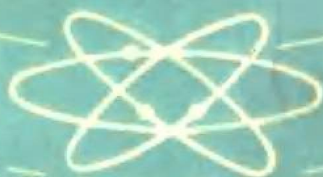


中等专业学校教材

# 高频电子线路

(修订版)

俞家琦 编



西安电子科技大学出版社

## 内 容 提 要

本书介绍高频电子线路的基本原理、分析方法和调整测试原理。主要内容有宽频带放大器、小信号调谐放大器、高频功率放大器、正弦波自激振荡器、调幅、检波、变频、调频、鉴频以及锁相环路。另外还专门讨论了晶体管高频等效电路和模拟乘法器。各章后附有小结、习题及答案。

本书可作为中等专业学校无线电技术专业的教材，也可供从事电子设备的调整、测试、检验、维修工作的工程技术人员参考，还可作为具有初步电工知识的人员学习电子线路的参考书。

中等专业学校教材  
**高 频 电 子 线 路**  
(修订版)

俞家琦 编

责任编辑 叶德福

---

西安电子科技大学出版社出版

西安电子科技大学印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 198/16 字数 438 千字

1985 年 12 月第 1 版 1989 年 12 月修订版 1989 年 12 月第 1 次印刷 印数 1—15000

---

ISBN7-5606-0102-2/TN·0038

定价: 3.80 元

## 出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构，并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版计划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践，师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

## 修订版前言

本书的第一版是1985年12月由西北电讯工程学院出版社出版的。从三年来的使用情况看,受到了广大读者的欢迎和支持。为了使教材更加适合中专教学的需要,编者收集了各方面的意见,并根据本人的教学体会,对第一版中的某些内容进行了调整与修改。调整与修改的内容主要有以下几个方面:

一、在章节体系上,将第一版的第六章“高频功率放大器”改为第四章,紧接在“小信号调谐放大器”之后。取消第一版的第五章“非线性电路的分析方法”,有关内容分别并入各章中。增加了新的一章,即第六章“频率变换电路与模拟乘法器”。这样,本书体系的安排变为:第一章介绍晶体管在高频运用下的等效电路分析方法;第二、第三、第四章为三种不同类型的放大电路——宽带放大电路、小信号调谐放大电路以及丙类谐振放大电路;第五章是高频电子线路中的一种十分重要的电路——正弦波振荡器;第六章重点介绍模拟乘法器,以便和《低频电子线路》课程中作为重要内容介绍的运算放大器相呼应,使这两种基本模拟集成电路得到同样的重视;第七和第八章为频谱搬移电路——调幅、检波和变频;第九章是频谱非线性变换电路——角度调制与解调;第十章是反馈控制系统——相位控制电路。也就是说,本书的内容是按照放大、振荡、频谱搬移、频谱非线性变换和反馈控制的顺序来安排的。书中仍侧重于通信电路的分析,这和第一版是相同的。

二、部分章节的内容进行了压缩和改写:首先是删除了一些陈旧内容,另外,有些在专业课中可以介绍的内容本书也做了压缩或删除,如功率合成和分配、电视机的自动增益控制电路、预加重—去加重技术、变容管倍频器等。

三、修订版增加的内容主要有两部分,即集成模拟乘法器和集成锁相环路。这主要是为了适应当前集成电路的发展而增加的。

四、在数学推导及分析方面,修订版与第一版相比,有所压缩也有所增加。压缩的有晶体管 $Y$ 参数的计算、小信号调谐放大器的部分计算、大信号检波器的计算以及用拉氏变换分析锁相环路等;增加的部分有混合 $\Pi$ 参数的确定、负反馈放大器的增益和上限频率的计算以及其它一些内容。所增加的数学分析主要是为了更好地与物理概念的阐述相配合,有助于对电路的物理过程的理解。而另一些作为设计手段的计算则予以简化或删除,这是因为目前电子线路的分析与设计都是工程估算,严格的分析主要依靠计算机辅助分析。

五、本书在分析方法上力图由浅入深、由易到难,并注意理论联系实际。对有些分立元件电路也做了较详细的分析,这主要是考虑到中专生的特点,便于他们自学。

六、增加了较多的习题。

考虑到各校教学时数不同,编者在目录和正文中对有些内容做了记号,凡有\*号者可以不讲或选讲。

编者十分感谢对本书第一版提出意见的读者,特别感谢南京无线电工业学校郑应光老师和华永平老师,感谢他们的支持与合作。郑应光老师还为本书提供了部分习题,编者已

经采用。本书虽经修订，但错误或不妥之处仍可能存在，恳请使用本书的师生和广大读者不吝指正。

编 者

1989年1月于南京

## 第一版前言

本教材系由电子工业部中专电子类教材编审委员会无线电技术编审小组审定，并推荐出版。

本教材由南京无线电工业学校俞家琦编写，沈阳机电学院严仲豪副教授担任主审。编审者均依据无线电技术编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

高频电子线路课涉及到的基本单元电路类型较多。本书力图按照一定的顺序，循序渐进地阐明各种电路的特点，以及它们的区别与联系。

第一章为晶体管高频等效电路。这一章从最简单的小信号线性电路着手，阐明晶体管在高频运用时的特点。重点指出晶体管在高频运用时的结电容效应，并对常用的两种晶体管的高频等效电路，即混合  $\Pi$  型和  $Y$  参数电路，进行了介绍。这一章是高频电子线路的入门。

第二章和第三章为两种典型的高频小信号线性电路： $RC$  耦合放大器和调谐放大器。 $RC$  耦合放大器是宽频带放大器，结电容效应将影响放大器频率响应曲线的高频段。这一章重点讨论了各种展宽频带的方法。小信号调谐放大器为窄带放大器。这一章重点研究放大器增益与晶体管本身所可能得到的最大增益之间的关系，以及电路的稳定性问题。

第四章是正弦波自激振荡器。这部分内容，有的教材放在高频功率放大器之后，有的则放在高频功率放大器之前，本书采用了后一种安排。自激振荡器紧接在小信号调谐放大器之后，从调谐放大器的不稳定状态，引入自激振荡器的振荡条件，这是线性反馈振荡器的理论。这样安排的好处是衔接较紧密，过渡较自然，并且没有跳跃的感觉。据此研究了各种满足振荡条件的自激振荡电路。当然，实际的振荡器是利用器件的非线性来限制振荡器的振幅，但这可以不用高频功率放大器的折线分析法进行分析，因此学生是能够接受的。本章还重点讨论了振荡器的频率稳定问题。前四章的内容大约占全书一半的篇幅和学时。

第五章是非线性电路的分析方法。这是与线性电路不同的分析法，是以后各章的概述。非线性电路的分析方法主要归纳为两种类型：丙类功率放大器的折线分析法和非线性频率变换电路的分析法。本章概括介绍了这两种方法。

第六章是高频功率放大器。在这一章中首先讨论高频功率放大器的工作特点，并用折线法对丙类放大器进行定量分析。然后提出在考虑高频效应后对所分析结果的修正。最后讨论高功放的馈电电路及耦合电路。本章还介绍了功率合成技术。

第七章及第八章分别讨论四种频率变换电路：调幅、检波、变频和倍频。这些电路与放大电路有明显的差异。根据对这些电路的要求，采用不同的方法，着重分析这些电路频率变换的原理及其电路。分析时注意到它们之间的联系和区别。

第九章为角度调制及其解调，讨论调频的基本概念，调频与调幅的比较，以及实现调频的方法。本章还讨论了频率解调的方法及具体电路。

第十章为锁相环路。本章介绍锁相环的基本概念以及各种应用。

电子线路课是一门实践性很强的课程。本书各章结合实验，介绍了电路的调整及测试

原理，但这部分并不是实验指导书，也不一定都是大纲规定的实验内容。

电子技术发展十分迅速，各种新型器件及电路不断出现。作为一本基础课教材，本书仍着重于基本原理的分析。书中列举了一些例子，书末也附录了几个电路，供读者参考。

为了节省篇幅，本书对于某些计算公式没有进行推导，只引用了结果，这些都在有关地方注明了出处。书末还列出了主要参考文献。

本书授课约需 100 学时。课时分配建议如下：绪论 2 学时；晶体管高频等效电路 8 学时；宽频带放大器 8 学时；小信号调谐放大器 10 学时；正弦波自激振荡器 16 学时；非线性电路的分析方法 6 学时；高频功率放大器 12 学时；振幅调制及其解调 14 学时；变频与倍频 10 学时；角度调制及其解调 8 学时；锁相环路 6 学时。

编者认为教材只起主要参考书的作用。教师应根据教学大纲规定的基本内容，结合自己的教学经验，拟定自己的授课顺序和阐明问题的方法。并应提倡学生多看其它参考书，这可使学生对问题的理解和掌握更灵活些。

本书主审沈阳机电学院严仲豪副教授对教材原稿进行了认真细致的审阅，并提出了许多宝贵意见；辽宁电子学校刘凤池同志为本书的责任编委，在审稿过程中提出了许多宝贵的意见；辽宁电子学校、大连电子学校、黑龙江省电子学校、北京无线电工业学校、九江机械工业学校、福建省电子工业学校、上海电子技术学校的有关同志参加了本书的编写大纲审定会，并审查了编者的原讲义稿，他们都提出了宝贵的意见。对上述单位和个人编者表示深切的谢意。

限于水平，本书可能还有不少不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

1984 年 8 月

## 常用符号说明

### 一、电压

|                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| $u(t)$          | 一般电压信号; 交流电压瞬时值(可简写为 $u$ ); 调幅电压信号 |
| $\dot{U}$       | 正弦电压复数量                            |
| $U$             | 正弦电压幅值; 有效值(在专门指明时); 直流电压          |
| $u_c(t)$        | 载波电压信号; VCO的控制电压信号                 |
| $u_c$           | 集电极交流电压瞬时值; 回路两端交流电压瞬时值            |
| $\dot{U}_c$     | 回路两端正弦电压复数量                        |
| $U_c$           | 载波正弦电压幅值; 回路两端正弦电压幅值; VCO控制正弦电压幅值  |
| $u_\Omega(t)$   | 音频调制电压信号                           |
| $U_\Omega$      | 音频调制正弦电压幅值                         |
| $\dot{U}_b$     | 基极正弦电压复数量                          |
| $U_b$           | 基极正弦电压幅值                           |
| $u_{be}$        | 基—射间交流电压瞬时值                        |
| $u_{b'e}$       | 发射结交流电压瞬时值                         |
| $\dot{U}_{b'e}$ | 发射结正弦电压复数量                         |
| $U_{b'e}$       | 发射结正弦电压幅值                          |
| $u_{ce}$        | 集—射间交流电压瞬时值                        |
| $U_{ces}$       | 临界饱和电压                             |
| $U_{cemin}$     | 集—射电压最小值                           |
| $U_{bemax}$     | 基—射电压最大值                           |
| $U_j$           | 截止电压                               |
| $u_i$           | 输入交流电压瞬时值                          |
| $\dot{U}_i$     | 输入正弦电压复数量                          |
| $U_i$           | 输入正弦电压幅值                           |
| $u_o$           | 输出交流电压瞬时值                          |
| $\dot{U}_o$     | 输出正弦电压复数量                          |
| $U_o$           | 输出正弦电压幅值                           |
| $u_s(t)$        | 信号源电压信号; 信号电压瞬时值                   |
| $\dot{U}_s$     | 信号源正弦电压复数量                         |



|               |                 |
|---------------|-----------------|
| $U_s$         | 信号源正弦电压幅值       |
| $u_i(t)$      | 本振电压信号; 本振电压瞬时值 |
| $U_i$         | 本振正弦电压幅值        |
| $u_{\pi}$     | 中频交流电压瞬时值       |
| $U_{\pi}$     | 中频正弦电压幅值        |
| $\dot{U}_f$   | 反馈正弦电压复数量       |
| $U_f$         | 反馈正弦电压幅值        |
| $U_d$         | 检波器输出电压直流分量     |
| $U_p$         | AGC电压           |
| $u_{AM}(t)$   | 调幅电压信号          |
| $u_{FM}(t)$   | 调频电压信号          |
| $u_{PM}(t)$   | 调相电压信号          |
| $u_d(t)$      | • 误差信号交流电压瞬时值   |
| $E$           | 二极管偏置电压         |
| $E_c$         | 集电极直流电源电压       |
| $E_{c0}$      | 集电极直流电源电压初始值    |
| $E_b$         | 基极直流偏置电压        |
| $E_{b0}$      | 基极直流偏置电压初始值     |
| $\dot{E}_s$   | 信号电动势复数量        |
| $E_s$         | 信号电动势           |
| $u_{\varphi}$ | PN结势垒电位差        |

## 二、电流

|             |                                 |
|-------------|---------------------------------|
| $i(t)$      | 一般电流信号; 交流电流瞬时值(可简写为 <i>i</i> ) |
| $\dot{I}$   | 正弦电流复数量                         |
| $I$         | 正弦电流幅值; 有效值(在专门指明时); 直流电流       |
| $i_b$       | 基极交流电流瞬时值                       |
| $\dot{I}_b$ | 基极正弦电流复数量                       |
| $I_b$       | 基极正弦电流幅值                        |
| $i_c$       | 集电极交流电流瞬时值                      |
| $\dot{I}_c$ | 集电极正弦电流复数量                      |
| $I_c$       | 集电极正弦电流幅值                       |
| $i_e$       | 发射极交流电流瞬时值                      |

|             |                      |
|-------------|----------------------|
| $I_{c0}$    | 集电极余弦脉冲电流直流分量        |
| $I_{c1}$    | 集电极余弦脉冲电流基波分量幅值      |
| $I_{cn}$    | 集电极余弦脉冲电流谐波分量幅值      |
| $I_{b1}$    | 基极电路基波电流幅值           |
| $I_{cmax}$  | 集电极余弦脉冲电流最大值         |
| $I_{bmax}$  | 基极余弦脉冲电流最大值          |
| $I_{max}$   | 二极管余弦脉冲电流最大值         |
| $I_B$       | 基极静态工作点电流            |
| $I_C$       | 集电极静态工作点电流           |
| $I_E$       | 发射极静态工作点电流           |
| $I_Q$       | 静态工作点电流              |
| $\dot{I}_s$ | 电流源正弦电流复数量           |
| $I_s$       | 电流源正弦电流幅值; 二极管反向饱和电流 |
| $I_A$       | 天线回路电流有效值            |
| $I_d$       | 检波输出电流直流分量           |
| $I_x$       | 中频正弦电流幅值             |
| $I_{CM}$    | 集电极最大允许电流            |

### 三、阻抗、导纳

|                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| $Z = R + jX$           | 阻抗                |
| $z = \sqrt{R^2 + X^2}$ | 阻抗的幅值             |
| $Y = g + jb$           | 导纳                |
| $y = \sqrt{g^2 + b^2}$ | 导纳的幅值             |
| $R$                    | 电阻一般符号; 电路中电阻元件符号 |
| $r$                    | 电阻一般符号; 晶体管内部等效电阻 |
| $y$                    | 晶体管 $Y$ 参数复数量     |
| $ y $                  | 晶体管 $Y$ 参数模值      |
| $r_s$                  | PN结串联电阻           |
| $r_e$                  | 发射结电阻             |
| $r_{b'e}$              | 发射结电阻             |
| $r_{b'c}$              | 集电结电阻             |
| $r_{bb'}$              | 基区电阻              |
| $r_{ce}$               | 集电极输出电阻           |
| $r_i$                  | 输入电阻              |

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| $r_o$                       | 输出电阻           |
| $r_q$                       | 石英晶体等效串联电阻     |
| $g_i$ 、 $g_{ie}$            | 输入电导           |
| $g_o$ 、 $g_{oe}$            | 输出电导           |
| $g_{b'e} = 1/r_{b'e}$       | 发射结电导          |
| $g_0 = 1/R_0$               | 回路固有电导; 空载谐振电导 |
| $g_L = 1/R_L$               | 负载电导           |
| $g_m$                       | 跨导             |
| $g_c$                       | 晶体管折线化跨导; 变频跨导 |
| $g_m(t)$                    | 时变跨导           |
| $g_{m1}$                    | 时变跨导的基频分量幅值    |
| $g_{cr}$                    | 临界线斜率          |
| $g_1 = \alpha_1 / \alpha_0$ | 集电极电流利用系数      |
| $g_\Sigma$                  | 总电导            |
| $R_B$                       | 基极电阻           |
| $R_C$                       | 集电极电阻          |
| $R_E$                       | 发射极电阻          |
| $R_L$                       | 负载电阻           |
| $R_0$                       | 回路空载谐振电阻       |
| $R_e$                       | 回路有载谐振电阻       |
| $R_s$                       | 电源电阻           |
| $R_p$                       | 滤波电阻           |
| $R_f$                       | 反馈电阻           |
| $R_y$                       | 外接电阻           |
| $R_{opt}$                   | 最佳负载电阻         |
| $C$                         | 电容一般符号; 调谐回路电容 |
| $C_T$                       | 势垒电容           |
| $C_D$                       | 扩散电容; 变容二极管电容  |
| $C_{b'e}$                   | 发射结电容          |
| $C_{b'c}$                   | 集电结电容          |
| $C_{eb'}$                   | 共基发射结电容        |
| $C_{cb'}$                   | 共基集电结电容        |
| $C_{oh}$                    | 射极开路时的共基输出电容   |

|            |                  |
|------------|------------------|
| $C_i$      | 输入电容             |
| $C_o$      | 输出电容             |
| $C_0$      | 静态电容             |
| $C_M$      | 密勒电容             |
| $C_L$      | 负载电容             |
| $C_B$      | 基极耦合电容; 基极补偿电容   |
| $C_C$      | 集电极耦合电容; 一般耦合电容  |
| $C_E$      | 发射极旁路电容; 发射极补偿电容 |
| $C_N$      | 中和电容             |
| $C_y$      | 外接电容             |
| $C_q$      | 石英晶体等效串联电容       |
| $C_p$      | 滤波电容             |
| $C_\Sigma$ | 总电容              |
| $L$        | 电感一般符号; 调谐回路电感   |
| $L_c$      | 扼流圈电感            |
| $L_f$      | 反馈电感             |
| $L_q$      | 石英晶体等效串联电感       |
| $L_e$      | 石英谐振器等效电感        |
| $M$        | 互感               |
| $Y_L$      | 负载导纳复数量          |
| $Y_s$      | 电流源导纳复数量         |
| $Z_L$      | 负载阻抗复数量          |
| $Z_c$      | 特性阻抗             |

#### 四、增益、传输系数

|                |                |
|----------------|----------------|
| $\dot{A}_u$    | 电压增益复数量        |
| $A_u$          | 电压增益模值         |
| $A_{u0}$       | 中频电压增益; 谐振电压增益 |
| $\dot{A}_{uh}$ | 高频电压增益复数量      |
| $A_{uh}$       | 高频电压增益模值       |
| $\dot{A}_p$    | 功率增益复数量        |
| $A_p$          | 功率增益模值         |
| $A_{p0}$       | 中频功率增益; 谐振功率增益 |

|             |                 |
|-------------|-----------------|
| $A_{us}$    | 源电压增益模值         |
| $A_{u0f}$   | 加负反馈后中频电压增益     |
| $A_{u0cr}$  | 双回路临界耦合谐振电压增益   |
| $A_{uc}$    | 变频电压增益模值        |
| $A_{pc}$    | 变频功率增益模值        |
| $K$         | 电压传输系数, 增益因子    |
| $K_d$       | 直流电压传输系数        |
| $K_a$       | 交流电压传输系数        |
| $K_0$       | RC选频网络电压传输系数中心值 |
| $K_D$       | 微分网络电压传输系数      |
| $\dot{F}_u$ | 电压反馈系数复数量       |
| $F_u$       | 电压反馈系数模值        |

## 五、频率、相位与相角

|                   |                  |
|-------------------|------------------|
| $f$               | 频率的一般符号          |
| $F$               | 音频调制信号频率         |
| $f_c$             | 载波频率             |
| $f_r$             | 中频频率             |
| $f_H$             | 上限频率             |
| $f_L$             | 下限频率             |
| $f_m$             | 最高振荡频率           |
| $f_N$             | 干扰信号频率           |
| $f_0$             | 谐振频率             |
| $f_p$             | 石英晶体并联谐振频率       |
| $f_s$             | 石英晶体串联谐振频率; 信号频率 |
| $f_T$             | 特征频率             |
| $f_l$             | 本振频率             |
| $f_\alpha$        | $\alpha$ 截止频率    |
| $f_\beta$         | $\beta$ 截止频率     |
| $\Delta f$        | 频偏               |
| $2\Delta f_{0.7}$ | 3 dB带宽           |
| $\Omega$          | 音频调制信号角频率        |
| $\Delta\omega$    | 角频偏              |
| $\omega(t)$       | 瞬时角频率            |

|                |                               |
|----------------|-------------------------------|
| $\omega_0$     | VCO输出信号中心角频率; 谐振角频率           |
| $\omega_s$     | 信号角频率                         |
| $\omega_l$     | 本振角频率                         |
| $\omega_x$     | 中频信号角频率                       |
| $\omega_c$     | 载波角频率                         |
| $\varphi_0$    | 初始相角                          |
| $\varphi_h$    | $\dot{A}_{uh}$ 的相角            |
| $\varphi_{Mh}$ | $\dot{M}_h$ 的相角               |
| $\varphi_A$    | $\dot{A}_u$ 的相角               |
| $\varphi_{fe}$ | $y_{fe}$ 的相角                  |
| $\varphi_F$    | $\dot{F}_u$ 的相角               |
| $\varphi_{re}$ | $y_{re}$ 的相角                  |
| $\theta(t)$    | 瞬时相位                          |
| $\theta_c(t)$  | 载波的瞬时相位                       |
| $\Delta\theta$ | 相偏                            |
| $\theta_e(t)$  | PD输入信号的相位差                    |
| $\theta_1(t)$  | PD输入信号的相位差(以VCO输出信号固有瞬时相位为参考) |

## 六、功率

|                |               |
|----------------|---------------|
| $P$            | 功率一般符号        |
| $P_b$          | 基极激励功率        |
| $P_c$          | 集电极耗散功率; 载波功率 |
| $P_d$          | 直流输入功率        |
| $P_x$          | 中频功率          |
| $P_i$          | 输入功率          |
| $P_J$          | 石英晶体激励功率      |
| $P_N$          | 噪声功率          |
| $P_o$          | 输出功率          |
| $P_s$          | 信号功率          |
| $P_\Omega$     | 边频功率          |
| $P_{CM}$       | 集电极最大允许耗散功率   |
| $P_{\Sigma a}$ | 调幅波平均功率       |
| $P_{\max}$     | 调幅波最大瞬时功率     |

## 七、其它符号

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| $k$         | 波尔兹曼常数; 耦合系数        |
| $K_r$       | 矩形系数                |
| $k_n$       | 失配损耗                |
| $k_l$       | 插入损耗                |
| $k_{cr}$    | 临界耦合系数              |
| $s_f$       | 调频灵敏度               |
| $s_p$       | 调相灵敏度               |
| $K(t)$      | 开关函数                |
| $s(t)$      | 调制信号的一般形式           |
| $m$         | 调幅系数                |
| $m_f$       | 调频系数                |
| $m_p$       | 调相系数                |
| $s_0$       | 稳定系数                |
| $p$         | 接入系数; 组合频率系数        |
| $q$         | 失配系数; 组合频率系数; 电子电荷量 |
| $N_F$       | 噪声系数                |
| $\xi$       | 一般失调; 集电极电压利用系数     |
| $\gamma$    | 非线性失真系数; 变容二极管特性指数  |
| $\dot{M}_h$ | 高频频率失真系数复数量         |
| $M_h$       | 高频频率失真系数模值          |
| $d$         | 抑制比                 |
| $D$         | 频偏率, 密勒效应因子         |
| $\eta$      | 耦合因数                |
| $\eta_c$    | 集电极效率               |
| $B$         | 带宽                  |
| $\tau$      | 时间常数                |
| $\theta$    | 通角                  |
| $Q$         | 品质因数; 工作点           |
| $Q_0$       | 空载品质因数              |
| $Q_e$       | 有载品质因数              |
| $T$         | 热力学温度               |
| $t_r$       | 脉冲前沿上升时间            |
| $\alpha_0$  | 共基低频短路电流放大系数        |

|                    |              |
|--------------------|--------------|
| $\alpha$           | 共基短路电流放大系数   |
| $ \alpha $         | $\alpha$ 的模值 |
| $\alpha_0(\theta)$ | 直流分量分解系数     |
| $\alpha_1(\theta)$ | 基波分量分解系数     |
| $\alpha_n(\theta)$ | 谐波分量分解系数     |
| $\beta_0$          | 共射低频短路电流放大系数 |
| $\beta$            | 共射短路电流放大系数   |
| $ \beta $          | $\beta$ 的模值  |
| $GB$               | 增益带宽积        |
| $J_T$              | 石英晶体符号       |
| BG                 | 晶体管符号        |
| D                  | 二极管符号        |
| $T_r$              | 变压器符号        |



# 目 录

## 常用符号说明

## 绪 论

## 第一章 晶体管高频等效电路

§ 1.1 概述 ..... 6

§ 1.2 晶体管物理参数及等效电路 ..... 8

一、PN 结二极管的等效电路 ..... 8

二、晶体管共射混合  $\Pi$  型等效电路 ..... 9

三、混合  $\Pi$  参数的确定 ..... 12

四、晶体管共基 T 型等效电路 ..... 14

§ 1.3 晶体管频率参数 ..... 15

一、 $\beta$  截止频率  $f_{\beta}$  ..... 15

二、特征频率  $f_T$  ..... 16

三、 $\alpha$  截止频率  $f_{\alpha}$  ..... 17

四、最高振荡频率  $f_m$  ..... 18

五、四个频率参数的比较 ..... 19

§ 1.4 晶体管网络参数及等效电路 ..... 21

一、Y 参数的定义式 ..... 21

二、晶体管 Y 参数的测量方法 ..... 23

三、Y 参数和混合  $\Pi$  参数的换算 ..... 24

本章小结 ..... 24

习题 1 ..... 25

## 第二章 宽频带放大器

§ 2.1 概述 ..... 27

一、宽频带放大器的特点 ..... 27

二、宽频带放大器的技术指标 ..... 27

三、宽频带放大器的分析方法 ..... 29

§ 2.2 共射 RC 放大电路的高频特性 ..... 29

一、共射 RC 放大电路的等效电路 ..... 29

二、电压增益与上限频率 ..... 32

§ 2.3 用补偿法展宽频带 ..... 37

一、基极回路补偿 ..... 37

二、发射极回路补偿 ..... 39

三、集电极回路补偿 ..... 39

四、低频补偿 ..... 41

§ 2.4 负反馈宽频带放大器 ..... 42

一、单级负反馈电路 ..... 43

二、交替负反馈 ..... 44

三、两级负反馈放大器 ..... 46

四、负反馈放大器的增益及上限频率 ..... 47

§ 2.5 组合电路 ..... 49

一、共射-共基组合电路 ..... 50

二、共集-共射组合电路 ..... 50

三、共集-共基组合电路 ..... 50

四、共射-共集组合电路 ..... 51

五、共射-共基-共集组合电路 ..... 51

§ 2.6 集成宽频带放大器 ..... 51

§ 2.7 宽频带放大器的调整与测试 ..... 53

一、稳态法 ..... 53

二、暂态法 ..... 53

本章小结 ..... 54

习题 2 ..... 54

## 第三章 小信号调谐放大器

§ 3.1 概述 ..... 58

§ 3.2 单调谐回路放大器 ..... 60

一、高频 Y 参数等效电路 ..... 60

二、电压增益 ..... 62

三、通频带 ..... 63

四、选择性 ..... 64

五、功率增益 ..... 65

六、晶体管能输出的最大功率及增益 ..... 66

§ 3.3 多级单调谐放大器 ..... 69

一、多级放大器的增益和通频带 ..... 69

二、多级放大器的矩形系数 ..... 70

§ 3.4 双调谐回路放大器 ..... 71

一、电压增益 ..... 72

二、功率增益 ..... 74

三、通频带和选择性 ..... 75

四、多级双调谐回路放大器的级联 ..... 76

§ 3.5 调谐放大器的稳定性 ..... 78

一、单级调谐放大器的稳定条件 ..... 78