射频电路开发培训

第十三讲 移相器设计

主讲：汪　朋
QQ：3180564167

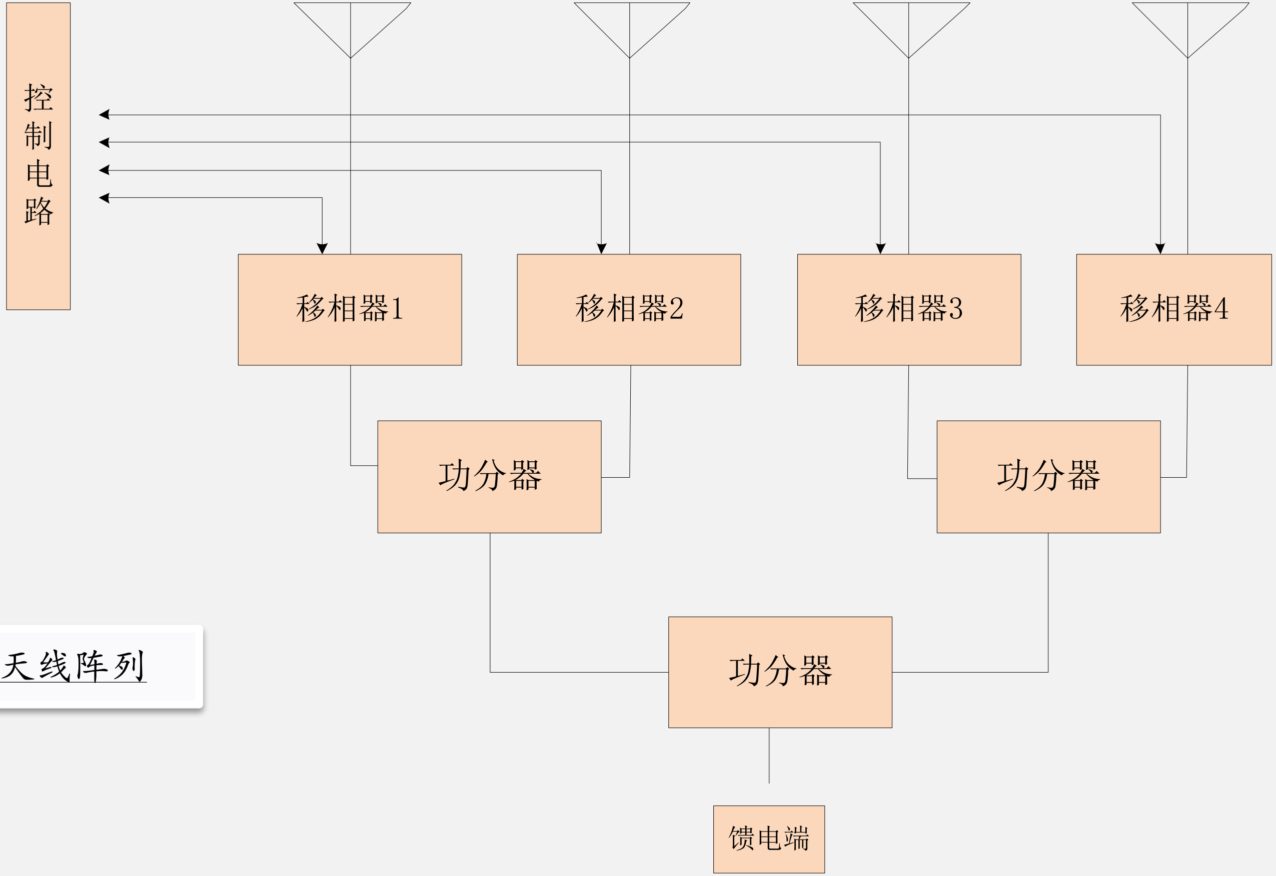
目录页

Part **1**

移相器设计概述

移相器

移相器设计

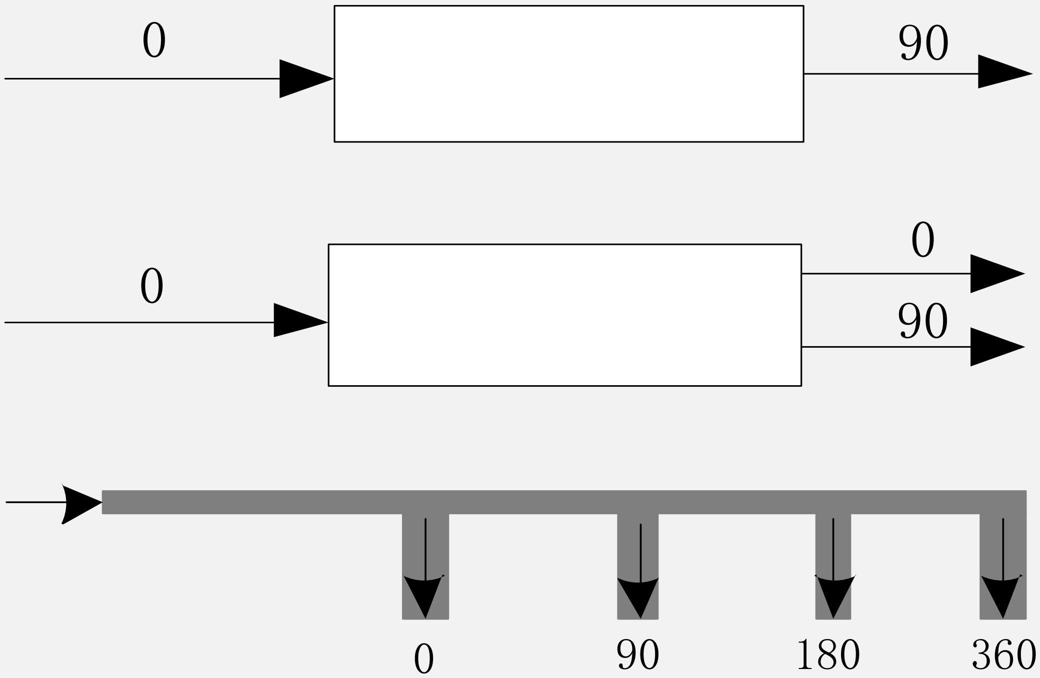


应用：相控阵，赋形天线阵列

移相器

移相器类型

单端口型：主要用于复杂相控阵馈电网络；
等功分器移相器：主要用于圆极化天线和小规模线性相控阵天线设计；
指数型串联移相器：主要用于超宽带圆极化天线和赋形天线设计。



移相器

移相器主要指标

[1]相移度

移相器是二端口网络，相移度是指输入信号和输出信号的相位差；

[2]插入损耗

插入损耗定义为传输网络未插入前负载吸收的功率与传输网络插入后负载吸收的功率之比的分贝数；

[3]回波损耗

波损耗为入射波功率与反射波功率之比；

[4]线性度

移相器在指定的移相范围内其相移量与控制电压之间的线性关系，用于衡量移相器线性移相程度的好坏；

[5]频宽

在指定的移相范围内，线性度下降至允许值时（通常为 10%）的工作频率范围。

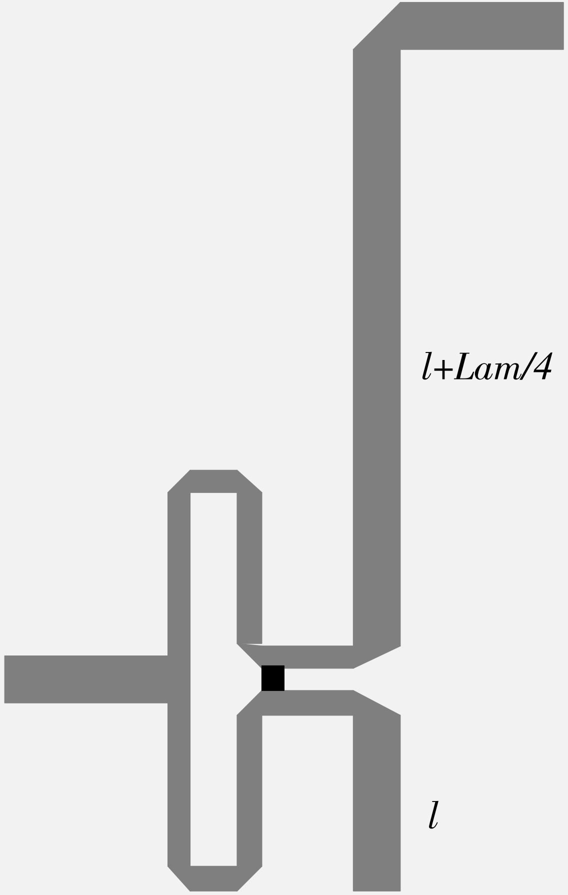
Part 2

微带移相器设计

移相器

微带移相器

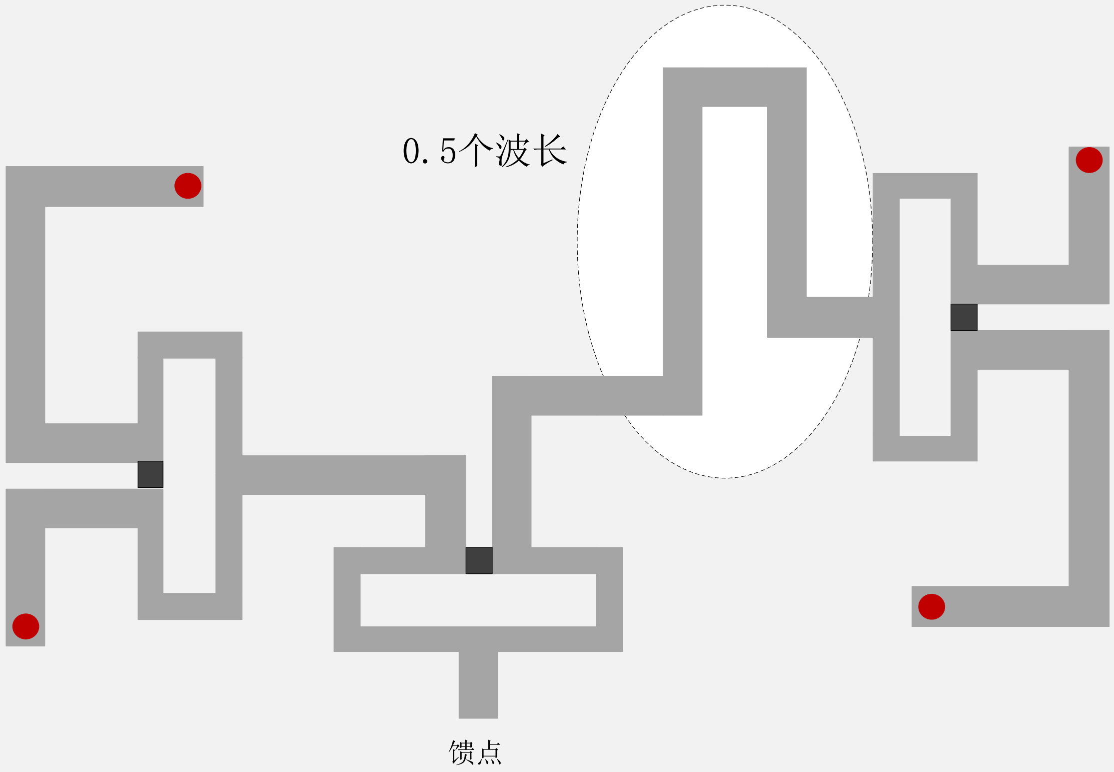
通过调整输出支路的长度来调整相位



移相器

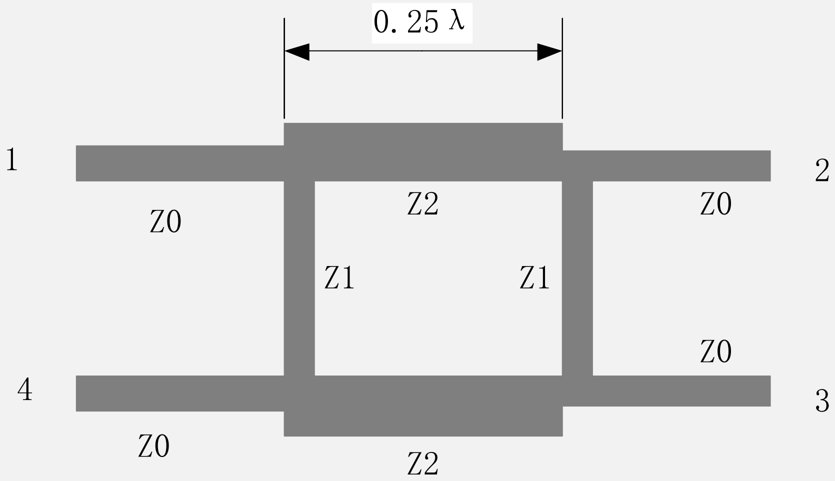
微带移相器

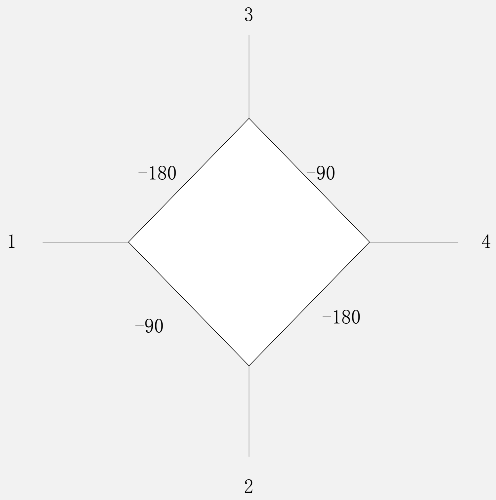
四馈点圆极化天线设计应用



移相器

微带移相器





端口1为输入端，输出端为2和耦合端3，端口4为隔离端

如果输入端完全匹配，则$S11=0$：

$$Y_1^{\ 2}=Y_2^{\ 2}-1$$

$$Y_1=z_0/z_1,\ Y_2=z_0/z_2$$

根据双分枝定向耦合器散射矩阵，端口1和端口4彼此隔离，

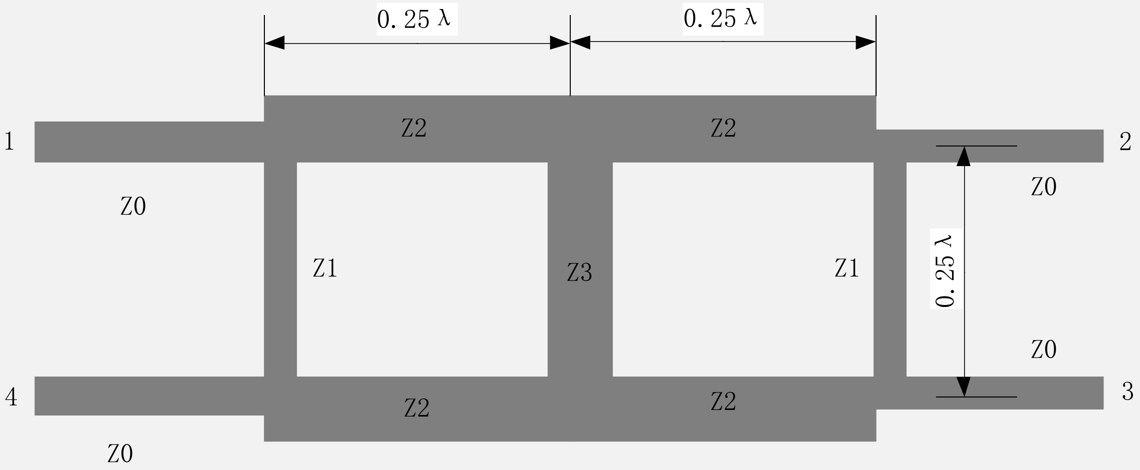
则： $S14=S41=0$， $\arg(\frac{S_{12}}{S_{13}})=90°$

实现端口2和3等分输出的条件：

$$z_2=z_0/\sqrt{2},\quad z_1=z_0$$

移相器

微带移相器



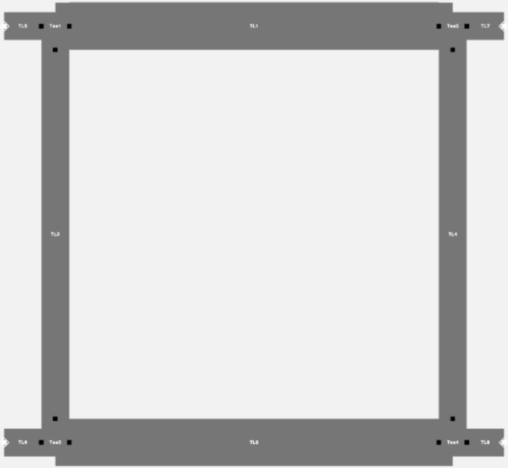
$$Z_1 = \frac{Z_0}{\sqrt{2}-1}$$

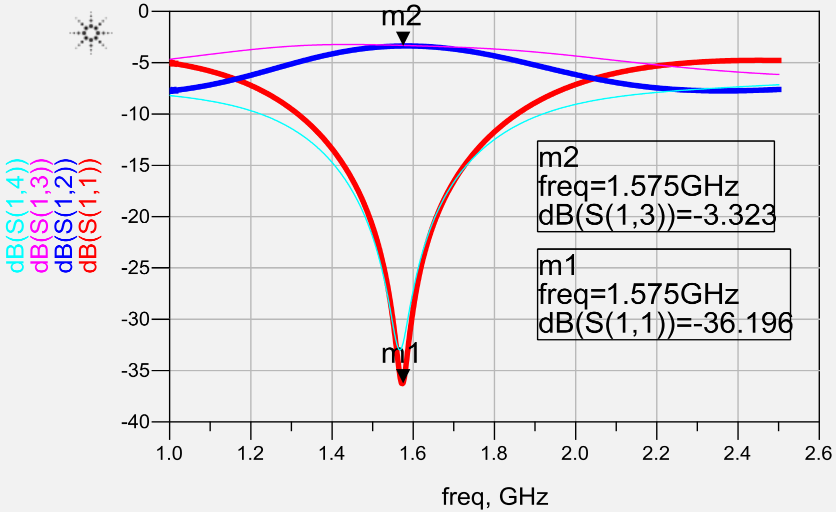
$$Z_2 = Z_0 / \sqrt{2}$$

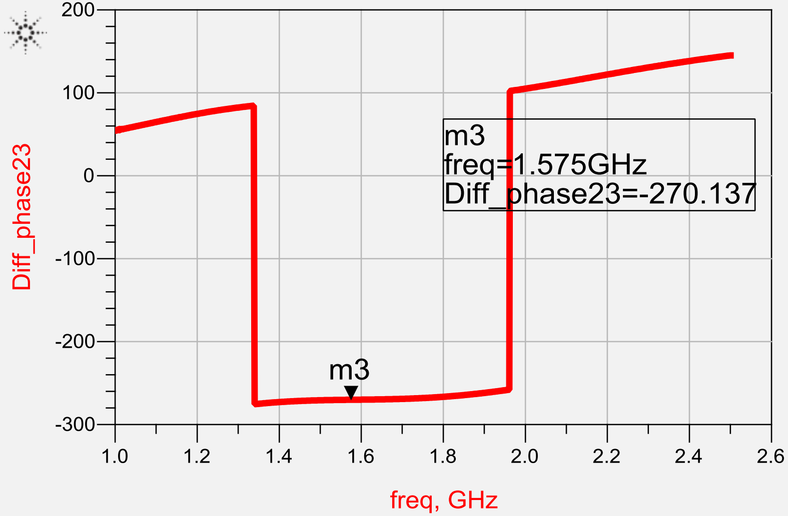
$$Z_3 = Z_0 / \sqrt{2}$$

移相器

微带移相器




m2
m1
m2
freq=1.575GHz
dB(S(1,3))=-3.323
m1
freq=1.575GHz
dB(S(1,1))=-36.196
dB(S(1,4))
dB(S(1,3))
dB(S(1,2))
dB(S(1,1))
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2
2.4
2.6
freq, GHz


m3
freq=1.575GHz
Diff_phase23=-270.137
m3
Diff_phase23
200
100
0
-100
-200
-300
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2
2.4
2.6
freq, GHz

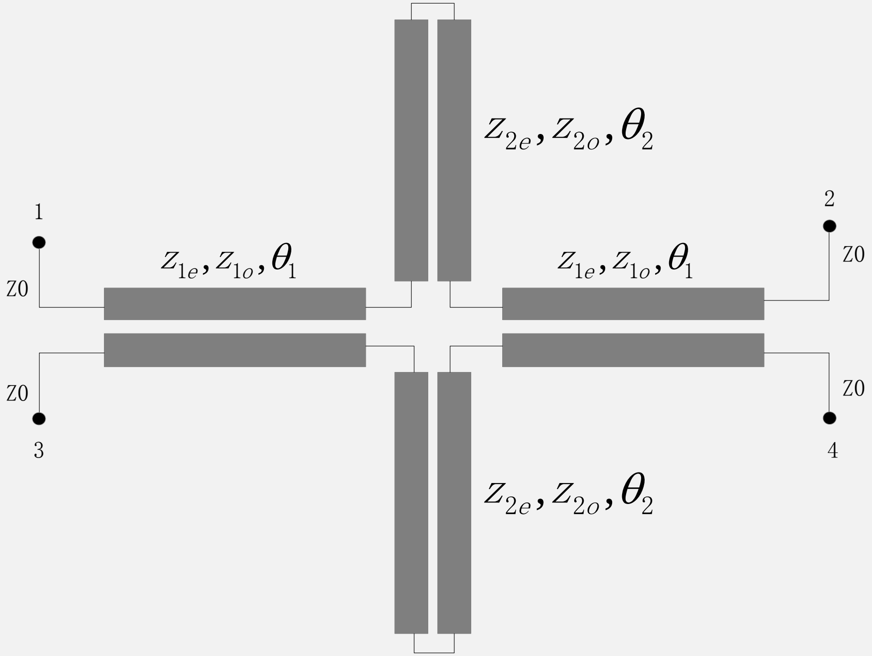
移相器

微带移相器

90度强耦合移相器

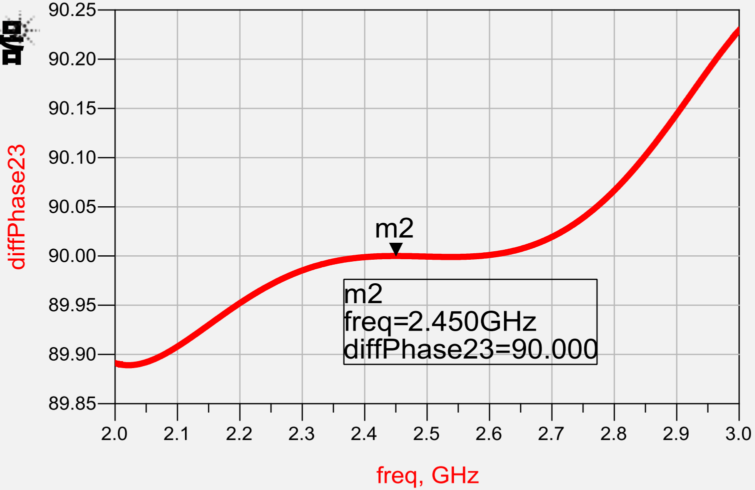
$$Z_{2e}=\frac{kZ_{1e}^2(Z_{1e}^2-Z_{1o}^2)+\sqrt{k^2Z_{1e}^4(Z_{1e}^2-Z_{1o}^2)^2-4Z_{1e}^6Z_{1o}^2}}{2Z_{1e}^2\cot\theta_2}$$

$$Z_{2o}=\frac{kZ_{1e}^2(Z_{1e}^2-Z_{1o}^2)+\sqrt{k^2Z_{1e}^4(Z_{1e}^2-Z_{1o}^2)^2-4Z_{1e}^6Z_{1o}^2}}{2Z_{1e}^2\tan\theta_2}$$

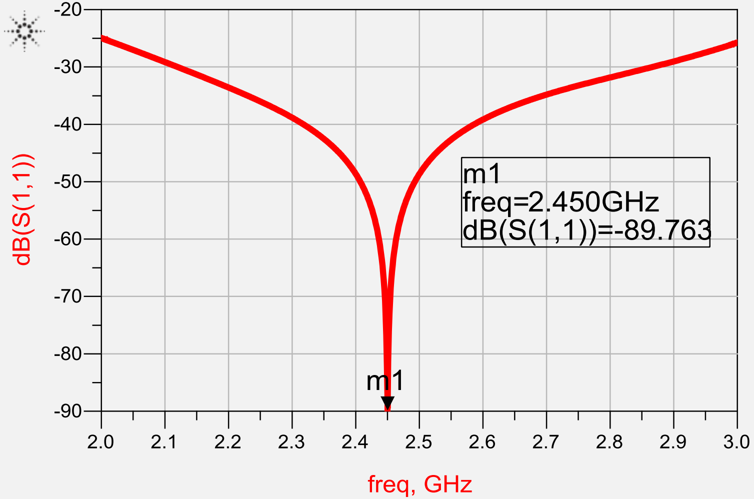


移相器

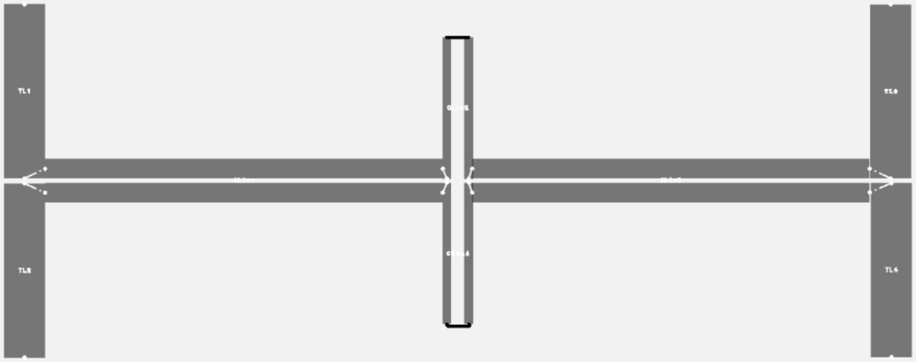
微带移相器

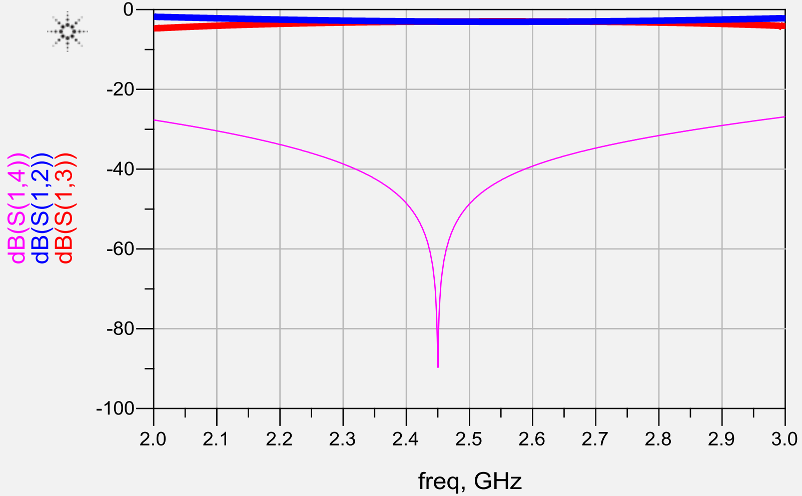


diffPhase23
90.25
90.20
90.15
90.10
90.05
90.00
89.95
89.90
89.85
2.0 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 2.7 2.8 2.9 3.0
freq, GHz
m2
m2
freq=2.450GHz
diffPhase23=90.000



dB(S(1,1))
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
2.0 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 2.7 2.8 2.9 3.0
freq, GHz
m1
freq=2.450GHz
dB(S(1,1))=-89.763
m1

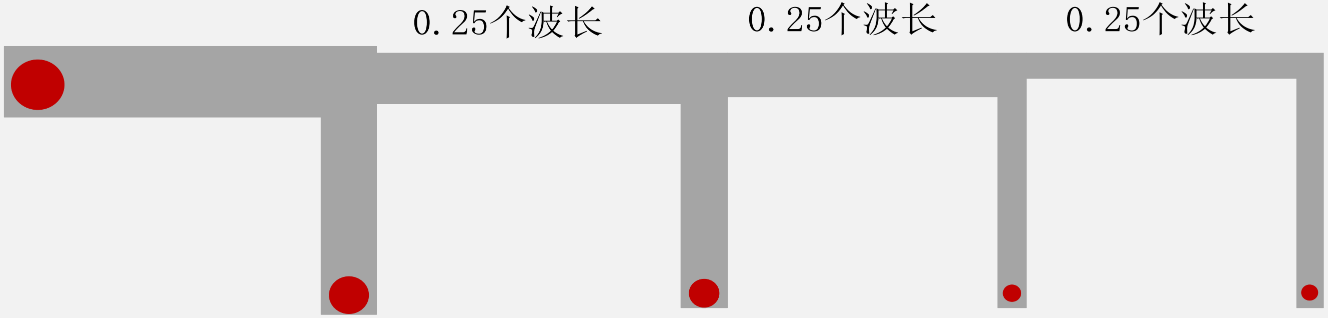




dB(S(1,4))
dB(S(1,2))
dB(S(1,3))
0
-20
-40
-60
-80
-100
2.0 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 2.7 2.8 2.9 3.0
freq, GHz

移相器

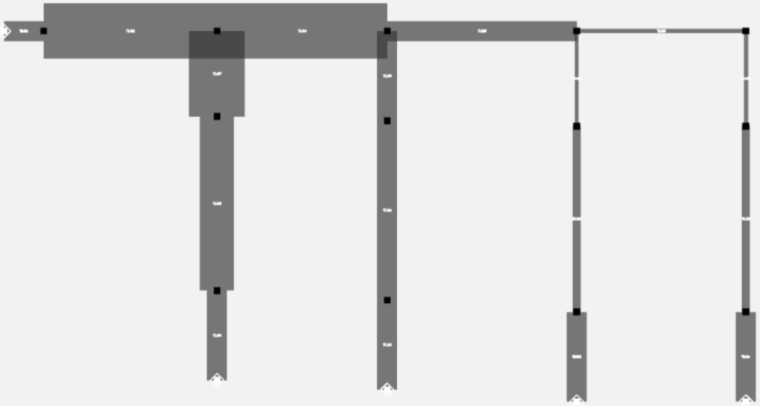
微带移相器

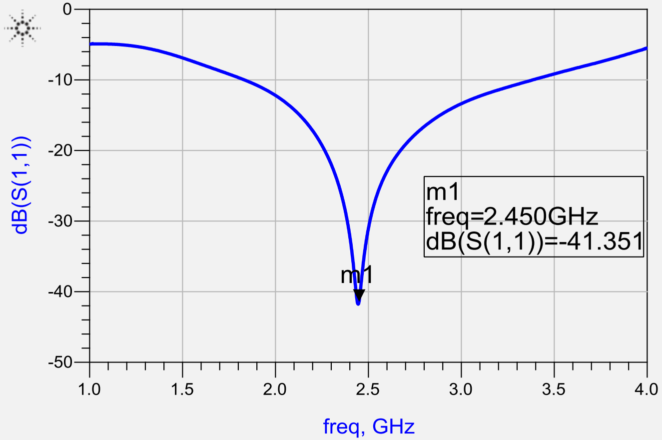


通过调整隔断微带线长度和获得预期的移相度

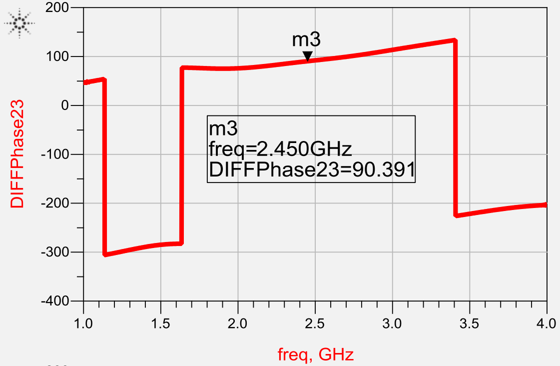
移相器

微带移相器

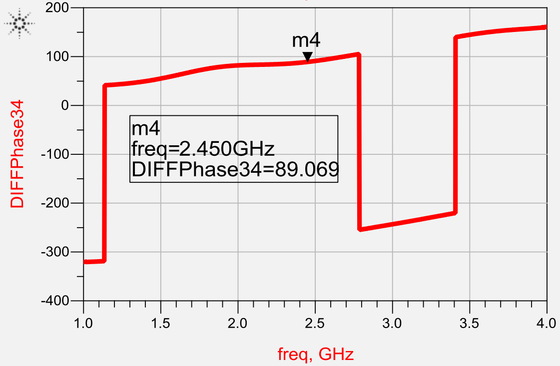




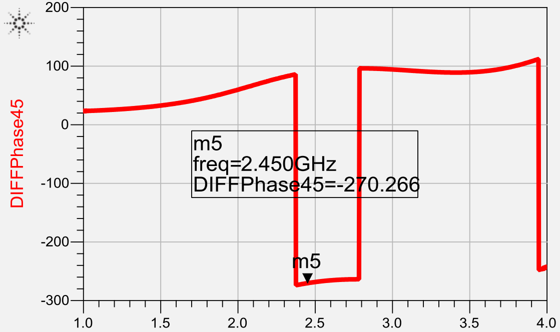
m1
freq=2.450GHz
dB(S(1,1))=-41.351
dB(S(1,1))
freq, GHz



m3
freq=2.450GHz
DIFFPhase23=90.391
DIFFPhase23
freq, GHz



m4
freq=2.450GHz
DIFFPhase34=89.069
DIFFPhase34
freq, GHz



m5
freq=2.450GHz
DIFFPhase45=-270.266
DIFFPhase45

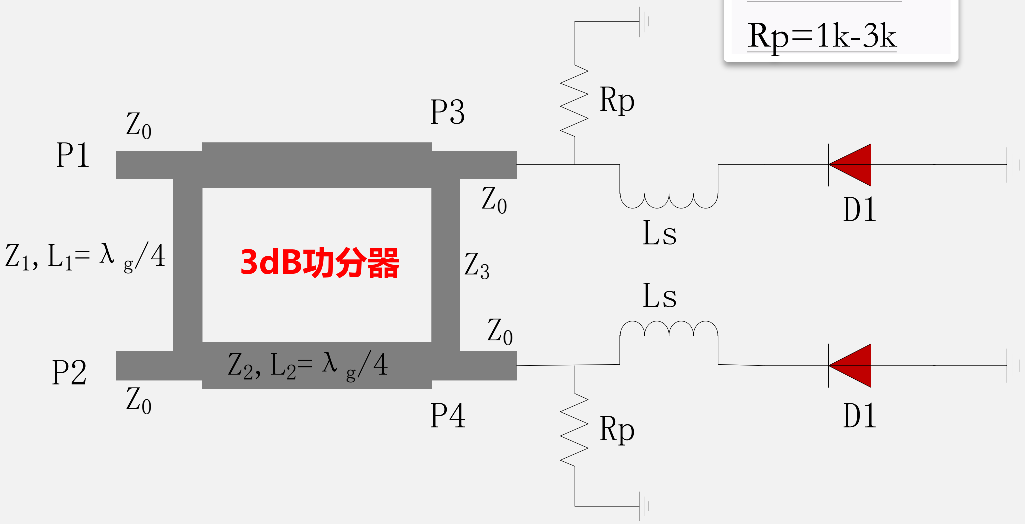
Part 3

电控反射型移相器设计

移相器

电控反射移相器

Ls=1-3nH
Rp=1k-3k



通过调整隔断微带线长度和获得预期的移相度

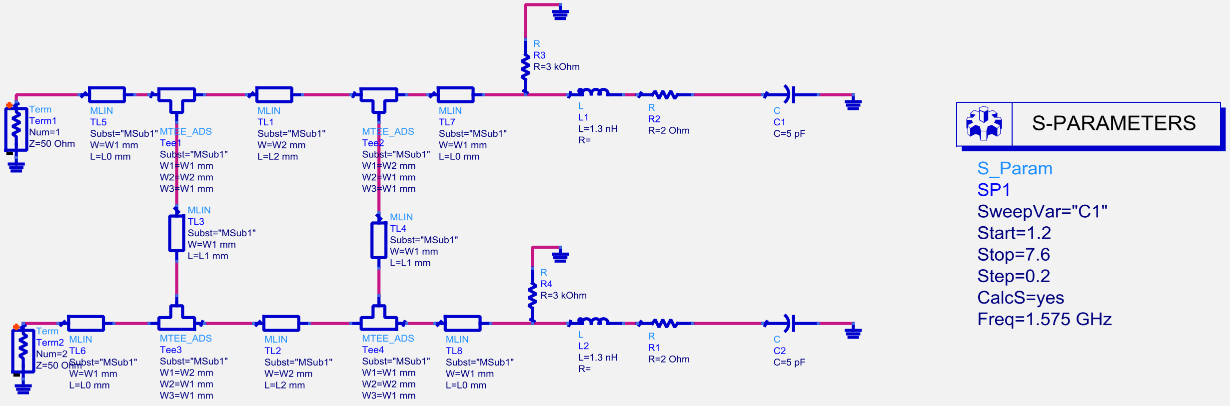
P1、P2为移相器的输入和输出端口，P3和P4分别接变容二极管作为反射端；

相移由反射端口的电抗决定，通过调节变容二极管的反向偏置改变其电容，即可改变电抗，从而改变相移。

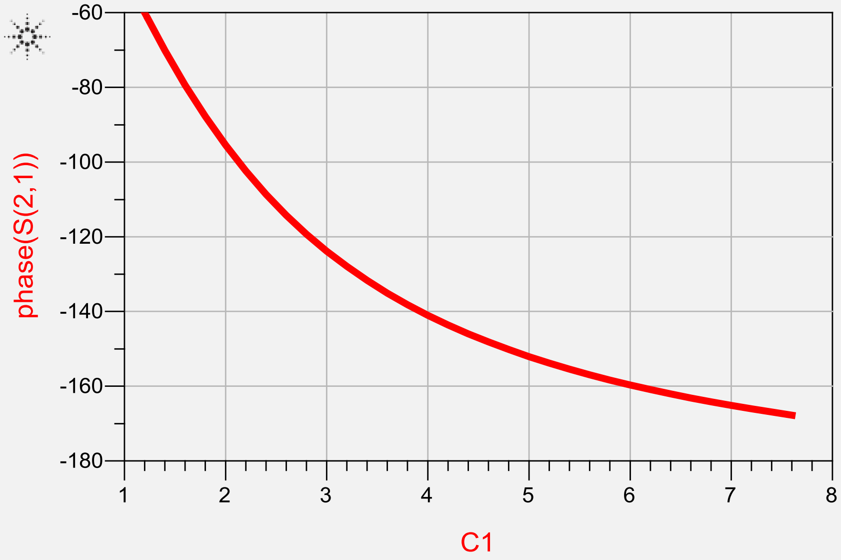
反射式模拟移相器的反射终端网络由偏置电阻Rp， 外 加 电 感Ls,以及变容二极管D1组成。在移相网络中，将一合适电阻Rp并联于变容二极管，可以改善插入损耗的波动。而将变容二极管串联一固定电感Ls ，可以增加相移度，但是，电感的过量增加会带来变容管电容量变化减小以及整体移相范围缩小

移相器

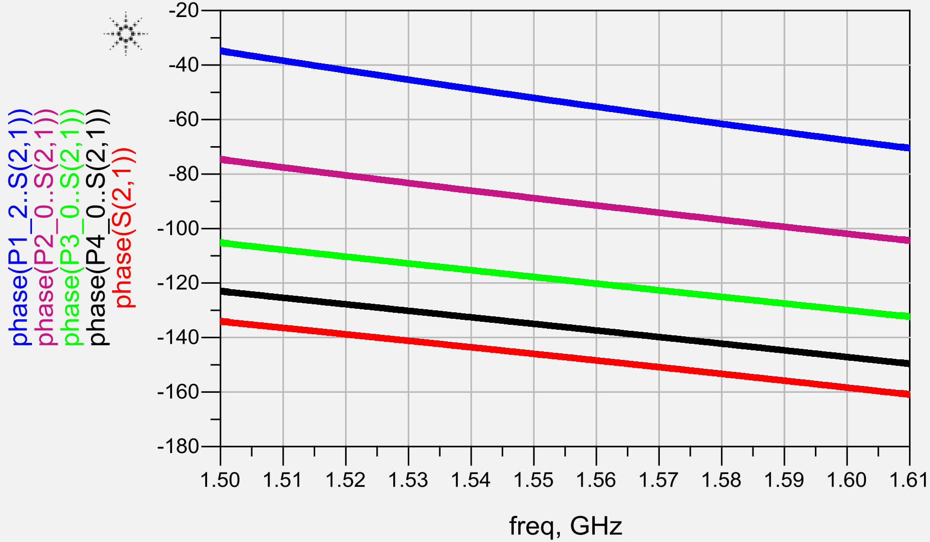
电控反射移相器



Term
Term1
Num=1
Z=50 Ohm
MLIN
TL5
Subst="MSub1"
W=W1 mm
L=L0 mm
MTEE_ADS
Tee1
Subst="MSub1"
W1=W1 mm
W2=W2 mm
W3=W1 mm
MLIN
TL1
Subst="MSub1"
W=W2 mm
L=L2 mm
MTEE_ADS
Tee2
Subst="MSub1"
W1=W2 mm
W2=W1 mm
W3=W1 mm
MLIN
TL7
Subst="MSub1"
W=W1 mm
L=L0 mm
R
R3
R=3 kOhm
L
L1
L=1.3 nH
R=
R
R2
R=2 Ohm
C
C1
C=5 pF
MLIN
TL3
Subst="MSub1"
W=W1 mm
L=L1 mm
MLIN
TL4
Subst="MSub1"
W=W1 mm
L=L1 mm
R
R4
R=3 kOhm
Term
Term2
Num=2
Z=50 Ohm
MLIN
TL6
Subst="MSub1"
W=W1 mm
L=L0 mm
MTEE_ADS
Tee3
Subst="MSub1"
W1=W2 mm
W2=W1 mm
W3=W1 mm
MLIN
TL2
Subst="MSub1"
W=W2 mm
L=L2 mm
MTEE_ADS
Tee4
Subst="MSub1"
W1=W1 mm
W2=W2 mm
W3=W1 mm
MLIN
TL8
Subst="MSub1"
W=W1 mm
L=L0 mm
L
L2
L=1.3 nH
R=
R
R1
R=2 Ohm
C
C2
C=5 pF
S-PARAMETERS
S_Param
SP1
SweepVar="C1"
Start=1.2
Stop=7.6
Step=0.2
CalcS=yes
Freq=1.575 GHz



phase(S(2,1))
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
1
2
3
4
5
6
7
8
C1

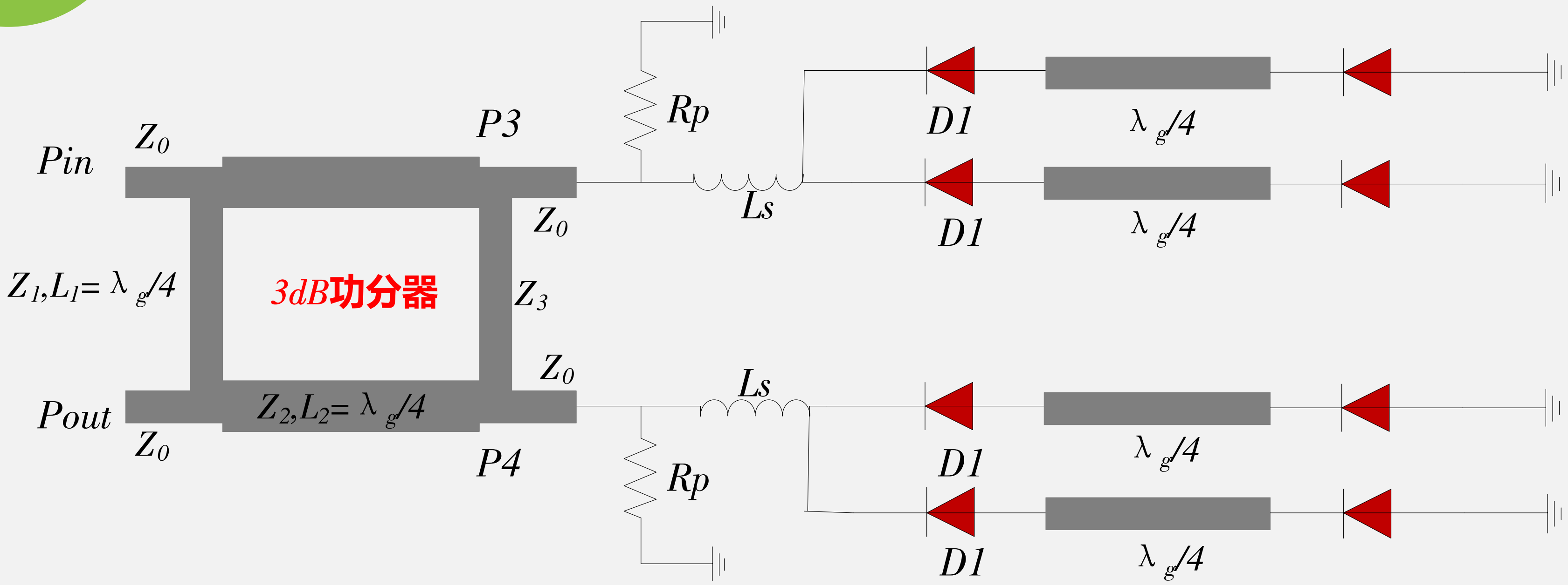


phase(P1_2..S(2,1))
phase(P2_0..S(2,1))
phase(P3_0..S(2,1))
phase(P4_0..S(2,1))
phase(S(2,1))
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
1.50
1.51
1.52
1.53
1.54
1.55
1.56
1.57
1.58
1.59
1.60
1.61
freq, GHz

移相器

电控反射移相器

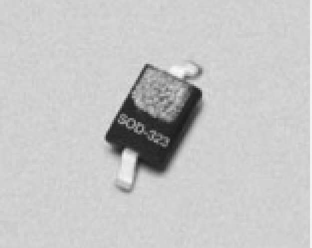
0-360° 电控移相器



移相器

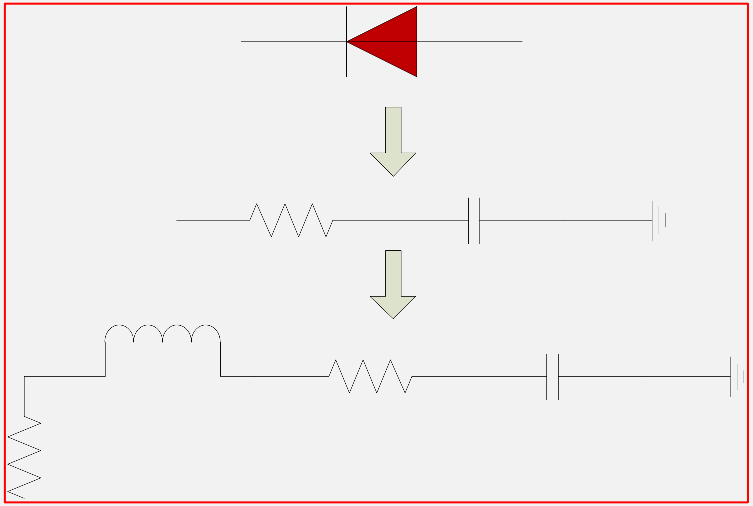
电控反射移相器

变容二极管模型设计
(以SMV1245为例)



Capacitance vs. Voltage

V_R (V)	C_T (pF)
0.0	7.37
0.5	5.84
1.0	4.93
1.5	4.28
2.0	3.79
2.5	3.40
3.0	3.06
3.5	2.76
4.0	2.51
4.5	2.28
5.0	2.09
5.5	1.92
6.0	1.78
6.5	1.66
7.0	1.55
7.5	1.46
8.0	1.38
8.5	1.32
9.0	1.26
9.5	1.20
10.0	1.16
10.5	1.12
11.0	1.08
11.5	1.05
12.0	1.02



Parameter	Condition	Frequency	Min.	Typ.	Max.	Unit
Breakdown Voltage (V_{BR})	I_R = 10 µA		26.00			V
Reverse Current (I_R)	V_R = 10 V				50.00	nA
Capacitance (C_T)	C_T @ 1 V, V_R = 1 V, F = 1 MHz		4.40		5.40	pF
Capacitance Ratio (C_{TR})	C_T (1 V)/C_T (3 V)		1.47		1.76	
Capacitance Ratio (C_{TR})	C_T (1 V)/C_T (9 V)		3.50		4.20	
Series Resistance (R_S)	V_R = 1 V, F = 500 MHz				2.00	Ω

THANK YOU !!