

通信技术专业系列



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高频电子技术

董敏 吴敦辉 编著



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

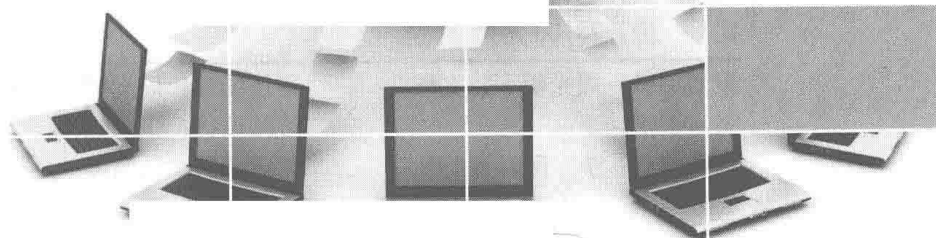
通信技术专业系列



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高频电子技术

董敏 吴敦辉 编著



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高频电子技术 / 董敏等编著. — 3 版. — 北京: 北京师范大学出版社, 2017.2

高等职业教育“十三五”规划教材. 电子技术专业系列

ISBN 978-7-303-22103-5

I. ①高… II. ①董… III. ①高频—电子电路—高等职业教育—教材 IV. ①TN710.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 028000 号

营销中心电话 010-62978190 62979006
北师大出版社科技与经管分社 www.jswsbook.com
电子信箱 jswsbook@163.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com
北京市海淀区新街口外大街 19 号
邮政编码: 100875

印刷: 三河市东兴印刷有限公司
经销: 全国新华书店
开本: 787 mm × 1092 mm 1/16
印张: 14.5
字数: 360 千字
版次: 2017 年 2 月第 3 版
印次: 2017 年 2 月第 2 次印刷
定 价: 28.00 元

策划编辑: 周光明 苑文环
美术编辑: 李葆芬
责任校对: 李 茵

责任编辑: 周光明 苑文环
装帧设计: 张 虹
责任印制: 马鸿麟 赵非非

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-62978190

北京读者服务部电话: 010-62979006-8021

外埠邮购电话: 010-62978190

本书如有印装质量问题, 请与出版部联系调换。

印制管理部电话: 010-62979006-8006

前 言

本书是以国家教委组织制定的《高等学校工程专科电子线路课程教学基本要求》为依据,结合《教育部关于加强高职高专教育培养工作的意见》及教高司《关于在高职高专教学中开展专业教学改革试点工作的通知》精神编写的。

《高频电子技术》是工程专科电子、通信类专业的一门重要的技术基础课,它不仅有自己的体系,而且还有很强的实践性。

考虑到课程本身的特点,也考虑到高职高专的培养目标是重点造就面向基层、应用型的高等专门人才,为此本书在内容上具有以下特点。

(1)在基础理论方面,以“必须”和“够用”为尺度,以生产第一线正在使用的基础理论为主,突出原理分析。

(2)在分析、计算各种电路时,加强基本概念的叙述,减少繁杂的数学推导,只介绍实用的工程计算。

(3)本书以模拟通信系统为主线连贯各功能电路,加强了全书的系统性和完整性。

(4)本书力求把集成电路和分立元件电路结合起来,将集成电路的内容渗入到各章中,这样既加强了集成电路的概念和应用,又不削弱电路的基础知识。

(5)本书每章的开始均有“本章要点”,结尾均有“本章小结”。在“本章要点”中,提出了本章的学习要点、难点。在“本章小结”中,详细地介绍了本章的主要内容,重点、难点知识和公式等。

(6)每章结尾均有较新颖、有助于开拓学生思维的习题及实训题。

本书可作为高等学校工程专科电子、通信类等专业的教材及相近专业的教学参考书,也可供有关工程技术人员自学和参考。

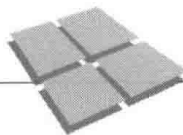
本书由西安科技大学董敏、杭州职业技术学院吴敦辉编著。第6、7章由吴敦辉编写,其他各章均由董敏编写。

由于编者水平有限及时间仓促,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1	大器	23
0.1 概述	1	1.4.2 多级单调谐放	
0.1.1 通信系统的组成		大器	28
部分	1	1.4.3 双调谐放大器	32
0.1.2 通信系统的分类	1	1.4.4 谐振放大器的稳	
0.2 模拟发射通信系统	1	定性	35
0.3 模拟接收通信系统	2	1.5 集中选频放大器	37
0.4 本课程的主要内容	3	1.5.1 集中选择性滤	
0.5 学习本课程时应注意的		波器	37
问题	3	1.5.2 集中选频放大器	
第 1 章 高频小信号放大器	4	的应用	40
1.1 概述	4	1.6 放大器的噪声	40
1.1.1 高频小信号放大器		1.6.1 噪声的来源、各自的	
的用途、分类	4	特点及参数计算	40
1.1.2 高频小信号放大器		1.6.2 衡量电路噪声性能	
的主要参数	4	的指标	45
1.2 谐振回路	6	1.6.3 晶体管放大器和场	
1.2.1 串联谐振回路	6	效应放大器的噪声	
1.2.2 并联谐振回路	9	系数	48
1.2.3 串、并联回路阻抗特		1.6.4 降低噪声的措施	50
性比较	12	本章小结	51
1.2.4 信号源及负载对谐		实训 1 小信号谐振放大器	51
振回路的影响	12	习题与思考题	54
1.3 晶体管高频等效电路	21	第 2 章 高频功率放大器	57
1.3.1 晶体管混合 π 型等效		2.1 概述	57
电路	21	2.1.1 高频功率放大器的	
1.3.2 晶体管 Y 参数等效		用途、分类及特性	57
电路	22	2.1.2 高频功率放大器的	
1.4 小信号谐振放大器	23	主要技术指标	58
1.4.1 单级单调谐放		2.2 线性高频功率放大器	58



2.2.1 A类线性高频功率放大器	58	分类	99
2.2.2 B类高频功率放大器	62	3.1.2 振荡器的主要技术指标	99
2.3 非线性高频功率放大器	66	3.1.3 导致振荡频率不稳定的因素	100
2.3.1 非线性电路的特性及分析方法	66	3.1.4 提高频率稳定度的主要措施	101
2.3.2 C类谐振功率放大器	71	3.1.5 正弦波振荡器的用途、组成及分类	102
2.4 谐振功率放大器的匹配电路和直流馈电电路	83	3.2 反馈振荡电路	102
2.4.1 集电极和基极直流馈电电路	83	3.2.1 反馈振荡器的组成	102
2.4.2 匹配网络	85	3.2.2 反馈振荡电路的工作原理	103
2.4.3 谐振功放实用电路举例	86	3.3 LC正弦波振荡器	106
2.5 高效率功率放大器简介	87	3.3.1 互感耦合振荡器	106
2.5.1 提高效率的方法	87	3.3.2 三点式振荡器	107
2.5.2 晶体管D类功率放大器	87	3.4 石英晶体振荡器	115
2.6 宽带高频功率放大器及功率合成技术简介	89	3.4.1 石英谐振器及其特性	115
2.6.1 概述	89	3.4.2 石英晶体振荡器	117
2.6.2 传输线变压器	89	3.5 其他振荡器	119
2.6.3 功率合成技术	91	3.5.1 压控振荡器	119
2.6.4 功率合成电路实例	92	3.5.2 负阻振荡器	123
本章小结	93	3.5.3 RC振荡器	125
实训2 高频功率放大器性能的测试	94	本章小结	128
习题与思考题	97	实训3 LC正弦波振荡器的特性测试	129
第3章 正弦波振荡器	99	习题与思考题	131
3.1 概述	99	第4章 振幅调制与解调电路	135
3.1.1 振荡器的用途、特点、		4.1 振幅调制的基本原理	135
		4.1.1 普通调幅波的性质	135
		4.1.2 抑制载波的双边带调幅波和单边带调幅波	139

4.2 振幅调制电路	142	达式	184
4.2.1 二极管调幅电路 ...	142	6.1.2 调频波和调相波的 波形	186
4.2.2 集成模拟乘法器调 幅电路	146	6.1.3 调角波的频谱和 带宽	186
4.2.3 高电平调幅电路 ...	148	6.1.4 调频波和调相波的 比较	188
4.3 振幅检波电路	151	6.2 调频电路	190
4.3.1 二极管包络检波 电路	151	6.2.1 直接调频电路	190
4.3.2 同步检波器	158	6.2.2 间接调频电路	192
本章小结	161	6.3 鉴频器	193
实训4 调幅与检波	161	6.3.1 鉴频的方法	193
习题与思考题	165	6.3.2 鉴频特性	194
第5章 混频器	168	6.3.3 斜率鉴频器	195
5.1 概述	168	6.3.4 相位鉴频器	196
5.1.1 混频器的电路 模型	168	本章小结	199
5.1.2 混频器的主要性能 指标	169	实训6 调频器与鉴频器特性 的测试	199
5.1.3 混频器的工作 状态	169	习题与思考题	202
5.2 混频器	171	第7章 反馈控制电路	203
5.2.1 二极管混频器	171	7.1 自动增益控制(AGC) 电路	203
5.2.2 晶体三极管混 频器	172	7.1.1 AGC 电路的作用与 组成	203
5.2.3 模拟乘法器混频 电路	176	7.1.2 AGC 电压的产生 ...	204
5.3 混频器中的干扰	177	7.1.3 实现 AGC 的方法 ...	205
5.3.1 组合频率干扰	177	7.2 自动频率控制(AFC) 电路	207
5.3.2 交叉调制和互相调 制干扰	179	7.2.1 AFC 系统的原理 ...	207
本章小结	180	7.2.2 AFC 的应用	208
实训5 混频器的特性测试 ...	181	7.3 锁相环路(PLL)	209
习题与思考题	182	7.3.1 锁相环路的基本 原理	209
第6章 调角系统	184	7.3.2 锁相环路的数学 模型及性能分析 ...	209
6.1 调角波的分析	184	7.3.3 集成锁相环路	212
6.1.1 调角波的数学表			



7.3.4 锁相环路的应用 ...	214	本章小结	218
7.4 频率合成技术	215	实训7 锁相环电路及应用 ...	218
7.4.1 频率合成器的主要		习题与思考题	221
技术指标	216	附录 余弦脉冲分解系数	222
7.4.2 锁相频率合成器 ...	216	参考文献	223

绪 论

0.1 概述

随着信息技术的不断发展,无线电电子学已广泛应用于国民经济、军事和日常生活等各个领域。无线电技术最早应用在通信方面。通信系统的组成和工作过程,较典型地反映了无线电技术的基本问题;通信技术的发展和现代化,充分反映了无线电技术的发展。因此,本书将以通信系统为主线,讨论用于无线电技术设备和系统中的高频放大、振荡、频率变换等电子线路的基本原理及其应用。

0.1.1 通信系统的组成部分

一个完整的通信系统应包括信号源、发送设备、传输信道、接收设备和接收装置 5 部分,如图 0-1 所示。

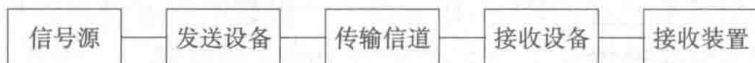


图 0-1 通信系统方框图

其中,信号源应能够输出反映全部输入消息的信号,常称该信号为基带信号;发送设备用来将基带信号进行某种处理并以足够的功率输入信道,这种处理过程称为调制。

信道是信号传输的通道,又称传输媒介,不同的信号有不同的通道。

接收设备的作用与发送设备的作用相反。由信道传送过来的已调信号由接收设备取出并进行处理,恢复出与发送端相对应的基带信号,这一过程称为解调。

0.1.2 通信系统的分类

通信系统的种类很多,按通信业务,即按传输的消息种类不同可分为电话、电报、传真和数据通信系统。按传输的基带信号不同可分为模拟和数字通信系统,前者传输幅度随时间连续变化的信号,而后者传输在时间和数值上离散取值的信号。按所用信道的不同可分为有线通信系统和无线通信系统,利用导线(电线、电缆、波导、光导纤维)来传送信号的称为有线通信系统,利用空间电磁波来传送信号的称为无线通信系统。

0.2 模拟发射通信系统

发送和接收设备是通信系统中的核心部分,不同的通信系统,其发送和接收设备

的组成是不完全相同的,但基本结构还是相似的。下面以无线电调幅发射系统为例来说明通信系统发送设备的组成。

图 0-2 是无线电调幅发射系统的方框图。一个完整的发射系统应由 3 个组成部分,即高频部分、低频部分和电源部分。

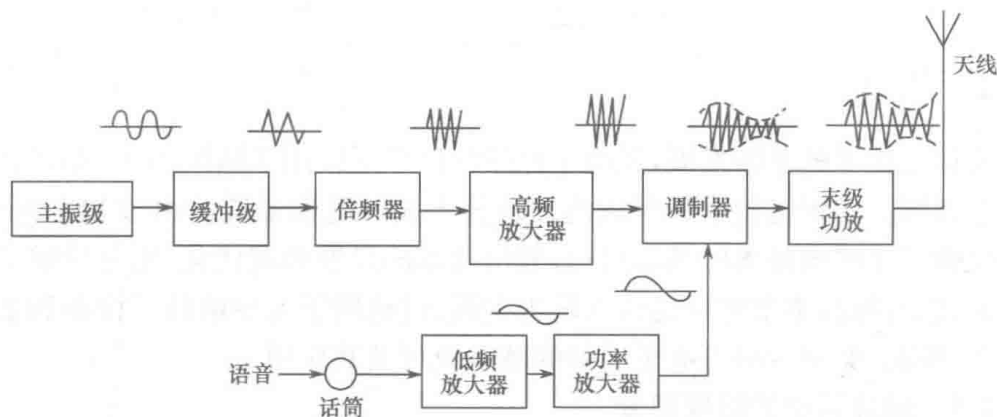


图 0-2 无线电调幅发射系统组成框图

高频部分有：主振级——由石英晶体振荡器产生频率稳定度高的载波；缓冲级——用来减弱后级对主振的影响；倍频器——将载波频率提高到所需的频率值；高频放大器——用来放大高频信号以提高输出功率；调制器——用反映声音信息的低频电信号去控制载波振幅的变化，这一控制过程称为调幅；末级功放——将受调的调幅高频信号放大，使其输出功率达到所需要的发射功率电平，然后经发射天线以电磁波形式向远方辐射。

低频部分有：话筒（或录音带、拾音器），低频放大器，低频功率放大器。低频电信号先通过逐级放大以获得所需的功率电平，然后对载波进行调幅。在图 0-2 中，各部分的波形图形象地说明了无线电信号的变换和发送过程。

0.3 模拟接收通信系统

无线电信号的接收过程与上述发射过程相反。为了提高其灵敏度和选择性，无线电接收设备目前都采用超外差式，其组成方框如图 0-3 所示。

无线电信号的接收过程是：从接收天线收到的微弱高频调幅信号经输入回路选频后，通过高频放大送到混频器与设备内部的本地振荡器产生的等幅高频信号进行混合，在其输出端得到波形包络形状不变、而频率由原来载频变换为中频的中频调幅信号，经中频放大后送到检波器，从调幅信号中检取出原调制的低频电信号，然后再经过低频放大，最后从扬声器或耳机还原成原来的声音信息（语言或音乐）。

其中混频器是超外差式接收设备的核心。如果将混频器与本地振荡器共用一个电子器件完成，就称为“变频器”。从调幅信号中检取出原来反映声音信息的低频电

信号的过程,称为“解调”,其作用恰与调制过程相反。通常对调幅信号的解调叫做“检波”,对调频信号的解调叫做“鉴频”。

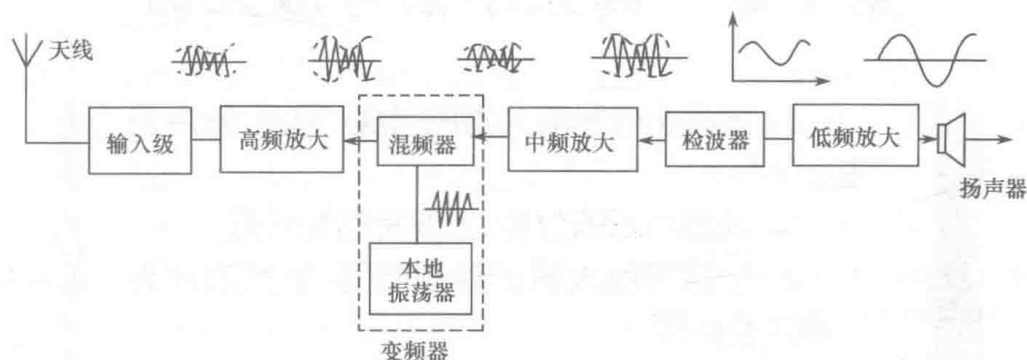


图 0-3 无线电超外差式接收系统

0.4 本课程的主要内容

本书主要内容有:高频小信号放大器、功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制及检波电路、混频电路、调角系统、反馈控制电路等。全书分七章。为了与其他相关课程分工配合、紧密衔接,本课程主要突出其基本内容。电子电路中以晶体管为主,适当介绍集成电路。各章内容在选材和结构上与传统的写法相比做了较大的变动。在内容取舍上力求删繁就简,确保重点。

0.5 学习本课程时应注意的问题

高频电子线路中所涉及的电路大都是包含非线性器件的电路,非线性器件往往具有复杂的物理特性。因此,分析电路的响应特性时,除了借助电子计算机进行近似的数值分析外,在工程上往往根据实际情况对器件的数学模型和电路的工作条件进行合理的近似,以使用简单的分析方法来获得具有实用意义的结果,这是学习本课程时必须注意的第 1 个问题。

其次,非线性电子线路能够实现的功能及所采用的电路形式远比线性电子线路要多。但是,各种功能的出现毕竟都是借助器件特性的非线性。因此,在学习本课程时,不要满足于了解一个个具体电路的工作原理,而要致力于观察各种功能的内在联系、实现各种功能的基本原理、导出的基本电路结构。这是在学习本课程时需加以注意的第 2 个问题。

再次,非线性电子线路是在科学和生产实践中发展起来的,许多理论概念只有通过实践才能得到深入的了解。因此,学习本课程时必须高度重视实验,坚持理论联系实际。这是在学习本课程时必须加以注意的第 3 个问题。

第 1 章 高频小信号放大器

本章要点

1. 高频小信号放大器的分类、用途、特点及主要参数
2. 谐振回路的分类、主要特性和参数
3. 小信号放大器的等效电路、参数的计算及稳定性问题
4. 集中选频放大器及其噪声

1.1 概述

1.1.1 高频小信号放大器的用途、分类

高频小信号放大器广泛用于广播、电视、通信、雷达等接收设备中,其主要功能是从所接收的信号中,选择有用信号并加以放大,且对无用信号、噪声等加以抑制。高频小信号放大器也广泛用于其他电子设备中,如测量仪器、发射机等。高频小信号放大器主要分为两类:一类是以谐振回路为负载的谐振放大器,我们称之为高频小信号谐振放大器;另一类是以集中选择性滤波器为负载的集中选频放大器。谐振放大器常由晶体管等放大器件与 LC 串、并联谐振回路或耦合谐振回路构成。集中选频放大器是将放大及选频两种功能分开处理,目前一般采用集中宽带放大器。集中选频性滤波器常用的有 LC 带通滤波器、晶体管滤波器、陶瓷滤波器及声表面波滤波器等。因此,采用集中选频放大器线路简单,性能可靠,调整方便。

小信号作用下的高频放大器由于信号的幅度都很小,故放大器通常都工作在甲类状态。放大器可看作有源线性电路,可采用小信号等效电路来加以分析。又因其负载为谐振回路,故可采用 Y 参数电路进行分析比较。

1.1.2 高频小信号放大器的主要参数

(1) 谐振增益:放大器在谐振点处的电压增益 A_{U0} (或功率增益),其值可用分贝 (dB) 表示。它反映放大器对有用信号的放大性能。

(2) 通频带:指放大器的增益比谐振增益下降到 3dB (即 A_U 下降到 $1/\sqrt{2}A_{U0}$) 时,所对应的频率范围,用 $BW_{0.7}$ 表示,如图 1-1 所示。为了不失真地放大有用信号, $BW_{0.7}$ 应大于有用信号的频谱宽度。

(3) 选择性:指放大器从含有各种不同频率的信号集合中,选出有用信号、排除干扰信号的能力。它定义为通频带以外某一特定频率上的增益 $A_U(f_n)$ 与谐振增益 A_{U0} 之比值,用 S 表示,即

$$S = \frac{A_U(f_n)}{A_{UO}} \quad (1-1)$$

显然, S 越小选择性越好。

实际上, 通频带与选择性是相互制约的。一般情况下, 通频带越宽, 对特定频率干扰的选择性就越差, 图 1-1 中虚线所示幅频特性曲线的通频带比实线所示通频带要宽。但 $f = f_n$ 时的 S 比较大。为了解决这个矛盾, 应尽量使放大器的幅频特性曲线接近理想矩形, 并使矩形的宽度等于通频带, 如图 1-1 所示, 这样通频带与选择性才能同时达到理想的要求。因此, 为了统一表示通频带和选择性的要求, 说明实际幅频特性曲线接近矩形的程度, 常引用“矩形系数”这一参数。它定义为放大器的电压增益下降到谐振增益的 0.1 (或 0.01) 时, 相应的通频带 $BW_{0.1}$ (或 $BW_{0.01}$) 与放大器通频带 $BW_{0.7}$ 之比, 即

$$K_{0.1} = \frac{BW_{0.1}}{BW_{0.7}}$$

或

$$K_{0.01} = \frac{BW_{0.01}}{BW_{0.7}} \quad (1-2)$$

由图 1-1 可见, 矩形系数越接近于 1, 放大器的实际幅频特性曲线就越接近于矩形, 从而放大器在满足通频带的情况下其选择性也就越好。

除了以上主要参数外, 高频小信号放大器还有噪声系数等性能指标。关于这方面的问题将在后面给予讨论。

由于谐振回路为高频小信号的组成部分, 其特性将直接影响放大器性能的好坏, 因此, 本章首先对谐振回路的基本特性加以分析。

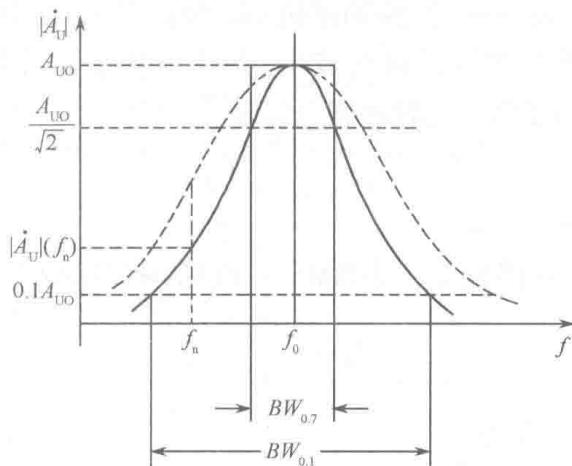


图 1-1 高频小信号放大器的典型幅频曲线

1.2 谐振回路

谐振回路也称振荡回路,是最常用的选频网络,它由电感线圈和电容组成。简单的谐振回路常分为 3 大类:即串联谐振回路、并联谐振回路及耦合谐振回路。

1.2.1 串联谐振回路

串联谐振回路如图 1-2 所示。图中 r 表示 L 和 C 的总损耗电阻,由于电容损耗比电感损耗大得多,所以 r 近似等于线圈的损耗电阻。

由图 1-2 可知,串联谐振回路的总阻抗为:

$$Z = r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (1-3)$$

回路电流为:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_g}{Z} = \frac{\dot{U}_g}{r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} \quad (1-4)$$

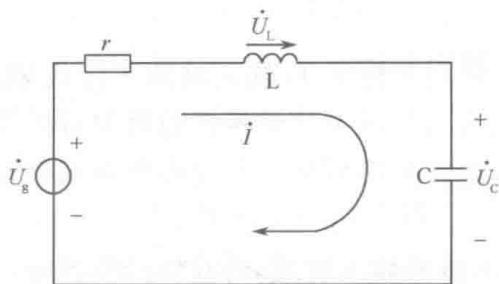


图 1-2 串联谐振回路

当信号源的频率 ω 改变时,回路的感抗 ωL 和容抗 $1/\omega C$ 将随之变化, ωL 随频率的升高而增加, $1/\omega C$ 随频率的升高而减小。在某一频率上,回路的感抗与容抗相等时,回路的总阻抗 $Z = r$ 最小,此时回路电流最大,即

$$\dot{I} = \dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_g}{r} \quad (1-5)$$

同时,电流与电压同相,回路发生了串联谐振。可见,串联谐振回路的谐振条件为:

$$\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0 \quad (1-6)$$

由此,可求得串联谐振频率为:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ 或 } f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (1-7)$$

谐振时,回路的感抗与容抗相等,通常称它们为回路的特性阻抗,用 ρ 表示,即

$$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1-8)$$

回路的特性阻抗与回路固有损耗的比值,通常称为回路的固有品质因素,用 Q_0 表示,即

$$Q_0 = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{\omega_0 C r} = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{r} = \frac{\rho}{r} \quad (1-9)$$

可见, Q_0 实际上表征了回路谐振过程中电抗元件的储能与电阻元件的耗能之比。 Q_0 越大,回路电抗元件的储能越大,而电阻元件的耗能就越小。

串联谐振回路的特性可用 Q_0 表示为:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_g}{r \left[1 + j \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{r} \right]} = \frac{\dot{I}_g}{1 + j Q_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)} \quad (1-10)$$

其幅频特性和相频特性分别为:

$$I = \frac{I_g}{\sqrt{1 + Q_0^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} \quad (1-11)$$

$$\varphi = -\arctan Q_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \quad (1-12)$$

用 I_g 对式(1-11)两边相除,则得到回路电流的相对值为:

$$S = \frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_0^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} \quad (1-13)$$

式(1-13)称为回路的选择系数,也表示回路的谐振曲线方程式,它表示当回路调谐不变时谐振回路电流的相对幅值随信号源频率变化的规律。

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{\sqrt{1 + Q_0^2 \left(\frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega_0 \omega} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_0^2 \left[\frac{(\omega - \omega_0)(\omega + \omega_0)}{\omega \omega_0} \right]^2}} \\ &\approx \frac{1}{\sqrt{1 + Q_0^2 \left(\frac{2\Delta\omega}{\omega_0} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_0^2 \left(\frac{2\Delta f}{f_0} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}} \end{aligned} \quad (1-14)$$

式中, $\Delta f = f - f_0$ 称为回路的绝对失谐量,它表示信号频率偏离回路谐振频率的绝对值; $\xi = Q_0 (2\Delta f / f_0)$ 称为回路的广义失谐量,它反映回路的相对失调程度。

同理,回路的相频特性也可近似为:

$$\varphi = -\arctan Q_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \approx -\arctan Q_0 \frac{2\Delta f}{f_0} = -\arctan \xi \quad (1-15)$$

根据式(1-14)及(1-15)可绘出串联谐振回路的谐振曲线及相频曲线与 Q_0 的关系,如图1-3(a)、(b)所示。由图可见, Q_0 值越大,谐振曲线越尖,相移特性越陡; Q_0 值越小,曲线就越平坦。

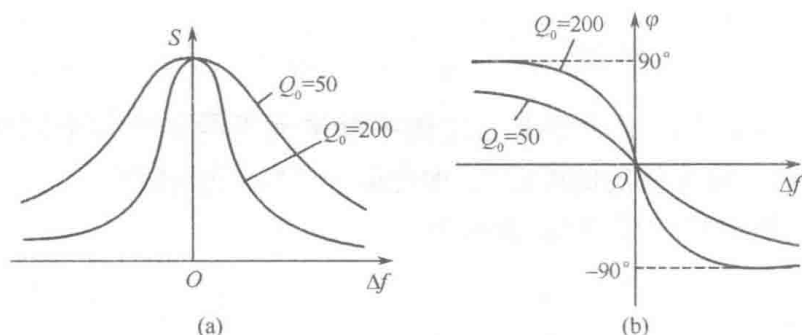


图 1-3 串联谐振曲线和相移

当占有一定频率的信号在串联回路中传输时,由于谐振曲线的不均匀性,输出的电流或电压便不可避免地产生频率失真。为了限制谐振回路频率失真的大小而规定了谐振回路的通频带。当 S 值由1下降到 $0.707(1/\sqrt{2})$ 时,所确定的频带宽度 $2\Delta f$ 就是回路的通频带 $BW_{0.7}$ 。令式(1-14)中 $S = 1/\sqrt{2}$,将 $2\Delta f$ 用 $BW_{0.7}$ 代入,则可求得串联回路的通频带为:

$$BW_{0.7} = \frac{f_0}{Q_0} \quad (1-16)$$

由式(1-16)可知,回路的 Q_0 值越高,谐振曲线越尖锐,通频带越窄;回路谐振频率越高,通频带却越宽。

由于谐振回路具有谐振特性,所以它具有选择信号的能力,谐振回路的谐振频率应调谐在所需信号的中心频率上。回路的谐振曲线越尖锐,对无用信号的抑制作用越强,回路的选择性就越好。谐振回路的选择性可用在通频带外指定偏离谐振频率 Δf 处 S 减小若干 dB 数来表示,即

$$S(\text{dB}) = 20\lg S \quad (1-17)$$

在指定的频率偏离 Δf 处, S 值越小,即衰减的 dB 数越大,选择性就越好。 Δf 根据各具体使用场合不同而有不同的规定。

由以上讨论可知,对于同一个回路,加宽频带和改善选择性是相矛盾的, Q_0 值越高,选择性越好,但通频带却越窄,反之亦然。所以,我们希望谐振回路的谐振曲线应具有理想的矩形形状。为了说明实际谐振曲线接近矩形的程度,可用矩形系数来表示。令式(1-14)中 $S = 0.1$,则可求得频带宽度 $BW_{0.1}$ 为:

$$BW_{0.1} \approx 10 \frac{f_0}{Q_0} \quad (1-18)$$

将式(1-18)和式(1-16)代入式(1-2),则可得串联谐振回路的矩形系数为:

$$K_{0.1} = \frac{10f_0/Q_0}{f_0/Q_0} = 10 \quad (1-19)$$

可见,串联谐振回路不论其谐振频率如何,它的矩形系数 $K_{0.1}$ 均为 10,它比 1 大得多。这说明串联谐振回路的谐振曲线和矩形相差较远,故选择性较差。

例 1.1 已知串联谐振回路电感线圈的电感量 $L = 400\mu\text{H}$,要求回路谐振在 1MHz 上,试确定回路的电容量。若回路总损耗 $r = 30\Omega$,求该回路的通频带及对 $f = 980\text{kHz}$ 信号的抑制能力。

解:由式(1-7)可得:

$$C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 10^6)^2 \times 400 \times 10^{-6}} = 63(\text{pF})$$

由式(1-9)可求得串联回路品质因数为:

$$Q_0 = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{2\pi \times 10^6 \times 400 \times 10^{-6}}{30} = 84$$

所以,由式(1-16)可得:

$$BW_{0.1} = \frac{f_0}{Q_0} = \frac{10^6}{84} = 11.9(\text{kHz})$$

由式(1-14)可得:

$$S = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(Q_0 \frac{2\Delta f}{f_0}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[84 \times \frac{2 \times (1000 - 980) \times 10^3}{1000 \times 10^3}\right]^2}} = 0.285$$

$$S(\text{dB}) = 20\lg S = 20\lg 0.285 = -10.9(\text{dB})$$

1.2.2 并联谐振回路

LC并联谐振回路如图 1-4(a)所示。图中 r 代表线圈 L 的等效损耗电阻,由于电容

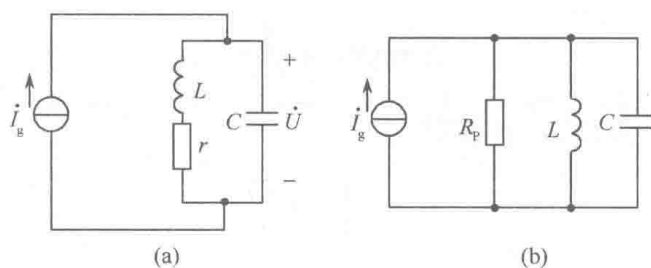


图 1-4 并联谐振回路

器的损耗很小,其损耗电阻可以略去, i_g 为信号电流源。由图可得并联谐振回路的并