

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 高频电子线路 学习指导

胡宴如 耿苏燕 编



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 高频电子线路

## 学习指导

胡宴如 耿苏燕 编

高等教育出版社

## 内容提要

本书根据应用型本科人才培养目标要求编写,是胡宴如、耿苏燕主编的《高频电子线路》教材的学习指导书,共7章:绪论,小信号选频放大器,高频功率放大器,正弦波振荡器,振幅调制、解调与混频电路,角度调制与解调电路,反馈控制电路。每章均按基本要求、重点与难点、内容提要及例题三个方面进行讨论,书后附录提供了适量的参考试卷及答案。

本书对高频电子线路的主要内容进行了综合、归纳和总结,帮助读者把握教材的基本要求、各章的重点和难点。例题和参考试卷的选择主要根据应用型本科人才培养目标要求并紧扣教材内容,所以例题的讨论,可使读者加深对理论知识的理解和应用,促进解题能力的提高。

本书可作为应用型本科电子信息类专业学生和自学读者学习辅导用,可与《高频电子线路》一书配套使用,也可单独使用或作为教师教学的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路学习指导/胡宴如,耿苏燕编. —北京:  
高等教育出版社,2006.5  
ISBN 7-04-019184-9

I. 高... II. ①胡... ②耿... III. 高频-电子电路  
-高等学校-教学参考资料 IV. TN710.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第054060号

策划编辑 韩颖 责任编辑 许海平 封面设计 于文燕 责任绘图 吴文信  
版式设计 王艳红 责任校对 朱惠芳 责任印制 宋克学

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印刷	北京凌奇印刷有限责任公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开本	787×960 1/16	版次	2006年5月第1版
印张	11	印次	2006年5月第1次印刷
字数	200 000	定价	14.30元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19184-00

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

**反盗版举报电话：**(010) 58581897/58581896/58581879

**传 真：**(010) 82086060

**E - mail：**dd@hep.com.cn

**通信地址：**北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

**邮 编：**100011

购书请拨打电话：(010)58581118

# 前 言

本指导书是教学辅导教材,是根据应用型本科人才培养目标要求,按照胡宴如、耿苏燕主编的《高频电子线路》教材的体系,对高频电子线路的主要内容进行综合、归纳和总结。它可供应用型本科电子信息类专业学生和自学读者学习辅导用,可与主教材配套使用,也可单独使用或作为教师教学的参考书。

高频电子线路是本科电子信息类专业重要的技术基础课,是一门理论性、工程性与实践性都很强的课程,它内容丰富,应用广泛。高频电子线路主要研究通信系统中共用的基本单元电路,而且主要是讨论非线性电子线路。由于非线性电子线路分析方法的复杂性、非线性电子线路种类和电路形式的多样性以及很强的实践性,因而给学习高频电子线路带来较大的困难。为了更好地满足应用型人才培养的需要,提高本课程的学习效果,编者根据长期的教学经验,编写了本学习指导书,其目的在于帮助读者把握教材的基本要求、各章的重点与难点,指导学习方法。

本书共分7章:绪论,小信号选频放大器,高频功率放大器,正弦波振荡器,振幅调制、解调与混频电路,角度调制与解调电路,反馈控制电路。每章均按基本要求、重点与难点、内容提要及例题三个方面进行讨论,书后附录提供了适量的参考试卷及其答案。每章基本要求、重点和难点,简要说明对学习本章内容的要求和应该掌握的程度,指明内容的重点和难点,以便使读者明确本章学习应该达到的目的;内容提要及例题,对本章的主要内容进行简要分析、归纳和总结,突出内容重点,强调知识的融会贯通,通过典型例题的分析和求解,加深理论知识的理解 and 应用,促进解题能力的提高。

本书由胡宴如、耿苏燕编写,全书由胡宴如统稿。胡旭峰为习题解答校对做了大量工作。

本书承蒙南京工程学院杨志忠教授仔细审阅,杨教授提出了许多宝贵意见及修改建议,在此表示衷心的感谢。

书中错漏和不妥之处,恳请读者批评指正,编者不胜感激。

编 者

2006年1月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
一、基本要求 .....	1
二、重点与难点 .....	1
三、内容提要及例题 .....	1
1.1 通信与通信系统 .....	1
1.2 无线电波段的划分和无线电波的传播 .....	2
1.3 非线性电子线路的基本概念 .....	3
1.4 本课程的主要内容及特点 .....	3
<b>第 2 章 小信号选频放大器</b> .....	7
一、基本要求 .....	7
二、重点与难点 .....	7
三、内容提要及例题 .....	7
2.1 谐振回路 .....	7
2.2 小信号谐振放大器 .....	16
2.3 集中选频放大器 .....	22
2.4 放大器的噪声 .....	23
<b>第 3 章 高频功率放大器</b> .....	25
一、基本要求 .....	25
二、重点与难点 .....	25
三、内容提要及例题 .....	26
3.1 谐振功率放大器的工作原理 .....	26
3.2 谐振功率放大器的特性分析 .....	32
3.3 谐振功率放大器电路 .....	36
3.4 丁(D)类谐振功率放大器 .....	41
3.5 集成高频功率放大器 .....	42
3.6 宽带高频功率放大器 .....	42
<b>第 4 章 正弦波振荡器</b> .....	48
一、基本要求 .....	48
二、重点与难点 .....	48
三、内容提要及例题 .....	48

4.1 反馈振荡器的工作原理 .....	48
4.2 LC 正弦波振荡器 .....	55
4.3 振荡器的频率和振幅稳定度 .....	63
4.4 石英晶体振荡器 .....	65
4.5 RC 正弦波振荡器 .....	69
4.6 负阻正弦波振荡器 .....	71
4.7 特殊振荡现象 .....	73
<b>第 5 章 振幅调制、解调与混频电路 .....</b>	<b>75</b>
一、基本要求 .....	75
二、重点与难点 .....	75
三、内容提要及例题 .....	76
5.1 振幅调制的基本原理 .....	76
5.2 相乘器电路 .....	82
5.3 振幅调制电路 .....	94
5.4 振幅检波电路 .....	101
5.5 混频电路 .....	110
<b>第 6 章 角度调制与解调电路 .....</b>	<b>117</b>
一、基本要求 .....	117
二、重点与难点 .....	117
三、内容提要及例题 .....	118
6.1 调角信号的基本特性 .....	118
6.2 调频电路 .....	127
6.3 鉴频电路 .....	135
<b>第 7 章 反馈控制电路 .....</b>	<b>144</b>
一、基本要求 .....	144
二、重点与难点 .....	144
三、内容提要及例题 .....	144
7.1 自动增益控制电路 (AGC) .....	144
7.2 自动频率控制电路 (AFC) .....	145
7.3 锁相环路 (PLL) .....	146
7.4 频率合成器 .....	149
<b>附录 参考试卷及答案 .....</b>	<b>154</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>169</b>

# 第1章 绪 论

本章简要介绍通信系统的基本知识、非线性电子线路的基本概念以及本课程的主要内容、特点。

## 一、基本要求

- (1) 了解通信系统的组成及工作原理。
- (2) 了解无线电波段的划分和无线电波的传播特点。
- (3) 了解非线性电子线路的基本概念及在通信系统中的应用。
- (4) 了解本课程的主要内容、特点。

## 二、重点与难点

**重点：**

- (1) 通信系统的组成,调制在通信系统中的作用。
- (2) 非线性电路的基本特点。

**难点：**

非线性电路的频率变换作用。

## 三、内容提要及例题

### 1.1 通信与通信系统

#### 1. 通信系统的基本组成

用电信号(或光信号)传输信息的系统称为通信系统,它由信源、输入和输出变换器、发送和接收设备、信道等组成。通信系统种类很多,有无线通信系统和有线通信系统、模拟通信系统和数字通信系统等。利用空间电磁波传送信号的称为无线通信系统,利用线缆来传输信号的称为有线通信系统;基带信号为模



拟信号的称为模拟通信系统,基带信号为数字信号的称为数字通信系统。数字通信系统可以通过再生中继技术消除噪声的积累,并能及时发现和纠正信号传输中因干扰而产生的差错,所以数字通信具有很强的抗干扰、抗噪声能力,同时数字通信便于与计算机接口进行处理,使通信系统更加通用和灵活。本书主要讨论模拟通信系统的组成及其基本电路,这些电路及规律完全可以推广应用到其他类型的通信系统。

## 2. 调制与调制技术的作用

用待传输的基带信号去改变高频载波信号某一参数的过程称为调制。用模拟基带信号去改变载波信号的幅度称为调幅(AM),用基带信号去改变载波信号的频率和相位称为调频(FM)和调相(PM)。用数字基带信号对高频信号进行调制,通常称为键控,三种基本键控方式是振幅键控(ASK)、频率键控(FSK)和相位键控(PSK)。

一般情况下,高频载波为单一频率的正弦波,对应的调制为正弦调制;若载波为一脉冲信号,则称这种调制为脉冲调制。“高频电子线路”课程主要讨论模拟信号和正弦载波的模拟调制,但这些原理,甚至电路完全可以推广到脉冲调制中去。

理论和实践都证明,只有高频(射频)信号适于天线辐射和无线传播,基带信号一般频率很低,只有将它调制到较高的频率信号上,才能实现信号的有效传输。同时高频信号具有较宽的频带,可提供较多的信道,采用调制技术可以实现信道的复用,提高信道的利用率。另外,高频信号可提高系统的性能指标,提高抗干扰性。

## 1.2 无线电波段的划分和无线电波的传播

为了便于分析和应用,习惯上将无线电的频率范围划分为若干区域,称为频段,也称为波段。常用波段的波长范围及频率范围如下:

长波:	波长范围 10 ~ 1 km	频率范围 30 ~ 300 kHz	} 主要沿地面传播
中波:	波长范围 1 000 ~ 200 m	0.3 ~ 1.5 MHz	
短波:	200 ~ 10 m	1.5 ~ 30 MHz	主要依靠电离层传播
超短波:	10 ~ 1 m	30 ~ 300 MHz	主要沿空间直线传播

波长小于 100 cm(频率大于 0.3 GHz)称为微波,主要沿空间直线传播。

本书所指的“高频”是广义的,是指频率范围非常宽的射频。只要电路尺寸比工作波长小得多,仍可用集中参数来实现,都可认为属于“高频”范围。

无线电波传播方式大体可分为三种:沿地面传播、沿空间直线传播和依靠电离层传播。

电波沿地面绕射传播(称地波)比较稳定,传播距离比较远,但随频率升高,地面对电波能量的吸收越大,所以只有长波和中波适用于沿地面传播。

电波依靠电离层传播(称天波),是利用电离层的折射和反射进行传播的,利用电离层的反射,可实现信号的远距离传播。但因电离层状态随时间而变化,所以电波的传播不稳定。

电波沿空间直线传播时,由于地球表面是弯曲的,这种传播的距离只能限制在视线范围内,所以直线传播的距离是有限的。但可以通过架高天线、中继或卫星等方式来扩大传播的距离。

长波信号以沿地面传播为主,中波和短波以沿地面传播和依靠电离层两种方式传播。不过,中波以沿地面传播方式为主,短波以依靠电离层的折射和反射传播为主。超短波及以上频段信号大多以直线方式传播,也可以采用对流层散射的方式传播。

### 1.3 非线性电子线路的基本概念

凡含有非线性元件的电路称为非线性电路,它们在通信设备中具有重要的作用,主要用来对输入信号进行处理,以便产生特定波形和频谱的输出信号。

非线性电路有如下基本特点:

- ① 非线性电路能够产生新的频率分量,具有频率变换作用。
- ② 非线性电路不具有叠加性和均匀性,不适用叠加定理。
- ③ 非线性电路输出响应与器件工作点及输入信号的大小有关。

非线性电子线路按其功能可分为功率放大电路、振荡电路以及波形和频率变换电路三类。

功率放大电路用来对输入信号进行高效率的功率放大。为了提高效率,可使放大器件工作在非线性工作状态,如高频谐振功率放大器。

振荡电路用来产生某一频率的正弦信号,为了获得稳定的正弦波输出,振荡电路内须含有非线性环节。

波形和频率变换电路用来对输入信号进行处理,以便产生特定波形和频谱的输出信号,调制、解调、混频和倍频等都属于这类电路。

### 1.4 本课程的主要内容及特点

本课程的主要任务是研究通信系统中共用的基本单元电路的工作原理、特点及常用线路。其内容包括高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、调制与解调电路、混频电路以及反馈控制电路等。上述除高频小信号放大器

及反馈控制电路外,均属于非线性电子线路。

本课程有如下特点:

① 分析方法上的复杂性。在学习时应注意器件数学模型的建立及工作条件的合理近似,而不必过分追求严格性。

② 线路种类和形式的多样性。学习本课程时,不但要掌握各种典型单元电路的组成、工作原理及分析方法,而且还要深入了解它们之间的共性,善于总结归纳,注意知识的综合运用。

③ 实践性。因工作频率高、电路的复杂性以及非线性过程,在理论分析上常忽略一些实际问题,进行归纳和抽象,因此,许多实际问题(如电路的调试技术)及理论概念,需要通过实验进行学习和加深理解。

**例 1.4.1** 何谓通信系统? 通信系统由哪些部分组成? 各组成部分的作用是什么?

**解:** 用电信号(或光信号)传输信息的系统,称为通信系统。

通信系统的基本组成如图 1.1 所示,它由输入变换器、输出变换器、发送设备、接收设备和信道等组成。

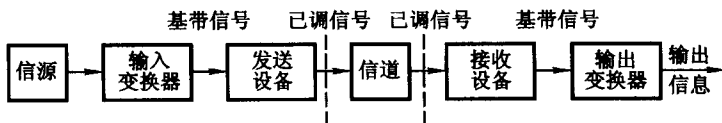


图 1.1 通信系统的基本组成

信源就是信息的来源。

输入变换器的作用是将信源输入的信息转换成电信号。

发送设备用来将基带信号进行某种处理并以足够的功率送入信道,以实现信号有效的传输。

信道是信号传输的通道,又称传输媒介。

接收设备将由信道传送过来的已调信号取出并进行处理,还原成与发送端相对应的基带信号。

输出变换器将接收设备送来的基带信号复原成原来形式的信息。

若基带信号为模拟信号时,图 1.1 所示为模拟通信系统;若基带信号为数字信号时,图 1.1 所示为数字通信系统。

**例 1.4.2** 通信系统为什么要采用调制技术?

**解:** 调制就是用待传输的基带信号去改变高频载波信号某一参数的过程。

采用调制技术可使低频基带信号装载到高频载波信号上,从而缩短天线尺寸,易于天线辐射,实现远距离传输;其次,采用调制可以进行频分多路通信,实现信道的复用,提高信道利用率。

**例 1.4.3** 广播发射机组成框图如图 1.2 所示,各组成部分输出电压波形也示于图中,试指出各小方格的名称,说明其作用。

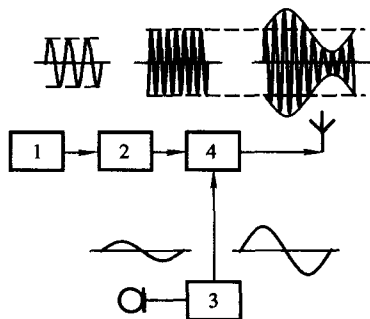


图 1.2 广播发射机组成框图

**解:** 方格 1 为振荡器,用来产生高频信号。

方格 2 为倍频器,用来将振荡器产生的高频信号的频率整倍数升高到所需值,该信号即为发射机的载波信号。

方格 3 为调制信号放大器,为音频放大器,用来放大话筒所产生的微弱语音信号,供给调制器。

方格 4 为振幅调制器,把音频信号装载到高频载波上,输出高频调幅信号,并以足够大的功率输送到天线,然后辐射到空间。

**例 1.4.4** 超外差式接收机中混频器有什么作用?

**解:** 混频器是超外差式接收机中的关键部件,它的作用是将接收机接收到的不同载频已调信号变为频率较低且固定的中频已调信号。例如,广播接收机中把接收到的调幅信号载频均变为 465 kHz 中频,将调频信号载频均变为 10.7 MHz 中频。由于中频是固定的,且频率降低了,因此,中频选频放大器可以做到增益高、选择性好且工作稳定,从而使接收机的灵敏度、选择性和稳定性得到极大的改善。

**例 1.4.5** 已知频率为 3 kHz、1 000 kHz、100 MHz,试分别求出它的波长并指出其所在的波段名称。

$$\text{解: } \lambda_1 = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^3} \text{ m} = 10^5 \text{ m} = 100 \text{ km, 为超长波;}$$

$$\lambda_2 = \frac{3 \times 10^8}{1\,000 \times 10^3} \text{ m} = 300 \text{ m, 为中波;}$$

$$\lambda_3 = \frac{3 \times 10^8}{100 \times 10^6} \text{ m} = 3 \text{ m, 为超短波。}$$

**例 1.4.6** 线性与非线性电阻器件有何区别?非线性器件有何主要作用。

**解:** 理想线性电阻器件的伏安特性曲线是线性的,参量只有一个  $R$ ,其值与外加电压或电流大小无关。

非线性电阻器件的伏安特性曲线是非线性的,需引入 3 个参量,才能比较完整地反映它的特性,而这些参量与外加电压或电流有关。3 个参量分别为静态(直流)电导、动态(交流)电导和平均电导。静态电导适用于电路的直流分析,动态(交流)电导适用于电路的动态分析(其中,时变动态(交流)电导适用于频率变换电路的分析),而平均电导适用于功率放大和振荡电路的分析。

非线性器件能产生新的频率分量,具有频率变换作用。

**例 1.4.7** 已知非线性器件的伏安特性为  $i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2$ ,当  $u = u_1 + u_2 = U_{1m} \cos(\omega_1 t) + U_{2m} \cos(\omega_2 t)$  时,试分析该器件输出电流中所含有的频率分量。

**解:** 将  $u = u_1 + u_2$  代入伏安特性表达式中,则得

$$\begin{aligned} i &= a_0 + a_1(u_1 + u_2) + a_2(u_1 + u_2)^2 \\ &= a_0 + a_1 u_1 + a_1 u_2 + a_2 u_1^2 + a_2 u_2^2 + 2a_2 u_1 u_2 \\ &= a_0 + a_1 U_{1m} \cos(\omega_1 t) + a_1 U_{2m} \cos(\omega_2 t) + \frac{a_2}{2} U_{1m}^2 (1 + \cos 2\omega_1 t) + \\ &\quad \frac{a_2}{2} U_{2m}^2 (1 + \cos 2\omega_2 t) + 2a_2 U_{1m} U_{2m} \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) \\ &= a_0 + \frac{1}{2} a_2 U_{1m}^2 + \frac{1}{2} a_2 U_{2m}^2 + a_1 U_{1m} \cos(\omega_1 t) + a_1 U_{2m} \cos(\omega_2 t) + \frac{1}{2} a_2 U_{1m}^2 \cos(2\omega_1 t) + \\ &\quad \frac{1}{2} a_2 U_{2m}^2 \cos(2\omega_2 t) + a_2 U_{1m} U_{2m} \cos(\omega_1 + \omega_2)t + a_2 U_{1m} U_{2m} \cos(\omega_1 - \omega_2)t \end{aligned}$$

可见,输出电流中除含有直流分量外,交流成分主要有  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $2\omega_1$ 、 $2\omega_2$  以及和频  $(\omega_1 + \omega_2)$ 、差频  $(\omega_1 - \omega_2)$  等频率分量,其中  $2\omega_1$ 、 $2\omega_2$ 、 $(\omega_1 + \omega_2)$ 、 $(\omega_1 - \omega_2)$  为新产生的频率分量,此外,直流分量由  $a_0$  增大为  $\left( a_0 + \frac{1}{2} a_2 U_{1m}^2 + \frac{1}{2} a_2 U_{2m}^2 \right)$ 。

## 第2章 小信号选频放大器

小信号选频放大器用来从众多的微弱信号中选出有用频率信号加以放大,并对其他无用频率信号予以抑制,它广泛用于通信设备的接收机中。本章对谐振回路的基本特性、小信号谐振放大器、集中选频放大器以及放大器噪声进行讨论。

### 一、基本要求

- (1) 掌握  $LC$  并联谐振回路的基本特性和参数,了解阻抗变换电路的工作原理。
- (2) 掌握小信号谐振放大器的电路、工作原理、分析方法及性能特点,了解调谐放大器的稳定性及提高稳定性的措施。
- (3) 了解集中选频放大器的组成及工作特点。
- (4) 了解放大器中噪声的来源及噪声系数的定义。

### 二、重点与难点

**重点:**

- (1) 谐振回路的基本参数及选频特性。
- (2) 单调谐放大器的工作原理、分析方法及性能指标。

**难点:**

- (1) 实用并联谐振回路的变换与计算。
- (2) 晶体管的  $Y$  参数等效电路。
- (3) 单调谐放大器性能指标的计算。

### 三、内容提要及例题

#### 2.1 谐振回路

谐振回路由电感线圈和电容器组成,它具有选择信号和阻抗变换的作用,同

时它还有频幅、频相转换等作用,它在高频电子线路中应用十分广泛。

### 1. 并联谐振回路的选频特性

$LC$  并联谐振回路如图 2.1(a) 所示,图中  $r$  代表线圈  $L$  的等效损耗电阻,通常  $r$  很小,满足  $r \ll \omega L$ ; 由于电容器的损耗很小,图中略去其损耗电阻。电感的等效损耗也可用并联于  $L$  上的大电阻  $R_p$  来表示,如图 2.1(b) 所示,图中  $R_p = \frac{(\omega_0 L)^2}{r}$ 。

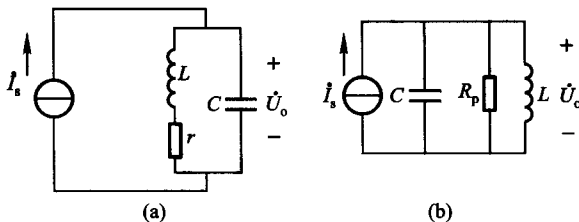


图 2.1  $LC$  并联谐振回路

#### (1) 并联谐振回路的基本参数

$$\text{谐振频率} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{或} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.1)$$

$$\text{特性阻抗} \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad (2.2)$$

$$\text{品质因数} \quad Q = \frac{\sqrt{L/C}}{r} = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1/\omega_0 C}{r} \quad (2.3)$$

$$\text{谐振电阻及谐振电导} \quad R_p = \frac{1}{G_p} = \frac{L}{Cr} = Q\rho \quad (2.4)$$

#### (2) 并联谐振回路的阻抗频率特性

并联谐振回路的阻抗频率特性表达式为

$$Z = \frac{R_p}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \approx \frac{R_p}{1 + j\left(Q\frac{2\Delta\omega}{\omega_0}\right)} \quad (2.5)$$

式中,  $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ , 称为回路的绝对失调量。其中幅频特性和相频特性分别为

$$|Z| = \frac{R_p}{\sqrt{1 + \left(Q\frac{2\Delta\omega}{\omega_0}\right)^2}} = \frac{R_p}{\sqrt{1 + \left(Q\frac{2\Delta f}{f_0}\right)^2}} \quad (2.6)$$

$$\varphi = -\arctan\left(Q\frac{2\Delta\omega}{\omega_0}\right) = -\arctan\left(Q\frac{2\Delta f}{f_0}\right) \quad (2.7)$$

它们的曲线分别如图 2.2(a)、(b) 所示。当回路谐振, 即  $\Delta\omega = 0 (\omega = \omega_0)$  时, 回路阻抗为最大且为纯电阻, 相移  $\varphi = 0$ 。失谐后, 并联回路阻抗下降, 相移值增大。当  $\omega > \omega_0$  时, 回路阻抗呈容性,  $\varphi$  为负值; 当  $\omega < \omega_0$  时, 回路阻抗呈感性,  $\varphi$  为正值, 而且在  $\Delta\omega = 0$  附近,  $\varphi$  与  $\Delta\omega$  成线性关系。  $Q$  值越大,  $R_p$  值越大, 幅频特性曲线越尖锐, 相频特性曲线在谐振频率附近变化率越大。

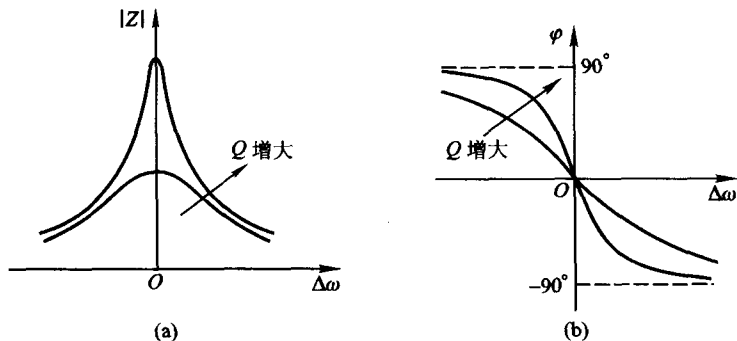


图 2.2 并联谐振回路阻抗频率特性曲线

(3) 并联谐振回路的电压谐振曲线及通频带、选择性  
 并联谐振回路的电压谐振曲线如图 2.3 所示, 其表达式为

$$\left| \frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_p} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( Q \frac{2\Delta f}{f_0} \right)^2}} \quad (2.8)$$

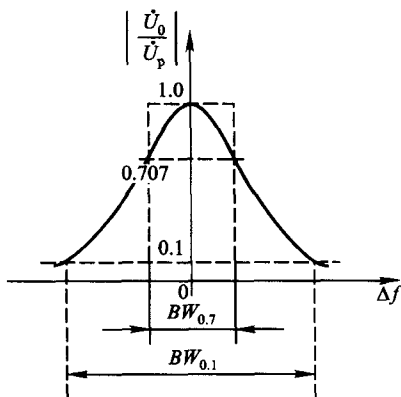


图 2.3 并联回路的电压谐振曲线



式中,  $\dot{U}_p = \dot{I}_p R_p$ , 为谐振时回路两端输出电压。

并联谐振回路 3 dB 通频带为

$$BW_{0.7} = \frac{f_0}{Q} \quad (2.9)$$

选择性是指回路选取有用信号、抑制干扰信号的能力。由于谐振回路具有谐振特性, 所以它具有选择性, 回路谐振曲线越尖锐, 其选择性就越好。

回路的选择性通常用矩形系数  $K_{0.1}$  表示, 并联谐振回路的矩形系数为

$$K_{0.1} = \frac{BW_{0.1}}{BW_{0.7}} \approx 10 \quad (2.10)$$

矩形系数越接近于 1, 回路的选择性就越好。

在并联谐振回路中,  $Q$  值越高, 谐振曲线越尖锐, 通频带越窄, 抑制通频带外信号的能力就越强, 但其矩形系数并不改变, 这说明简单的并联谐振回路的选择性是比较差的。

## 2. 阻抗变换电路

信号源的输出阻抗和负载阻抗都会对谐振回路产生影响, 它们不但会使回路的等效品质因数下降, 通频带变宽, 选择性变差, 同时还会使谐振回路的调谐频率发生变化。实际应用中, 常采用  $LC$  无源阻抗变换电路来减小它们的影响。常用的阻抗变换电路有变压器、电感分压器和电容分压器等, 它们分别如图 2.4(a)、(b)、(c) 所示。

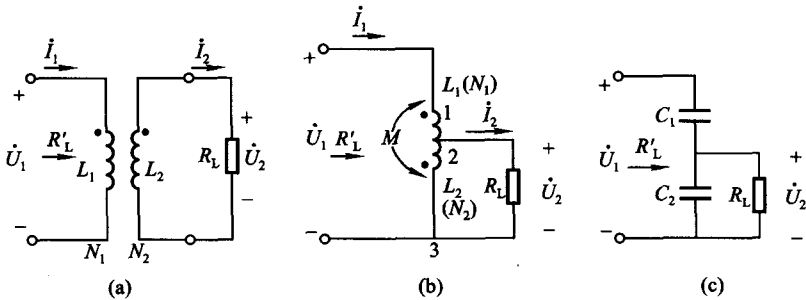


图 2.4 阻抗变换电路

### (1) 变压器阻抗变换电路

电路如图 2.4(a) 所示, 当变压器为理想变压器时, 其阻抗变换关系为

$$R'_L = n^2 R_L, \quad n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad (2.11)$$