



中等职业学校教学用书(电子技术专业)

# 高频电子线路

## (第2版)

◎ 王丹民 主 编



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业学校教学用书（电子技术专业）

# 高频电子线路（第2版）

王丹民 主 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书在第1版的基础上对内容进行了调整与完善,以适应电子信息技术和中等职业教育改革的需要。本书内容包括:小信号调谐放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、调幅与检波、混频与倍频、角度调制与解调、集成锁相环路、实用整机电路等。

本书突出基本知识和基本概念的教学,并增加了一些反映现代电子技术的新知识、新技术内容,使之更好地适应中职教育的发展。

本书适用于中等职业学校电子信息类专业的教学,也可适用于成人教育作为相关专业用书及相关技术人员的参考书。

本书还配有电子教学参考资料包(包括教学指南、电子教案和习题答案),详见前言。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路 / 王丹民主编. —2版. —北京:电子工业出版社, 2007.1

中等职业学校教学用书. 电子技术专业

ISBN 7-121-03562-6

I. 高… II. 王… III. 高频—电子电路—专业学校—教材 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 142293 号

责任编辑:蔡 葵

印 刷:北京天宇星印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:8 字数:198.4 千字

印 次:2007 年 1 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:11.40 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系电话:(010) 68279077;邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

## 中等职业学校教材工作领导小组

|     |     |                  |
|-----|-----|------------------|
| 组长  | 陈贤忠 | 安徽省教育厅厅长         |
| 副组长 | 李雅玲 | 信息产业部人事司技术干部处处长  |
|     | 尚志平 | 山东省教学研究室副主任      |
|     | 睦 平 | 江苏省教育厅职社处副处长     |
|     | 苏渭昌 | 教育部职业技术教育中心研究所主任 |
|     | 王传臣 | 电子工业出版社副社长       |

### 组员（排名不分先后）

|      |          |                  |
|------|----------|------------------|
|      | 唐国庆      | 湖南省教科院           |
|      | 张志强      | 黑龙江省教育厅职成教处      |
|      | 李 刚      | 天津市教委职成教处        |
|      | 王润拽      | 内蒙古自治区教育厅职成教处    |
|      | 常晓宝      | 山西省教育厅职成教处       |
|      | 刘 晶      | 河北省教育厅职成教处       |
|      | 王学进      | 河南省职业技术教育教学研究室   |
|      | 刘宏恩      | 陕西省教育厅职成教处       |
|      | 吴 蕊      | 四川省教育厅职成教处       |
|      | 左其琨      | 安徽省教育厅职成教处       |
|      | 陈观诚      | 福建省职业技术教育中心      |
|      | 邓 弘      | 江西省教育厅职成教处       |
|      | 姜昭慧      | 湖北省职业技术教育研究中心    |
|      | 李栋学      | 广西壮族自治区教育厅职成教处   |
|      | 杜德昌      | 山东省教学研究室职教室      |
|      | 谢宝善      | 辽宁省基础教育教研培训中心职教部 |
|      | 安尼瓦尔·吾斯曼 | 新疆维吾尔自治区教育厅职成教处  |
| 秘书长  | 李 影      | 电子工业出版社          |
| 副秘书长 | 蔡 葵      | 电子工业出版社          |

# 前 言



本书自第1版问世以来, 电子信息技术领域发生了深刻的变化; 随着全国教育改革形势的发展, 中等职业教育也在发展变化。本书在第1版基础上调整了课程内容与结构, 使之更好地适应电子信息技术的发展, 适应新的教学对象的需要。

1. 再版在内容体系上作了较大的调整。考虑到高频电子线路基本知识的连贯与完整, 增加“正弦波振荡器”一章; 顾及当前中职学校学生的数学、物理基础的现状, 删去“天线和电波传播”一章。

2. 删繁就简。小信号调谐放大器中, 一般采用Y参数等效电路分析。本书直接引用低频放大电路的小信号等效电路分析方法, 既避开了冗长的电路变换和公式推导过程, 又对小信号调谐放大器的主要性能进行了清晰的分析。

3. 适当减少分立元件电路的内容, 增加集成电路的内容, 使之跟上新技术的发展步伐。本书编入了集成电路振荡器, 对集成模拟乘法器应用作了较多的介绍, 内容包括利用集成模拟乘法器实现调幅、解调、混频, 利用集成模拟乘法器集实现相位鉴频等。此外, 在集成锁相环路的应用中也纳入了一些新的内容。

4. 本书不设绪论, 而将本来属于绪论的部分内容纳入最后一章“整机电路”中讲授, 既可以使学生在学过单元电路后建立完整的整机概念, 又可以作为学习高频电子线路的应用实例, 以取得更好的教学效果。

5. 分散与降低难点, 尽量避开烦琐的数学分析。高频电子线路涉及的高频电压放大、功率放大、振荡器、调制解调、混频电路等, 除了高频小信号放大器, 都是非线性电路。传统的非线性电路分析方法包括幂级数法, 开关函数法, 线性时变电路分析以及模拟乘法器等内容。而非线性电路分析对中职学生是个难点。我们只是将其中部分内容分散在各章介绍, 其深度以理解课程内容“够用”为度。

本书所用的数学知识只涉及少量傅里叶级数概念以及微积分知识, 对中职学生不会有太大困难。

本书再版工作由江苏淮安信息职业技术学院王丹民、张家欣、龚佑虹完成。王丹民负责1~4章的编写并负责全书统编; 张家欣负责6、8章的编写工作; 龚佑虹负责5、7章的编写工作。

由于时间仓促, 加之本人水平有限, 错误与疏漏在所难免, 祈敬读者指正。

为了方便教师教学, 本书还配有教学指南、电子教案及习题答案(电子版), 请有此需要的教师登录职业技术网([www.zyjs.net](http://www.zyjs.net))、华信教育资源网(<http://www.huaxin.edu.cn>)下载或与电子工业出版社联系, 我们将免费提供。E-mail: [hxedu@phei.com.cn](mailto:hxedu@phei.com.cn)

编 者

2006年12月



• V •

# 目 录



|                       |      |
|-----------------------|------|
| 第 1 章 小信号调谐放大器        | (1)  |
| 1.1 LC 谐振回路           | (1)  |
| 1.1.1 并联谐振回路的选频特性     | (1)  |
| 1.1.2 常用阻抗变换电路        | (4)  |
| 1.2 小信号调谐放大器          | (6)  |
| 1.2.1 单谐振回路调谐放大器      | (6)  |
| 1.2.2 部分接入式 LC 调谐放大器  | (9)  |
| 1.3 多级单调谐放大器          | (10) |
| 1.4 调谐放大器的稳定性         | (11) |
| 1.4.1 中和法             | (11) |
| 1.4.2 失配法             | (12) |
| 1.5 集中选频放大器           | (12) |
| 1.5.1 集中选择滤波器         | (13) |
| 1.5.2 声表面波滤波器         | (13) |
| 第 2 章 高频功率放大器         | (16) |
| 2.1 谐振功率放大器的工作原理      | (16) |
| 2.1.1 基本工作原理          | (16) |
| 2.1.2 丙类谐振功率放大器静态性能分析 | (18) |
| 2.1.3 丙类谐振功率放大器的功率与效率 | (20) |
| 2.2 谐振功率放大器的特性分析      | (21) |
| 2.2.1 动态特性            | (21) |
| 2.2.2 负载特性            | (22) |
| 2.2.3 调制特性            | (23) |
| 2.2.4 放大特性            | (24) |
| 2.3 谐振功率放大器电路         | (24) |
| 2.3.1 匹配电路            | (24) |
| 2.3.2 直流馈电电路          | (27) |
| 2.3.3 谐振功放电路举例        | (28) |
| 第 3 章 正弦波振荡器          | (30) |
| 3.1 反馈振荡器的工作原理        | (30) |
| 3.1.1 反馈振荡器组成和分类      | (30) |
| 3.1.2 振荡的平衡条件和起振条件    | (31) |
| 3.1.3 振荡器的频率稳定度       | (32) |
| 3.2 LC 正弦波振荡器         | (32) |
| 3.2.1 变压器反馈振荡器        | (32) |

|       |                  |      |
|-------|------------------|------|
| 3.2.2 | 三点式振荡器的基本原理      | (33) |
| 3.2.3 | 电感三点式振荡器         | (34) |
| 3.2.4 | 电容三点式振荡器         | (35) |
| 3.2.5 | 改进型电容三点式振荡器      | (36) |
| 3.3   | 石英晶体振荡器          | (37) |
| 3.3.1 | 石英谐振器及其特性        | (37) |
| 3.3.2 | 石英谐振器的阻抗频率特性     | (37) |
| 3.3.3 | 石英晶体振荡器          | (39) |
| 3.4   | RC 正弦波振荡器        | (40) |
| 3.4.1 | RC 串并联选频网络       | (40) |
| 3.4.2 | RC 桥式振荡器         | (42) |
| 3.5   | 集成电路振荡器          | (43) |
| 3.5.1 | 差分对管振荡器          | (43) |
| 3.5.2 | 单片集成电路振荡电路 E1648 | (43) |
| 第 4 章 | 调幅与检波            | (48) |
| 4.1   | 调幅波的基本性质         | (48) |
| 4.1.1 | 普遍调幅信号           | (48) |
| 4.1.2 | 其他调幅方式           | (50) |
| 4.2   | 常用调幅电路           | (52) |
| 4.2.1 | 高电平调幅电路          | (53) |
| 4.2.2 | 低电平调幅            | (55) |
| 4.3   | 检波器              | (58) |
| 4.3.1 | 二极管包络检波器         | (59) |
| 4.3.2 | 同步检波器            | (62) |
| 4.4   | 自动增益控制电路         | (62) |
| 4.4.1 | AGC 电路类型         | (63) |
| 4.4.2 | AGC 实用电路介绍       | (63) |
| 4.4.3 | 实现 AGC 的方法       | (64) |
| 第 5 章 | 混频与倍频            | (68) |
| 5.1   | 混频器组成与工作原理       | (68) |
| 5.1.1 | 混频器的组成框图         | (68) |
| 5.1.2 | 混频器的工作原理         | (69) |
| 5.2   | 混频电路             | (70) |
| 5.2.1 | 二极管混频电路          | (70) |
| 5.2.2 | 三极管混频电路          | (71) |
| 5.2.3 | 模拟乘法器混频电路        | (72) |
| 5.3   | 混频器的干扰           | (72) |
| 5.3.1 | 组合频率干扰           | (72) |
| 5.3.2 | 寄生通道干扰           | (73) |
| 5.3.3 | 交叉调制(交调)干扰       | (74) |

|       |                 |       |
|-------|-----------------|-------|
| 5.3.4 | 互调干扰            | (74)  |
| 5.3.5 | 减少或避免混频干扰的措施    | (74)  |
| 5.4   | 倍频器             | (74)  |
| 5.4.1 | 倍频原理及其用途        | (74)  |
| 5.4.2 | 倍频器的应用          | (75)  |
| 5.4.3 | 丙类倍频器           | (75)  |
| 第 6 章 | 角度调制与解调         | (77)  |
| 6.1   | 调频信号分析          | (77)  |
| 6.1.1 | 调频信号            | (77)  |
| 6.1.2 | 调相信号            | (78)  |
| 6.1.3 | 调频波的频谱和频带宽度     | (79)  |
| 6.2   | 调频电路            | (81)  |
| 6.2.1 | 变容二极管直接调频电路     | (81)  |
| 6.2.2 | 变容二极管间接调频电路     | (83)  |
| 6.3   | 鉴频器             | (84)  |
| 6.3.1 | 斜率鉴频器           | (84)  |
| 6.3.2 | 相位鉴频器           | (86)  |
| 6.3.3 | 限幅电路            | (88)  |
| 6.4   | 自动频率控制          | (88)  |
| 6.4.1 | AFC 的原理         | (88)  |
| 6.4.2 | AFC 的应用         | (89)  |
| 第 7 章 | 集成锁相环路          | (92)  |
| 7.1   | 反馈控制电路概述        | (92)  |
| 7.2   | 锁相环路的基本工作原理     | (93)  |
| 7.2.1 | 锁相环路的组成         | (93)  |
| 7.2.2 | 锁相环路的相位模型       | (95)  |
| 7.3   | 锁相环路的捕获与跟踪      | (95)  |
| 7.3.1 | 锁相环路的捕获         | (95)  |
| 7.3.2 | 锁相环路的跟踪         | (96)  |
| 7.4   | 集成锁相环路          | (96)  |
| 7.4.1 | 集成锁相环路 L562     | (97)  |
| 7.4.2 | 集成锁相环路的基本特性     | (97)  |
| 7.4.3 | 集成锁相环路的应用       | (98)  |
| 7.4.4 | 锁相频率合成          | (99)  |
| 第 8 章 | 实用整机电路分析        | (103) |
| 8.1   | 通信和通信系统         | (103) |
| 8.1.1 | 无线电通信系统的组成框图    | (103) |
| 8.1.2 | 无线电通信系统各组成部分作用  | (103) |
| 8.2   | 无线电发送设备和接收设备的组成 | (105) |
| 8.2.1 | 无线电发送设备         | (105) |



|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 8.2.2 无线电接收设备 .....            | (106) |
| 8.3 实用单片集成电路收音机电路分析 .....      | (107) |
| 8.3.1 TA7641BP 电路内部电路框图 .....  | (107) |
| 8.3.2 TA7641BP 单片集成收音机电路 ..... | (107) |
| 8.3.3 TA7641BP 的内部电路分析 .....   | (108) |
| 部分习题答案 .....                   | (113) |
| 参考文献 .....                     | (115) |

# 第 1 章 小信号调谐放大器



在无线电通信设备中，经常需要放大和处理调制信号，如调幅信号、调频信号等，这些信号都是以载频为中心具有一定带宽的信号。另外，在同一信道中，还存在其他频道信号和干扰。小信号指输入信号在微伏级至毫伏级的信号，因此小信号放大器应该工作在甲类。

小信号放大器还应该具有选频功能，它能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。小信号调谐放大器以 LC 谐振回路作为选频网络，亦称为谐振放大器或选频放大器。

小信号调谐放大器的主要性能指标为：足够的电压增益，一定的通频带以及较好的选择性。

目前通信设备中广泛采用由集中选择滤波器和集成宽带放大器组成的集中选频放大器，它具有选择性好，性能稳定，调整方便等优点。

## 1.1 LC 谐振回路

谐振放大器的性能在很大程度上取决于谐振回路。此外，LC 谐振回路在正弦波振荡、调制、混频和鉴频电路中都起重要的作用。本节主要介绍 LC 谐振回路基本特性。

### 1.1.1 并联谐振回路的选频特性

#### 1. 并联谐振回路的阻抗特性

LC 并联谐振回路如图 1.1 所示， $r$  为电感线圈  $L$  的损耗电阻，电容的损耗忽略不计。

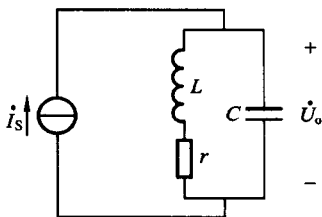


图 1.1 并联谐振回路

图中  $i_s$  为电流源。LC 并联谐振回路的等效阻抗  $Z$  为

$$Z = \frac{(r + j\omega L)(1/j\omega C)}{r + j\omega L + 1/j\omega C} \quad (1.1)$$

实际电路满足条件  $r \ll \omega L$ ，则



$$Z = \frac{L/C}{r + j(\omega L - 1/\omega C)} \quad (1.2)$$

当回路谐振时,  $\omega L$  等于  $1/\omega C$ , 等效阻抗最大, 且为纯电阻, 用  $R_P$  表示。  $R_P$  称为回路谐振电阻, 则

$$Z = R_P = \frac{L}{rC} \quad (1.3)$$

并联谐振回路的谐振频率为

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ 或 } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1.4)$$

LC 并联谐振回路中, 通常引入品质因数  $Q$  表示回路的损耗大小, 其定义式为回路谐振时的感抗 (或容抗) 与损耗电阻之比, 即

$$Q = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1/\omega_0 C}{r} \quad \text{或} \quad Q = \sqrt{\frac{L}{C}}/r \quad (1.5)$$

将式 (1.3), (1.4), (1.5) 代入 (1.2) 得到

$$Z = \frac{L/C}{r + j(\omega L - 1/\omega C)} = \frac{R_P}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \quad (1.6)$$

通常回路的失谐  $\Delta\omega = \omega - \omega_0$  不大, 可以近似认为  $\omega + \omega_0 \approx 2\omega_0$ ,  $\omega\omega_0 \approx \omega_0^2$ , 则有

$$Z = \frac{R_P}{1 + jQ\frac{2\Delta f}{f_0}} \quad (1.7)$$

阻抗的幅频特性和相频特性分别为

$$|Z| = \frac{R_P}{\sqrt{1 + \left(Q\frac{2\Delta f}{f_0}\right)^2}} \quad (1.8)$$

$$\varphi = -\arctan\left(Q\frac{2\Delta f}{f_0}\right) \quad (1.9)$$

由上述两个公式可知, 并联谐振回路的阻抗和相位是随着频率变化的。下面对式 (1.8) 和式 (1.9) 进行分析, 得到如下结论:

- (1) 谐振时, 即  $f = f_0$ , 或  $\Delta f = 0$ , 回路阻抗最大且为纯电阻, 相移  $\varphi = 0$ ;
- (2) 当  $f > f_0$  时,  $\Delta f = (f - f_0) > 0$ , 相移  $\varphi$  为负值, 回路呈现电容性;
- (3) 当  $f < f_0$  时,  $\Delta f < 0$ , 相移  $\varphi$  为正值, 回路呈现电感性。

## 2. 并联谐振回路的通频带和选择性

如图 1.1 的并联谐振回路所示, 当改变信号源的频率时, 输出电压  $\dot{U}_o$  也随着输入频率变化。由于

$$\dot{U}_o = \dot{I}_S Z = \frac{\dot{I}_S R_P}{1 + jQ \frac{2\Delta f}{f_0}} = \frac{\dot{U}_P}{1 + jQ \frac{2\Delta f}{f_0}} \quad (1.10)$$

式中,  $\dot{U}_P = \dot{I}_S R_P$  为回路谐振时输出电压;  $\Delta f = f - f_0$  称为回路的绝对失谐。

由此得到并联谐振回路输出电压的幅频特性为

$$\left| \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_P} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (Q \frac{2\Delta f}{f_0})^2}} \quad (1.11)$$

相应的, 可以得到输出电压的相频特性与式 (1.9) 相同。

图 1.2 (a), (b) 表示并联谐振回路的输出电压的幅频特性和相频特性。由图可见,  $Q$  值大, 则幅频特性尖锐, 相频特性陡峭。

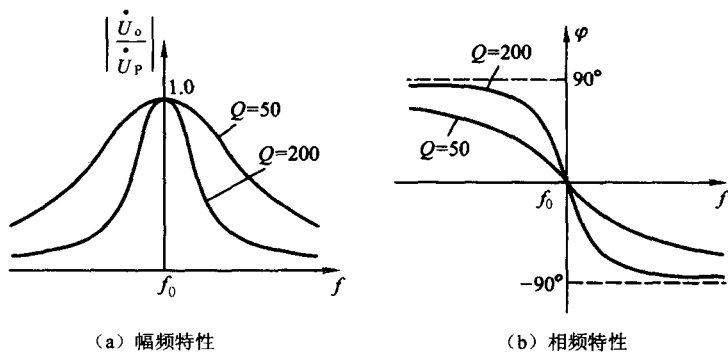


图 1.2 并联谐振回路的幅频特性

由式 (1.11) 可以得到并联谐振回路的通频带和选择性 (矩形系数)。

#### (1) 通频带

并联谐振回路的通频带是指其输出电压下降到谐振电压的  $1/\sqrt{2}$  所对应的频率范围, 用  $BW_{0.7}$  (或  $2\Delta f_{0.7}$ ) 表示。在式 (1.11) 中, 令  $|\dot{U}_o / \dot{U}_P| = 1/\sqrt{2}$ , 得到

$$BW_{0.7} = \frac{f_0}{Q} \quad (1.12)$$

由于小信号调谐放大器一般用来放大已调波, 包含一定的边频, 所以放大器有一定的通频带, 允许主要的边频通过。例如, 一般的调幅广播接收机的中放通频带为 9kHz, 调频广播接收机的中放通频带为 200kHz, 电视接收机的高放和中放的通频带为 6~8MHz。

#### (2) 选择性

选择性是指回路从含有各种不同频率的信号中选出有用信号, 抑制干扰信号的能力。由谐振回路的幅频特性可见, 它具有选择有用信号的能力。谐振曲线越尖锐, 对无用信号的抑制作用越强, 选择性就越好。

理想的谐振曲线应该是矩形, 如图 1.3 虚线所示的, 处在通频带内的信号无衰减, 处在通频带外则全衰减。而实际上达不到上述要求, 引入矩形系数  $K_{0.1}$  表示谐振曲线接近矩形的



程度。

$$K_{0.1} = \frac{BW_{0.1}}{BW_{0.7}} \quad (1.13)$$

其中  $BW_{0.1} = 2\Delta f_{0.1}$ , 是  $|\dot{U}_o/\dot{U}_P| = 0.1$  时所对应的频率范围。而  $BW_{0.7}$  就是通频带。

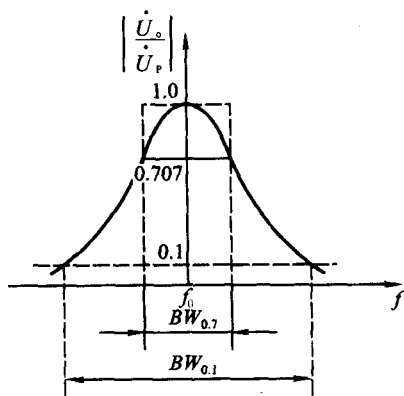


图 1.3 并联谐振回路的通频带和选择性

理想的矩形系数是  $K_{0.1} = 1$ , 因此  $K_{0.1}$  越接近 1, 选择性就越好。对并联谐振回路, 由式 (1.11), 令  $|\dot{U}_o/\dot{U}_P| = 0.1$ , 得到  $K_{0.1} = 10$ 。并联谐振回路的矩形系数远大于 1, 显然选择性不好。

【例 1.1】 并联谐振回路如图 1.1 所示,  $L = 586 \mu\text{H}$ ,  $C = 200 \text{pF}$ ,  $r = 12 \Omega$ , 计算并联谐振回路的谐振频率、品质因数、谐振电阻和通频带。

$$\text{解: 谐振频率 } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{586 \times 10^{-6} \text{H} \times 200 \times 10^{-12} \text{F}}} = 465 \text{kHz}$$

$$\text{空载品质因数 } Q = \sqrt{\frac{L}{C}} / r = \sqrt{\frac{586 \times 10^{-6} \text{H}}{200 \times 10^{-12} \text{F}}} / 12 = 143$$

$$\text{谐振电阻 } R_P = \frac{L}{rC} = \frac{586 \times 10^{-6} \text{H}}{12 \Omega \times 200 \times 10^{-12} \text{F}} = 244 \text{k}\Omega$$

$$\text{通频带 } BW_{0.7} = \frac{f_0}{Q} = \frac{465 \text{kHz}}{143} = 3.3 \text{kHz}$$

### 1.1.2 常用阻抗变换电路

为了减小信号源及负载对谐振回路的影响, 通常采用阻抗变换电路, 常用的阻抗变换电路有变压器、自耦变压器和电容分压等变换电路。通过变换电路使信号源及负载部分接入谐振回路。

#### 1. 变压器阻抗变换电路

图 1.4 为变压器阻抗变换电路, 设变压器为无损耗的理想变压器, 令初级绕组匝数为  $N_1$ , 次级绕组匝数为  $N_2$ , 则变压器的初、次级匝数比  $n$  为

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} \quad (1.14)$$

由上式得到负载电阻  $R_L$  变换到初级绕组两端的等效电阻  $R'_L$  为

$$R'_L = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \frac{n\dot{U}_2}{\dot{I}_2/n} = n^2 R_L \quad (1.15)$$

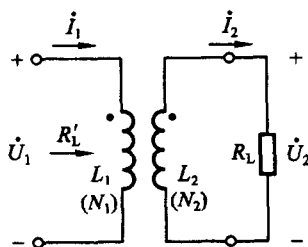


图 1.4 变压器阻抗变换电路

## 2. 自耦变压器阻抗变换电路

图 1.5 为自耦变压器阻抗变换电路，又称为电感分压阻抗变换电路，图中 1, 3 为输入端，2, 3 端为负载输出端。1, 2 绕组的匝数为  $N_1$ ，电感量为  $L_1$ 。2, 3 绕组的匝数为  $N_2$ ，电感量为  $L_2$ 。 $L_1, L_2$  之间的互感为  $M$ 。

设  $L_1, L_2$  是无耗的，并且  $R_L \gg \omega L_2$ ，自耦变压器的匝数比等于

$$n = \frac{N_1 + N_2}{N_2} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} \quad \text{或} \quad n = \frac{L_1 + L_2 + 2M}{L_2 + M} \quad (1.16)$$

同理，负载电阻  $R_L$  变换到初级的电阻值为  $R'_L = n^2 R_L$ 。

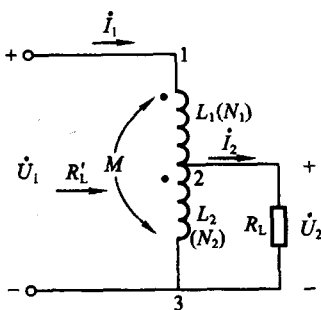


图 1.5 自耦变压器阻抗变换电路

## 3. 电容分压阻抗变换电路

图 1.6 为电容分压阻抗变换电路，其中  $C_1, C_2$  为分压电容，认为是无耗的。图中， $R'_L$  是  $R_L$  经过变换后的等效电阻。当满足  $R_L \gg 1/\omega C_2$ ，可以证明  $R'_L = n^2 R_L$ 。其中

$$n = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \quad (1.17)$$

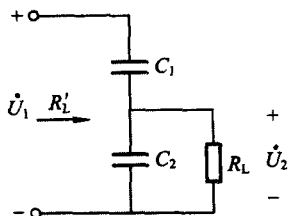


图 1.6 电容分压阻抗变换电路

[例 1.2] 某接收机输入回路的简化等效电路如图 1.7 所示, 已知  $C_1 = 5\text{pF}$ ,  $C_2 = 15\text{pF}$ ,  $R_S = 75\Omega$ ,  $R_L = 300\Omega$ , 为了使电路匹配, 即负载  $R_L$  等效到输入端的电阻  $R'_L = R_S$ 。

试求初、次级线圈的匝数比  $n_1 = N_1 / N_2$ 。

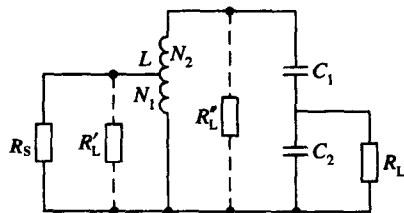


图 1.7 接收机输入回路示意图

解: 由图可见, 图中存在自耦变压器和电容分压两种阻抗变换电路。

$R_L$  等效到  $L$  两端是电容分压变换, 其等效电阻  $R'_L = n^2 R_L = \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1}\right)^2 R_L = 16R_L$

$R'_L$  等效到输入端为自耦变压器变换, 其等效电阻  $R'_L = n_1^2 R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot 16R_L$

由于  $R'_L = R_S$ , 所以  $\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{R_S}{16R_L}} = 0.125$ 。

## 1.2 小信号调谐放大器

在小信号谐振放大器中, 放大器件可以采用单管、组合电路和集成电路等。谐振电路可以是单调谐回路或双调谐回路。本章只讨论单调谐回路谐振放大器, 它电路简单, 调整方便。

### 1.2.1 单谐振回路调谐放大器

#### 1. 电路和等效电路

图 1.8 为单谐振回路放大器电路, 图 1.9 (a) 和 (b) 为单调谐回路放大器的交流通路及其等效电路。图中,  $R_p$  为 LC 回路的谐振电阻。

为了分析单调谐回路放大器的交流性能, 我们直接引用“低频电子线路”的小信号等效电路。在图 1.9 (b) 中,  $Z_L$  为放大器的等效负载, 并且  $Z_L = r_{ce} // Z // R'_L$ , 其中:

$r_{ce}$  为晶体管的输出电阻;

$Z$  为 LC 并联回路等效阻抗, 它由式 (1.6) 决定;

$R'_L$  为负载变换到初级的电阻值, 并且  $R'_L = n^2 R_L$ , 其中  $n$  为负载回路的初级对次级匝数



比;

此外, 经过输出电路的变换,  $U_o$  变成  $U'_o = nU_o$ ; 所以  $U_o = U'_o / n$ ;

$r_{be} = r_{bb'} + r_{b'e}$  为晶体管输入电阻。

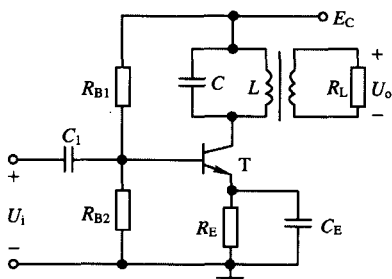


图 1.8 单调谐回路放大器电原理图

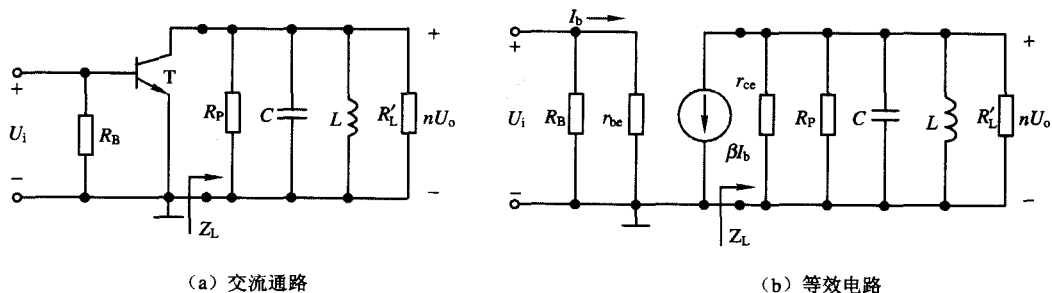


图 1.9 单调谐回路放大器

## 2. 单调谐回路放大器的性能分析

### (1) 单谐振回路放大器的电压增益

由 H 参数等效电路分析方法知, 单调谐回路放大器的电压增益可写成

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{U'_o}{nU_i} = -\beta \frac{Z_L}{r_{be}} \frac{1}{n} \quad (1.18)$$

当回路谐振时, 即  $\omega = \omega_0$ , 则  $Z$  为回路的谐振阻抗, 即  $Z = R_P$ 。

在考虑了晶体管输出电阻和负载后, 则等效谐振电阻为  $Z_L = R_e = r_{ce} // R_P // R'_L$ 。

则谐振时电压增益值为

$$A_{u0} = \beta \frac{R_e}{r_{be} \cdot n} \quad (1.19)$$

单调谐放大器电压增益的表达式为

$$\frac{\dot{A}_u}{\dot{A}_{u0}} = \frac{1}{1 + jQ_e \frac{2\Delta f}{f_0}} \quad (1.20)$$

式中  $Q_e = R_e / \omega_0 L$ , 它是考虑了晶体管输出电阻  $r_{ce}$  (相当于信号源内阻) 和负载  $R'_L$  后的品质因数, 称为有载品质因数。相应的, 我们把不考虑晶体管输出电阻和负载的品质因数  $Q$ , 称为空载品质因数或固有品质因数。





## (2) 单调谐回路放大器的通频带和选择性

由式(1.20)取模,可以得到放大器电压增益的幅频特性为

$$\left| \frac{\dot{A}_u}{\dot{A}_{u0}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (Q_e \frac{2\Delta f}{f_0})^2}} \quad (1.21)$$

令  $\left| \frac{\dot{A}_u}{\dot{A}_{u0}} \right| = 1/\sqrt{2}$ , 得到单调谐回路放大器的通频带为

$$BW_{0.7} = f_0 / Q_e \quad (1.22)$$

令  $\left| \frac{\dot{A}_u}{\dot{A}_{u0}} \right| = 1/10$ , 得到  $BW_{0.1} = 10f_0 / Q_e$ , 由此得到单调谐回路放大器的矩形系数

$$K_{0.1} = BW_{0.1} / BW_{0.7} = 10$$

图 1.10 为单调谐放大器的谐振曲线。显然, 单调谐放大器的选择性、通频带和矩形系数与 LC 并联谐振回路相同。单调谐放大器中, 提高选择性和加宽通频带对  $Q_e$  的要求是矛盾的; 并且其矩形系数远大于 1。总之, 单调谐放大器选择性比较差。

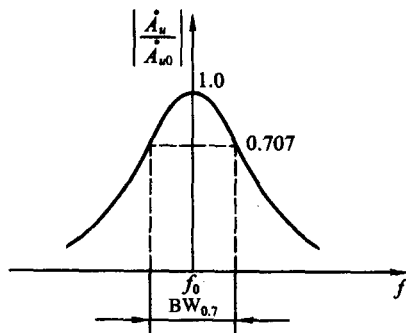


图 1.10 单调谐放大器的谐振曲线

[例 1.3] 如图 1.8 所示的简单的单谐振回路调谐放大器, 中心频率为 30kHz,  $C=6800\text{pF}$ ,  $R_L=150\Omega$ , 初次级匝数比  $n=5$ 。

试求:

- (1) 回路电感  $L$  的值;
- (2) 设 LC 回路的空载品质因数  $Q=100$ , 计算放大器通频带;
- (3) 若已知管子的  $\beta=100$ ,  $r_{be}=2\text{k}\Omega$ , 求谐振增益  $A_{u0}$ 。

解: (1) 由  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ , 得到  $L = 1/\omega_0^2 C$ , 代入数值, 则

$$L = \frac{1}{(6.28 \times 30 \times 10^3 \text{ Hz})^2 \times 6800 \times 10^{-12} \text{ F}} = 4.14 \text{ mH}$$

(2) 该电路的小信号等效电路与图 1.9 (b) 相同, 其中

$$\text{LC 回路的谐振电阻 } R_p = Q \sqrt{\frac{L}{C}} = 100 \sqrt{\frac{4.14 \times 10^{-3} \text{ H}}{6800 \times 10^{-12} \text{ F}}} = 78 \text{ k}\Omega$$