



普通高等教育“十一五”
国家级规划教材

王培章 张颖松 编著

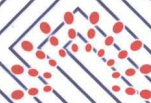
微波技术 实验

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Microwave
Technology Experiments



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



高校系列



普通高等教育“十一五”
国家级规划教材

王培章
张颖松
编著

微波技术 实验

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Microwave
Technology Experiments

人民邮电出版社
北京



图书在版编目 (C I P) 数据

微波技术实验 / 王培章, 张颖松编著. -- 北京 :
人民邮电出版社, 2010.10
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-18378-1

I. ①微… II. ①王… ②张… III. ①微波技术—实
验—高等学校—教材 IV. ①TN015-33

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第045275号

内 容 提 要

本书共分4章, 主要介绍微波与天线领域里各种主要电参数——波长、频率、驻波比、网络参数、阻抗及天线方向图、增益、相位、极化等的测量原理和实验方法, 微波通信系统中各种部件的设计和测试方法, 以及常用微波仪器的技术性能和使用方法。

本书内容比较丰富, 阐述严谨又通俗易懂, 所介绍的实验技术适应目前国内的发展状况。本书可供电子信息与通信工程等专业本科生使用, 也适合高职院校相关专业作为实验教材使用, 同时也可作为电子信息与通信工程技术人员的参考用书。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
微波技术实验

-
- ◆ 编 著 王培章 张颖松
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12 2010年10月第1版
字数: 292千字 2010年10月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-18378-1

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

现代微波通信集中了微波技术基础、微波电路、微波网络与计算机仿真技术的许多成果，这一切都给微波通信的课程教学带来了挑战。现代高等教育强调理论教学与实验性环节的紧密结合，但由于种种原因，相应的实验课程的开设一直相对滞后，这大大影响了课程教学的效果。“微波综合实验系统”正是为了配合微波通信课程的理论教学而研制的。

微波与天线实验系统主要面向各大中专院校微波通信工程、电子工程、通信工程、电子信息工程、电子测量等专业开设的“微波技术”、“微波网络”、“微波电路”、“天线原理”、“移动通信”等课程的实验教学及课程设计、毕业设计而开设的。

本书主要针对微波通信的系统级实验，也兼顾基本原理的实验内容。设计思想紧跟微波技术，针对学生的学习重点，难点和实际工作中的热点技术进行设计。立足从学生的角度出发，既巩固了理论学习内容，也可以了解实用技术。

全书共分4章。第1章为微波电路特性测试实验，介绍了微波通信系统各种部件的测试，如微波滤波器的设计及其测试、微波放大器设计、微波上变频器的测试实验、微波下变频器的测试实验、微波锁相振荡器的设计及其测试、微波功率可变衰减器实验、微波功分器实验、微波接收机中频放大器指标测试实验、微波压控振荡器测试实验。在此基础上根据不同部件的组合，让学员可以自己组合成微波通信系统，如微波电视信号发送和接收系统、微波发送系统电路组成及介绍、微波发射机设计及指标测试实验。与此同时，本书还开设了若干虚拟实验和计算机仿真软件，介绍了ANSOFT DESIGNER V1.0、Ansoft HFSS V9.0，使计算机仿真和实际测试相结合，突出体现了理论联系实际。第2章为微波信号特性测试，主要介绍了驻波分布和波长的测量、晶体定标、驻波测量等内容。第3章为微波天线特性测试，介绍了天线方向图、增益、相位、极化的测试和天线测试场地与微波暗室。第4章为微波常用仪器介绍，主要介绍了比较先进的各种微波信号源、微波频谱分析仪、微波矢量信号网络分析仪的原理和使用方法。

本书是长期从事微波技术与天线课程教学及科研工作的结晶，所有实验紧扣教材，覆盖了微波通信课程的主要内容，真正体现微波通信的特色。通过实验，使学生对微波通信原理与系统有全面直观的认识，加深对书本理论知识的理解和掌握。

由于本课程实验教学系统及其配套实验教材还较少见，我们在这方面进行了一些有益的尝试，因水平所限，其中难免有不妥之处，欢迎读者提出宝贵意见。

编者

2010年4月

目 录

第 1 章 微波电路特性测试.....1	实验二 八木天线天线方向图的测试.....111
实验一 微波发射机设计及指标测试	实验三 抛物面天线方向性的测量.....115
实验.....1	实验四 天线增益测量.....116
实验二 微波滤波器设计及其测量.....3	实验五 天线极化的测量圆极化特性的测试.....123
实验三 微波放大器设计.....13	第 4 章 微波常用仪器介绍.....132
实验四 微波射频前端上变频器.....19	4.1 频谱分析仪.....132
实验五 微波下变频器的测试实验.....26	4.2 矢量信号分析仪.....139
实验六 微波锁相振荡器的设计及其测试.....32	4.3 矢量网络分析仪.....145
实验七 微波电视信号发送和接收系统.....36	4.4 微波综合测试仪.....154
实验八 微波数字衰减器的典型应用.....39	4.5 微波功率计.....155
实验九 微波压控振荡器的测试.....43	附录 A 天线测量场地与微波暗室.....162
实验十 微带天线.....48	A1 收、发天线之间的距离 $r_{\min}$ 的确定.....162
实验十一 传输线理论.....54	A2 抑制地面反射.....163
实验十二 史密斯圆图分析与应用.....60	A3 倾斜天线测试场.....164
实验十三 功率可变衰减器.....62	附录 B 天线自动测量系统.....168
实验十四 微波实验所需软件的简介.....68	B1 S.A.公司产品.....168
第 2 章 微波信号特性测试.....91	B2 MI-Technology 公司产品.....170
实验一 驻波分布与波长的测量.....91	附录 C 射频同轴连接器.....172
实验二 晶体定标.....96	C1 系列转接头.....173
实验三 驻波测量.....101	C2 SMA 接头.....176
第 3 章 天线特性测试.....108	附录 D 常用同轴电缆.....184
实验一 振幅方向图测量.....109	参考文献.....186

实验一 微波发射机设计及指标测试实验

一、实验目的

1. 了解射频前端发射器的基本结构与主要设计参数。
2. 通过实验模组的实际测量，了解射频前端发射器的特性。

二、预习内容

1. 预习放大器、滤波器、混频器、功率放大器的原理理论知识。
2. 预习放大器、滤波器、混频器、功率放大器的设计原理理论知识。

三、实验设备

项 次	设 备 名 称	数 量	备 注
1	视、音频合路器、微波调制器	1 套	
2	微波收发天线	1 组	
3	微波高频头	1 条	
4	微波接收机	1 套	

四、理论分析

微波电视传输系统是一套短距离、点对点的微波电视发送和接收系统，它将现场摄得的电视视频、音频信号以微波方式向电视中心站或有线电视站发送。

五、主要技术指标

1. 一路电视图像信号和一路拌音信号，系统可多路组合使用。
2. 传输距离优于 4km（开阔无阻挡）。
3. 工作频率 S 波段（2.1~2.7GHz），频率点可由用户选定。
4. 发射机输出功率 $\geq 100\text{mW}$ 。

- 5. 频率稳定度： 5×10^{-6} 。
- 6. 接收机噪声系数： $\leq 4\text{dB}$ 。
- 7. 视频输入/输出电平： $1\text{V}(75\Omega)$ 。
- 8. 视频调制方式：FM。
- 9. 音频输入/输出电平： $2.2\text{V}_{(\text{p-p})}$ (600Ω 不平衡)。
- 10. 音频调制方式：FM-FM。
- 11. 频带宽度：27MHz。
- 12. 微分增益： $\leq \pm 3\%$ 。
- 13. 微分相位： $\leq \pm 2^\circ$ 。
- 14. 工作电源：
发射机： $+12\text{V}$ 一体化电池可充电电池，连续工作 10h 以上。
接收机： $220\text{V} \pm 10\%$ ，50Hz。

图 1-1-1 所示为电视接收机系统与接收机原理框图。

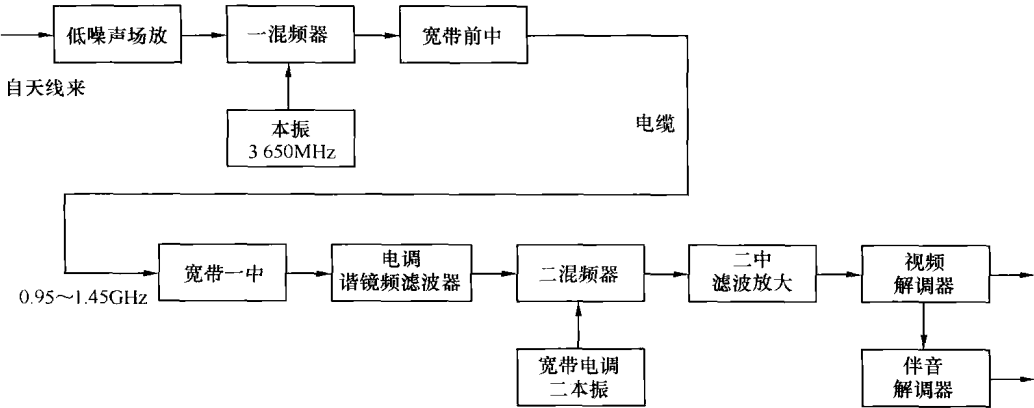


图 1-1-1 微波电视接收机系统与接收机原理框图

六、实验方框图

图 1-1-2 所示为微波电视传输系统方框图。

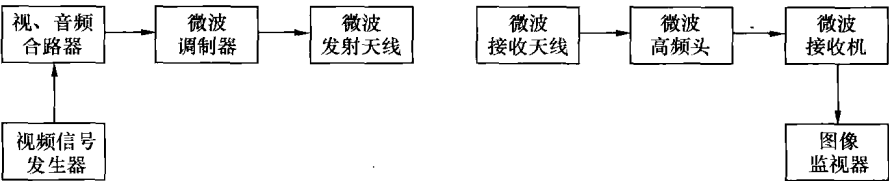


图 1-1-2 微波电视传输系统方框图

七、实验步骤

(1) 如图 1-1-1 所示，接好视频信号发生器和微波调制器的发射支路，如有可能测量微波发射频谱特性。

- (2) 将接收支路连接好，在图像监视器上应能看到较大的调频雪花噪声颗粒。
- (3) 对接收机进行调谐，选择频道，首先调出图像信号，然后对伴音信号进行调谐，使伴音信号清晰悦耳。
- (4) 如图 1-1-2 所示，按微波数字信号传输系统方框图进行连接，发射端接上数字信号发生器，接收端接上示波器，观察接收数字信号波形。

实验二 微波滤波器设计及其测量

一、实验目的

- 1. 了解基本低通及带通滤波器的设计方法。
- 2. 通过实验模组实际测量，了解滤波器的特性。
- 3. 学会使用微波软件对低通和高通滤波器进行设计和仿真，并分析结果。

二、预习内容

- 1. 熟悉滤波器的相关原理等理论知识。
- 2. 熟悉滤波器设计的相关理论知识。

三、实验设备

项 次	设备名称	数 量	备 注
1	扫频仪或表网	1 套	
2	示波器及同轴微波检波器	1 组	
3	同轴腔带通滤波器	1 组	
4	50Ω BNC 连接线	2 条	
5	RFSim99 软件	1 套	微波公司软件

四、实验原理和方法

1. 滤波器的种类

以信号被滤掉的频率范围来分，滤波器(Filter)可分为低通(Lowpass)、高通(Highpass)、带通(Bandpass)和带阻(Bandstop) 4 种。以滤波器的频率响应来分，常见的有巴特渥兹型(Butter-worth)、切比雪夫 I 型(Tchebeshev Type-I)、切比雪夫 II 型(T chebeshev Type-II)、椭圆型(Elliptic)等。按使用元件来分，可分为有源型及无源型两类。其中无源型又可分为 L-C 型(L-C Lumped)及传输线型(Transmission line)，而传输线型以其结构不同又可分为平行耦合型(Parallel Coupled)、交叉指型(Interdigital)、梳型(Comb-line)、发针型(Hairpin-line)等不同结构。

本实验以较常用的 Butter-worth、Tchebeshev Type-I 为例，说明其设计方法。
首先了解 Butter-worth 及 Tchebeshev Type-I 低通滤波器的响应图。

(1) Butterworth

$$B_{LP}(N, \omega) = \frac{1}{1 + \omega^{2N}} \quad \text{if } \omega \geq 0, B(N, \omega) = 10 \cdot \log[|B_{LP}(N, \omega)|]$$

(2) Tchebyshev Type

$$T_{LP}(r_p, N, \omega) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 T_n^2(\omega)}, \quad T(r_p, N, \omega) = 10 \cdot \log[|T_{LP}(r_p, N, \omega)|]$$

式中: $r_p(\text{dB})$ ——通带纹波 (passband ripple), $\varepsilon^2 = 10^{r_p/10} - 1$;

N ——元件级数 (order of element for lowpass prototype);

ω ——截通比 (stopband-to-passband ratio);

$$\begin{aligned} \omega &= f_c / f_x \\ &= B W_p / B W_x \end{aligned}$$

式中: f_c ——-3 dB 截止频率 (3 dB cutoff frequency);

f_x ——截止频率 (stopband frequency);

BW_p ——通带频宽 (passband bandwidth);

BW_x ——截止频宽 (stopband bandwidth)。

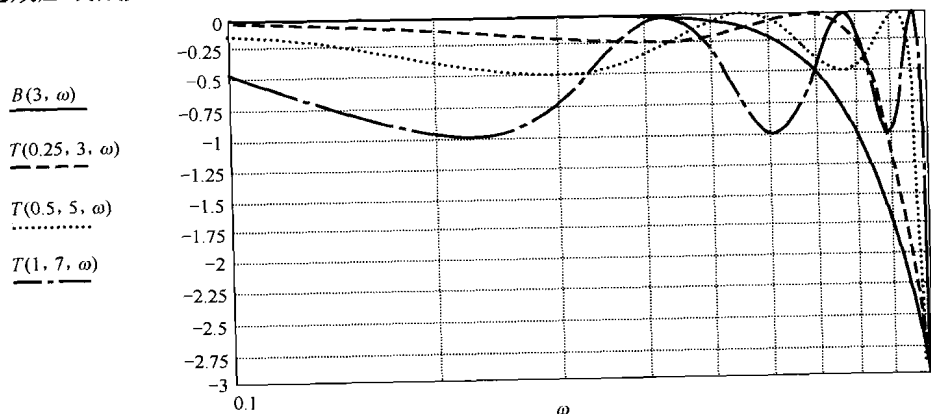
$T_n(\omega)$ 为柴比雪夫多项式 (Tchebyshev polynomials),

$$T_n(\omega) = \begin{cases} \cos[N \cdot \cos^{-1}(\alpha \cdot \omega)] & \text{if } 0 \leq \alpha \cdot \omega \leq 1 \\ \cosh[N \cdot \cosh^{-1}(\alpha \cdot \omega)] & \text{if } \alpha \cdot \omega > 1 \end{cases}$$

其中:

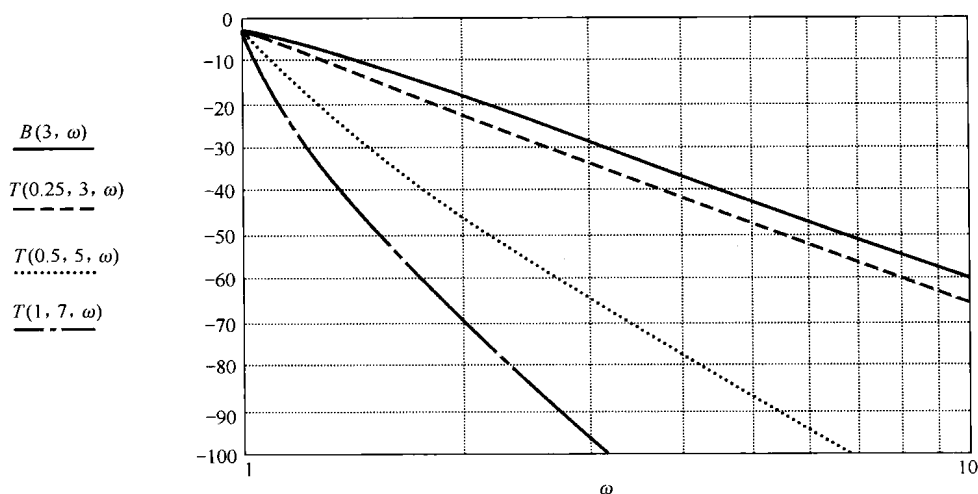
$$\alpha = \cosh\left[\frac{1}{N} \cdot \cosh^{-1}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)\right], \quad \varepsilon^2 = 10^{r_p/10} - 1$$

图 1-2-1 所示为三级巴特渥兹型 $B(3, \omega)$ 与 3 种不同纹波和级数的切比雪夫型的通带响应和截通比响应的比较图。理论上, 在通带内巴特渥兹型是无衰减的 (Maximum flat), 而切比雪夫型较同级数的巴特渥兹型有较大的衰减量。实际应用上, 除非在通带内要求必须是平坦响应 (flat response) 外, 大多允许通带内少量衰减, 因而一般采用切比雪夫型以获得较大的截通效应或减少元件级数。



(a) 通带响应比较图

图 1-2-1 巴特渥兹型与切比雪夫型通带响应和截通带响应比较图



(b) 截通带响应比较图

图 1-2-1 巴特渥兹型与切比雪夫型通带响应和截通带响应比较图 (续)

图中： $B(3, \omega)$ ——三级巴特渥兹型的衰减响应；
 $T(0.25, 3, \omega)$ ——纹波为 0.25dB 的三级切比雪夫型的衰减响应；
 $T(0.5, 5, \omega)$ ——纹波为 0.5dB 的五级切比雪夫型的衰减响应；
 $T(1, 7, \omega)$ ——纹波为 1dB 的七级切比雪夫型的衰减响应。

2. 低通滤波器设计方法

(1) 巴特渥兹型低通滤波器 (Butterworth Lowpass Filter)

步骤一：确定参数。

电路阻抗 (Impedance): $Z_0(\Omega)$
截止频率 (Cutoff Frequency): $f_c(\text{Hz})$
截通频率 (Stopband Frequency): $f_s(\text{Hz})$
通带衰减量
阻带衰减量

步骤二：计算元件级数 (Order of Elements)。

$$N \geq \frac{0.5 \cdot \log \left[\frac{10^{A_s/10} - 1}{10^{A_p/10} - 1} \right]}{\log \left[\frac{f_s}{f_c} \right]}, \quad N \text{ 取最接近的整数}$$

步骤三：计算原型元件值 (Prototype Element Values)。

$$g_k = 2 \cdot \sin \frac{(2K-1)\pi}{2N}, \quad K = 1, 2, \dots, N$$

步骤四：先选择串 L 并 C 型或并 C 串 L 型，再根据公式计算实际电感电容值。

(a) 串 L 并 C 型

$$L_{\text{odd}} = \frac{g_{\text{odd}} \cdot Z_0}{2\pi f_c}, \quad C_{\text{even}} = \frac{g_{\text{even}}}{2\pi f_c \cdot Z_0}$$

(b) 并 C 串 L 型

$$C_{\text{odd}} = \frac{g_{\text{odd}}}{2\pi f_c \cdot Z_0}, \quad L_{\text{even}} = \frac{g_{\text{even}} \cdot Z_0}{2\pi f_c}$$

(2) 切比雪夫 I 型 (Tchebyshev Type-I Lowpass Filter)

步骤一：确定参数。

电路阻抗 (Impedance): $Z_0(\Omega)$

截止频率 (Cutoff Frequency): $f_c(\text{Hz})$

阻带频率 (Stopband Frequency): $f_x(\text{Hz})$

通带纹波量 (Maximum Ripple at passband): $r_p(\text{dB})$

阻带衰减量 (Minimum Attenuation at stopband): $A_x(\text{dB})$

步骤二：计算元件级数 (Order of Elements)。

$$N \geq \frac{\arccos \left[\sqrt{\frac{1 - \text{Mag}^2}{\text{Mag}^2 \cdot \varepsilon^2}} \right]}{\arccos \left(\frac{f_x}{f_c} \right)}, \quad \text{其中 } \text{Mag}^2 = 10^{-A_x/10}, \quad \varepsilon^2 = 10^{r_p/10} - 1$$

N 取最接近的奇整数。

采用奇整数是为了避免切比雪夫低通原型在偶数级时，其输入与输出阻抗不相等。

步骤三：计算原型元件值 (Prototype Element Values)。

$$g_1 = \frac{2A_1\alpha}{\gamma}$$

$$g_K = \frac{4A_{K-1}A_K\alpha^2}{g_{K-1} \cdot B_{K-1}}, \quad K = 2, 3, \dots, N$$

式中：

$$\alpha = \cosh \left\{ \frac{1}{N} \cosh^{-1} \left[\frac{1}{\varepsilon} \right] \right\}$$

$$\beta = \ln \left[\coth \frac{r_p}{17.37} \right], \quad \gamma = \sinh \frac{\beta}{2N}$$

$$A_K = \sin \frac{(2K-1)\pi}{2N}, \quad K = 1, 2, \dots, N$$

$$B_K = \gamma^2 + \sin^2 \left(\frac{K\pi}{N} \right)$$

步骤四：先选择串 L 并 C 型或并 C 串 L 型，再依据公式计算实际电感电容值。

(a) 串 L 并 C 型

$$L_{\text{odd}} = \frac{g_{\text{odd}} \cdot Z_0}{2\pi f_c}, \quad C_{\text{even}} = \frac{g_{\text{even}}}{2\pi f_c \cdot Z_0}$$

(b) 并 C 串 L 型

$$C_{\text{odd}} = \frac{g_{\text{odd}}}{2\pi f_c \cdot Z_0}, \quad L_{\text{even}} = \frac{g_{\text{even}} \cdot Z_0}{2\pi f_c}$$

3. 带通滤波器设计方法

步骤一：确定参数。

电路阻抗 (Impedance): $Z_0(\text{ohm})$

上通带频率 (upper passband edge frequency): $f_{\text{PU}}(\text{Hz})$

下通带频率 (lower passband edge frequency): $f_{\text{PL}}(\text{Hz})$

上截止频率 (upper stopband edge frequency): $f_{\text{XU}}(\text{Hz})$

下截止频率 (lower stopband edge frequency): $f_{\text{XL}}(\text{Hz})$

通带衰减量 (Maximum Attenuation at passband): $A_p(\text{dB})$

阻带衰减量 (Minimum Attenuation at stopband): $A_x(\text{dB})$

步骤二：计算元件级数 (Order of Elements)。

$$\omega_{X1} = \left| \left(\frac{f_o^2}{f_{\text{XL}}} - f_{\text{XL}} \right) \cdot \frac{1}{BW_{\text{pass}}} \right|, \quad \omega_{X2} = \left| \left(f_{\text{XU}} - \frac{f_o^2}{f_{\text{XU}}} \right) \cdot \frac{1}{BW_{\text{pass}}} \right|$$

$$\omega_X = \text{MIN}(\omega_{X1}, \omega_{X2})$$

其中：

$$f_o = \sqrt{f_{\text{PL}} \cdot f_{\text{PU}}}, \quad BW_{\text{pass}} = f_{\text{PU}} - f_{\text{PL}}$$

(1) 巴特渥兹型 (Butter-worth)

$$N \geq \frac{0.5 \cdot \log \left[\frac{10^{A_s/10} - 1}{10^{A_p/10} - 1} \right]}{\log[\omega_X]}, \quad N \text{ 取最接近的整数}$$

(2) 切比雪夫 I 型 (Tchebeshev Type)

$$N \geq \frac{\arccos \left[\sqrt{\frac{1 - \text{Mag}^2}{\text{Mag}^2 \cdot \epsilon^2}} \right]}{\arccos(\omega_X)}, \quad N \text{ 取最接近的奇整数}$$

步骤三：计算低通原型元件值 (Prototype Element Values)。

其公式如前所示。选择串 L 并 C 型或并 C 串 L 型，如图 1-2-2 (a) 和 (b) 所示，计算出实际电容 (C_p)、电感 (L_s) 值。

(a) 串 L 并 C 型

$$L_{s_{\text{odd}}} = \frac{g_{\text{odd}} \cdot Z_0}{2\pi \cdot BW_{\text{pass}}}, \quad C_{p_{\text{even}}} = \frac{g_{\text{even}}}{2\pi \cdot BW_{\text{pass}} \cdot Z_0}$$

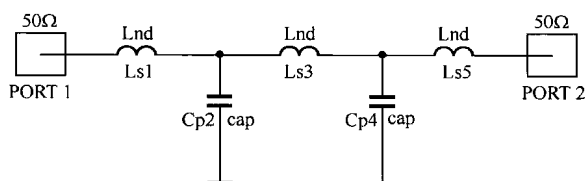
(b) 并 C 串 L 型

$$C_{p_{\text{odd}}} = \frac{g_{\text{odd}}}{2\pi \cdot BW_{\text{pass}} \cdot Z_0}, \quad L_{s_{\text{even}}} = \frac{g_{\text{even}} \cdot Z_0}{2\pi \cdot BW_{\text{pass}}}$$

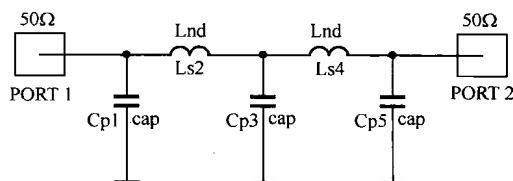
步骤四：计算带通原型元件变换值。

由低通原型实际元件值计算出带通原型实际元件值，并用带通原型变换电器取代低通原

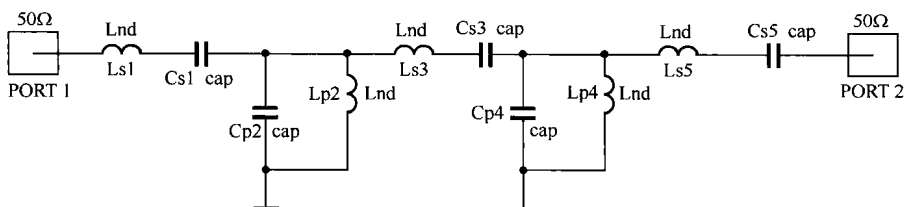
型电路元件，以完成带通电路结构，如图 1-2-2 (c) 所示。



(a) $N=5$ 串 L 并 C 型低通滤波器电路原型



(b) $N=5$ 并 C 串 L 型低通滤波器电路原型



(c) $N=5$ 串 L 并 C 型带通滤波器电路原型

图 1-2-2 滤波器电路原型

为了描述滤波器的滤波特性，一般常用的是插入衰减随频率变化的曲线，如图 1-2-3 所示。插入衰减的定义为

$$L_A = 10 \log \frac{P_i}{P_L}$$

式中， P_i ——滤波器所接信号源的最大输出功率；

P_L ——滤波器的负载吸收功率。

微波滤波器的主要技术指标有：工作频带的中心频率、带宽、通带内允许的最大衰减、阻带内允许的最小衰减、阻带向通带过渡时的陡度、通带内群时延的变化等。

- 利用 $1/4$ 波长传输线并联电抗元件的滤波器

滤波器的结构是：在一特性阻抗为 Z_0 的传输线上，每隔 $1/4$ 的距离就并接一个电抗性元件（它的实际结构可以是短路支线、膜片或螺钉），设其阻抗分别为 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 和 Z_6 ， R_L 是滤波器所接的负载。

- 电容加载型同轴谐振腔

电容加载型同轴谐振腔如图 1-2-4 所示。

谐振条件：

$$\tilde{B}_1 + \tilde{B}_2 = 0$$

满足谐振条件的 C 值由上式确定。

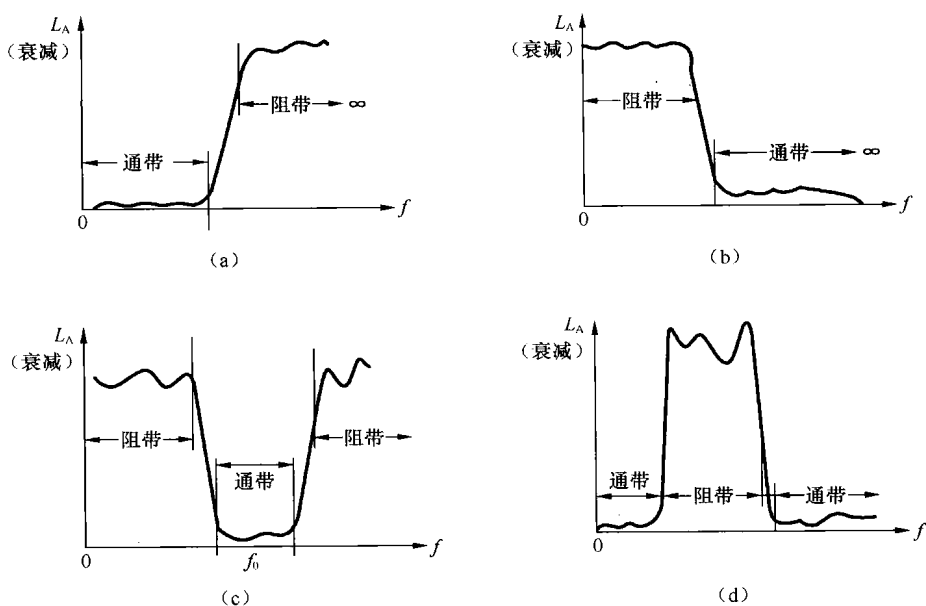


图 1-2-3 衰减随频率变化曲线

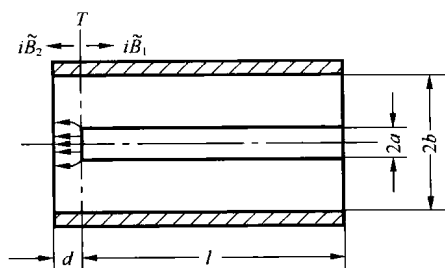


图 1-2-4 电容加载型同轴谐振腔

电容加载型同轴谐振器,其加载电容是由短路端盖与内导体端面之间的间隙电容构成的。由于这种同轴腔一端短路另一端有电容加载,所以谐振时其内导体长度必短于 $\lambda/4$ 以呈感性,故图中参考面 T 处向右侧看去的电纳 $B_1 < 0$; 向左侧看去的电纳 $B_2 > 0$, 谐振时参考面上的总电纳: $\sum B = 0$, 即

$$\omega C_0 - \frac{1}{Z_0} \cot\left(\frac{2\pi}{\lambda} l\right) = 0$$

或

$$2\pi f Z_0 C_0 = \cot\left(2\pi \frac{f}{c} l\right)$$

式中, Z_0 为同轴线的特性阻抗, C_0 为缝隙电容。上式是一个关于频率 f 的超越方程, 可用图解法或数值法求解, 图 1-2-5 所示为其图解法。直线与余切曲线之一系列交点的横坐标即为方程的解, 也即为腔的谐振频率。在图中标出的 $k=1, 3, 5, \dots$ 所对应的谐振频率 $f_{01}, f_{02}, f_{03}, \dots$ 上, 谐振腔的长度分别为

$$l_1 < \frac{\lambda}{4}, l_2 < \frac{3}{4}\lambda, l_3 < \frac{5}{4}\lambda$$

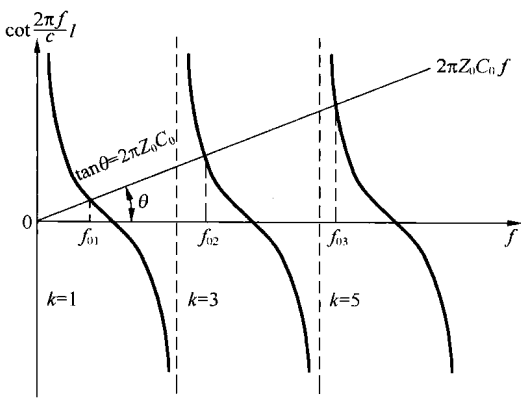


图 1-2-5 电容加载型同轴腔的谐振频率计算曲线

与一端短路一端开路的 $\lambda/4$ 型同轴谐振器相比，电容加载型同轴谐振器的内导体长度缩短了，故缝隙电容又称为“缩短电容”。实用中通常只取 $k=1$ 或 $k=3$ 的低模式，其场分布如图 1-2-6 所示。

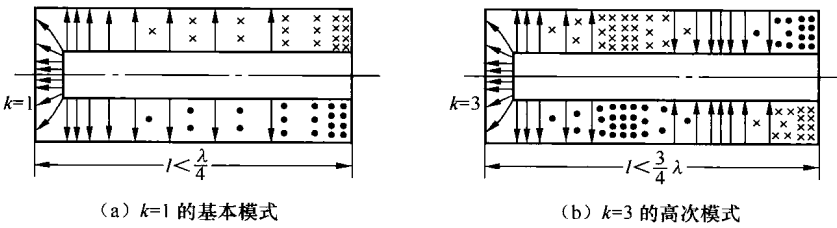


图 1-2-6 具有电容加载的同轴腔的场分布图

如果将缝隙电场近似看做均匀分布，则式中 C 可按平板电容公式计算：

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{\epsilon_0 \pi a^2}{d}$$

五、测量内容

利用示波器和扫描发生器可实现简单的标量网络分析。图 1-2-7 所示为微波滤波器测量方框图，这种测量布置对于只求传递函数的幅值（而不是相位）的传输测量来说是有用的。示波器工作在 X-Y（通道对通）方式，X（水平）输入是来自发生器的扫描电压；Y（垂直）输入是被测器件的输出。发生器的扫描电压正比于发生器的频率，当发生器扫描时，被测器件的输出便在示波器的显示屏上显出来。

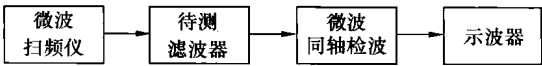


图 1-2-7 微波滤波器测量方框图

扫描发生器的标记输出可用来在示波器的显示屏上精确地鉴别频率。将这些标记输出信

号加到示波器的亮度 (z 轴) 输入, 当标记频率扫过时, 示波器的亮度发生变化。某些扫描发生时, 当它扫过标记频率, 可能稍微增大输出电平, 在示波器显示屏上造成一个“尖峰”信号。这种方法依赖于扫描发生器的输出在频率变化时保持不变, 扫描发生器的输出平坦度有任何不理想都会作为测量误差表现出来。这种网络测量方法的另一主要缺点是示波器的线性具有有限的动态范围。

六、实验步骤

1. 扫频测量法

(1) 将射频 (RF) 扫频输出接待测滤波器入口, 滤波器输出口接检波器后送入显示输出接口 (20), 按入对数开关 (22) 或 (23), 选择适当的宽度进行测量。直读频标, 确定滤波器带宽。用细衰减器确定带内波动量及插入损耗 dB 值。用粗细衰减器确定带外衰减量, 在测量带外衰减 $> 40\text{dB}$ 时要在检波器后加一放大器或者在扫频输出与被测设备之间加宽带功率放大器来满足测试要求。

(2) 滤波器带宽的确定。直接将信号源 RF 输出接检波器, 信号输出衰减 0dB , 在显示器上可以看到检波后的图形曲线, 用电平线 I 指示该电平。

(3) 滤波器中心频率、带外衰减量、带内波动量及插入损耗 dB 值的确定。将输出衰减置 0dB , 接上滤波器, 直读频标, 选择适当的频带宽度进行测量, 可以测出滤波器中心频率, 在 $1\,000\sim 2\,400\text{MHz}$ 挡, 第 1 个频率为 $1\,100\text{MHz}$, 调节输出衰减量使检波后滤波器的曲线和电平线 I 重合, 两种情况的衰减量差值即为带外衰减量值。移动电平线 II 可以测出偏离中心频率 50MHz 处的带外衰减值。

2. 标量用绘测量法

(1) 对于低通滤波器的 S_{11} 及 S_{21} 测量以了解 LC 型低通滤波器电路的特性; 对于带通滤波器的 S_{11} 及 S_{21} 测量以了解 LC 型带通滤波器电路的特性。

(2) 测量同轴腔滤波器 (如图 1-2-8 所示) 的以下参数。

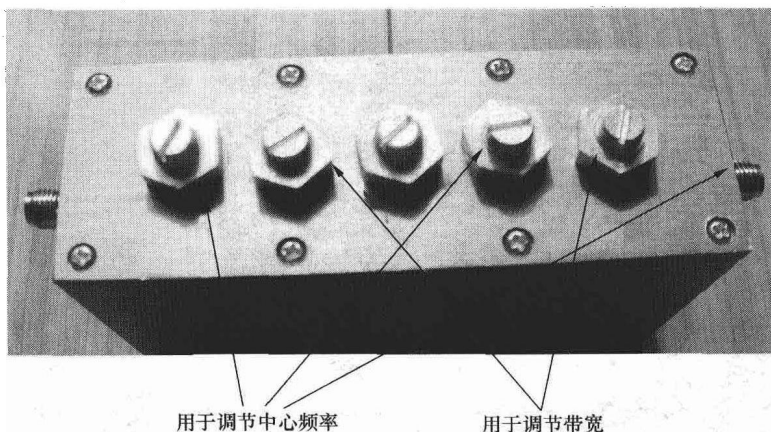


图 1-2-8 同轴腔滤波器示意图

- 上通带频率 $f_{PU}(\text{Hz})$
- 下通带频率 $f_{PL}(\text{Hz})$
- 上截止频率 $f_{XU}(\text{Hz})$
- 下截止频率 $f_{XL}(\text{Hz})$
- 通带衰减量 $A_P(\text{dB})$
- 阻带衰减量 $A_X(\text{dB})$
- (3) 测量步骤如下。

图 1-2-9 所示是用扫频仪测量滤波器特性的示意图。

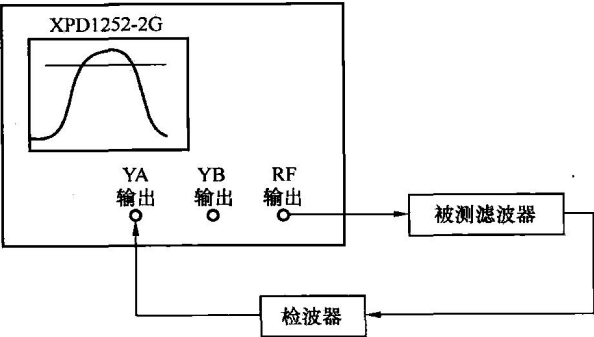


图 1-2-9 用扫频仪测量滤波器特性

- ① 将示波器打到 X-Y 挡，扫频仪扫描输出接示波器的 x 输入作为水平频率线。
- ② 将扫频仪射频输出接三同轴腔终端电容加载带通滤波器，中心频率为 $1\,500\text{MHz}$ ，滤波器输出接微波同轴检波器，然后接到示波器 y 轴挡。将扫频仪扫描带宽调到 200MHz ，带通滤波器带宽为 20MHz ，用扫频仪 Marker 频标观察测量上截止频率 $f_{XU}(\text{Hz})$ 、下截止频率 $f_{XL}(\text{Hz})$ 、下通带频率 $f_{PL}(\text{Hz})$ 、阻带衰减量 $A_X(\text{dB})$ 等，如图 1-2-10 所示。
- ③ 可用起子同时调节三同轴腔终端电容加载带通滤波器的中心频率和通频带。

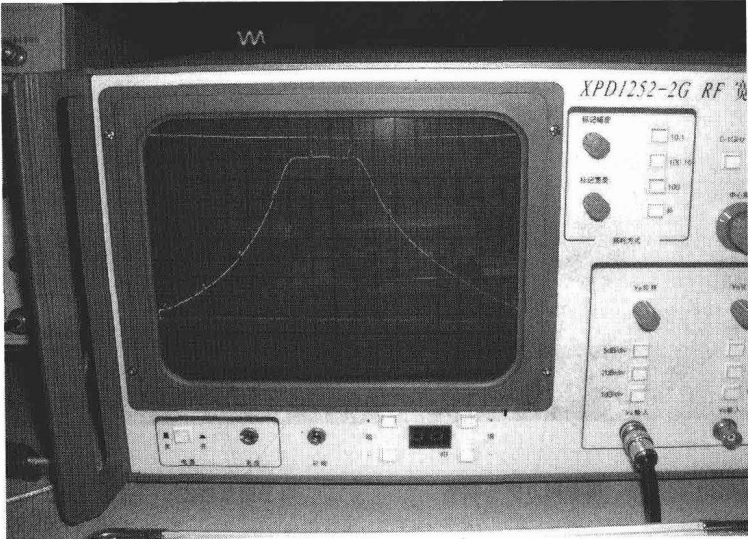


图 1-2-10 扫频波测量滤波器曲线