

中国电子教育学会中专教育委员会
全国中专电子类教材协会

推荐教材



中等专业学校教材

高频电子线路

●王丹民 马 彪 周友兵 编著
●王钧铭 审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

中等专业学校教材

高频电子线路

王丹民 马 彪 周友兵 编著
王钧铭 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍高频电子线路的基本工作原理、分析方法。与传统教材相比,在课程体系上作了较大的改革。其主体内容为:小信号放大器、高频功放、调幅与检波、混频与倍频、调频与鉴频、集成锁相环路。此外,增加了两章内容:1. 调频收发信机,它使单元电路串成整机系统;2. 介绍了无线电技术专业必备的天线和电波知识。

本书编写突出物理概念,避免烦琐的数学分析,内容浅显、实用,注意知识更新。本书适用于中专和技工学校的电子技术类专业课教学,也可作为相关工程技术人员的参考资料。

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,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/王丹民等编著. - 北京:电子工业出版社,2000.9

(中等专业学校教材)

ISBN 7-5053-5982-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 61684 号

丛 书 名: 中等专业学校教材

书 名: 高频电子线路

编 著 者: 王丹民 马 彪 周友兵

审 者: 王钧铭

责任编辑: 吕 迈

特约编辑: 宋仁杰

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京兴华印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 10.25 插页: 1 页 字数: 262 千字

版 次: 2000 年 9 月第 1 版 2002 年 8 月第 4 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5982-7
TN · 1347

印 数: 5 000 册 定价: 15.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

出版说明

随着中等专业学校电子类专业教学改革的不深入,尽快组织出版一批适应中专学校教学实际、体现职业技术教育特点的教材,已成为各中专校的迫切要求。有鉴于此,中国电子教育学会中专教育专业委员会、全国中专电子类教材协会决定联合成立全国中专电子类教材工作领导小组,组织出版一套中专电子类教材,以满足中专学校的教学需要。经过一段时间的准备,领导小组会同全国二十余所电子类中等专业学校,成立了“计算机及应用”、“电子技术应用”、“机电技术应用”3个专业教材编委会,共同组织协调这套教材的编审出版工作。

领导小组和各编委会确立了“根据中专生的培养目标,贯彻中专教育适应社会经济发展的需要,强化应用为教学重点的思想,反映现代职业教育思想、教育方法和教学手段以及综合化、直接化、形象化等特点,突出工程实践能力培养”的编写原则,以“新、简、实”作为这套教材的编写特色。所谓“新”,是根据电子技术日新月异、发展迅速的特点,在教材中尽可能反映当前电子信息产业的新技术、新知识、新工艺,缩短教材编审出版周期;所谓“简”,是针对现行教学内容与中专学生的文化基础不相适应,以及中专毕业生越来越直接面向生产第一线这一现实,适当降低教学内容的深度和难度,简化理论知识的讲授;所谓“实”,就是突出教学内容的实用性,强调对学生实践能力和技术应用能力的培养。

各编委会的编审程序大致是,针对中专计算机及其应用、电子技术应用、机电技术应用(机电一体化)的教学现状和现行教材存在的问题,尤其是针对目前中专教学改革的新情况,拟定各专业方向的课程设置计划和教材选题计划。在充分酝酿、广泛征集的基础上,由编委会确定每个选题的编写大纲和编审人员。编委会通过责任编委联系制度对编写实行质量控制。

这套教材的编者,都是来自各中专学校教学第一线的经验丰富的教师,由于他们辛勤的工作,编写的教材基本反映了近年来各中专学校教学与教材改革的成果。相信这套教材会受到中等专业学校和其他中等职业学校电子类专业广大师生的欢迎。

特别应该感谢电子工业出版社高质量、高效率的工作,为这套教材的出版提供了极大的便利,使之能及早与读者见面。

电子技术发展迅速,中专学校的教学内容也日新月异。我们衷心地希望广大师生对本套教材提出意见和建议,以便再版时予以修正。

全国中专电子类教材工作领导小组
电子工业出版社

全国中专电子信息技术类教材工作领导小组成员名单

顾问	赵家鹏	电子工业出版社
组长	李绍庭	山东省电子工业学校
副组长	陈炳声	南京无线电工业学校
	孟宪洲	山东省信息工程学校
	穆天保	辽宁电子工业学校
	卢小平	北京无线电工业学校
	安志鹏	武汉无线电工业学校
成员	文宏武	电子工业出版社
	吴家礼	天津无线电机机械学校
	曹建林	无锡无线电工业学校
	陈建忠	福建省电子工业学校
	周智文	上海电子技术学校
	王献中	淮阴电子工业学校
	武马群	北京市计算机工业学校
	张福强	天津市仪表无线电工业学校
	王祥生	珠海市工业学校
	王焕顺	辽宁省本溪电子工业学校
秘书长	王协瑞	山东省电子工业学校
副秘书长	刘文杰	电子工业出版社

计算机及应用编委会成员名单

主任委员	郑 三	山东省电子工业学校
副主任委员	武马群	北京市计算机工业学校
	吴顺发	辽宁省电子计算机学校
	肖鹏旭	山东省信息工程学校
	周智文	上海电子技术学校
委员	张黎明	河南省电子工业学校
	王书增	天津无线电机机械学校
	王德年	辽宁电子工业学校
	孔旭影	北京市计算机工业学校
	李 玲	南京无线电工业学校
	裴有柱	天津市仪表无线电工业学校
	王 敏	广州轻工业学校
	陶 洪	常州无线电工业学校
	刘瑞新	河南开封黄河水利学校
	李丛江	无锡无线电工业学校
	丁 勤	淮阴电子工业学校
	黄甘洲	福建省电子工业学校
	王 泰	珠海市工业学校
	孙心义	辽宁省电子计算机学校
	陈丽敏	上海电子技术学校
	梁 军	山东省电子工业学校
	朱连庆	山东省信息工程学校
秘书	王新新	山东省电子工业学校

电子技术应用编委会成员名单

主任委员	王钧铭	南京无线电工业学校
副主任委员	张福强	天津市仪表无线电工业学校
	李民生	淮阴电子工业学校
	马彪	辽宁电子工业学校
	梁德厚	北京无线电工业学校
委员	邓红	无锡无线电工业学校
	崔金辉	辽宁省本溪电子工业学校
	孙亚维	内蒙古电子学校
	任德齐	重庆市电子工业学校
	彭利标	天津无线电机械学校
	杨元挺	福建省电子工业学校
	李晓荃	河南省电子工业学校
	魏立东	河北省电子工业学校
	刘勇	山东省电子工业学校
	吴立新	常州无线电工业学校
	高健	珠海市工业学校
	蔡继勇	北京市电子工业学校
	章大钧	佛山市机电学校
秘书	陈松	南京无线电工业学校

机电技术应用编委会成员名单

主任委员	吴家礼	天津无线电机械学校
副主任委员	毛海兴	无锡无线电工业学校
	黄诚驹	武汉无线电工业学校
	张华	福建省电子工业学校
委员	梁栋	辽宁省本溪电子工业学校
	王丽	黑龙江省电子工业学校
	张铮	无锡无线电工业学校
	董智	南昌无线电工业学校
	甄占双	河北省电子工业学校
	高燕	天津无线电机械学校
	徐耀生	淮阴电子工业学校
	韩满林	南京无线电工业学校
	刘靖岩	辽宁电子工业学校
	张呈祥	北京无线电工业学校
	何彦廷	贵州无线电工业学校
	李新平	山东省电子工业学校
	黄礼东	贵州省电子工业学校
秘书	郝秀凯	天津无线电机械学校

参加全国中专电子类教材编审工作的学校

山东省电子工业学校	山东省信息工程学校
山东省机械工业学校	山东省邮电学校
山东省广播电视学校	济南信息学校
辽宁电子工业学校	辽宁省电子计算机学校
辽宁省本溪电子工业学校	武汉无线电工业学校
武汉市电子工业学校	天津无线电机机械学校
天津市仪表无线电工业学校	上海电子技术学校
上海化学工业学校	江苏省淮阴电子工业学校
无锡无线电工业学校	常州无线电工业学校
山西省电子工业学校	南京无线电工业学校
大连电子学校	河北省电子工业学校
福建省电子工业学校	北京无线电工业学校
北京市计算机工业学校	北京市电子工业学校
河南开封黄河水利学校	河南省电子工业学校
贵州省电子工业学校	珠海市工业学校
内蒙古电子学校	南昌无线电工业学校
安徽省电子工业学校	黑龙江省电子工业学校
重庆市电子工业学校	佛山市机电学校

前 言

高频电子线路是中专电子技术类专业的一门主干专业基础课,其内容包括小信号放大器、谐振功率放大器、调幅与检波、混频与倍频、调频与鉴频、集成锁相环路、调频收发信机、天线和电波传播。

高频电子线路所涉及的单元电路是信息传输和信息处理方面的基本电路,它是无线电技术、电子技术应用、通信、广播电视、电子声像、电子测量等电子技术类专业的公共必修课。

本书在编写时注意了以下几点:

(1)贯彻以分立元件电路与模拟集成电路并重的思想,各章在分析电路原理之后,又结合分析给出了模拟集成电路的应用例子。并对模拟乘法器、集成锁相环路的原理与应用作了较详尽的介绍。

(2)在介绍高频单元电路之后,又以调频收发信机为例将单元电路贯串起来,给读者一个完整的整机系统概念,由此可进一步掌握模拟通信系统的基本知识。

(3)天线和电波传播,是中专电子类专业学生学习的知识难点,本书开辟“天线和电波传播”一章。尝试以定性,浅显的方法,结合高频电子线路以及通信系统,以较少的课时(约 12 课时)介绍必备的天线和电波传播知识。

本书由王丹民、马彪编写,由南京无线电工业学校王钧铭担任主审(兼责任编辑)。

淮阴电子工业学校王丹民编写了本书的第 2、5、6、7、8 章;辽宁电子工业学校马彪编写了本书的第 1、3、4 章。淮阴电子工业学校周友兵参加了本书第 5、7 章的编写工作。全书由王丹民统编。

由于作者水平有限,难免有错误与疏漏之处,恳请读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 小信号放大器	(1)
1.1 晶体管高频等效电路	(1)
1.1.1 混合 π 型等效电路	(1)
1.1.2 Y 参数等效电路	(2)
1.2 单调谐放大器	(3)
1.2.1 单级单调谐放大器	(3)
1.2.2 多级单调谐放大器	(6)
1.3 双调谐放大器	(8)
1.3.1 双调谐放大器工作原理	(8)
1.3.2 双调谐放大器实际电路	(10)
1.4 调谐放大器的稳定性	(11)
1.4.1 中和法	(12)
1.4.2 失配法	(12)
1.5 集成调谐放大器及集中选择滤波器	(13)
1.5.1 集成宽带放大器	(13)
1.5.2 集中选择滤波器	(16)
本章小结	(19)
习题 1	(19)
第 2 章 高频功率放大器	(21)
2.1 丙类谐振功放的工作原理	(22)
2.2 丙类谐振功率放大器静态性能分析	(23)
2.2.1 谐振功率放大器的分析方法	(23)
2.2.2 丙类功率放大器的功率与效率	(26)
2.3 丙类谐振功率放大器的动态性能分析	(27)
2.3.1 谐振功率放大器的动态特性	(27)
2.3.2 谐振电阻 R_0 对工作状态的影响	(27)
2.3.3 各极电压对工作状态的影响	(29)
2.4 谐振功率放大器的匹配电路与直流馈电电路	(31)
2.4.1 匹配电路	(31)
2.4.2 直流馈电电路	(34)
2.4.3 实际电路举例	(35)
本章小结	(36)
习题 2	(37)
第 3 章 调幅与检波	(38)
3.1 调幅原理	(38)
3.1.1 普通调幅信号	(38)

3.1.2 其他调幅方式	(41)
3.2 常用调幅电路	(43)
3.2.1 低电平调幅电路	(43)
3.2.2 高电平调幅电路	(46)
3.3 集成模拟乘法器调幅电路	(50)
3.3.1 模拟乘法器工作原理	(50)
3.3.2 调幅电路	(52)
3.4 检波器	(53)
3.4.1 二极管包络检波器	(53)
3.4.2 乘积检波器	(56)
3.5 自动增益控制电路	(58)
3.5.1 AGC 电路类型	(59)
3.5.2 控制增益方法	(60)
本章小结	(62)
习题 3	(63)
第 4 章 混频与倍频	(65)
4.1 混频器组成与工作原理	(65)
4.2 混频电路	(67)
4.2.1 二极管混频电路	(67)
4.2.2 三极管混频电路	(68)
4.2.3 场效应管混频电路	(70)
4.2.4 模拟乘法器混频电路	(72)
4.3 混频器的干扰	(72)
4.3.1 干扰哨声	(73)
4.3.2 寄生通道干扰	(73)
4.3.3 交叉调制(交调)干扰	(74)
4.4 倍频器	(74)
4.4.1 丙类倍频器	(75)
4.4.2 集成模拟乘法器倍频器	(75)
本章小结	(76)
习题 4	(76)
第 5 章 调频与鉴频	(77)
5.1 调频原理	(77)
5.1.1 调频波的数学表达式及其波形	(77)
5.1.2 调频波的频谱和频带宽度	(79)
5.1.3 调频制和调幅制的比较	(81)
5.2 直接调频电路	(81)
5.2.1 直接调频原理	(82)
5.2.2 变容二极管调频电路	(82)
5.3 间接调频	(85)
5.3.1 间接调频原理	(86)
5.3.2 间接调频电路	(87)
5.4 鉴频器	(88)

5.4.1	斜率鉴频器	(88)
5.4.2	相位鉴频器	(90)
5.4.3	比例鉴频器	(92)
5.4.4	预加重与去加重	(94)
5.5	自动频率控制	(94)
5.5.1	AFC 的原理	(94)
5.5.2	AFC 的应用	(95)
	本章小结	(96)
	习题 5	(96)
第 6 章	集成锁相环路	(98)
6.1	反馈控制电路概述	(98)
6.2	锁相环路的基本原理	(99)
6.2.1	锁相环路的组成	(99)
6.2.2	锁相环路的相位模型	(101)
6.3	锁相环路的捕获与跟踪	(102)
6.3.1	锁相环路的捕获	(102)
6.3.2	锁相环路的跟踪	(102)
6.3.3	锁相环路的基本特性	(103)
6.4	两种典型的集成锁相环	(103)
6.4.1	低频集成锁相环路的 SL565	(103)
6.4.2	模拟锁相环 B562	(105)
6.5	集成锁相环路的应用	(106)
6.5.1	调频与解调	(106)
6.5.2	调幅信号的同步检波	(107)
6.5.3	频率合成	(107)
6.5.4	锁相接收机	(109)
	本章小结	(109)
	习题 6	(110)
第 7 章	调频收发信机	(111)
7.1	通信系统组成原理	(111)
7.1.1	通信系统的组成	(111)
7.1.2	无线电发送设备和接收设备的组成	(112)
7.1.3	调频系统概述	(113)
7.2	超短波调频发信机	(116)
7.2.1	调频发信机的组成框图	(116)
7.2.2	调频发信机的技术指标	(116)
7.2.3	电路分析	(117)
7.3	超短波调频收信机	(119)
7.3.1	超短波调频收信机的组成框图	(119)
7.3.2	调频收信机的技术指标	(119)
7.3.3	电路分析	(120)
	本章小结	(121)
	习题 7	(121)

第 8 章 天线和电波传播	(123)
8.1 电磁波辐射概念	(123)
8.1.1 电磁波的产生	(123)
8.1.2 电磁波的辐射条件	(124)
8.1.3 电磁波传播的基本性质	(124)
8.2 线型天线基础	(125)
8.2.1 简单天线	(125)
8.2.2 天线的基本参数	(128)
8.2.3 对称振子天线	(130)
8.2.4 多单元引向天线	(134)
8.2.5 常用的对称振子天线	(136)
8.3 天线与馈线的匹配	(137)
8.3.1 半波偶极天线的匹配	(138)
8.3.2 折合半波偶极天线的匹配	(138)
8.4 面天线(抛物面天线)	(139)
8.4.1 抛物面反射器的几何光学性质	(139)
8.4.2 辐射方向图	(139)
8.4.3 馈电器	(139)
8.4.4 卫星地面站天线结构	(141)
8.5 电波传播	(141)
8.5.1 地波传播	(142)
8.5.2 空间波传播	(142)
8.5.3 天波传播	(144)
8.5.4 各波段无线电波传播的特点	(147)
本章小结	(148)
习题 8	(148)
参考文献	(150)

第 1 章 小信号放大器

在无线电通信设备中,经常要放大处理调制信号,如调幅信号,调频信号等,该信号以某一载频为中心频率,且具有一定带宽,其频谱如图 1.1 所示。

其中 f_c 为载频,通常在几百千赫到几百兆赫,振幅在微伏至毫伏量级;另外,在同一信道中,可能还存在其他频道信号及各种干扰。这就要求高频小信号放大电路不但具有足够的增益、带宽,而且具有选频、滤波的作用,它集放大、选频于一体,其电路模型由有源放大元件和无源选频网络组成,如图 1.2 所示。作为放大元件,可以是晶体管、场效应管或集成电路。选频网络可以是 LC 谐振回路,或者是声表面波滤波器、陶瓷滤波器、晶体滤波器等。

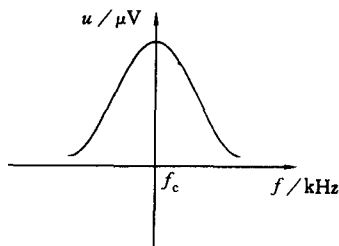


图 1.1 已调制信号的幅频特性

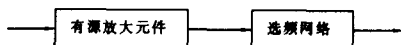


图 1.2 高频小信号放大器组成

1.1 晶体管高频等效电路

由于输入信号幅度较小,作为放大元件的晶体管工作在线性状态,故可视为线性元件,并可用由线性元件组成的电路来等效。晶体管在高频运用时,其结电容的影响不可忽略,显然其高频等效电路与低频等效电路是不同的。晶体管高频等效模型有两种:一是根据晶体管内部发生的物理过程得到的模拟等效电路,称之为物理参数模型,又称作混合 π 型等效电路;二是把晶体管视为一个二端口网络,得到网络模型,通常采用 Y 参数等效电路。

1.1.1 混合 π 型等效电路

图 1.3 为晶体管混合 π 型等效电路。图中各元件参数的物理意义如下:

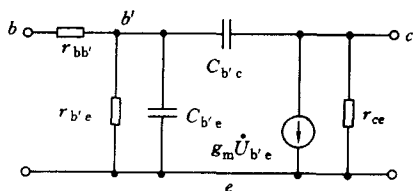


图 1.3 晶体管混合 π 型等效电路

(1) 基极电阻 $r_{bb'}$

$r_{bb'}$ 是指从基极引线 b 到有效基区 b' 的电阻。其值较小,在近似估算时,为便于分析可省略。

(2) 发射结电阻 $r_{b'e}$

$r_{b'e}$ 为发射结等效电阻,其估算公式为

$$r_{b'e} = (1 + \beta_0) \frac{26}{I_{CQ}}$$

其中, β_0 为晶体管放大倍数; I_{CQ} 为静态集电极电流,

单位为 mA。

$r_{b'e}$ 通常在几十欧姆到几百欧姆之间。

(3)发射结电容 $C_{b'e}$

该电容主要是指发射结扩散电容,其值在 $100\text{pF}\sim 500\text{pF}$ 之间。

(4)集电结电容 $C_{b'c}$

该电容主要为集电结势垒电容,其值为 $2\text{pF}\sim 10\text{pF}$,近似估算时可暂不考虑。

(5)集射电阻 r_{ce}

该电阻阻值亦较大,通常为几十千欧以上。

(6)跨导 g_m

该参数表示发射结电压 $u_{b'e}$ 对集电极电流的控制能力,即晶体管的放大能力。其值可用下式估算:

$$g_m \approx \frac{I_{CQ}}{26} \times 10^3$$

在这个式中,如果 I_{CQ} 的单位为 mA 则 g_m 的单位为 mS。

混合 π 等效电路的优点是:各元件参数物理定义明确,在较宽的频带内,元件值基本上与频率无关;其缺点是:随器件不同参数差别较大,分析和测量不方便。因而混合 π 等效电路较适合于分析宽频带小信号放大器。

1.1.2 Y 参数等效电路

以共发射极接法的晶体管为例,可将其看作一个双口网络,如图 1.4(a)所示。该网络有四个变量,根据选择的自变量和因变量的不同,可以有不同的网络参数,常用的有四种,即 H 参数、 Z 参数、 Y 参数和 A 参数。对高频小信号放大电路的分析,常采用 Y 参数等效电路,如图 1.4(b)所示。

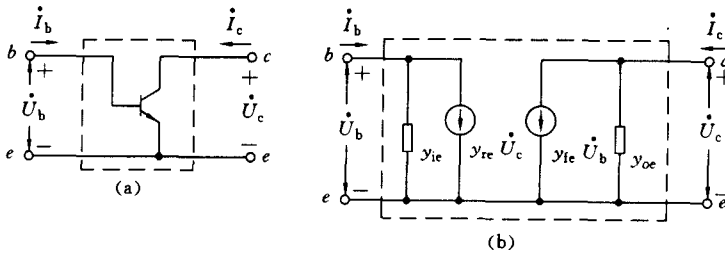


图 1.4 晶体管共发射极接法双口网络及其 Y 参数等效电路

首先, Y 参数要求在短路条件下进行计算或测定,高频时晶体管内部的电容效应不可忽略,在其端口实现短路条件较容易;其次,晶体管与谐振回路之间常以并联方式出现,采用导纳参数(Y 参数)等效电路,会给电路计算带来方便。选择 \dot{U}_b 、 \dot{U}_c 为自变量, \dot{I}_b 、 \dot{I}_c 为因变量,可得 Y 参数方程为

$$\dot{I}_b = y_{ie}\dot{U}_b + y_{re}\dot{U}_c \quad (1-1)$$

$$\dot{I}_c = y_{fe}\dot{U}_b + y_{oe}\dot{U}_c \quad (1-2)$$

其中,输入导纳定义为

$$y_{ie} = \left. \frac{\dot{I}_b}{\dot{U}_b} \right|_{\dot{U}_c=0} \quad (1-3)$$

反向传输导纳定义为

$$y_{re} = \left. \frac{\dot{I}_b}{\dot{U}_c} \right|_{\dot{U}_b=0} \quad (1-4)$$

正向传输导纳定义为

$$y_{fe} = \left. \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_b} \right|_{\dot{U}_c=0} \quad (1-5)$$

输出导纳定义为

$$y_{oe} = \left. \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_c} \right|_{\dot{U}_b=0} \quad (1-6)$$

由 Y 参数方程可得如图 1.4(b) 所示的 Y 参数等效电路, 图中 $y_{fe}\dot{U}_b$ 表示输入电压对输出电流的控制作用(正向控制), y_{fe} 越大, 则晶体管的放大能力越强; 受控电流源 $y_{re}\dot{U}_c$ 表示输出电压对输入电流的控制作用(反向控制), 它代表晶体管的内部反馈作用, 反馈导纳 y_{re} 越大, 表明内部反馈越强。 y_{re} 的存在, 会造成放大器工作的不稳定, 应尽可能减小它的影响。

晶体管的 Y 参数除可根据定义通过测量求出外, 亦可通过混合 π 型等效电路的参数来计算。晶体管共发射极 Y 参数与混合 π 型等效电路参数间的关系如下:

$$y_{ie} \approx \frac{g_{b'e} + j\omega C_{b'e}}{1 + g_{b'e}r_{bb'} + j\omega C_{b'e}r_{bb'}} = g_{ie} + j\omega C_{ie} \quad (1-7)$$

$$y_{fe} \approx \frac{g_m}{1 + g_{b'e}r_{bb'} + j\omega C_{b'e}r_{bb'}} = |y_{fe}|e^{j\varphi_{fe}} \quad (1-8)$$

$$y_{re} \approx \frac{-j\omega C_{b'e}}{1 + g_{b'e}r_{bb'} + j\omega C_{b'e}r_{bb'}} = |y_{re}|e^{j\varphi_{re}} \quad (1-9)$$

$$y_{oe} \approx j\omega C_{b'e} + \frac{j\omega C_{b'e}r_{b'b}g_m}{1 + g_{b'e}r_{bb'} + j\omega C_{b'e}r_{bb'}} = g_{oe} + j\omega C_{oe} \quad (1-10)$$

y_{ie} 、 y_{fe} 、 y_{re} 、 y_{oe} 的大小和晶体管的型号、接法、工作状态及运用频率有关, 由晶体管手册可查出其参考数据(一般是在某一频率和偏置电流条件下得出的数据)。

1.2 单调谐放大器

1.2.1 单级单调谐放大器

图 1.5 是一典型的高频单调谐放大器电路。其直流偏置电路组成与低频放大器完全相同, R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_c 为直流偏置电阻, 电容 C_b 、 C_e 为高频旁路电容, 但它们的电容值比低频时小得多。LC 单调谐回路作为放大器的负载, 工作时被调谐在信号载波频率上。它与本级晶体管的输出及负载(一般为下一级电路的输入阻抗)均采用部分接入方式连接, 可减小晶体管输出导纳及负载对回路的影响, 提高回路 Q 值, 同时可调节放大器的匹配

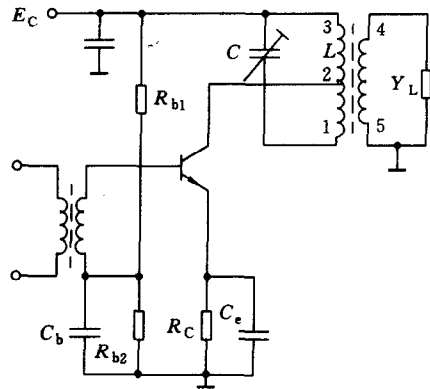


图 1.5 共射单调谐放大器

状态。图 1.6 是该电路的交流等效电路。

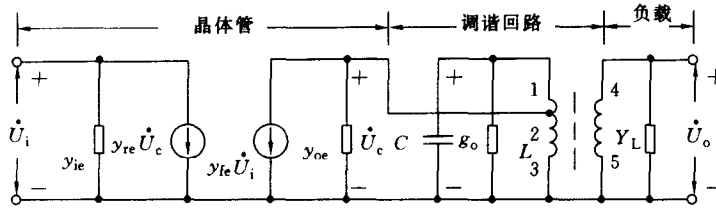


图 1.6 共射单调谐放大器交流等效电路

图中, LC 并联谐振回路损耗用电导 g_0 表示, 设回路电感 L 的 1、2 间匝数为 N_1 , 2、3 间匝数为 N_2 , 4、5 间匝数为 N_3 , 电感 L 的总匝数为 N , 则晶体管接入回路的接入系数为

$$P_1 = \frac{N_2}{N_1 + N_2} = \frac{N_2}{N} \quad (1-11)$$

负载的接入系数为

$$P_2 = \frac{N_3}{N} \quad (1-12)$$

图 1.7(a) 为考虑接入系数后的等效电路(图中忽略 $y_{re} \dot{U}_c$), 该电路中所有元件与 LC 回路均呈简单并联回路关系, 将同类元件合并, 最终可得图 1.7(b) 所示简化等效电路。图中,

$$g_{\Sigma} = P_1^2 g_{oe} + p_2^2 g_L + g_0 \quad (1-13)$$

$$C_{\Sigma} = P_1^2 C_{oe} + p_2^2 C_L + C \quad (1-14)$$

由此, 可以求得放大器的主要性能指标:

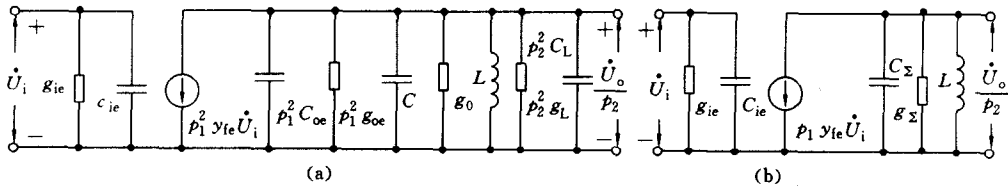


图 1.7 等效电路的化简

(1) 电压增益

由图 1.7(b) 可得

$$\frac{\dot{U}_o}{P_2} = - \frac{P_1 y_{fe} \dot{U}_i}{g_{\Sigma} + j\omega C_{\Sigma} + \frac{1}{j\omega L}} \quad (1-15)$$

所以

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = - \frac{P_1 P_2 y_{fe}}{g_{\Sigma} + j\omega C_{\Sigma} + \frac{1}{j\omega L}} = - \frac{P_1 P_2 y_{fe}}{g_{\Sigma} (1 + j\xi)} \quad (1-16)$$

电压增益模值为

$$A_u = \frac{P_1 P_2 |y_{fe}|}{g_{\Sigma} \sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{P_1 P_2 |y_{fe}|}{g_{\Sigma} \sqrt{1 + \left(Q_e \frac{2\Delta f}{f_0} \right)^2}} \quad (1-17)$$

广义失谐为

$$\xi = Q_e \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \approx Q_e \frac{2\Delta f}{f_0} \quad (1-18)$$

谐振频率

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_\Sigma}} \quad (1-19)$$

有载品质因素

$$Q_e = \frac{\omega_0 C_\Sigma}{g_\Sigma} = \frac{1}{\omega_0 g_\Sigma L} \quad (1-20)$$

谐振时 $\Delta f=0, \xi=0$, 则电压增益为

$$A_{u0} = - \frac{P_1 P_2 y_{ie}}{g_\Sigma} \quad (1-21)$$

$$|A_{u0}| = \frac{P_1 P_2 |y_{ie}|}{g_\Sigma} \quad (1-22)$$

可见, 调谐放大器在谐振时的电压增益最大, 且电压增益与晶体管参数, 回路总电导及接入系数有关。

(1) 为了增大 A_{u0} , 应选取 $|y_{ie}|$ 大, g_{oc} 小的晶体管。

(2) 为了增大 A_{u0} , 要求负载电导小, 如果负载是下一级放大器, 则要求其 g_{ic} 小。

(3) 要求回路自身损耗电导 g_0 要小, 即采用高品质因素的调谐回路。

(4) 在回路 Q 值一定的条件下, 选择适当的接入系数 $P_1 P_2$ 使负载匹配, 即 $P_2^2 g_L = P_1^2 g_{oc} + g_0$, 则可获得最大的放大器增益。但考虑到电路的稳定性问题(后面专门讨论), 通常使电路工作在失配状态。

(2) 通频带与矩形系数

由式(1-17)与式(1-22)可得调谐放大器的谐振曲线方程为

$$\frac{A_u}{A_{u0}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(Q_e \frac{2\Delta f}{f_0} \right)^2}} \quad (1-23)$$

其谐振曲线见图 1.8。当 $\frac{A_u}{A_{u0}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 时,

可求得 3dB 带宽, 即通频带为

$$B_{0.7} = 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_e} \quad (1-24)$$

显然, 单调谐放大器的通频带与回路的谐振频率及有载品质因素 Q_e 有关。当 f_0 确定后, Q_e 越高, 通频带越窄, Q_e 越低, 通频带越宽。有时为增大通频带, 可在回路两端另并一电阻以降低 Q_e 。

值, 展宽通频带。显然, 此时放大器的增益将下降。当 $\frac{A_u}{A_{u0}} = 0.1$ 时, 可得

$$B_{0.1} = \sqrt{10^2 - 1} \times B_{0.7}$$

所以, 矩形系数为

$$K_{r0.1} = \frac{B_{0.1}}{B_{0.7}} = \sqrt{10^2 - 1} \approx 9.95 \quad (1-25)$$

理想的矩形系数应为 1。由式(1-25)可见, 单调谐放大器的矩形系数远大于 1, 故而选择性较