



八木天线介绍

**电子科技大学（深圳）高等研究院
电子产品工业软件研究中心**

2022-05



对称振子天线

对称振子天线是由两根粗细和长度都相同的导线构成，中间为两个馈电端，这是一种应用广泛且结构简单的基本线天线。假如天线上的电流分布是已知的，则由电基本振子的辐射场沿整个导线积分，便得对称振子天线的辐射场。然而，即使振子是由理想导体构成，要精确求解这种几何结构简单、直径为有限值的天线上的电流分布仍然是很困难的。实际上，细振子天线可看成是开路传输线逐渐张开而成。当导线无限细时($1/a \rightarrow \infty$, a 为导线半径)，其电流分布与无耗开路传输线上的完全一致，即按正弦驻波分布。

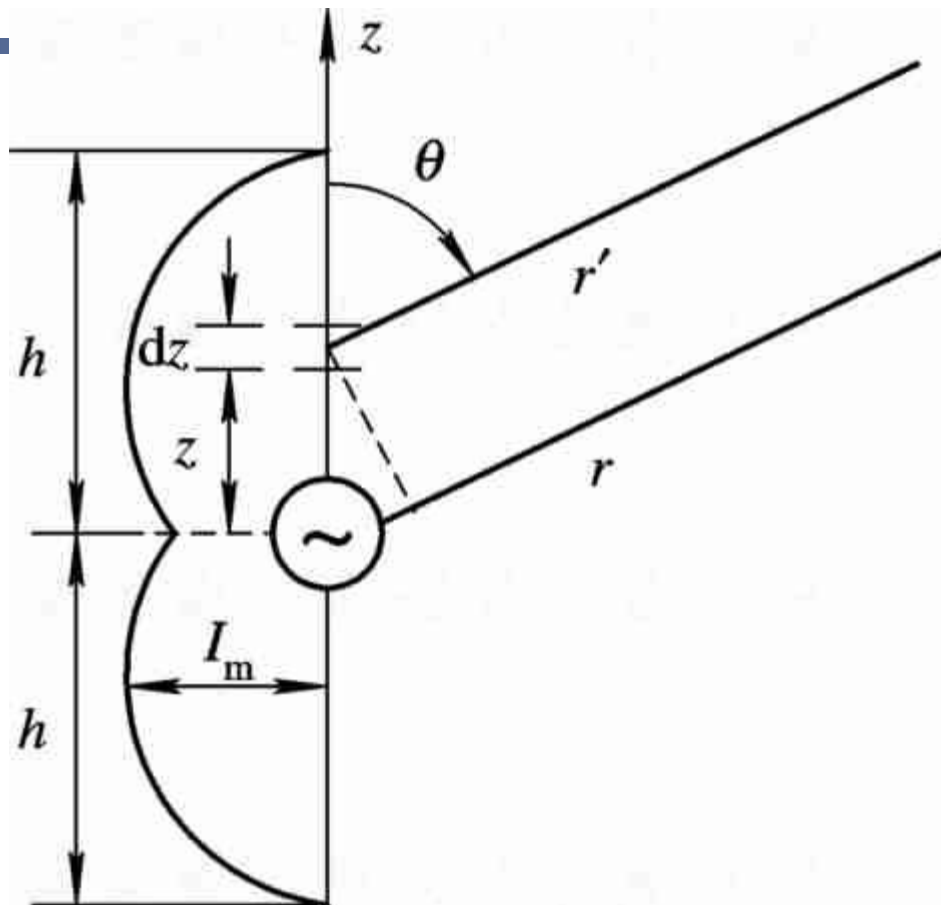


图1

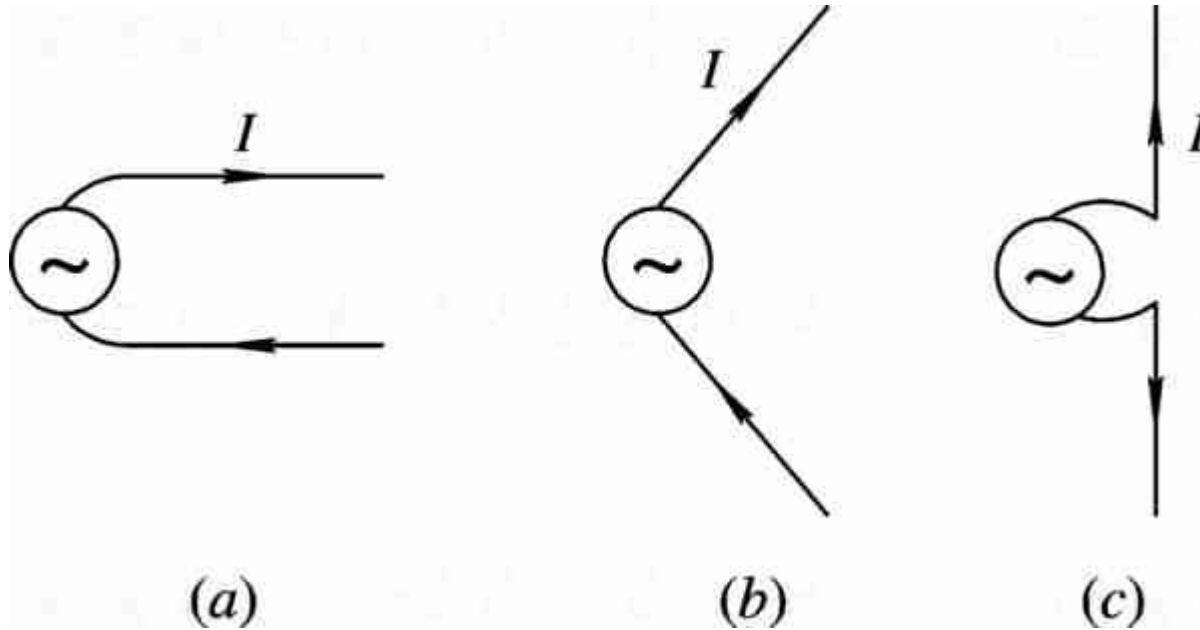


图2 开路传输线与对称振子

(a) 开路传输线；(b) 开路传输线终端张开；(c) 对称振子天线



令振子沿 z 轴放置（图 8 - 1），其上的电流分布为

$$I(z)=I_m \sin \beta(h-|z|) \quad (8-1-1)$$

式中, β 为相移常数, $\beta=k=\frac{2\pi}{\lambda_0}=\frac{\omega}{c}$

在距中心点为 z 处取电流元段 dz , 则它对远区场的贡献为

$$dE_{\theta} = j \frac{60\pi}{\lambda} \sin \theta I_m \sin \beta(h-|z|) \frac{e^{-j\beta r'}}{r'} dz \quad (8-1-2)$$

在远区, 由于 $r \gg h$, 参照图 8 - 1, 则 r' 与 r 的关系为

$$r'=(r^2+z^2-2rz \cos \theta)^{1/2} \approx r-z \cos \theta \quad (8-1-3)$$



则细振子天线的辐射场为

$$\begin{aligned} E_{\theta} &= j \frac{I_m 60\pi}{\lambda} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \sin \theta \int_{-h}^h \sin \beta(h - |z|) e^{-j\beta z \cos \theta} dz \\ &= j \frac{I_m 60\pi}{\lambda} \frac{e^{-j\beta r}}{r} 2 \sin \theta \int_0^h \sin \beta(h - z) \cos(\beta z \cos \theta) dz \\ &= j \frac{60 I_m}{r} e^{-j\beta r} F(\theta) \end{aligned} \quad (8-1-4)$$

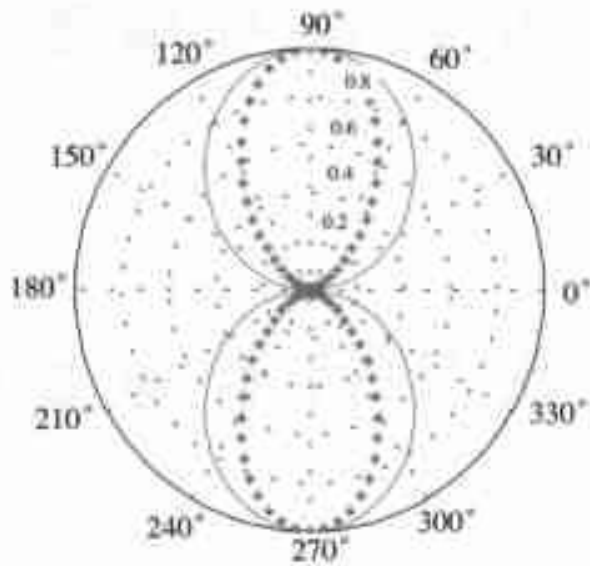
式中,

$$F(\theta) = \frac{\cos(\beta h \cos \theta) - \cos \beta h}{\sin \theta} \quad (8-1-5)$$



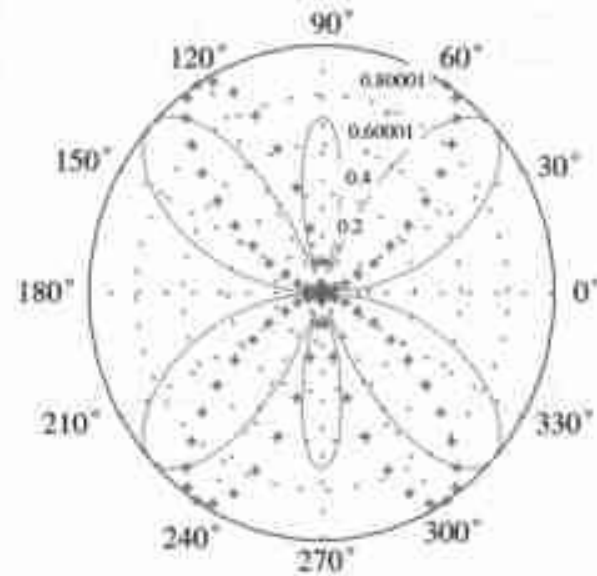
$|F(\theta)|$ 是对称振子的 E 面方向函数,它描述了归一化远区场 $|E_\theta|$ 随 θ 角的变化情况。图8 - 3 分别画出了四种不同电长度（相对于工作波长的长度）： $\frac{2h}{\lambda} = \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}$ 和2的对称振子天线的归一化 E 面方向图,其中 $\frac{2h}{\lambda} = \frac{1}{2}$ 和 $\frac{2h}{\lambda} = 1$ 的对称振子分别为半波对称振子和全波对称振子,最常用的是半波对称振子。由方向图可见,当电长度趋近于 $3/2$ 时,天线的最大辐射方向将偏离 90° ,而当电长度趋近于2时,在 $\theta=90^\circ$ 平面内就没有辐射了。

由于 $|F(\theta)|$ 不依赖于 φ ,所以 H 面的方向图为圆。



— 表示 $\frac{2h}{\lambda} = \frac{1}{2}$

*** 表示 $\frac{2h}{\lambda} = 1$



— 表示 $\frac{2h}{\lambda} = \frac{3}{2}$

*** 表示 $\frac{2h}{\lambda} = 2$

图3 对称振子天线的归一化E面方向图



对称振子的辐射功率为

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= \frac{r^2 |E_{\max}|^2}{240\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} |F(\theta)|^2 \sin \theta \, d\theta \, d\varphi \\ &= \frac{r^2}{240\pi} \frac{60^2 I_m^2}{r^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} |F(\theta)|^2 \sin \theta \, d\theta \, d\varphi \end{aligned}$$

化简后得

$$P_{\Sigma} = \frac{15}{\pi} I_m^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} |F(\theta)|^2 \sin \theta \, d\theta \, d\varphi$$



将式(8-1-6)代入式(6-3-10)得对称振子的辐射电阻为

$$R_{\Sigma} = \frac{30}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} |F(\theta)|^2 \sin \theta \, d\theta \, d\varphi \quad (8-1-7)$$

将式（8 -1 -5）代入上式得

$$R_{\Sigma} = 60 \int_0^{\pi} \frac{[\cos(\beta h \cos \theta) - \cos \beta h]^2}{\sin \theta} d\theta \quad (8-1-8)$$

图 4 给出了对称振子的辐射电阻 R_{Σ} 随其臂的电长度 h/λ 的变化曲线。

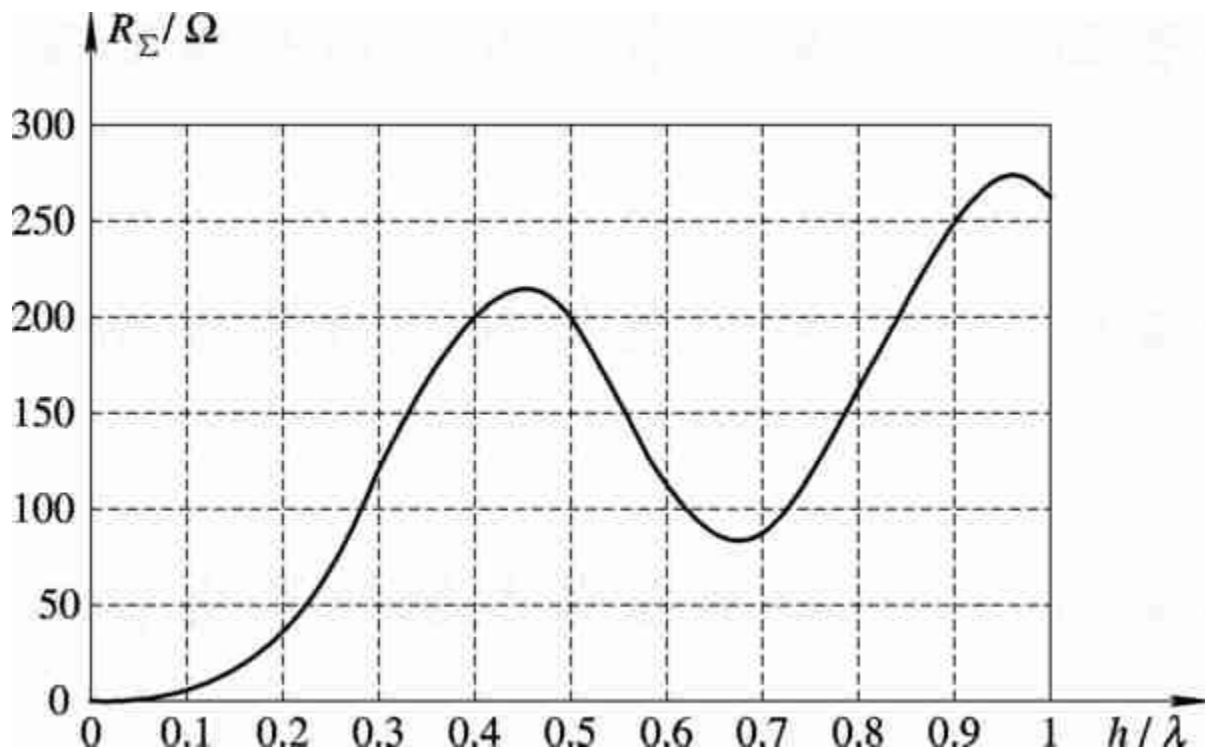


图 4 对称振子的辐射电阻与 h/λ 的关系曲线



1. 半波振子的辐射电阻及方向性

将 $\beta h=2\pi h/\lambda=\pi/2$ 代入式 (8-1-5) 即得半波振子的 E 面方向图函数为

$$F(\theta) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta} \quad (8-1-9)$$

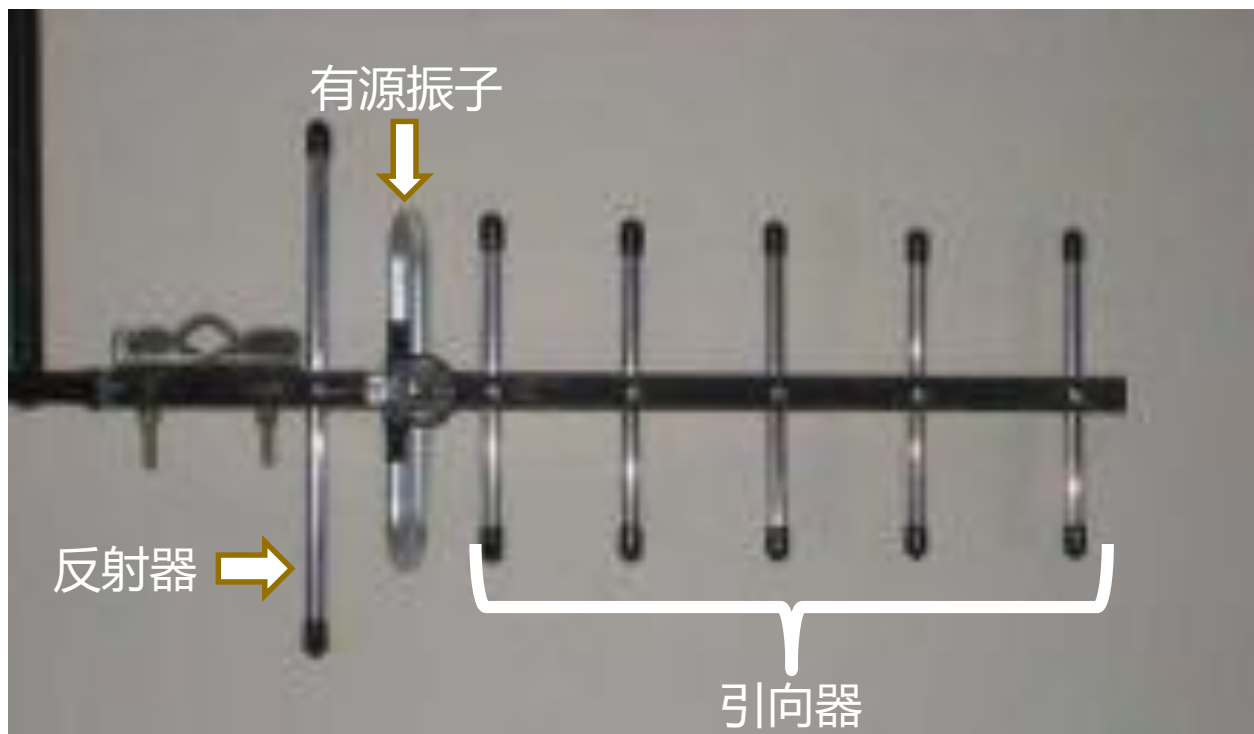
该函数在 $\theta=90^\circ$ 处具有最大值 (为1), 而在 $\theta=0^\circ$ 与 $\theta=180^\circ$ 处为零, 相应的方向图如图 3 所示。将上式代入式 (8 -1 -7) 得半波振子的辐射电阻为

$$R_\Sigma=73.1 (\Omega) \quad (8-1-10)$$



八木-宇田天线简介

八木-宇田天线又称为引向天线，由一个有源振子（称为馈电元）和平行的若干无源振子（成为寄生源）组成，其中有源振子后端的一个无源振子作为反射器，有源振子前端的若干无源振子作为引向器。



八木-宇田天线



1) 工作原理

由天线阵理论可知，排阵可以增强天线的方向性，而改变各单元天线的电流分配比可以改变方向图的形状，以获得所要的方向性。引向天线实际上也是一个天线阵，与前述的天线阵相比，不同的是：它只对其中的一个振子馈电，其余振子则是靠与馈电振子之间的近场耦合所产生的感应电流来激励的，而感应电流的大小取决于各振子的长度及其间距，因此调整各振子的长度及间距可以改变各振子之间的电流分配比，从而达到控制天线方向性的目的。如前所述，分析天线的方向性，必须首先求出各振子的电流分配比，即振子上的电流分布，但对于多元引向天线，要计算各振子上的电流分布是相当繁琐的。我们仅以二元阵(见图 10)为例来说明引向天线的工作原理。

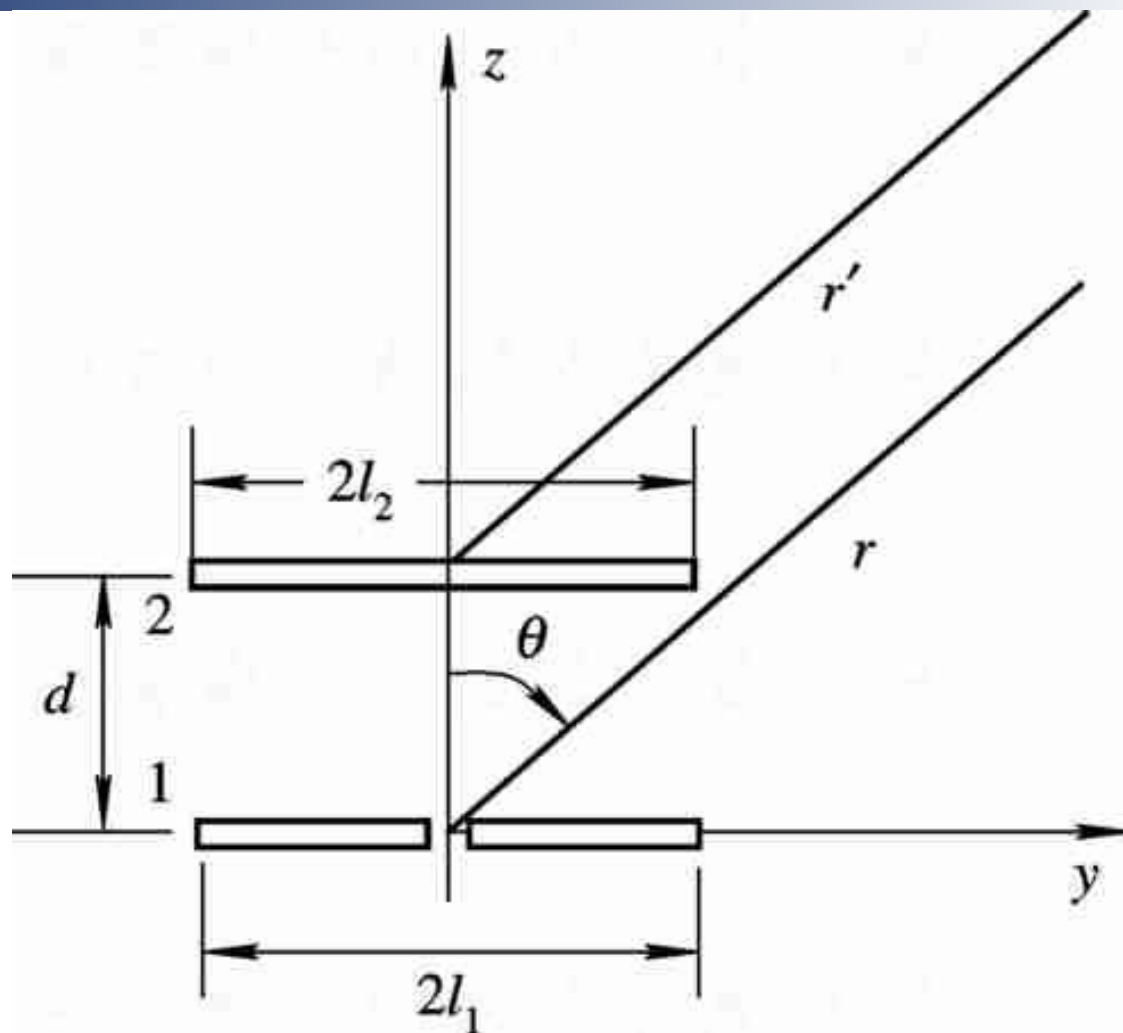


图 10 二元引向天线



设振子“1”为有源振子，“2”为无源振子，两振子沿y向放置，沿z轴排列，间距为 d ，并假设振子电流按正弦分布，其波腹电流表达式分别为

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= I_0 \\ I_2 &= mI_0 e^{j\zeta} \end{aligned} \right\} \quad (8-4-1)$$

式中， m 为两振子电流的振幅比； ζ 为两振子电流的相位差。它们均取决于振子的长度及其间距。

根据天线阵理论，此二元引向天线的辐射场为

$$E = E_1 + E_2 \approx E_1 [1 + m e^{j(kd \cos \theta + \xi)}] = \frac{60 I_1}{r} F_1(\theta) \cdot F_2(\theta) \quad (8-4-2)$$



式中, $F_1(\theta)$ 为有源对称振子的方向函数; $F_2(\theta)$ 为二元阵阵因子方向函数。

显然有

$$F_2(\theta)=1+me^{j(kd \cos\theta+\zeta)} \quad (8-4-3)$$



CST天线设计

八木天线设计

**电子科技大学（深圳）高等研究院
电子产品工业软件研究中心**

2022-05



设计目标:

(1) 天线谐振在 $f_0 = 315\text{MHz}$

(2) 天线增益 $> 8.5\text{dBi}$

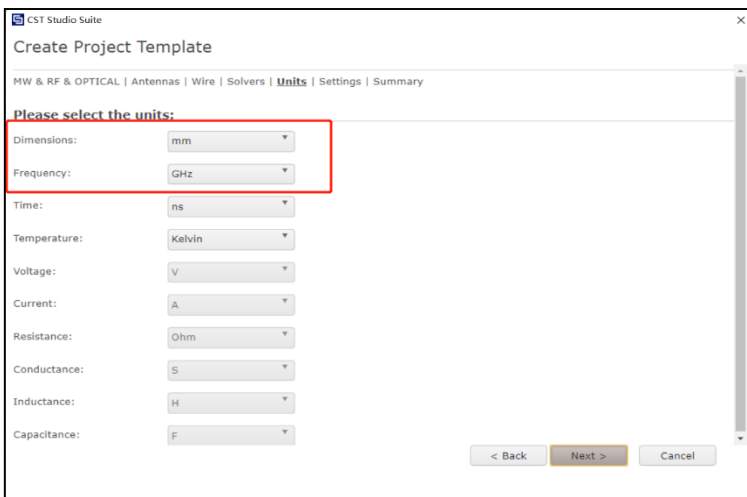
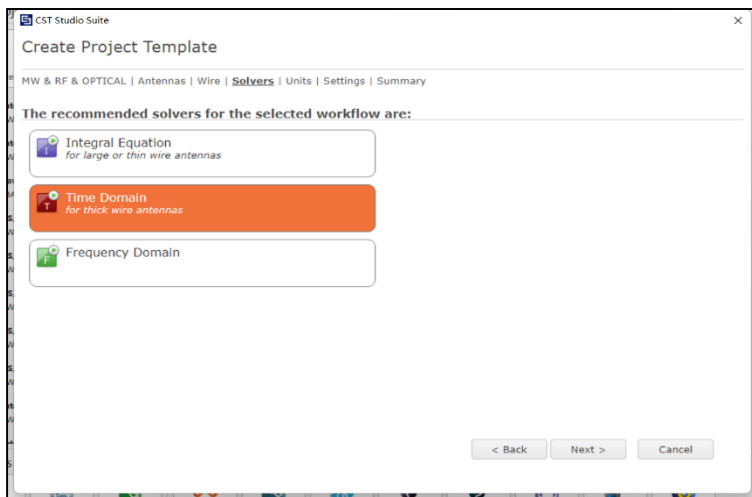
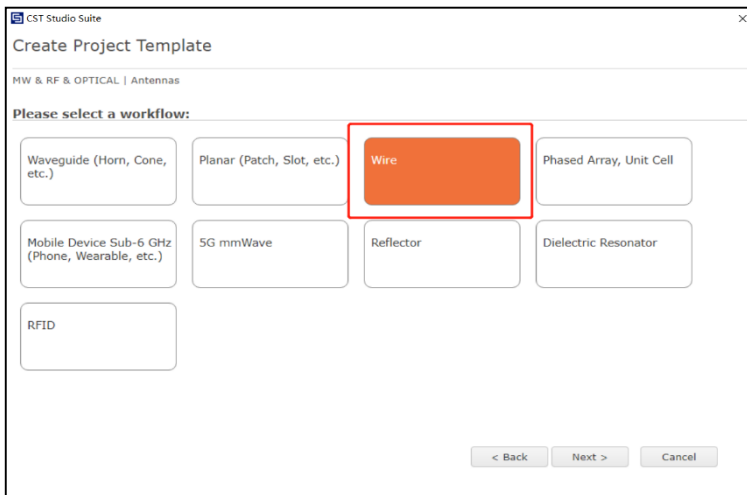
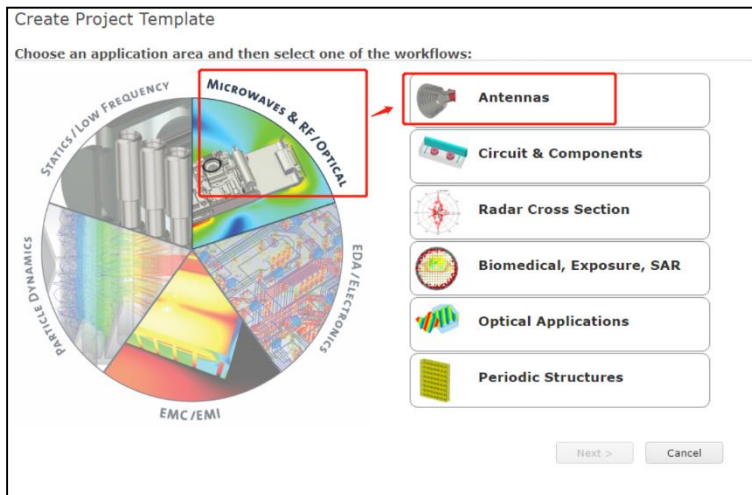


CST八木-宇田天线仿真方法



八木-宇田天线仿真方法

——创建工程





八木-宇田天线仿真方法

——创建工程

CST Studio Suite

Create Project Template

MW & RF & OPTICAL | Antennas | Wire | Solvers | Units | **Settings** | Summary

Please select the Settings

Frequency Min.: GHz

Frequency Max.: GHz

Monitors: ☐ E-field ☐ H-field ☒ Farfield ☐ Power flow ☐ Power loss

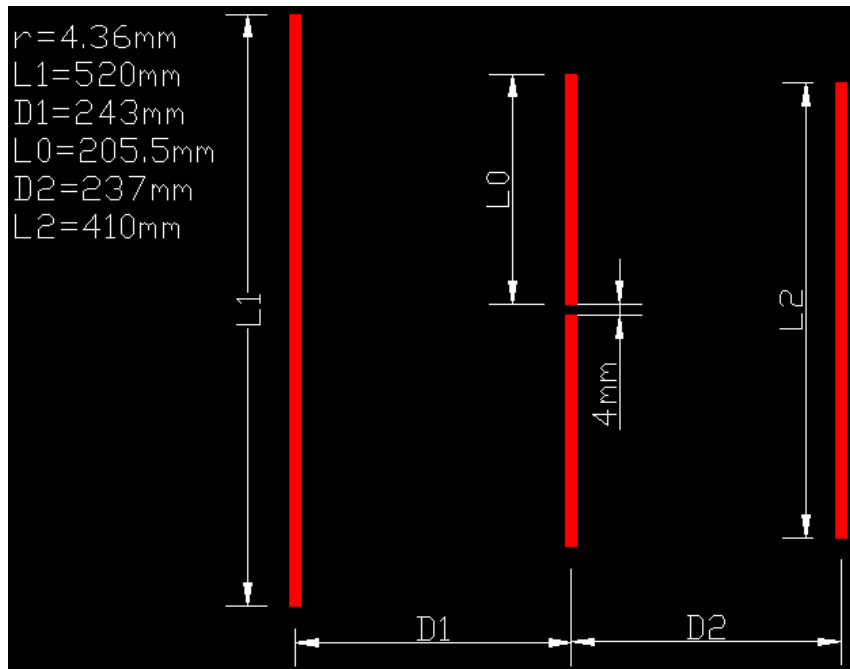
Define at GHz
Use semicolon as a separator to specify multiple values.
e.g. 20;30;30.1;30.2;30.3









< Back Next > Cancel



八木-宇田天线仿真方法

——设定模型参数



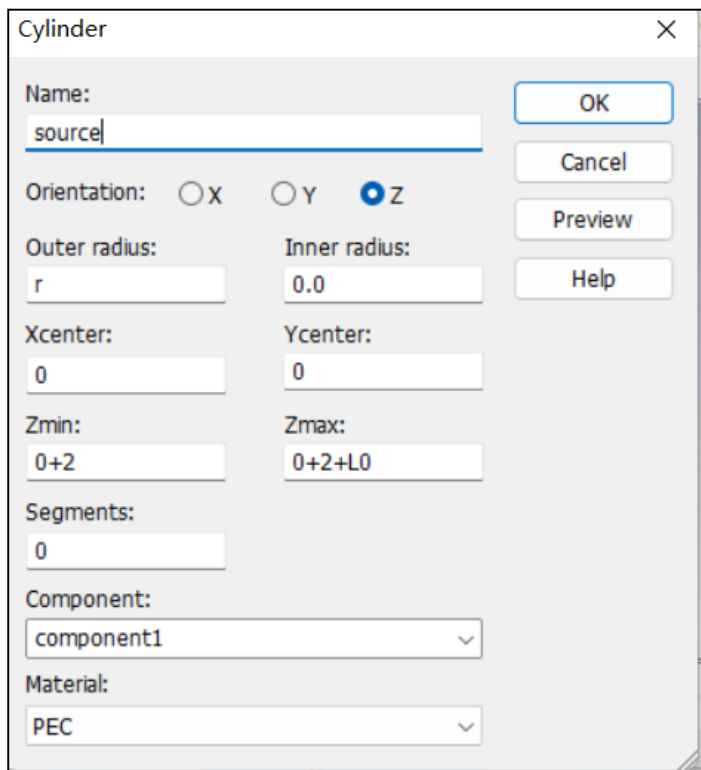
3D		Schematic		
Parameter List				
	Name	Expression	Value	Description
	r	= 4.36	4.36	
	L1	= 520	520	
	D1	= 243	243	
	L0	= 205.5	205.5	
	D2	= 237	237	
	L2	= 410	410	
<div><new param...</div> 				



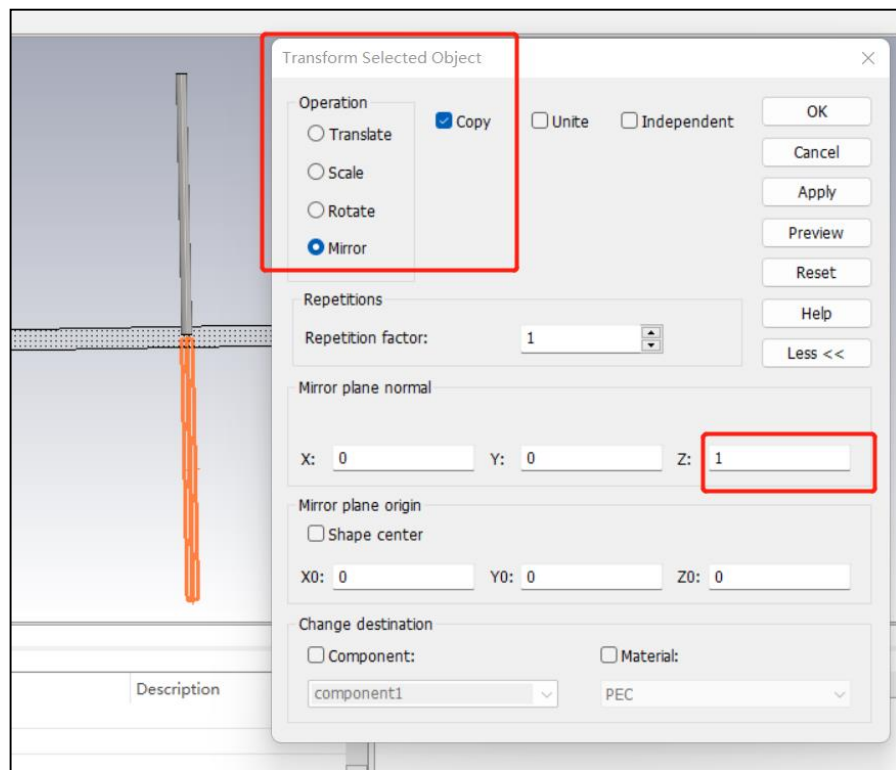
八木-宇田天线仿真方法

——建模

➤ 创建有源振子



创建圆柱



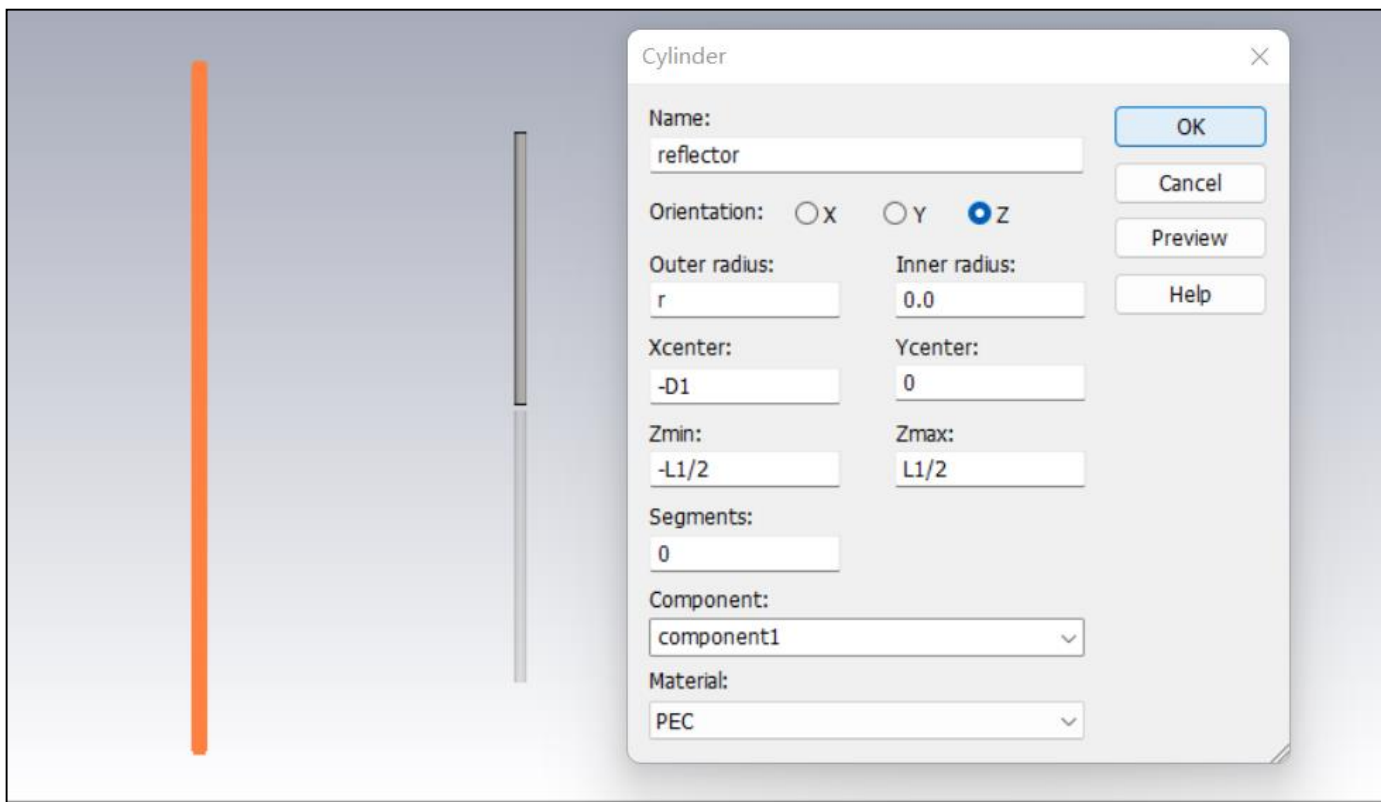
以xoy平面镜像



八木-宇田天线仿真方法

——建模

➤ 创建反射器



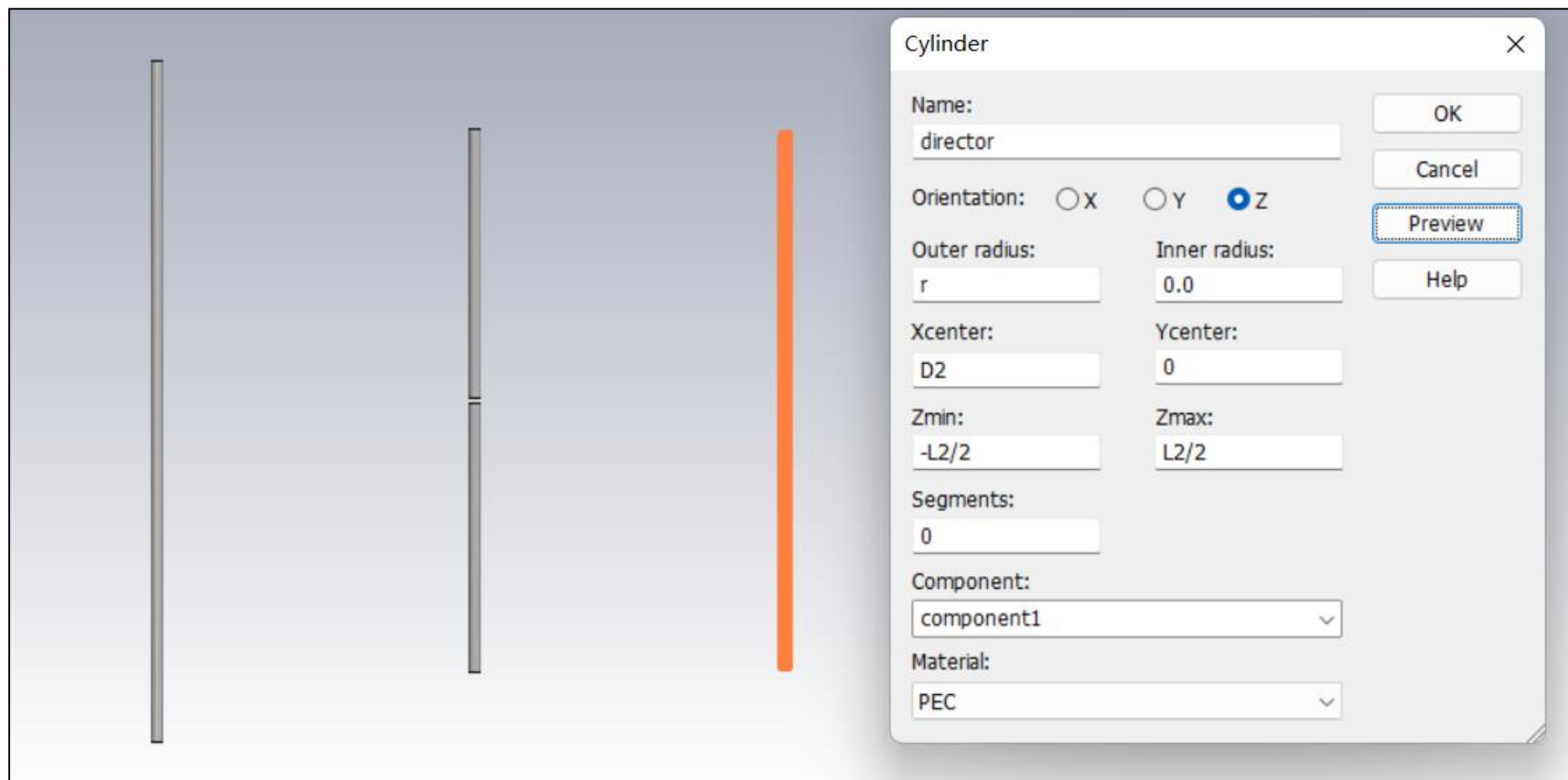
创建圆柱



八木-宇田天线仿真方法

——建模

► 创建定向器

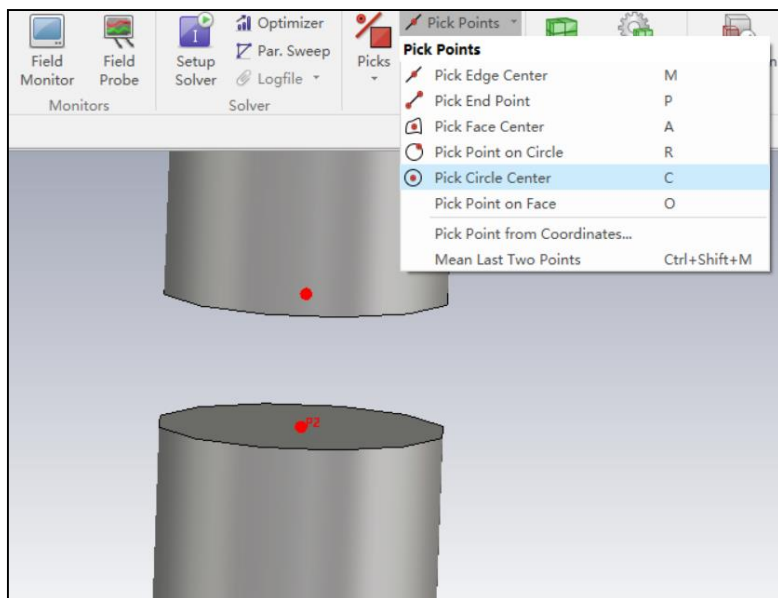
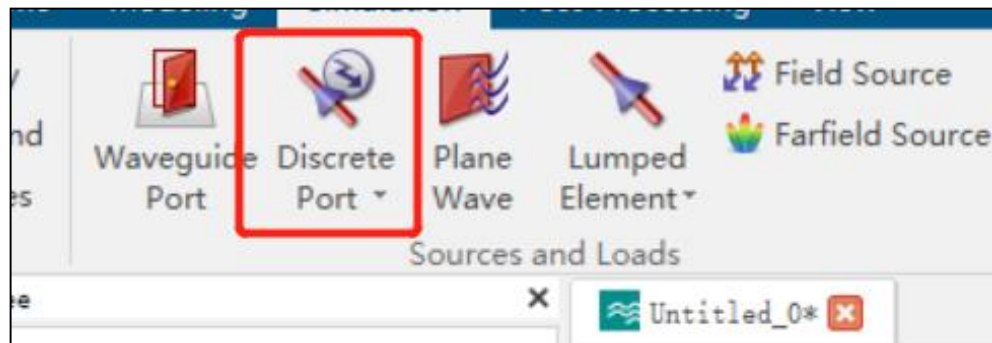


创建圆柱

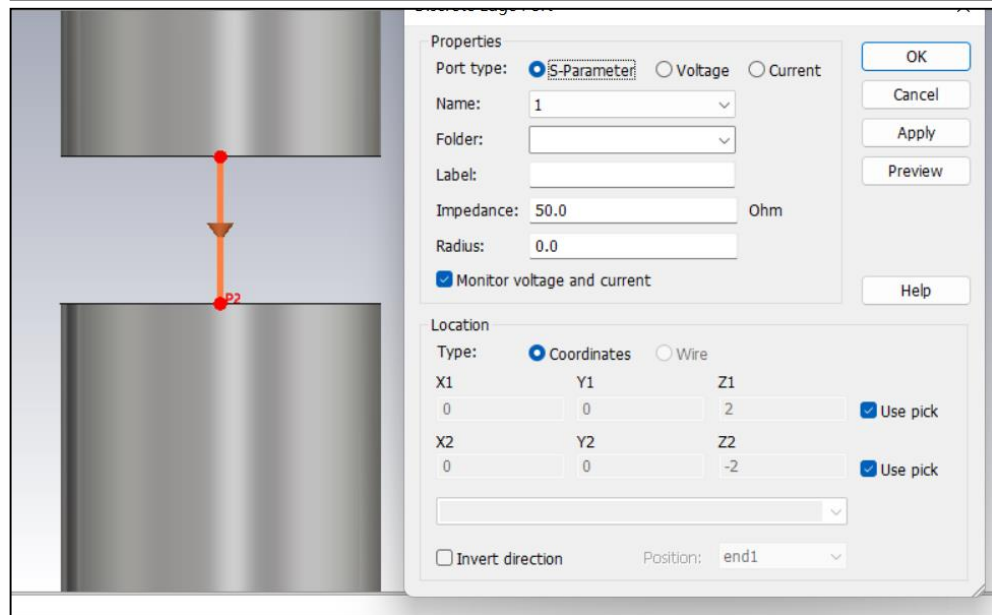


八木-宇田天线仿真方法

——激励设置



先选中上下振子底面的中心点

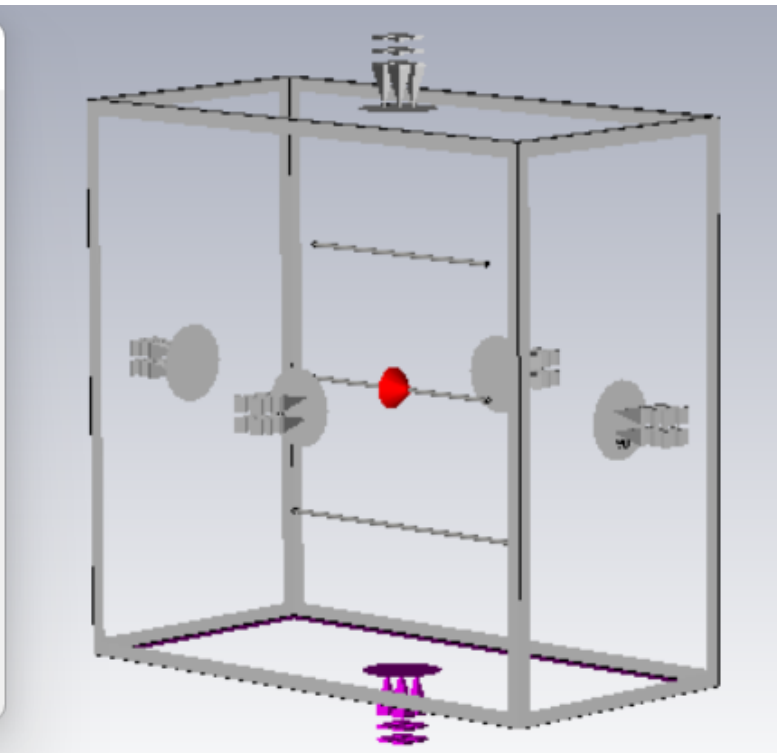
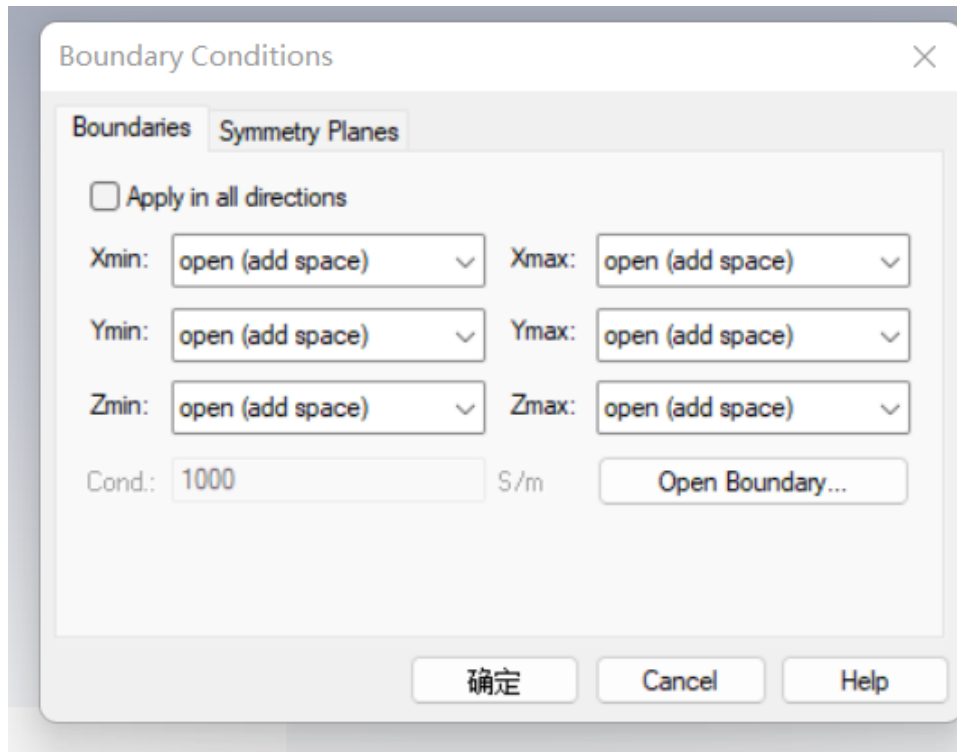


设置离散端口



八木-宇田天线仿真方法

——边界设置



所有方向设置 open add space



八木-宇田天线仿真方法

——背景材料设置

Background Properties

Material properties

Material type:

Normal

☐ Multiple layers

Surrounding space

☐ Apply in all directions

Lower X distance:	Upper X distance:
0.0	0.0
Lower Y distance:	Upper Y distance:
0.0	0.0
Lower Z distance:	Upper Z distance:
0.0	0.0

OK

Cancel

Apply

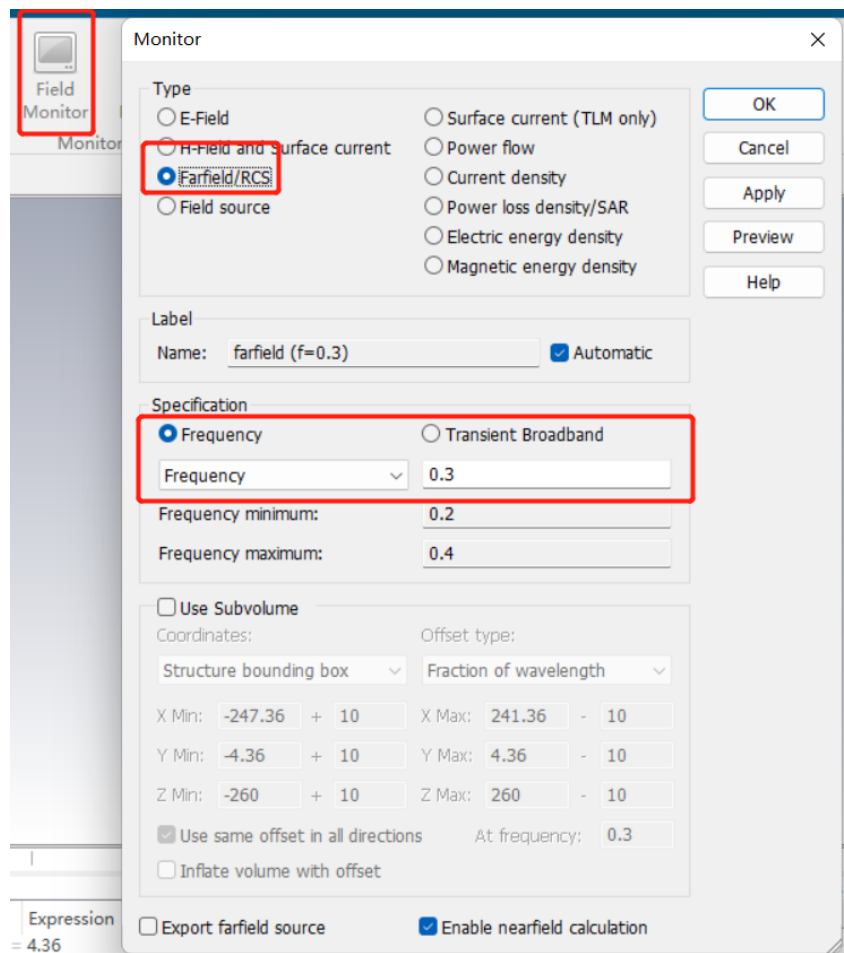
Help

Normal代表真空



八木-宇田天线仿真方法

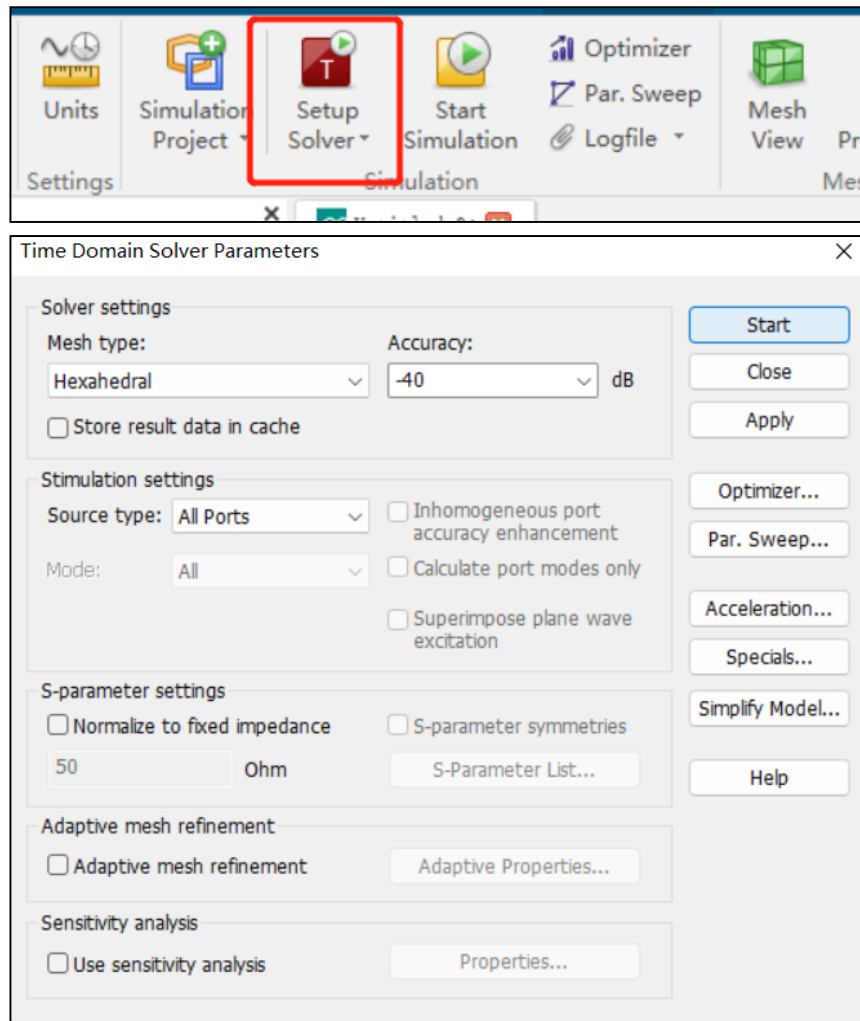
——场监视器设置



创建工程时已经设置，这里不用重复设置



八木-宇田天线仿真方法 ——求解设置



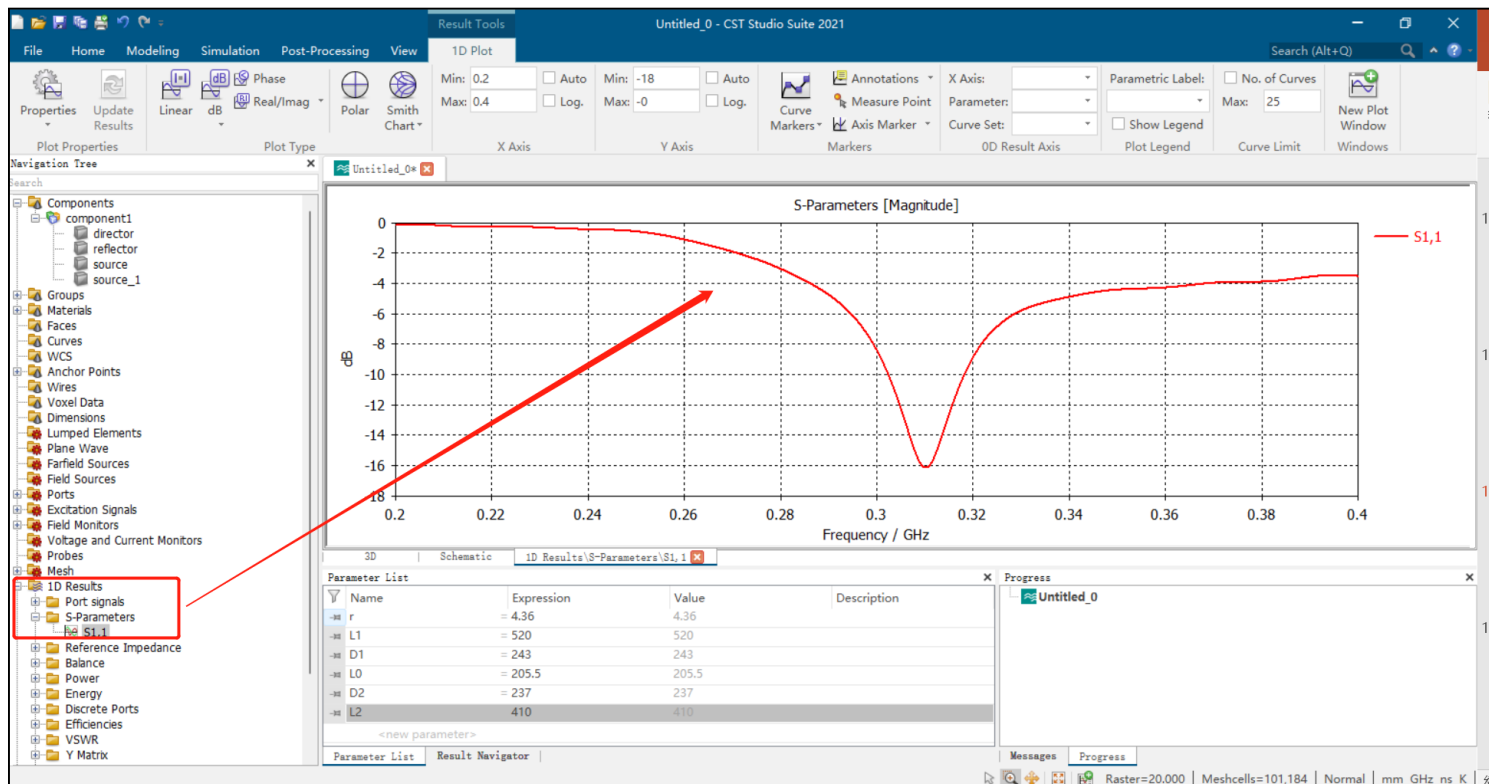
选择时域求解器，保持默认设置，开始计算



八木-宇田天线仿真方法

——后处理查看

➤ S参数



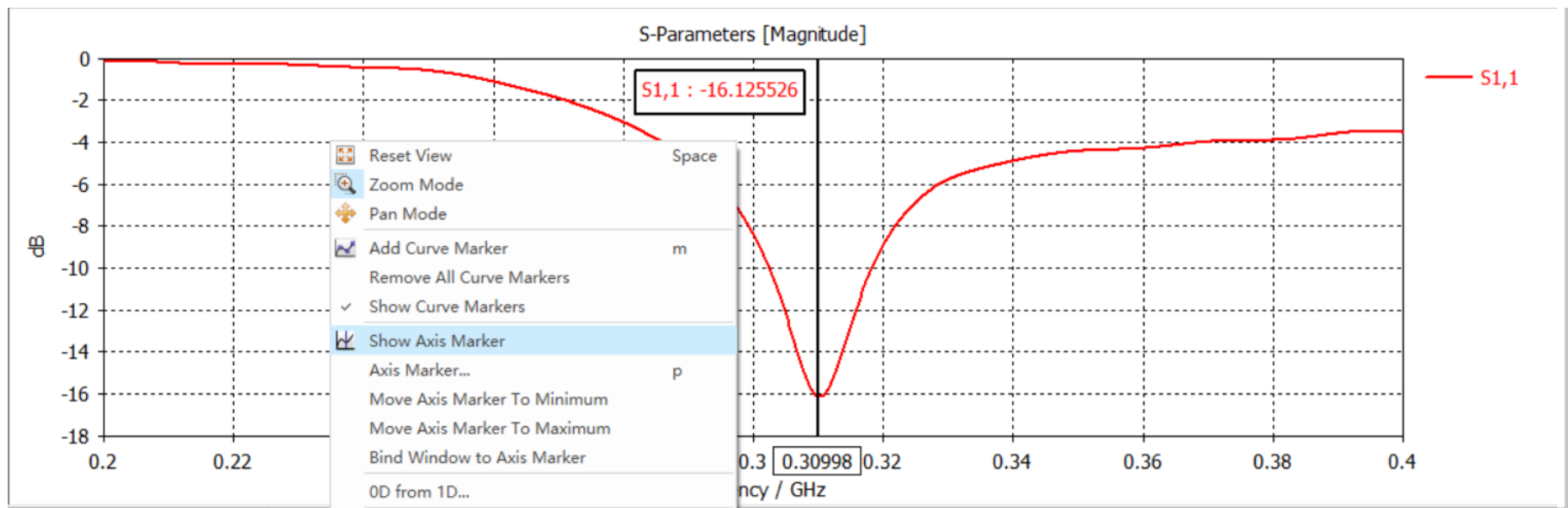
在1D results中查找 S11



八木-宇田天线仿真方法

——后处理查看

➤ S参数



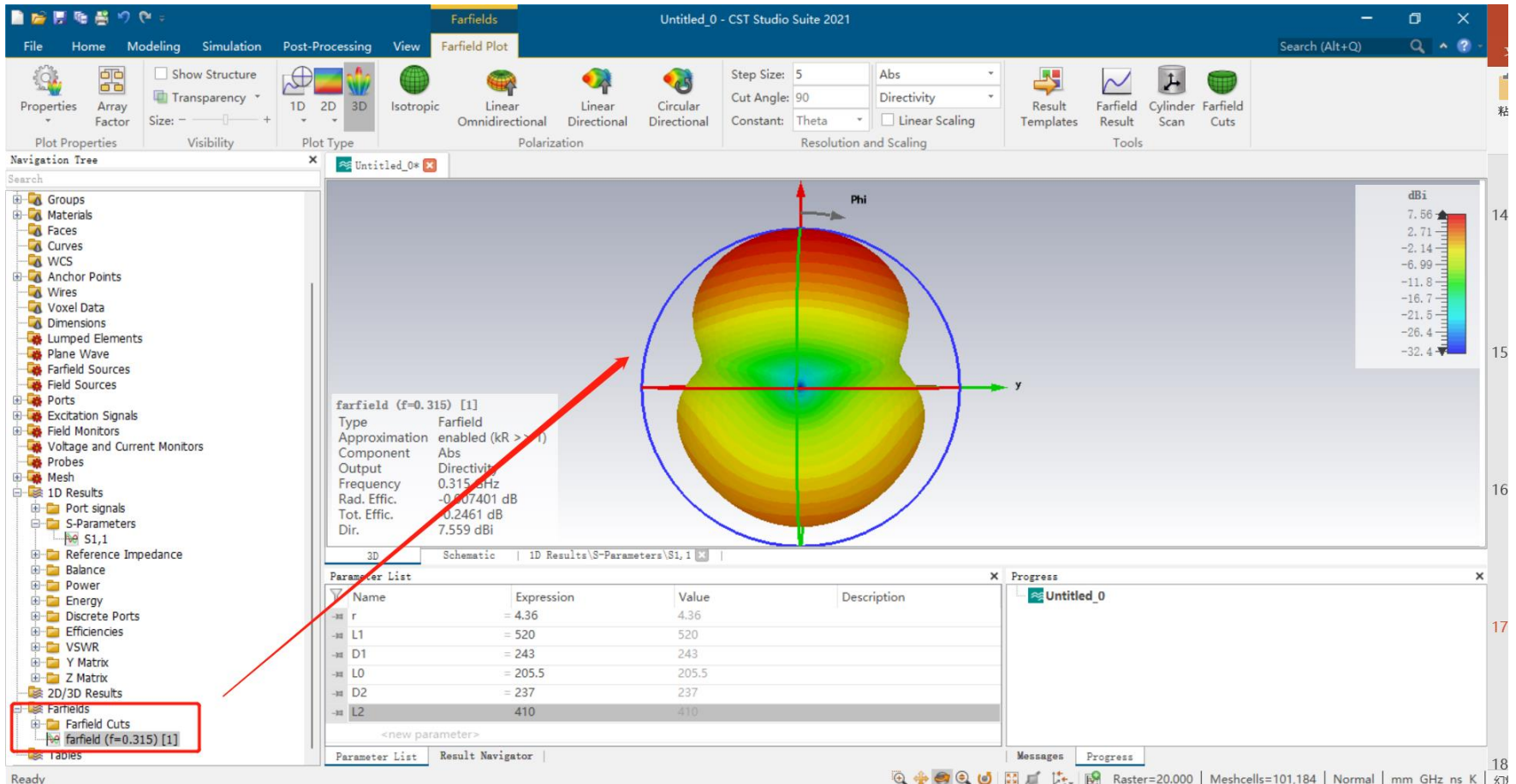
右键查看谐振点——S11最低点



八木-宇田天线仿真方法

——后处理查看

► 天线方向图 (3D)



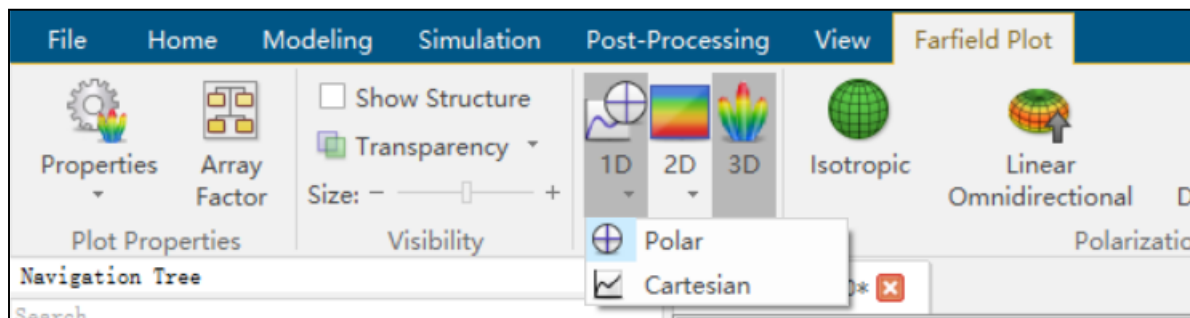
在farfields中查找远场结果——默认是三维方向图



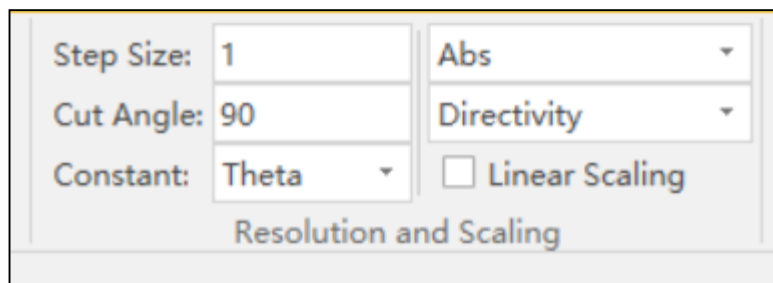
八木-宇田天线仿真方法

——后处理查看

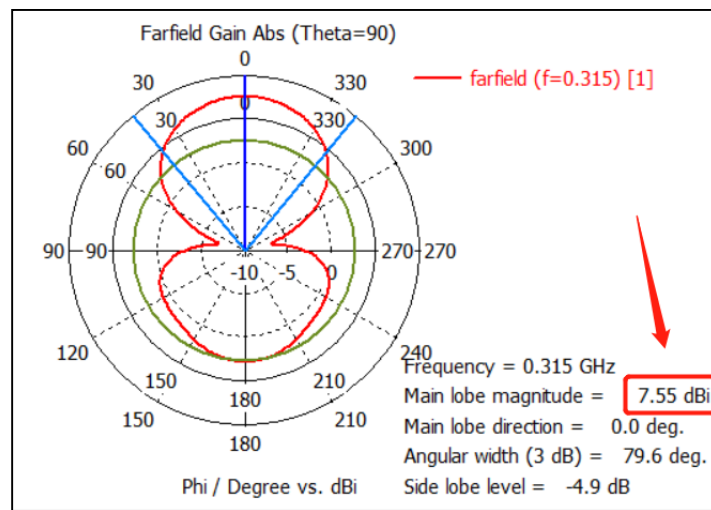
➤ 天线方向图(1D)



支持不同形式的远场方向图切换



设置观察切面及相关分量



查看增益



上述方案中：

增益为：7.55dBi

谐振点：310MHz

不满足设计要求，需要优化。

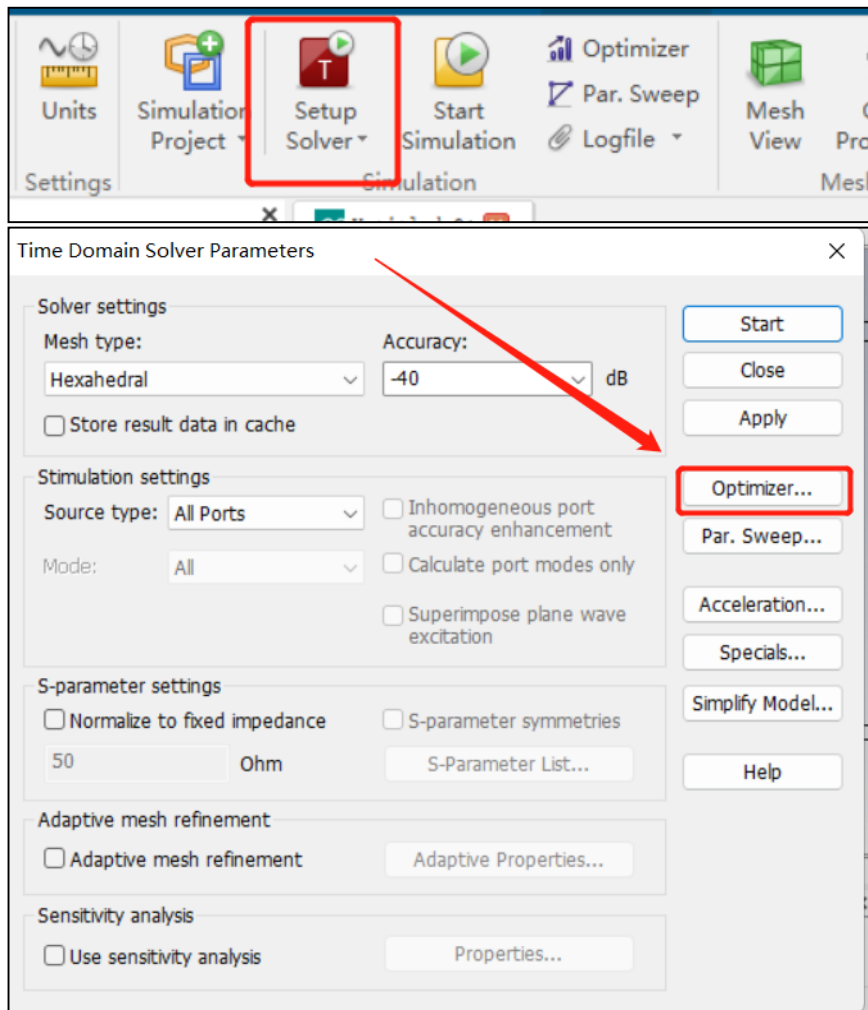


CST八木-宇田天线优化方法

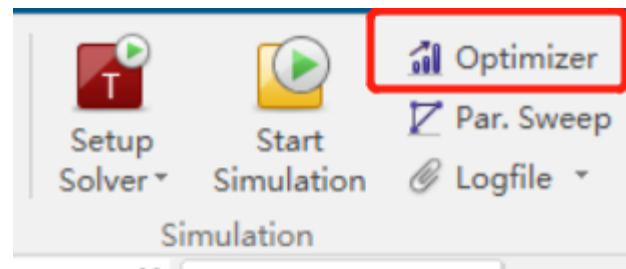


八木-宇田天线优化方法

——开启优化



or



可以通过求解器设置界面调出优化器，也可以直接界面打开



八木-宇田天线优化方法

——优化变量设置

Optimizer

Simulation type: Time Domain Solver Acceleration...

Settings Goals Info

Algorithm: Trust Region Framework Properties... General Properties...

Algorithm settings

Reset min/max 10 % of initial value

☒ Use current as initial value ☐ Use data of previous calculations

	Parameter	/	Min	Max	Initial	Current	Best
<input type="checkbox"/>	D1		218.7	267.3	243	243	243
<input type="checkbox"/>	D2		213.3	260.7	237	237	237
<input checked="" type="checkbox"/>	L0		184.95	226.05	205.5	205.5	205.5
<input type="checkbox"/>	L1		468	572	520	520	520
<input type="checkbox"/>	L2		369	451	410	410	410
<input type="checkbox"/>	r		3.924	4.796	4.36	4.36	4.36

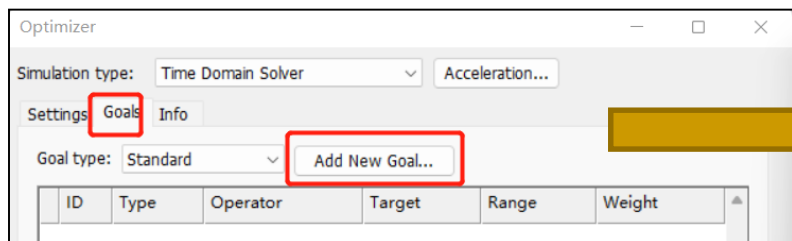
Start OK Apply Close Help

勾选优化变量，设置变量变化范围

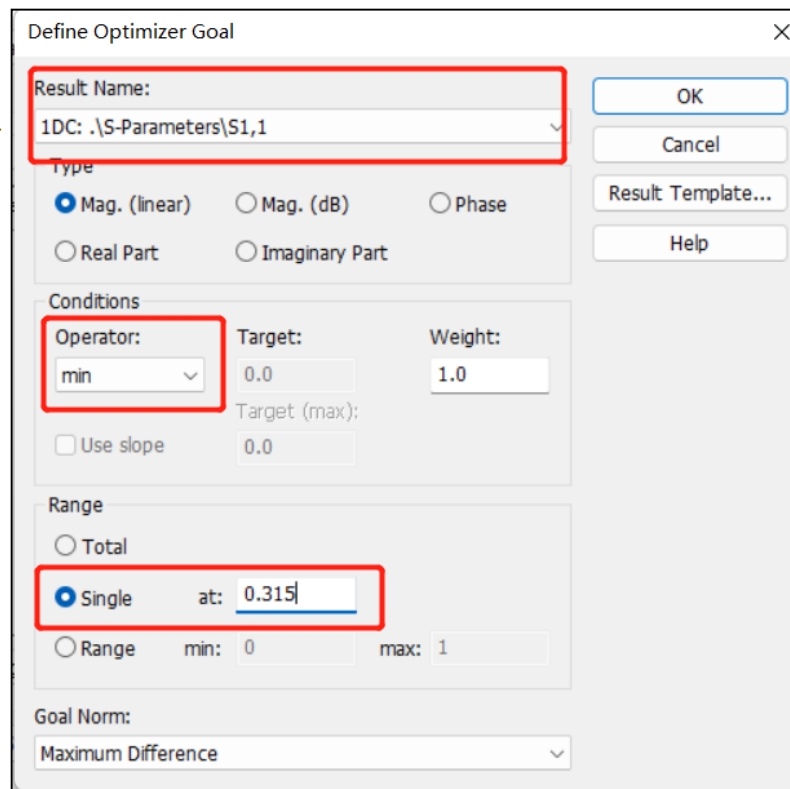


八木-宇田天线优化方法

——优化目标设置



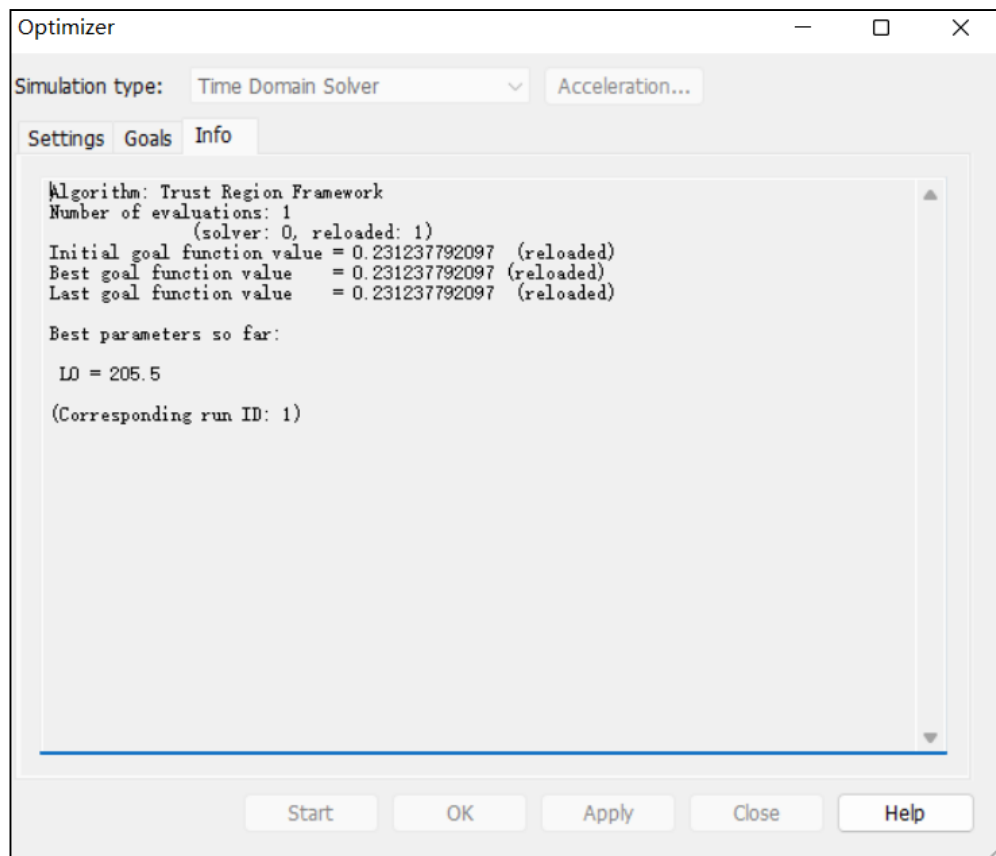
添加优化目标



优化目标：谐振点在315MHz



八木-宇田天线优化方法 ——优化计算

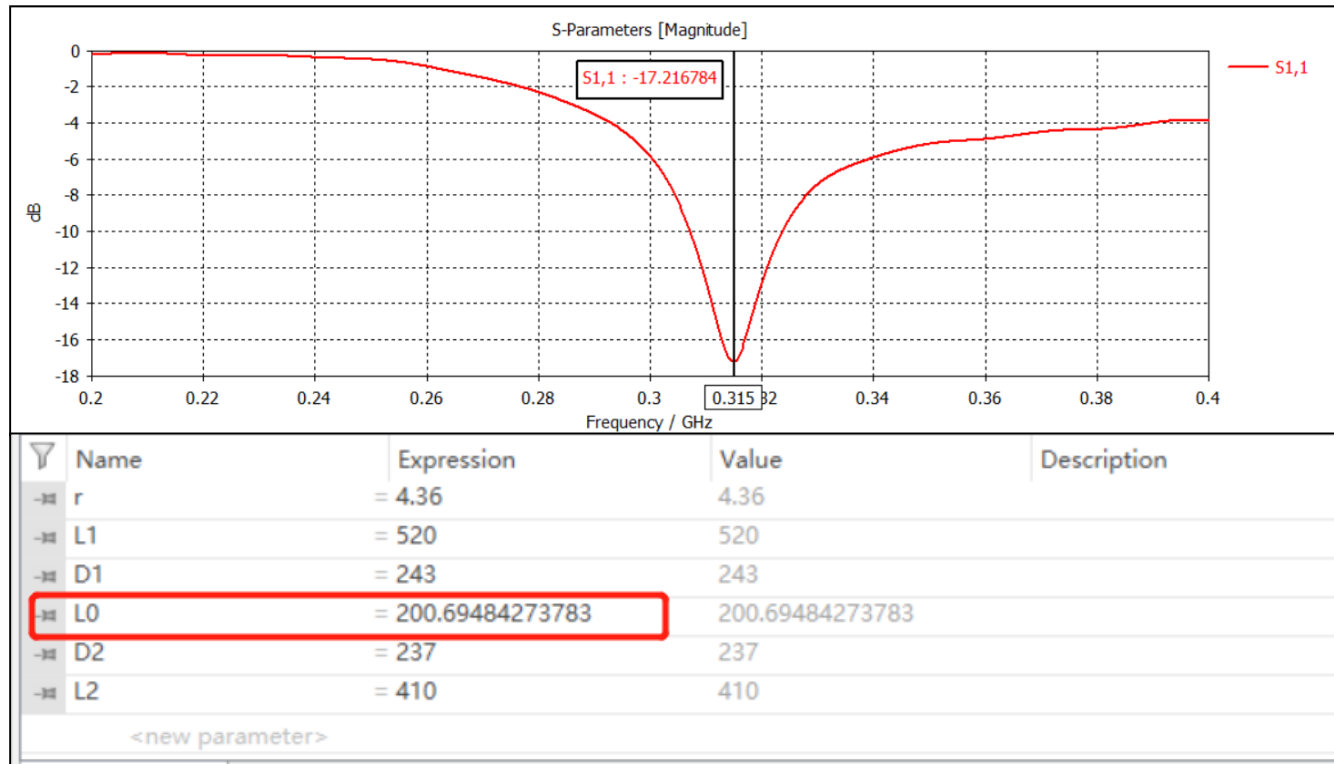


点击start, 开始优化计算, info栏中查看优化信息



八木-宇田天线优化方法

——查看优化结果



S11达到优化目标，此时参数栏相关变量也已更新



上述优化结果中：

增益为：7.5dBi

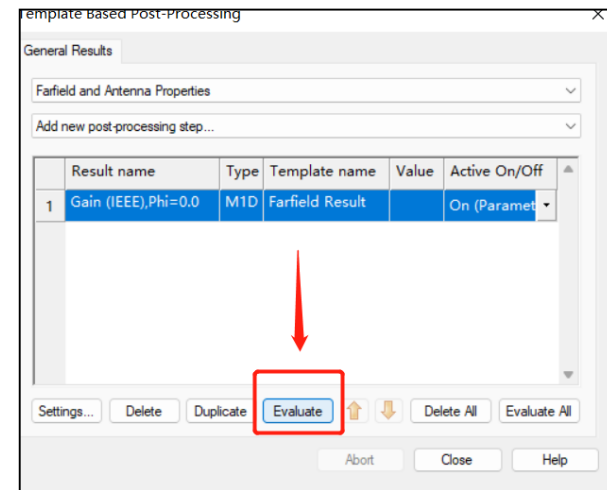
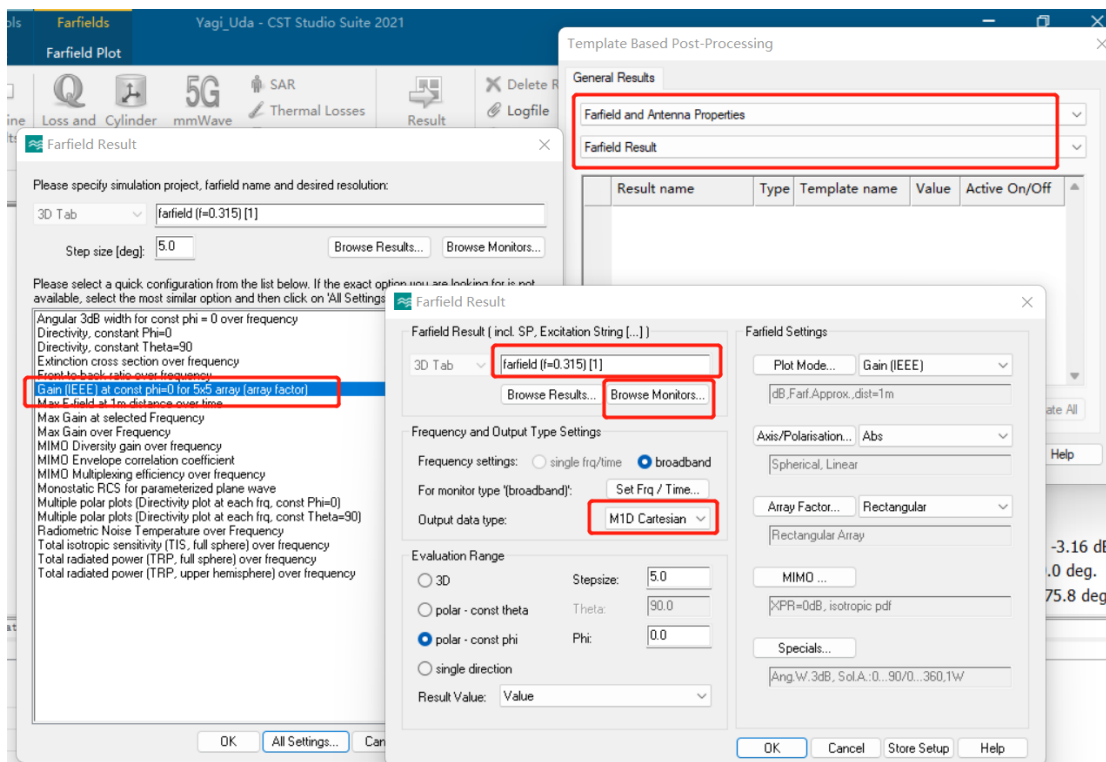
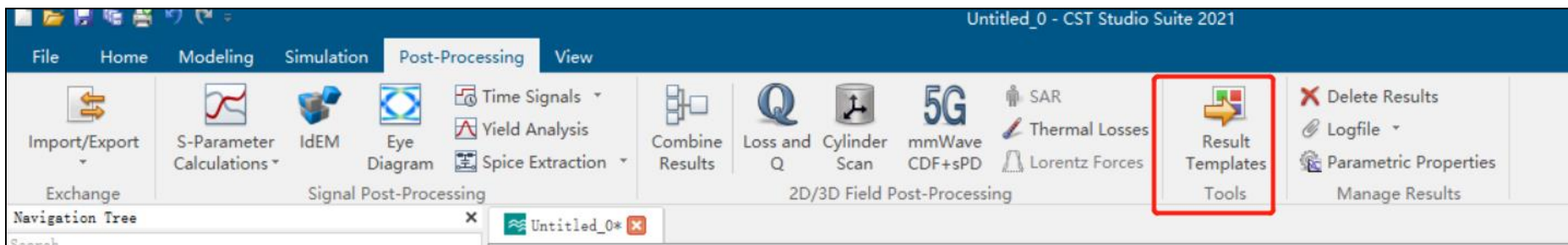
谐振点：315MHz

增益不满足设计要求，继续优化。



八木-宇田天线优化方法

——将增益添加到1D结果



远场结果只有被添加到1D结果后
才能被当作优化目标。



八木-宇田天线优化方法

——勾选更多的优化变量

Optimizer

Simulation type: Time Domain Solver Acceleration...

Settings Goals Info

Algorithm: Trust Region Framework Properties... General Properties...

Algorithm settings

Reset min/max 10 % of initial value

☒ Use current as initial value ☐ Use data of previous calculations

	Paramete /	Min	Max	Initial	Current	Best
<input checked="" type="checkbox"/>	D1	218.7	267.3	243	243	243
<input checked="" type="checkbox"/>	D2	213.3	260.7	237	237	237
<input checked="" type="checkbox"/>	L0	150	225	200.69484273783	200.69484273783	200.695
<input checked="" type="checkbox"/>	L1	468	572	520	520	520
<input checked="" type="checkbox"/>	L2	369	451	410	410	410
<input type="checkbox"/>	r	3.924	4.796	4.36	4.36	4.36

Start OK Apply Close Help



八木-宇田天线优化方法

——将1D增益添加到优化目标中

Define Optimizer Goal

Result Name:
TBPP 1D: Gain (IEEE),Phi=0.0 : Gain (IEEE),Phi=0.0\ f=C

OK

Cancel

Result Template...

Help

1D: .\Port signals\i1
1D: .\Port signals\o1,1
1DC: .\S-Parameters\S1,1
1DC: .\Reference Impedance\ZRef 1(1)
1D: .\Balance\Balance [1]
1DC: .\Power\Excitation [1]\Power Accepted
1DC: .\Power\Excitation [1]\Power Outgoing all Ports
1DC: .\Power\Excitation [1]\Power Radiated
1DC: .\Power\Excitation [1]\Power Stimulated
1DC: .\Power\Excitation [1]\Power Accepted per Port\Port
1D: .\Energy\Energy [1]
1DC: .\Discrete Ports\Currents\Port 1 [1]
1D: .\Discrete Ports\Currents\Signals\Port 1 [1]
1DC: .\Discrete Ports\Impedances\Port 1 [1]
1DC: .\Discrete Ports\Voltages\Port 1 [1]
1D: .\Discrete Ports\Voltages\Signals\Port 1 [1]
1DC: .\Efficiencies\Rad. Efficiency [1]
1DC: .\Efficiencies\Tot. Efficiency [1]
1D: .\VSWR\VSWR1
1DC: .\Y Matrix\Y1,1
1DC: .\Z Matrix\Z1,1

Goal Norm:
Maximum Difference

Define Optimizer Goal

Result Name:
TBPP 1D: Gain (IEEE),Phi=0.0 : Gain (IEEE),Phi=0.0\ f=C

Type
☒ Mag. (linear) ☐ Mag. (dB) ☐ Phase
☐ Real Part ☐ Imaginary Part

Conditions
Operator: Target: Weight:
☐ Use slope Target (max):

Range
☐ Total
☒ Single at:
☐ Range min: max:

Goal Norm:
Maximum Difference

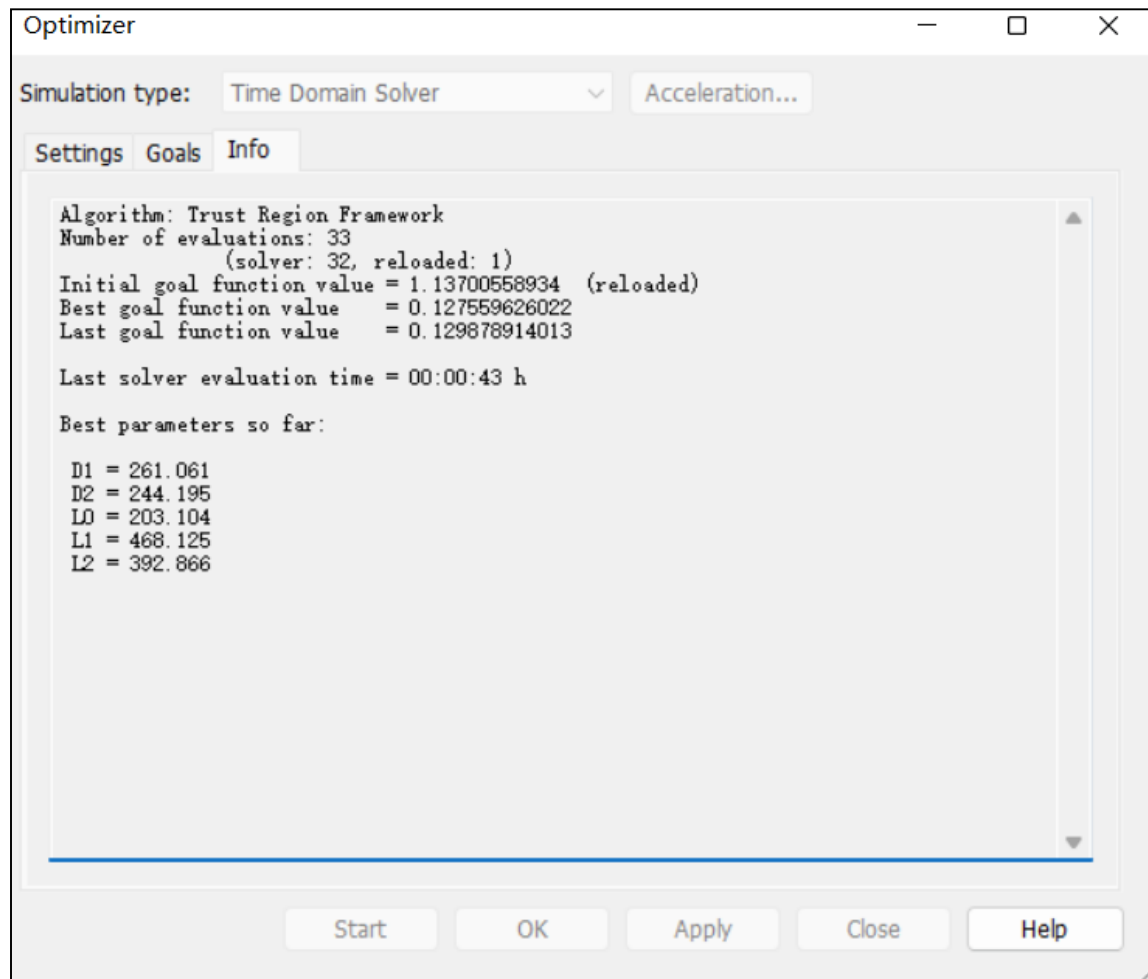
Settings Goals Info

Goal type: Standard Add New Goal...

ID	Type	Operator	Target	Range	Weight
0	1DC: .\S-Parameters\S1,1	min	0	0.315	1.0
1	TBPP 1D: Gain (IEEE),Phi=0.0 : Gain (IEEE),Phi=0.0\ f=C	>	8.5	90	1.0



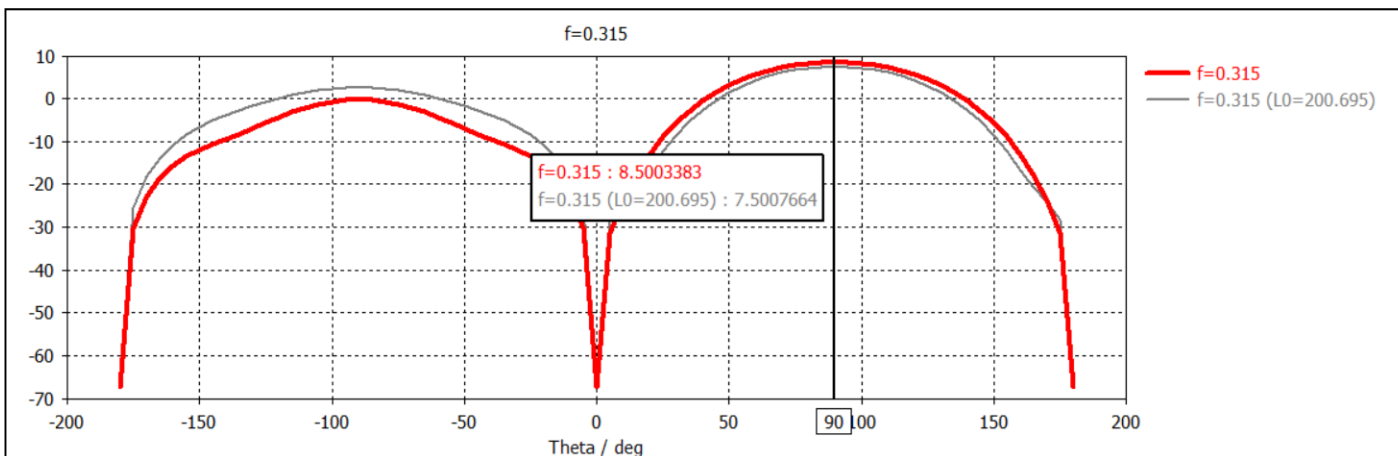
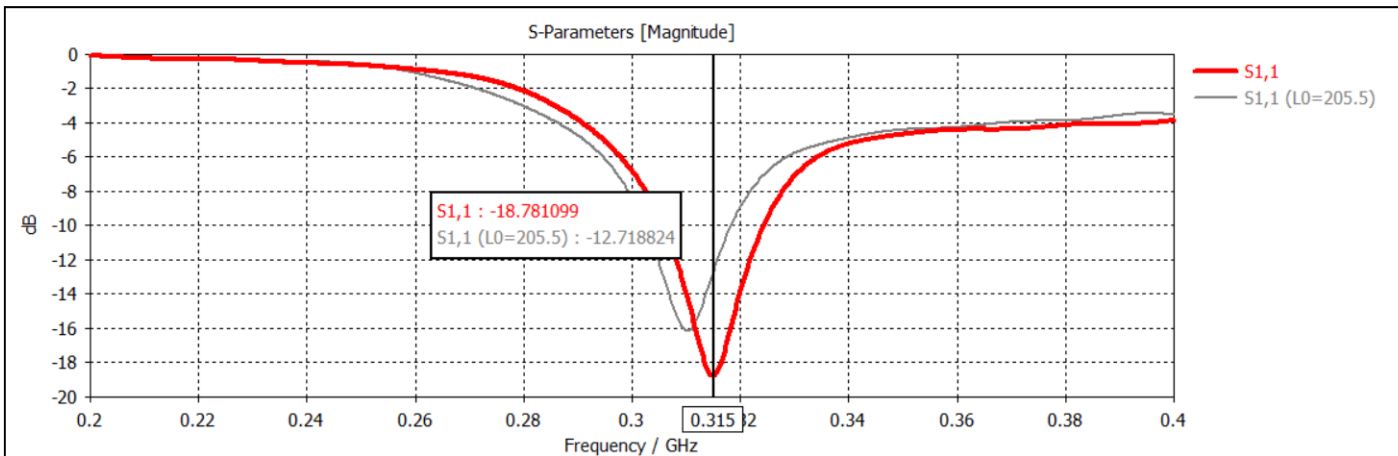
八木-宇田天线优化方法 ——优化计算





八木-宇田天线优化方法

——查看优化结果









谐振点和增益都满足设计要求 (灰色为初始方案结果)



八木-宇田天线优化方法

——查看优化结果

Parameter List			
	Name	Expression	Value
	r	= 4.36	4.36
	L1	= 468	468
	D1	= 261.78941537738	261.78941537738
	L0	= 202.61035243522	202.61035243522
	D2	= 245.07206970095	245.07206970095
	L2	= 393.80659398124	393.80659398124
<new parameter>			

优化计算完成，最终的参数变量



感谢倾听