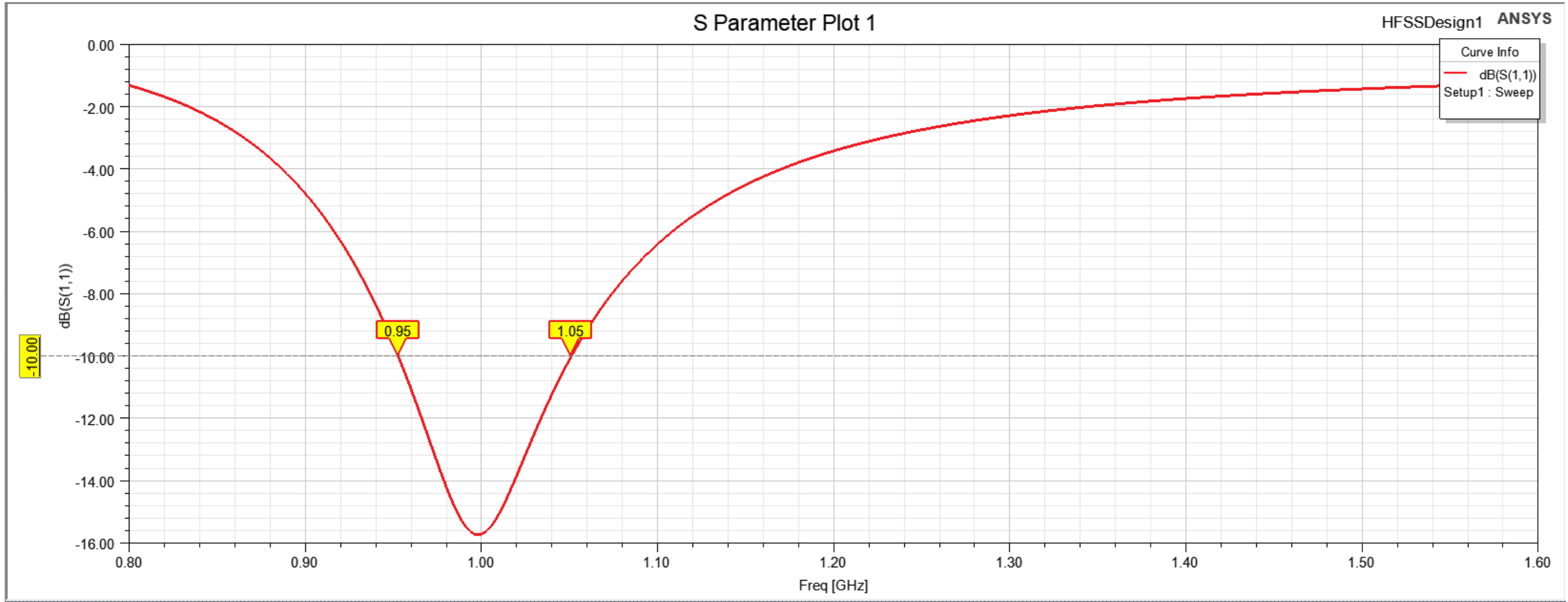
Add... Add Array... Edit... Remove



Care este lățimea de bandă a acestei antene?

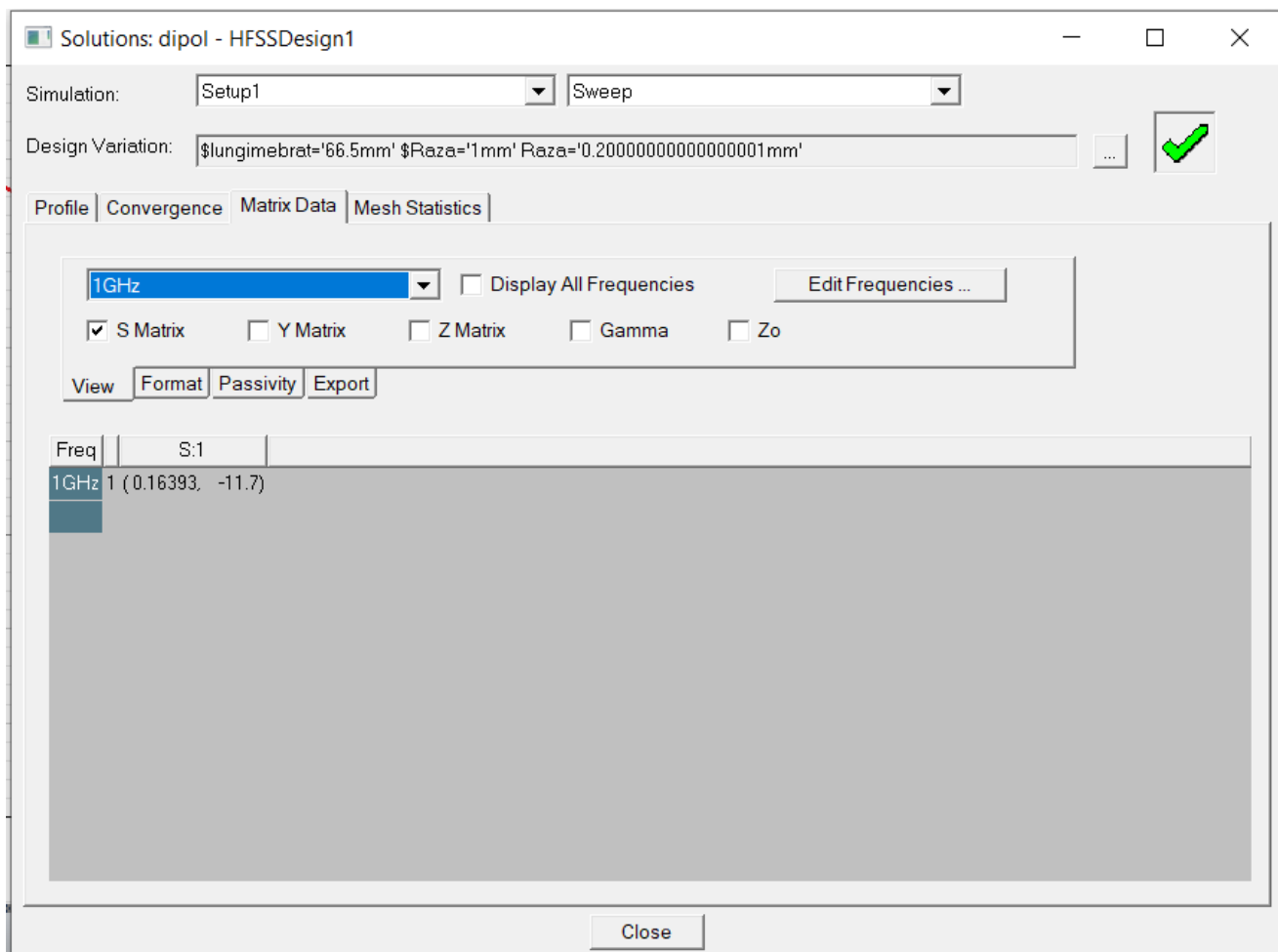
# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Banda de frecvență pe care funcționează antenna



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor Parametrii S pentru această antenă

- Din HFSS->Results vom alege ->Solution Data

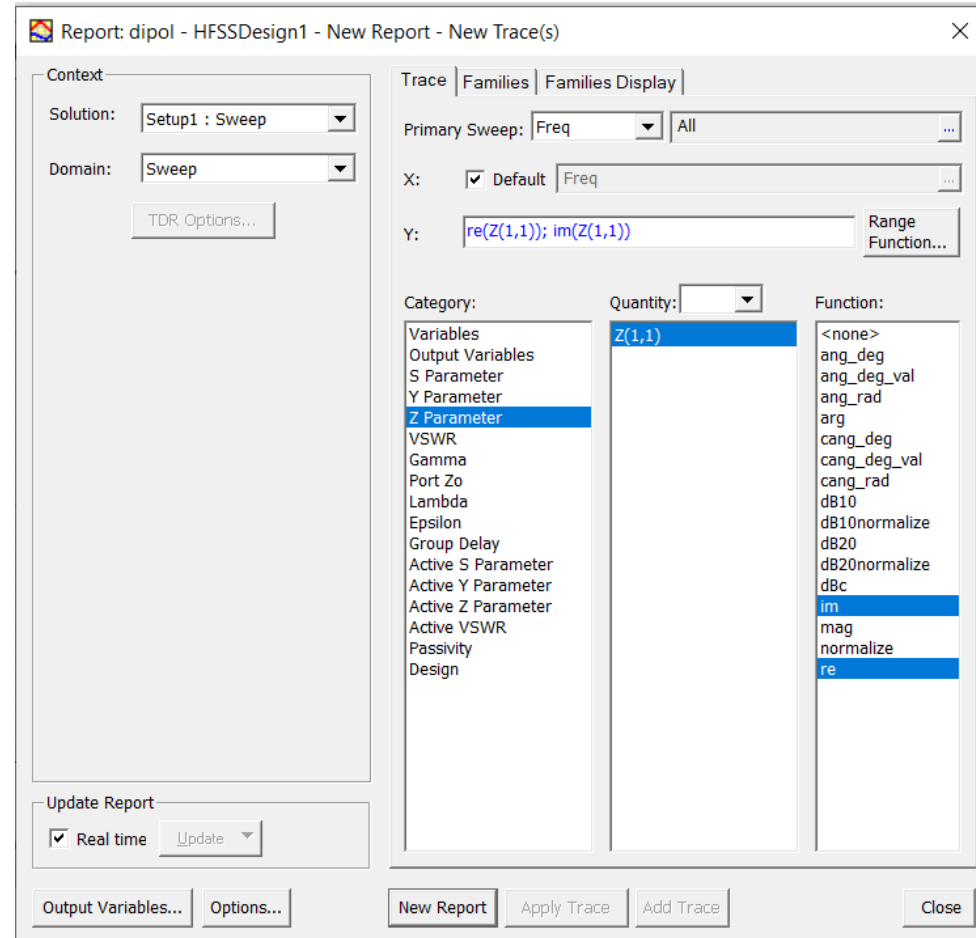
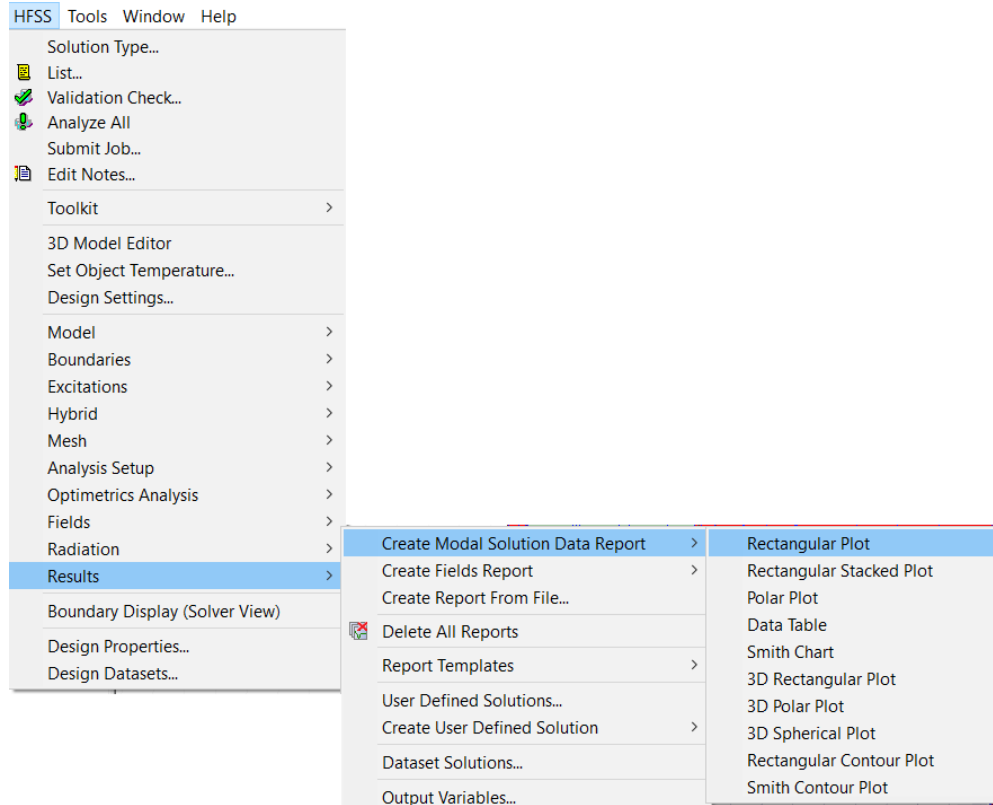


Se modifică matricea parametrilor S odată cu frecvența? Dacă da aflați care este aceasta matrice la 30 GHz



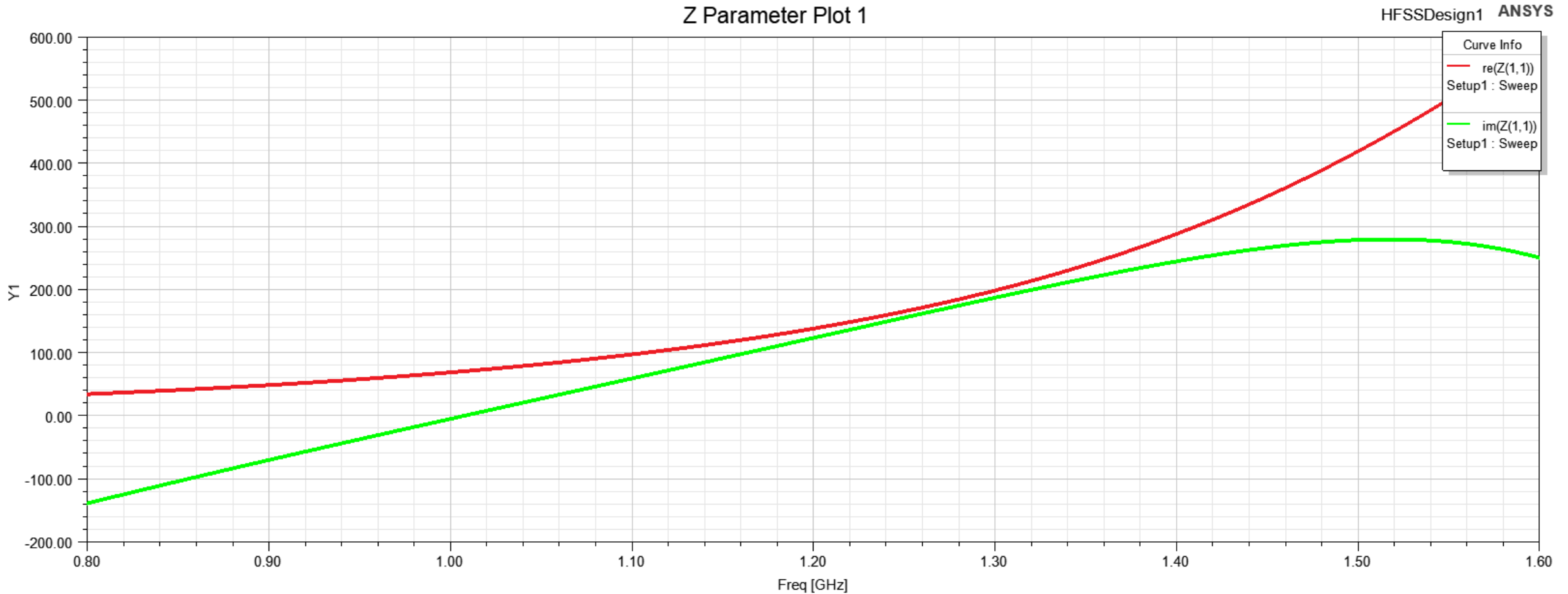
Afișați matricea impedanțelor și admitanțelor, precum și constata de propagare

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor Impedanța – parte reală și imaginară



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Impedanța – parte reală și imaginară

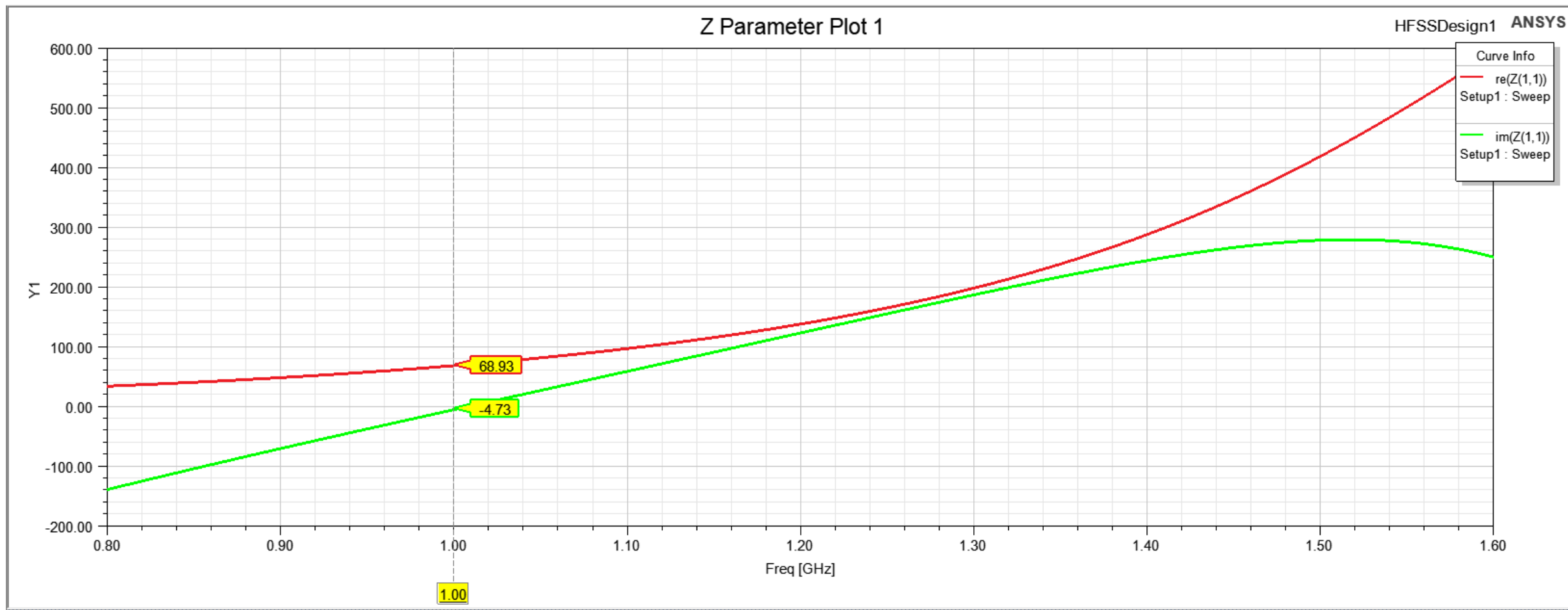


Care este valoarea pentru partea reală și imaginară a impedanței la frecvența de rezonanță?



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Impedanța – parte reală și imaginară



Rezonanța apare la o valoare cât mai aproape de 0 ohmi a reactanței

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea câștigului antenei

- HFSS->Results->Create Far Field Report->3D Polar Plot

Report: dipol - HFSSDesign1 - Gain Plot 4 - dB(GainTotal)

Context

Solution: Setup1 : LastAdaptive

Geometry: 3D

Trace Families

Primary Sweep: Phi All

Secondary Sweep: Theta All

Phi:  Default Phi

Theta:  Default Theta

Mag: dB(GainTotal) Range Function...

Category: Variables

Quantity: GainTotal

Function: <none>

Output Variables

Gain

System Gain

rE

Directivity

Realized Gain

Polarization Ratio

Axial Ratio

Design

GainPhi

GainTheta

GainX

GainY

GainZ

GainLHCP

GainRHCP

GainL3X

GainL3Y

<none>

abs

acos

acosh

ang\_deg

ang\_deg\_val

ang\_rad

asin

asinh

atan

atanh

cos

cosh

cum\_integ

cum\_sum

dB

dB10normalize

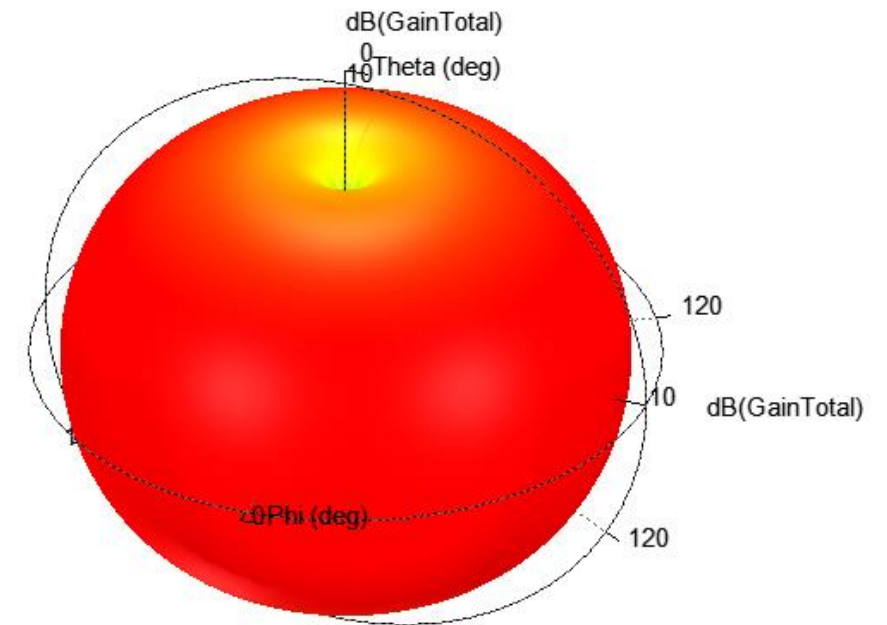
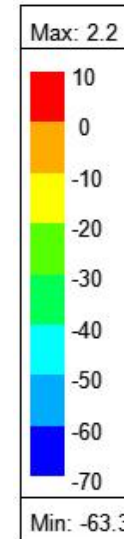
dB20normalize

dBc

Update Report

Real time Update

Output Variables... Options... New Report Apply Trace Add Trace Close



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea câștigului antenei

- Far Field Report 3D polar

Report: dipol - HFSSDesign1 - Gain Plot 12 - GainTotal

Context

Solution: Setup1 : LastAdaptive

Geometry: Azimuth

3D  
Elevation  
Azimuth  
Infinite Sphere1

Trace Families

Primary Sweep: Phi All

Secondary Sweep: Theta All

Phi:  Default Phi

Theta:  Default Theta

Mag: GainTotal

Range Function...

Category: Variables

Quantity: GainTotal

Function: <none>

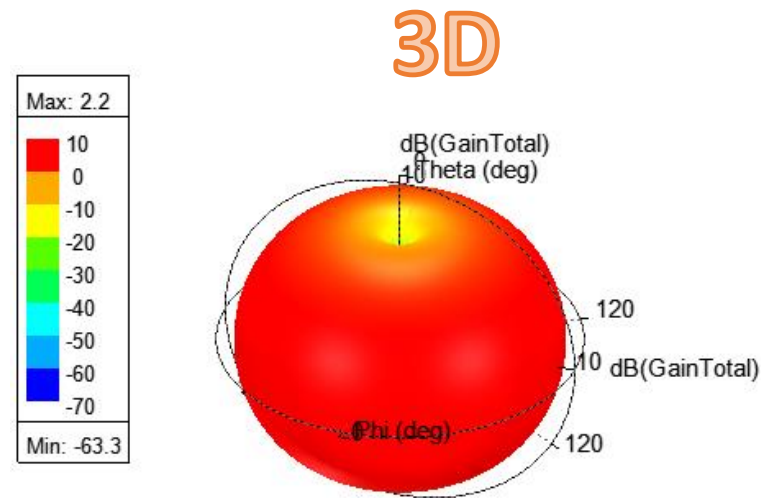
Category	Quantity	Function
Output Variables	GainPhi	abs
Gain	GainTheta	acos
System Gain	GainX	acosh
rE	GainY	ang_deg
Directivity	GainZ	ang_deg_val
Realized Gain	GainLHCP	ang_rad
Polarization Ratio	GainRHCP	asin
Axial Ratio	GainL3X	asinh
Design	GainL3Y	atan
		atanh
		cos
		cosh
		cum_integ

Update Report

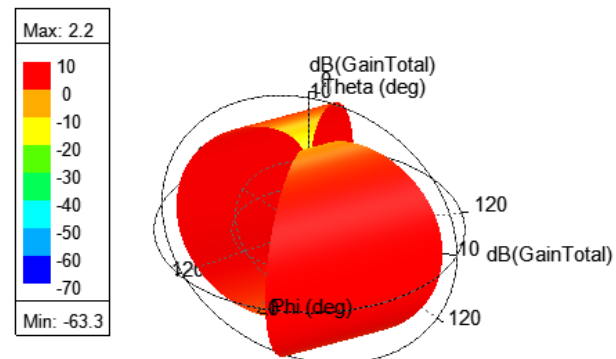
Real time Update

Output Variables... Options...

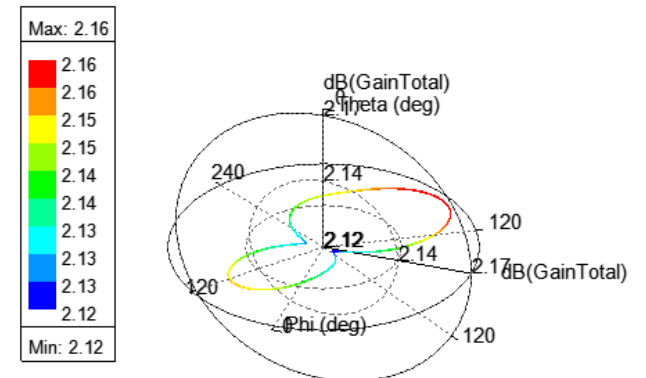
New Report Apply Trace Add Trace Close



Elevation



Azimuth



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor Reprezentarea câștigului antenei

- HFSS->Results->Create Far Field Report->Radiation Pattern

Report: dipol - HFSSDesign1 - Gain Plot 8 - dB(GainTotal)

Context  
Solution: Setup1 : LastAdaptive  
Geometry: Infinite Sphere1

Trace Families Families Display  
Primary Sweep: Theta All  
Ang:  Default Theta  
Mag: dB(GainTotal) Range Function...

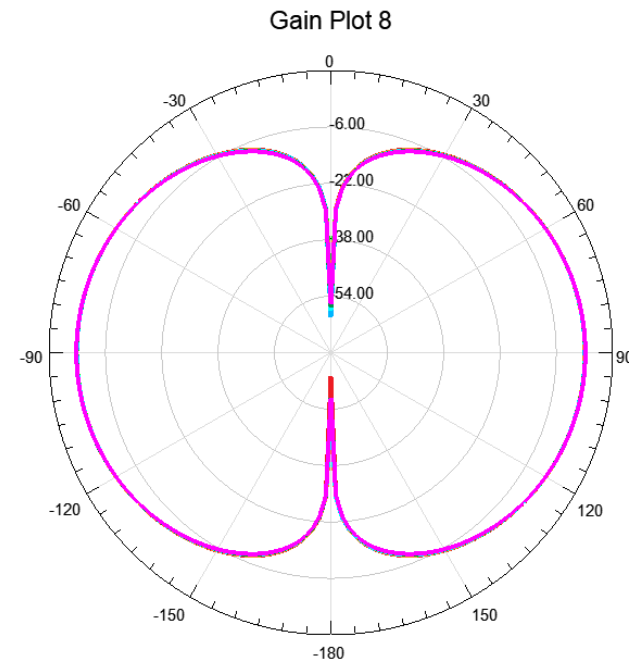
Category: Variables Output Variables Gain System Gain rE Directivity Realized Gain Polarization Ratio Axial Ratio Design

Quantity: GainTotal GainPhi GainTheta GainX GainY GainZ GainLHCP GainRHCP GainL3X GainL3Y

Function: <none> abs acos acosh ang\_deg ang\_deg\_val ang\_rad asin asinh atan atanh cos cosh cum\_integ cum\_sum dB dB10normalize dB20normalize dBc dBm dBW degel deriv even

Update Report  
 Real time Update

Output Variables... Options... New Report Apply Trace Add Trace Close



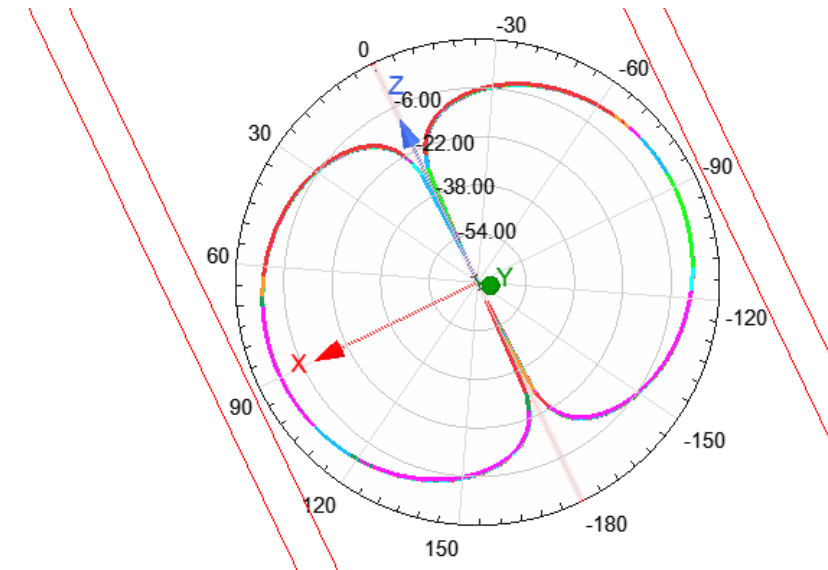
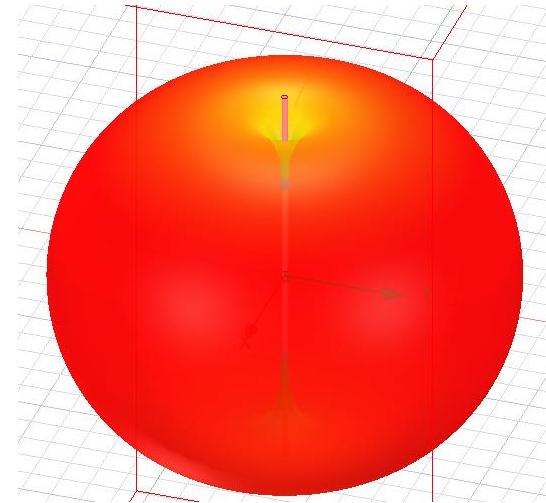
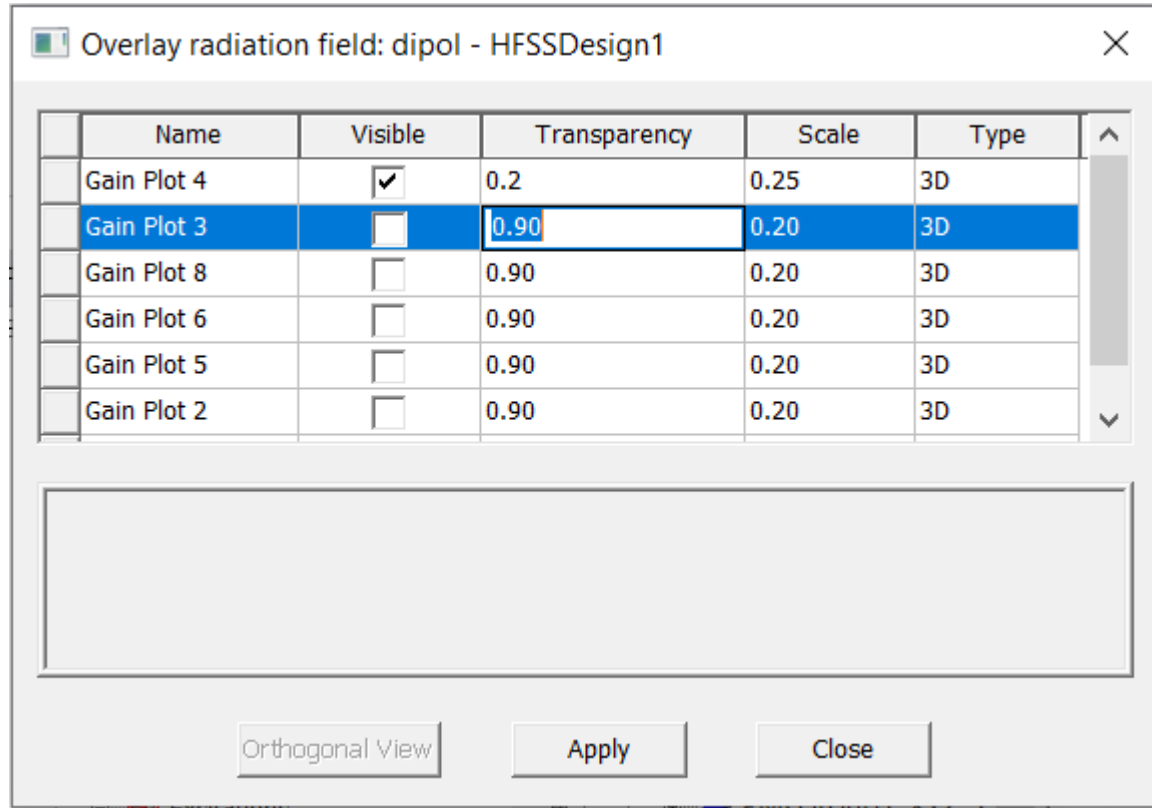
HFSSDesign1 ANSYS

Curve Info	
—	dB(GainTotal) Setup1 : LastAdaptive \$lungimebrat='65mm' Freq='1GHz' Phi='0deg'
—	dB(GainTotal) Setup1 : LastAdaptive \$lungimebrat='66.5mm' Freq='1GHz' Phi='0deg'
—	dB(GainTotal) Setup1 : LastAdaptive \$lungimebrat='67mm' Freq='1GHz' Phi='0deg'
—	dB(GainTotal) Setup1 : LastAdaptive \$lungimebrat='68mm' Freq='1GHz' Phi='0deg'
—	dB(GainTotal) Setup1 : LastAdaptive \$lungimebrat='70mm' Freq='1GHz' Phi='0deg'
—	dB(GainTotal) Setup1 : LastAdaptive \$lungimebrat='73mm' Freq='1GHz' Phi='0deg'
—	dB(GainTotal) Setup1 : LastAdaptive \$lungimebrat='75mm' Freq='1GHz' Phi='0deg'

# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea câștigului antenei în jurul geometriei acesteia

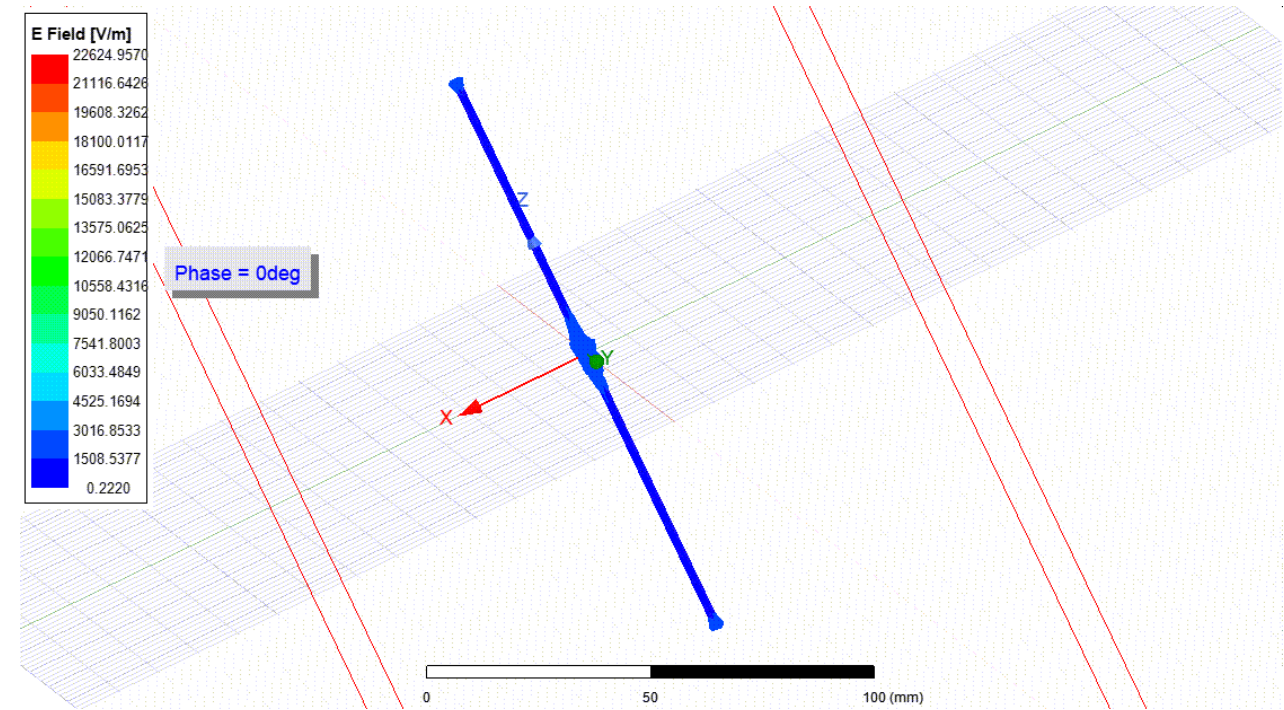
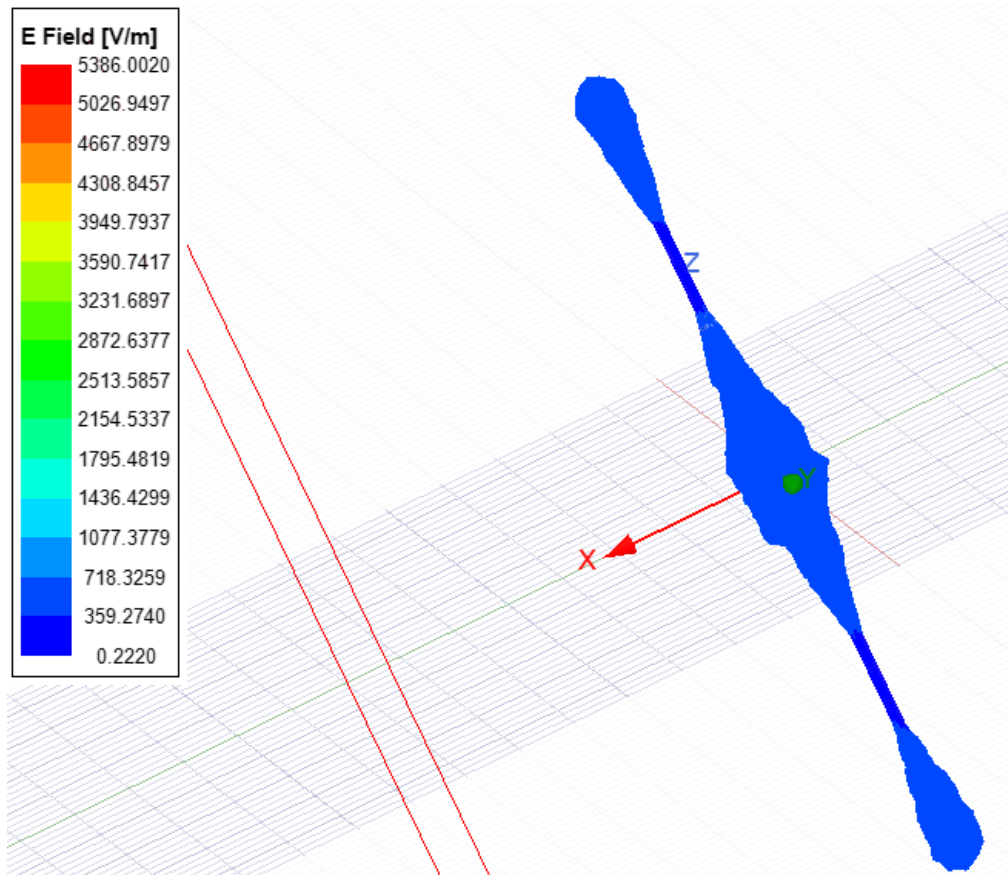
- Click dreapta în fereastra de lucru și se va alege Plot Fields → Radiation Field



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea în cod de culori a câmpului electric în regiunea definită

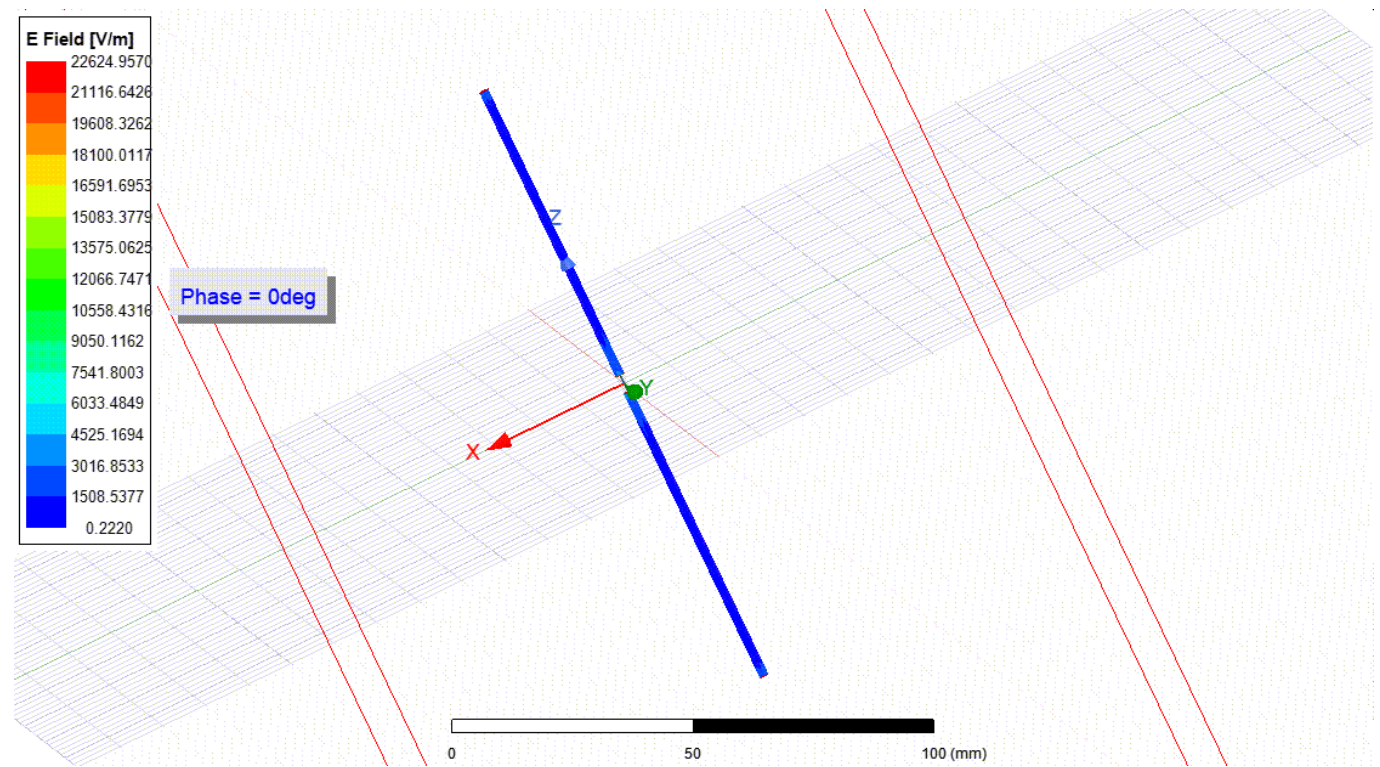
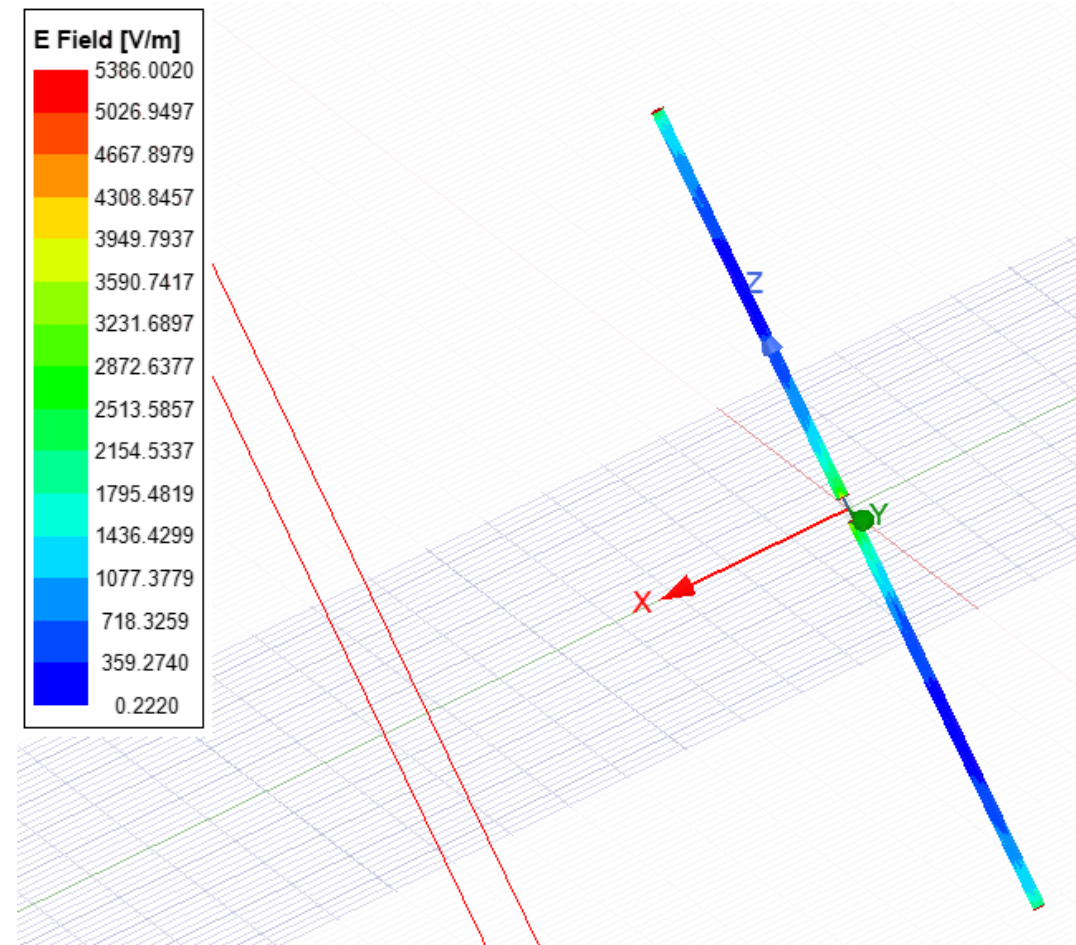
- Plot Fields-> E->Mag\_E după ce am ales regiunea



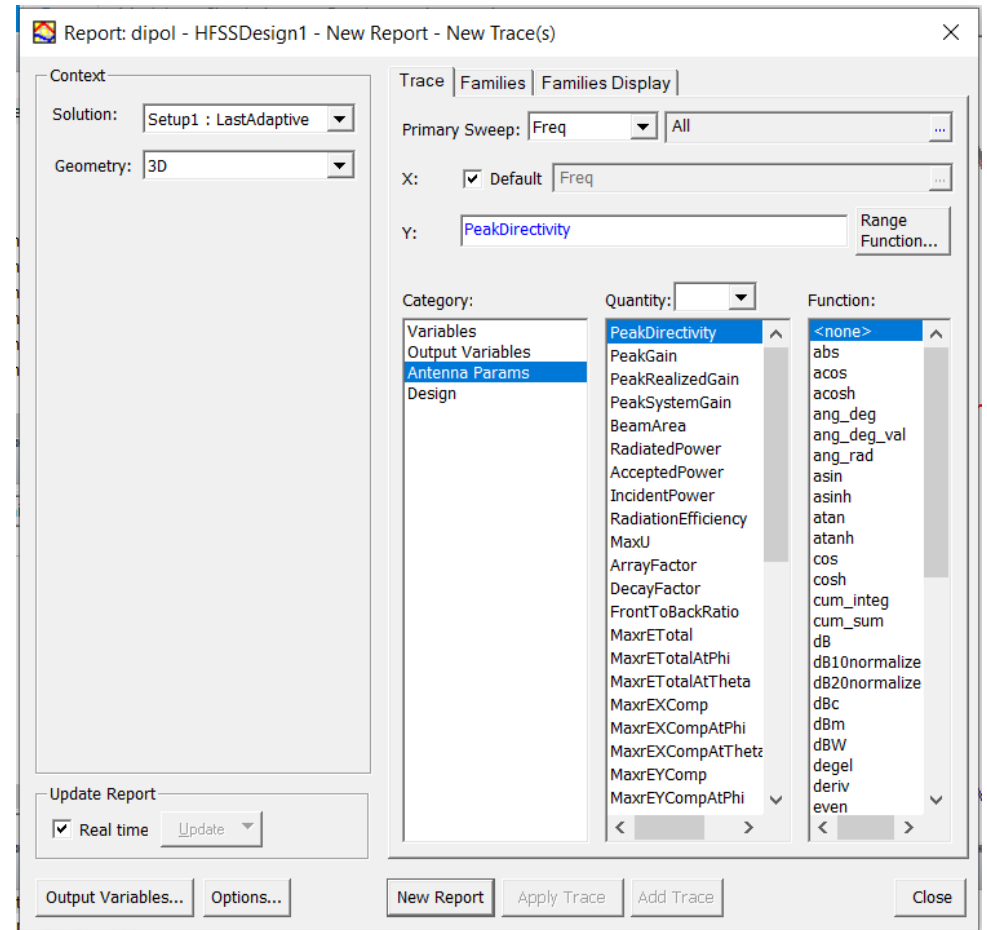
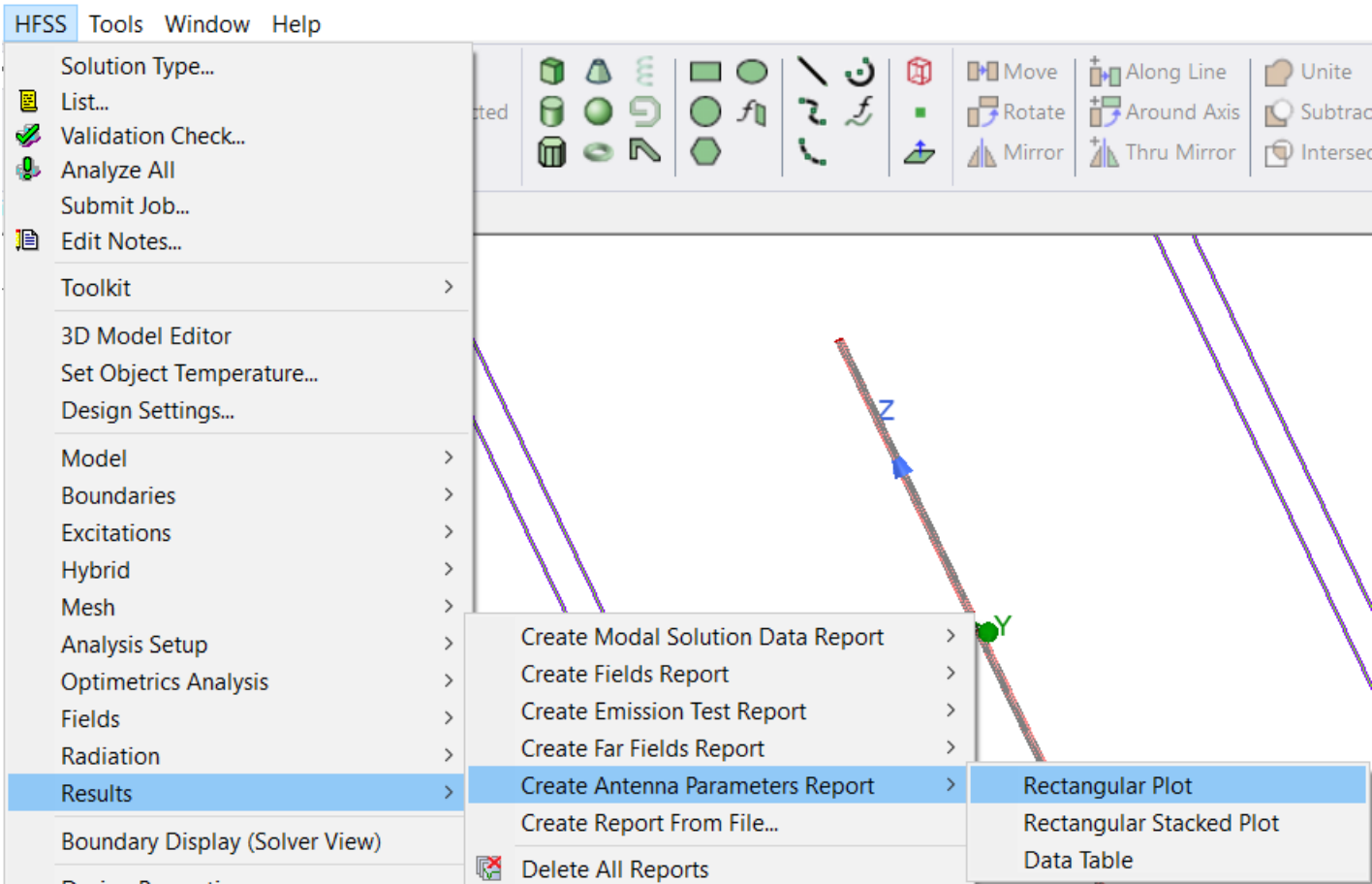
# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor

## Reprezentarea în cod de culori a câmpului electric pe dipol

- Plot Fields-> E->Mag\_E după ce am ales cele 2 brațe ale dipolului



# Culegerea, interpretarea și postprocesarea rezultatelor



Report: dipol - HFSSDesign1 - Gain Plot 21 - GainPhi

Context

Solution: Setup1 : LastAdaptive

Geometry: Azimuth

Trace Families Families Display

Primary Sweep: Phi All

Ang:  Default Phi

Mag: dB(GainPhi) Range Function...

Category: Variables Output Variables Gain System Gain rE Directivity Realized Gain Polarization Ratio Axial Ratio Design

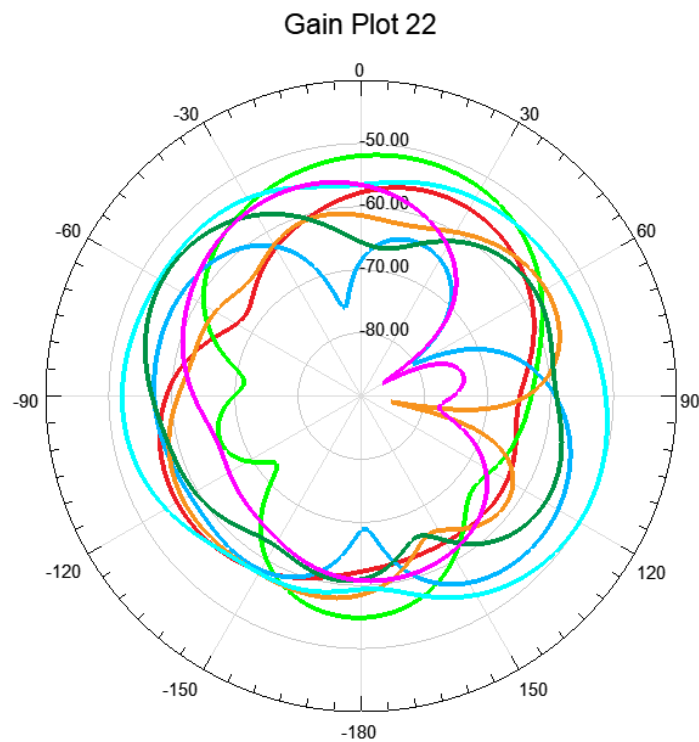
Quantity: GainTotal GainPhi GainTheta GainX GainY GainZ GainLHCP GainRHCP GainL3X GainL3Y

Function: <none> abs acos acosh ang\_deg ang\_deg\_val ang\_rad asin asinh atan atanh cos cosh cum\_integ cum\_sum dB dB10normalize dB20normalize dBc

Update Report

Real time Update

Output Variables... Options... New Report Apply Trace Add Trace Close



HFSSDesign1 ANSYS

Curve Info	
—	dB(GainPhi) Setup1 : LastAdaptive \$lungeimebrat='65mm' Freq='1GHz' Theta='90deg'
—	dB(GainPhi) Setup1 : LastAdaptive \$lungeimebrat='66.5mm' Freq='1GHz' Theta='90deg'
—	dB(GainPhi) Setup1 : LastAdaptive \$lungeimebrat='67mm' Freq='1GHz' Theta='90deg'
—	dB(GainPhi) Setup1 : LastAdaptive \$lungeimebrat='68mm' Freq='1GHz' Theta='90deg'
—	dB(GainPhi) Setup1 : LastAdaptive \$lungeimebrat='70mm' Freq='1GHz' Theta='90deg'
—	dB(GainPhi) Setup1 : LastAdaptive \$lungeimebrat='73mm' Freq='1GHz' Theta='90deg'
—	dB(GainPhi) Setup1 : LastAdaptive \$lungeimebrat='75mm' Freq='1GHz' Theta='90deg'



## Aplicații

- Reprezentați și directivitatea antenei
- Reprezentați și câmpul magnetic în jurul și în interiorul antenei de tip dipol
- Reprezentați grafic și VSWR
- Afișați PeakDirectivity și PeakGain în același tabel
- Reprezentați câștigul pe o secțiune transversală orizontală

### Temă

Construiți o antenă dipol care să funcționeze la 800 MHz urmărind pașii anteriori și determinați parametrii caracteristici

<https://www.usna.edu/EE/ee434/Handouts/EE302%20Lesson%2013%20Antenna%20Fundamentals.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=A5rHkdBMnHI&t=1256s>

<https://www.youtube.com/watch?v=MaZq1fRfHJY>

<https://www.youtube.com/watch?v=dUC720AJvK0>

<https://www.youtube.com/watch?v=92myzcUSwgc>

<https://www.youtube.com/watch?v=7J43EDQZgfs>

<https://www.youtube.com/watch?v=8Kq8htzbBpc>

<https://www.youtube.com/watch?v=UDm8z5REMIE>

<https://www.youtube.com/watch?v=grvDUxa-e5I>