# 浙江水学

### 本科实验报告

课程名称: 电磁场与电磁波实验

姓 名: 张青铭

学院:信息与电子工程学院

系:

专业:信息工程

学 号: 3200105426

指导教师: 王子立

2022年3月23日

## 洲沙人学实验报告

专业: 信息工程

姓名: <u>张青铭</u> 学号: <u>3200105426</u>

日期: 2022.3.23

地点: 东四 224

课程名称: 电磁场与电磁波实验 指导老师: 王子立

实验名称: 微带传输线负载特性矢网测量

#### 1.1. 实验目的

1. 了解基本传输线、微带线的特性。

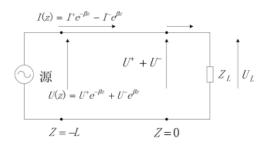
2. 熟悉网络参量测量,掌握矢量网络分析仪的基本使用方法。

#### 1.2. 实验原理

考虑一段特性阻抗为  $Z_0$  的传输线,一端接信号源,另一端则接上负载,如图 1-1 所示。假设此传输线无耗,且传输系数  $\gamma=j$   $\beta$  ,则传输线上电压及电流可用下列二式表示:

$$U(z) = U^{+}e^{-\beta z} + U^{-}e^{\beta z}$$
  

$$I(z) = I^{+}e^{-\beta z} - I^{-}e^{\beta z}$$



1、负载端(z=0)处情况 电压及电流为

$$U = U_L = U^+ + U^-$$
  
 $I = I_L = I^+ - I^-$ 

而 $Z_0I^+ = U^+$ ,  $Z_0I^- = U^-$ , 公式可改写成

$$I_L = \frac{1}{Z_0} (U^+ - U^-)$$

可得负载阻抗为

$$Z_L = \frac{U_L}{I_L} = Z_0 \left( \frac{U^+ + U^-}{U^+ - U^-} \right)$$

定义归一化负载阻抗为

$$\mathbf{z}_L = \overline{Z_L} = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L}$$

其中定义  $\Gamma_L$ 为负载端的电压反射系数

$$\Gamma_L = \frac{U^-}{U^+} = \frac{\overline{Z_L} - 1}{\overline{Z_L} + 1} = |\Gamma_L| e^{j\varphi_L}$$

装

线

订

当 $\mathbf{Z}_L=\mathbf{Z}_0$ 或为无限长传输线时, $\Gamma_L=\mathbf{0}$ ,无反射波,是行波状态或匹配状态。当 $\mathbf{Z}_L$ 为纯电抗元件或处于开路或者短路状态时, $|\Gamma_L|=\mathbf{1}$ ,全反射,为驻波状态。

当 $Z_L$ 为其他值时, $|\Gamma_L| \le 1$ ,为行波驻波状态。 线上任意点的反射系数为

$$\Gamma_L = |\Gamma_L| e^{j\varphi_L - j2\beta z}$$

定义驻波比 VSWR 和回拨损耗 RL 为

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|}$$

$$RL = -20 \lg |\Gamma_L|$$

2、输入端(z =- L)处情况

反射系数 Γ(z) 应改成

$$\Gamma \ (L) \ = \frac{U^- e^{-j\beta_L}}{U^+ e^{j\varphi\beta_L}} = \frac{U^-}{U^+} e^{-j2\beta_L} = \Gamma_L e^{-j2\beta_L}$$

输入阻抗为

$$\mathbf{Z}_{\mathrm{in}} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \ (\beta \mathbf{L})}{Z_0 + jZ_L \tan \ (\beta \mathbf{L})}$$

由上式可知:

- (1) 当  $L \rightarrow \infty$ 时, $Z_{in} \rightarrow Z_0$ 。
- (2) 当  $L = \lambda/2$ 时, $Z_{in} = Z_{L}$ 。
- (3) 当 L =  $\lambda/4$ 时, $Z_{in} = Z_0^2/Z_L$

#### 1.3. 实验设备

- 1、矢量网络分析仪一台
- 2、微带电路一套

#### 1.4. 实验内容

1.用矢量网络分析仪分别测量微带传输线模块的反射特性 (1)接入  $0\Omega$  电阻



装

线

订

线

激励	响应			S11
2.3 GHz	$4.227\Omega$	-11.364Ω	5.934pF	-0.759-0.378j
2.4 GHz	$4.234\Omega$	2.564Ω	159.367pF	-0.835+0.081j
2.5 GHz	5.003Ω	16.758Ω	1.078nH	-0.661+0.505j
2.6 GHz	$7.003\Omega$	34.002Ω	2.097nH	-0.296+0.773j
2.7 GHz	11.421Ω	58.411Ω	3.455nH	0.144+0.814j

理论计算:由公式:  $\mathbf{z}_L = \overline{\mathbf{Z}_L} = \frac{\mathbf{Z}_L}{\mathbf{Z}_0} = \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} \quad \text{和} \quad \Gamma_L = \frac{U^-}{U^+} = \frac{\overline{\mathbf{Z}_L} - 1}{\overline{\mathbf{Z}_L} + 1} = |\Gamma_L|e^{j\varphi_L} \quad , \text{ 忽略传输线损}$ 

耗,在 2.5GHz 的条件下,代入  $Z_L=0$   $\Omega$ ,  $Z_0=50$   $\Omega$ ,得 s11=-1;

分析: (a) smith 圆图上的曲线与实际情况存在一个偏移,并且 2.5GHz 时相对于短路点向上偏移了一段距离。原因是在设计过程中,电缆接头的长度取的是一个波长,但与微带连接中损失了部分长度,导致相较于实际波长短了一截,于是 2.5GHz 光标逆时针向上偏移了一段距离; (b) 整条反射特性曲线由 2.5GHz 对应点顺时针和逆时针分别移动 0.2GHz 得到; (c) 改变频率,电压的实际波长发生改变,相对于 2.5GHz 就出现了相位的移动; (d) 不同频率下的 s11 参数如表格右侧所示; (e) 因为传输线存在损耗,故反射系数的模小于 1;

#### (2)接入49.9 Ω 电阻



激励	响应			S11
2.3 GHz	39.436Ω	$7.344\Omega$	506.697pH	-0.111 +0.091i
2.4 GHz	42.798Ω	13.446Ω	891.433nH	-0.055 +0.153i
2.5 GHz	49.621Ω	18.645Ω	1.185nH	0.030+0.182i
2.6 GHz	60.003Ω	20.651Ω	1.261nH	0.122 +0.165i
2.7 GHz	72.712Ω	15.781Ω	929.823рН	0.198+0.103i

理论计算:由公式:  $\mathbf{z}_L = \overline{\mathbf{Z}_L} = \frac{\mathbf{Z}_L}{\mathbf{Z}_0} = \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} \quad \mathbf{n} \quad \Gamma_L = \frac{U^-}{U^+} = \frac{\overline{\mathbf{Z}_L} - 1}{\overline{\mathbf{Z}_L} + 1} = |\Gamma_L| e^{j\varphi_L} \quad , \text{ 忽略传输线损}$ 

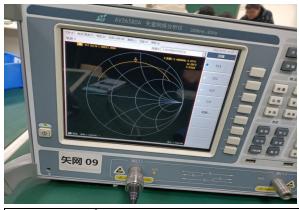
耗,在 2.5GHz 的条件下,代入  $Z_L$ =49.9 $\Omega$ , $Z_0$ =50 $\Omega$ ,得  $s11 \approx 0$ ;

分析: (a) smith 圆图上的曲线与实际情况存在偏差,原本应该为圆图中心的一点发散为了一条曲线。首先是由于电阻实际值不严格等于 50 Ω,不严格匹配,其次是电缆接头部分

损失了部分长度,导致相较于实际波长短了一截,于是得到了与中心偏离部分的曲线;

(b) 整条反射特性曲线由 2.5GHz 对应点顺时针和逆时针分别移动 0.2GHz 得到; (c) 改变频率,电压的实际波长发生改变,相对于 2.5GHz 就出现了相位的移动; (d) 不同频率下的 s11 参数如表格右侧所示;

#### (3)接入 3.3nH 电容



激励	响应			S11
2.3 GHz	$4.367\Omega$	12.266Ω	846.556pH	-0.750 +0.395i
2.4 GHz	5.443Ω	28.261Ω	1.674nH	-0.432+0.730i
2.5 GHz	8.043Ω	49.601Ω	3.157nH	0.830+0.989i
2.6 GHz	16.158Ω	85.332Ω	15.227nH	0.433+0.732i
2.7 GHz	55.188Ω	171.063Ω	10.066nH	0.739+0.424i

理论计算:由公式: 
$$\mathbf{z}_L = \overline{Z_L} = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} \quad \Pi \quad \Gamma_L = \frac{U^-}{U^+} = \frac{\overline{Z_L} - 1}{\overline{Z_L} + 1} = |\Gamma_L| e^{j\varphi_L} \quad , \text{ 忽略传输线损}$$

耗,在 2.5GHz 的条件下,代入  $Z_L=jwL=51.836j\Omega$ , $Z_0=50\Omega$ ,得 s11=0.036+0.999j;

分析: (a) smith 圆图上的曲线与实际情况存在偏差,从实验结果看,负载端除电抗分量还存在电阻分量,其次是电缆接头部分损失了部分长度,导致相较于实际波长短了一截,得到偏移的曲线; (b) 曲线总体上还是符合感性负载特性 (c) 改变频率,电压的实际波长发生改变,相对于 2.5GHz 就出现了相位的移动; (d) 不同频率下的 s11 参数如表格右侧所示;

#### (4)接入 1pf 的电容



装

订

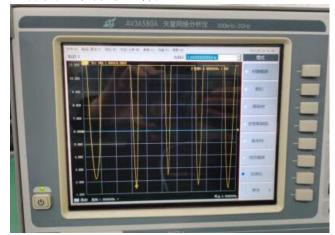
线

理论计算:由公式: 
$$\mathbf{z}_L = \overline{\mathbf{Z}_L} = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} \quad \text{和} \quad \Gamma_L = \frac{U^-}{U^+} = \frac{\overline{Z_L} - 1}{\overline{Z_L} + 1} = |\Gamma_L| e^{j\varphi_L} \quad , \text{ 忽略传输线损$$

耗,在 2.5GHz 的条件下,代入  $Z_L=C/jw=-6.37*10^-23j\Omega$ , $Z_0=50\Omega$ ,得 s11=-1;

分析: (a) smith 圆图上的曲线与实际情况存在偏差,从实验结果看,负载端除电抗分量还存在极小电阻分量,其次是电缆接头部分损失了部分长度,导致相较于实际波长短了一截,得到偏移的曲线; (b) 曲线总体上还是符合容性负载特性 (c) 改变频率,电压的实际波长发生改变,相对于 2.5GHz 就出现了相位的移动; (d) 不同频率下的 s11 参数如表格右侧所示;

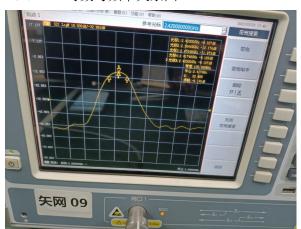
#### 2. 分析天线的驻波比特性



分析:最小驻波比 VSWR=1.34,回波损耗 RL=16.75,能量利用率为73.1%。因为实际总存在反射,因此驻波比大于1。以1.13~1.38 作为 VSWR 衡量标准,此天线勉强符合标准,但性能并不优秀;

3.分析测量的微带耦合滤波器的滤波特性

#### (1) S21 对数与频率关系图



装

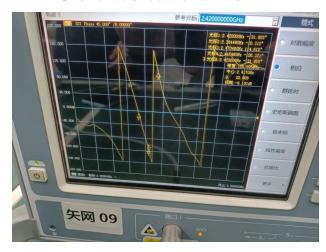
线

订

#### 由上图测量结果可得:

中心频率 f <sub>0</sub>	3dB 带宽	插入损耗	带内纹波	阻带衰减
2.417GHz	105.995MHz	-9.130dB	2.870dB	40.872dB

#### (2) S 参数与ω功率与相位关系曲线



分析:滤波器插入损耗为-9.13dB,以-5dB 为标准,滤波器设计性能并不优秀; 3dB 带宽可理解为滤波器通带,长度为 105.995MHz; 阻带衰减约为 40dB,对通带外频段抑制作用明显;

#### 1.5 思考题

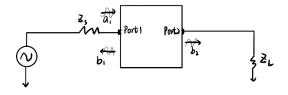
装

订

线

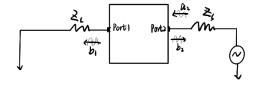
1.什么是 s 参数?

答:入射能量 al 输入到端口 1, bl 为反射能量, b2 为输出到端口 2 的能量,则:S11=b1/al,表示输入端的反射系数;S21=b2/al,表示前向传输增益;



在输出端施加激励信号,在输入端匹配电阻,则:

S22=b2/a2,表示输出端反射系数;S12=b1/a2,表示输入端接匹配情况下的反向传输增益;



- 2. 如果不校准,直接接入射频电缆和电路模块测量会对结果有什么影响?
- 答:得到的史密斯圆图会不光滑,边缘参差不齐,测出的数据不准确;
- 3. 如何测量转接头对测试曲线的影响?

答:可以用完全匹配的阻抗进行测量,校准后史密斯圆图上距离圆心的距离就是转接头产生的误差;

4.利用实验内容 2 中已知的设计参数, 计算 50 欧半波长微带线的长度和宽度。

答: f=2.5GHz, Z0=50ohm, er=4.6, h=0.765mm, t=0.035mm,

带入数值, 计算可得  $\lambda$  =65.24mm, w=1.37mm,  $l=\lambda/2+n\lambda$  (n 为正整数);

#### 1.6 收获与体会

经过这次实验,我对于传输线的理解有了更深入的认识,并且学习到了 S 参数,反射特性分析,滤波器参数分析等知识。在实验过程中,由于最开始没有理解实验的核心内容,导致前面走了许多弯路,进度也拉下了很多,下课后多做了接近一节课的时间才把实验完成。在测滤波器特性的时候,由于最初校准前忽略了将 s11 修改为 s21,导致后续实验没法做,我和同组的同学也浪费了很多时间在这上面。

在后续写实验报告的过程中,我对于 s11 与反射系数又加深了理解,在以后的理论的学习中,也能更加灵活的使用这些参数了。

装

订

线