

《非线性电子电路》

学习与考试辅导

孟涛 栾华东 编著

助考必备

自学考试助学

《非线性电子电路》学习与考试辅导

孟 涛 栾华东 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

《非线性电子电路》学习与考试辅导/孟涛, 栾华东编著.

—北京: 人民邮电出版社, 2005. 5

ISBN 7-115-13305-0

I. 非... II. ①孟... ②栾... III. 非线性电路—教学参考资料 IV. TN711.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 022578 号

内 容 提 要

本书是为配合全国高等教育自学考试指定教材《非线性电子电路》而编写的学习与考试辅导教材。全书结合自学考试大纲, 对《非线性电子电路》中的各章内容进行归纳、总结; 对教材中的习题进行了详尽地分析与解答, 同时补充了大量的习题, 给出答案; 另外, 书后还附有三套模拟试题及详细的解答过程。

本书是学习《非线性电子电路》的自考学生的辅导教材, 同时也可供相关专业的大、中专院校的学生参考。

《非线性电子电路》学习与考试辅导

◆ 编 著 孟 涛 栾华东

责任编辑 张 伟

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线: 010 - 67129264

北京艺辉印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 11.25

字数: 272 千字

2005 年 5 月第 1 版

印数: 1-4 000 册

2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13305-0/TN · 2452

定价: 16.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

非线性电子电路是通信工程、信息系统工程、网络传输工程等电子类专业的专业基础课，是一门工程性、实践性和实用性都很强的课程。

本课程所涉及的电路种类繁多，相关基础知识较多；特别是由于电路中的器件工作在非线性状态，因此在电路工作原理的分析中要采用非线性分析方法。这些特点为这门课程的学习带来很大的困难，尤其是对那些以自学为主的学生。为此，编者根据长期从事非线性电子电路课程的教学经验，针对自考学生中普遍存在的问题，依据全国高等教育自学考试指定教材《非线性电子电路》及“非线性电子电路自学考试大纲”，结合教学实践中的重点和难点问题，编写了这本学习辅导书。

本书主要内容包括：绪论、高频谐振放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调、混频器、频率调制与解调、反馈控制电路等。这些内容都是通信工程、信息系统工程、网络传输工程等专业课的重要组成部分和理论基础。

本书中通过对各章内容的归纳，为读者提供了一个清晰的知识理论框架；以“大纲研读”的形式，结合考试大纲对各个知识点的掌握要求，对学习中的要点、难点及容易混淆的概念、理论加以分析、比较，消除了学习中的一些障碍；通过对教材中的习题及精选补充题的精解分析，提供了举一反三的解题思路 and 技巧，加深了对理论知识的理解，提高了应用能力。另外还提供了模拟试题，以帮助读者提高分析问题、解决问题的能力。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 内容提要	1
1.2 大纲研读	1
1.2.1 无线电信号的基本概念, 要求达到“识记”的层次	1
1.2.2 无线电波段的划分与电波的传播, 要求达到“识记”的层次	2
1.2.3 通信系统简介, 要求达到“识记”的层次	3
1.3 习题解答	5
1.4 补充题及解答	5
第2章 高频谐振放大器	8
2.1 内容归纳	8
2.2 大纲研读	8
2.2.1 LC选频网络, 要求达到“识记”的层次	9
2.2.2 高频小信号谐振放大器, 要求达到“领会”的层次	11
2.2.3 高频功率放大器原理	14
2.2.4 高频功率放大器的外部特性	17
2.2.5 高频功率放大器的线路, 要求达到“简单应用”的层次	19
2.3 习题解答	20
2.4 补充题及解答	24
第3章 正弦波振荡器	35
3.1 内容归纳	35
3.2 大纲研读	35
3.2.1 反馈式振荡器的基本原理, 要求达到“识记”的层次	35
3.2.2 LC正弦振荡器, 要求达到“领会”的层次	37
3.2.3 频率稳定度, 要求达到“识记”的层次	40
3.2.4 石英晶体振荡器	40
3.3 习题解答	42
3.4 补充题及解答	48
第4章 振幅调制与解调	59
4.1 内容归纳	59
4.2 大纲研读	59
4.2.1 振幅调制信号分析, 要求达到“识记”的层次	59
4.2.2 二极管调制器, 要求达到“简单应用”的层次	64
4.2.3 模拟乘法器调制电路	68
4.2.4 其他调制电路, 要求达到“识记”的层次	71
4.2.5 调幅信号的解调概述, 要求达到“识记”的层次	74

4.2.6 二极管峰值包络检波器	75
4.2.7 同步检波器, 要求达到“识记”的层次	78
4.3 习题解答	79
4.4 补充题及解答	86
第5章 混频器	95
5.1 内容归纳	95
5.2 大纲研读	95
5.2.1 混频器工作原理, 要求达到“识记”的层次	95
5.2.2 模拟乘法器混频电路, 要求达到“简单应用”的层次	97
5.2.3 其他混频电路, 要求达到“识记”的层次	98
5.2.4 混频器的干扰, 要求达到“识记”的层次	100
5.2.5 频谱线性搬移电路小结	101
5.3 习题解答	102
5.4 补充题及解答	109
第6章 频率调制与解调	117
6.1 内容归纳	117
6.2 大纲研读	117
6.2.1 角度调制信号分析	117
6.2.2 调频方法	122
6.2.3 变容二极管直接调频电路, 要求达到“简单应用”的层次	123
6.2.4 晶体振荡器直接调频电路, 要求达到“识记”的层次	125
6.2.5 调频信号解调概述, 要求达到“领会”的层次	126
6.2.6 正交鉴频器, 要求达到“领会”的层次	130
6.3 习题解答	131
6.4 补充题及解答	134
第7章 反馈控制电路	142
7.1 内容归纳	142
7.2 大纲研读	142
7.2.1 自动增益控制电路, 要求达到“识记”的层次	142
7.2.2 自动频率控制电路, 要求达到“识记”的层次	144
7.2.3 锁相环的工作原理	145
7.2.4 频率合成器, 要求达到“识记”的层次	149
7.3 习题解答	151
7.4 补充题及解答	153
模拟试题	156
模拟试题一	156
模拟试题二	158
模拟试题三	159
附录	163

模拟试题一答案..... 163

模拟试题二答案..... 165

模拟试题三答案..... 167

第 1 章 绪 论

1.1 内 容 提 要

绪论对无线电通信的相关基础知识进行了介绍,包括:①线性电子线路与非线性电子线路;②无线电通信中三种主要信号:消息信号、载波信号和已调波信号及其相应的时间函数、波形和频谱三种表示方法;③无线电波的四种主要传播方式:地波传播、电离层反射(天波)传播、视线传播、对流层散射传播等;④各种不同无线电波段的频率范围、波长、主要传播方式和用途;⑤调制的概念及原因,连续信号的三种基本调制方式:振幅调制(AM)、频率调制(FM)、相位调制(PM),数字信号的三种基本调制方式:振幅键控(ASK)、频率键控(FSK)、相位键控(PSK);⑥通信系统的组成及分类;⑦典型发射机和接收机的组成。通过对典型发射机和接收机中功能电路:放大电路、振荡器电路、频率变换电路(调制与解调、混频)及其用途的简单介绍,一方面帮助学生建立通信系统的初步概念,另一方面为《非线性电子电路》课程的学习提供了一个内容梗概。

1.2 大 纲 研 读

第 1 章“绪论”内容的学习,目的是要使学生对通信系统的相关知识有一个较全面的总体认识,因此,在本章的学习过程中要重点把握基本概念,理解相关知识。

1.2.1 无线电信号的基本概念,要求达到“识记”的层次

1. 无线电信号的基本概念

无线电信号有三种:消息信号、载波信号和已调波信号。消息信号,也称为调制信号,指的是由原始消息转换所得的电信号,可分为两大类:模拟信号和数字信号。模拟信号的特征是信号在时间和幅度上都连续,如话音信号、图像信号等;而数字信号则是指时间离散、幅度取值有限的信号,如:电报信号、数据信号等。图 1-1 (a) 为一个模拟信号的波形,图 1-1 (b) 为一个数字信号的波形。载波信号是指没有受消息信号调制的单一频率的正弦波信号,它是消息信号实现无线传输的载体。而已调波信号则是指携带有消息的高频信号,即载波信号的某一参数(幅度、频率或相位)受调制信号控制后所得的高频信号。图 1-1 (c) 为一载波信号,图 1-1 (d) 为用图 1-1 (a) 所示调制信号调幅所得的已调波信号。

除了用波形表示信号外,还可以用时间函数及频谱表示信号,三者一致,可以相互转换,但各自的侧重点不同。信号的时间函数表示法和波形表示法比较直观,但对于随机的、较为复杂的信号,则用频谱表示更清楚,如图 1-2 所示为话音信号频谱。通过频谱分析,能

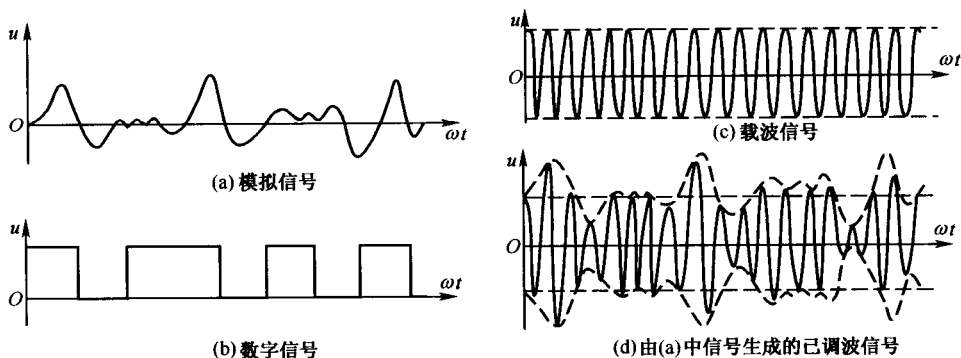


图 1-1 无线通信中的各种信号

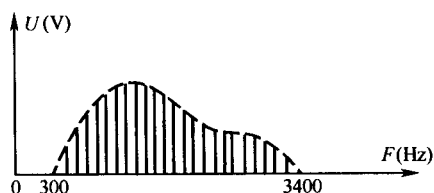


图 1-2 语音信号的频谱分布图

够方便地获得信号的频谱结构、带宽等信息。

2. 调制的必要性

所谓调制，就是用调制信号控制载波信号的某一参数，使其随调制信号规律线性变化的过程。根据调制信号所控制的参数不同，对于模拟调制信号（连续波）有振幅调制（AM）、频率调制（FM）和相位调制（PM），对于数字调制信号则有幅度键控

（ASK）、频率键控（FSK）和相位键控（PSK）。

采用调制的原因是要充分利用空间信道来传输信号，可从三个方面来考虑：

(1) 天线尺寸

天线的尺寸与发射信号的波长匹配，才能使辐射效率较高，因此发射信号的波长必须足够短、频率必须足够高，低频消息信号本身显然不合适。

(2) 信道多路复用

将多个具有相同带宽的消息信号调制到不同的载波上，能够使空间信道同时传输多路信号，实现信道的多路复用。

(3) 抑制衰减

频率越低的信号在空间传输时损耗的能量一般越多。

基于上述原因，低频的消息信号在无线传输时，必须先通过调制变换为高频已调波信号。

1.2.2 无线电波段的划分与电波的传播，要求达到“识记”的层次

1. 频率、波长和电波传播速度的关系

高频信号的频率 f (Hz)、波长 λ (m) 及电波传播速度 c 之间满足

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

其中 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

2. 波段的划分

由于无线电的频率范围很宽（30kHz~30GHz），不同的频率范围具有不同的传输特性和应用领域，因此将整个无线电频率范围划分为不同的频段。从 30kHz 开始，频率每增加

十倍作为一个频段，依次有长波波段（低频 LF，30～300kHz）、中波波段（中频 MF，300～3000 kHz）、短波波段（高频 HF，3～30MHz）、超短波波段（甚高频 VHF，30～300MHz）、分米波波段（超高频 UHF，300～3000MHz）、厘米波波段（极高频 SHF，3～30GHz）。它们的用途如表 1-1 所示。

表 1-1 无线电波的波段划分

波段名称	波长范围	频率范围	主要传播方式和用途
长波波段	1000～10000m	30～300kHz (低频 LF)	地波；远距离通信
中波波段	100～1000m	300～3000kHz (中频 MF)	地波、天波；广播、通信、导航
短波波段	10～100m	3～30MHz (高频 HF)	天波、地波；广播、通信
超短波波段	1～10m	30～300MHz (甚高频 VHF)	视线传播、对流层散射；通信、电视广播、雷达
分米波波段	10～100cm	300～3000MHz (超高频 UHF)	视线传播、对流层散射；通信、中继通信、卫星通信、雷达、电视广播
厘米波波段	1～10cm	3～30GHz (极高频 SHF)	视线传播；中继通信、卫星通信、雷达

3. 电波传播方式

这部分内容的考察点有：四种不同的电波传播方式、各种传播方式的特点及适用波段。

频率不同的无线电波在空间传输时有不同的衰减，因此要采用不同的传输方式，主要有：地波传播、电离层反射（天波）传播、视线传播、对流层散射传播等，如表 1-1 所示。对于长波波段、中波波段的无线电线波，频率较低，衰减较小，采用地波传播。对于中波波段、短波波段的无线电线波，如采用地波传播，衰减会随着频率的升高而大幅增加，因此大都采用电离层散射传播。电离层散射传播时，信号频率越高，能量损耗就越小，但如果频率过高，则电磁波将穿透电离层，不再反射回地面，无法进行通信，所以超短波波段以上的无线电波都采用视线传播（直线传播）或对流层散射传播。视线传播即直线传播受地球弧形表面的影响，其最远距离约为 50km。

1.2.3 通信系统简介，要求达到“识记”的层次

这部分内容的考察点有：通信系统的组成，特别是收、发信机的组成框图及各部分的作用。

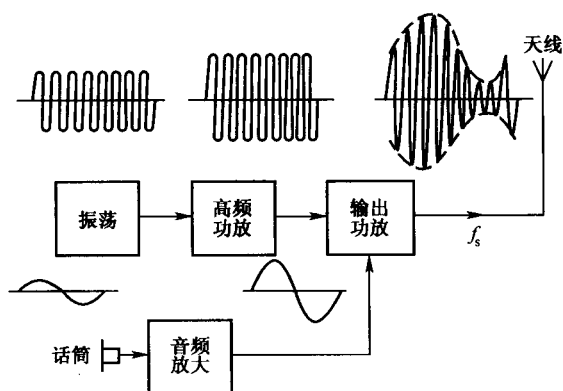
1. 通信系统的组成

所谓通信，广义而言，就是消息的传递，因此通信系统的基本组成必然要包括：发送端（信息源、发送设备）、接收端（接收设备、受信者）、信道。根据信道的不同，对通信系统有不同的分类，如有线通信、无线通信和光纤通信等。

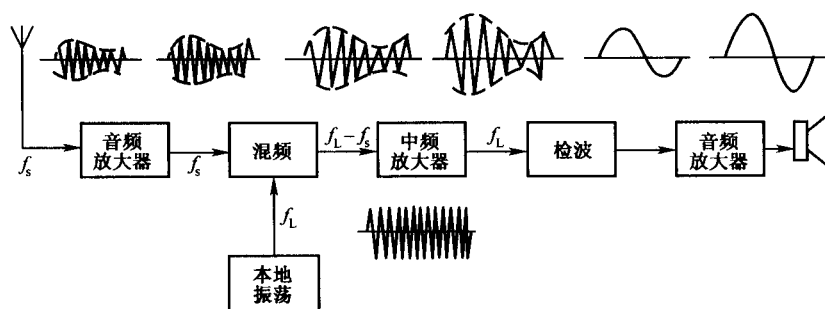
2. 通信系统中各基本单元所处的位置和作用

发射机、超外差接收机的组成框图如图 1-3 所示。这两个框图对于掌握通信系统的组成具有重要意义，可以说不同的通信设备大都包含有类似的功能块。同时本课程内容的划分也是据此做出的。

从框图中可见，通信系统中的基本单元有以下几类：振荡器电路、放大电路、调制与解



(a) 发射机框图



(b) 超外差式接收机框图

图 1-3 无线收发机典型框图

调电路、混频电路、电源电路。

(1) 振荡器电路

振荡器电路能在不外加输入信号的情况下，稳定地产生特定频率或频率范围的正弦波振荡信号。无论是发射机还是接收机中都有振荡器电路。在发射机中振荡器输出高频载波，而在接收机中则输出混频电路所需的本振信号。

(2) 放大电路

除音频放大器属于低频电路外，高频功率放大器、高频放大器、中频放大器都属于高频电路。高频功率放大器主要用在发射机中，用于放大已调波信号，使其达到辐射功率的要求；另外，在调幅发射机中，高频功率放大器还能完成振幅调制的功能。高频放大器、中频放大器都是高频小信号放大器，分别用在接收机中混频前的高放级和混频后的中放级，目的是选择、放大天线耦合进来的有用信号，滤除无用的干扰信号。

(3) 调制与解调电路

调制电路位于发射机中，其作用是将调制信号加载到载波上，转换成已调波信号。根据不同要求，有振幅调制电路、频率调制电路和相位调制电路；而接收机中必须有相应的解调电路，从高频已调波中恢复出原来的调制信号。

(4) 混频电路

混频是接收机中的重要部分，它将不同载波的输入信号，变成具有相同载波的信号，而不改变其所携带的调制信息。由于送入混频器后中放级的信号都具有相同的载波频率，因此能够将中放级的性能大大提高。

在按照功能对电路归类时，通常将调制与解调电路和混频电路归为一类：即实现波形变换和频谱变换功能的电路。

最后电源电路为整个发射机和接收机提供能量，同样是不可或缺的。

1.3 习题解答

1. 无线电通信为什么要进行调制？常用的模拟调制方式有哪些？

【分析】应从无线通信的传播媒介及电磁波辐射的条件来考虑，亦即调制的必要性。

答：调制的目的主要有两个方面：第一，根据天线的理论，消息信号需要调制到频率较高的载波上才能有效地发射，而且不同的发射台其载波信号频率不同，在接收端就可以很容易地区分开；第二，高频信号具有较宽的频段，能容纳较多的互不干扰的频道，也能传播某些宽频带的消息信号。另外，信号经过调制以后，可以提高系统的抗干扰性。

常用的模拟调制方式有振幅调制（AM）、频率调制（FM）和相位调制（PM）。

2. 常用的收发设备通常有哪些高频电路，它们的主要功用是什么？

【分析】该题主要考查学生对收发信系统组成的理解。解题的前提是要熟练掌握收发信系统的方框图，在此基础上，分清楚哪些电路是高频电路，哪些电路是低频电路，进而叙述出每部分高频电路的功用。

答：收发信设备中的高频电路主要有振荡器、高频小信号放大器、高频功率放大器、混频器、调制器和解调器等。

振荡器的作用是产生高频等幅波信号，以提供高频载波和本机振荡信号。高频小信号放大器是用来放大和选择天线上感应到的高频已调波信号；中频放大器也属高频放大器的范畴，其原理和作用与高频放大器相似。高频功率放大器是用来大功率地放大输出高频信号，以便于天线辐射及远距离传播高频电磁波。混频器是用来实现已调信号与本振信号频率的相减，以降低高频载波信号的频率，滤除各种干扰。调制器的作用是实现话音信号对高频载波信号幅度（或频率/相位）的控制而产生高频已调波信号，以便于天线辐射电磁波。解调器的作用是从高频已调波信号中恢复出原调制信号来，从而实现信息的传输。

1.4 补充题及解答

1. 高频电子线路的作用是什么？它有哪些特点？

答：高频电子线路的作用归纳起来有三种，即完成对高频信号的产生（振荡器）、放大（高频放大器）及变换（调制器、解调器和混频器）。其特点是高频电子线路大多是非线性工作，工作频率高，电路的功能、种类较多。

2. 无线电波段是如何划分的？各波段的传播特性和应用情况如何？

解：无线电波段可划分为：长波，频率范围为 $30 \sim 300\text{kHz}$ ，传播方式主要是地波，适用于远距离通信；中波，频率范围为 $300 \sim 3000\text{kHz}$ ，传播方式有天波、地波，适用于广

播、通信、导航；短波，频率范围为 $3\sim 30\text{MHz}$ ，传播方式有天波、地波，适用于通信、广播；超短波，频率范围为 $30\sim 300\text{MHz}$ ，传播方式有视线传播、对流层散射，适用于通信、电视广播、雷达；分米波，频率范围为 $300\sim 3000\text{MHz}$ ，传播方式有视线传播、对流层散射，适用于通信、中继通信、卫星通信、雷达、电视广播；厘米波，频率范围为 $3\sim 30\text{GHz}$ ，传播方式为视线传播，适用于中继通信、卫星通信、雷达等。

3. 在如图 1-4 所示的彩色电视接收机的框图中，哪些是高频电路，各完成什么作用？在框图中，信号的频率是如何变换的？

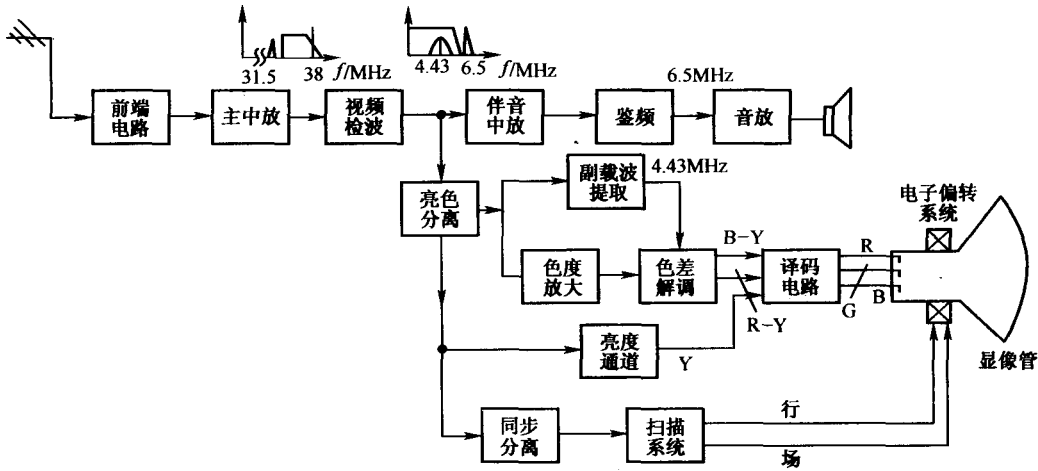


图 1-4 彩色电视接收机的简化框图

解：该方框图中，除了音放、译码电路以及亮度通道以外，其余所有的电路都属于高频电路。各部分电路的作用如下：

前端电路：在电视机中，通常称为高频头电路。其作用是将各频道的高频已调波电视信号变换为较低频率的固定中频已调波信号，而保持其调制规律不变。其内部电路包含有：高频小信号谐振放大器、混频器和本机振荡器以及调谐器等。

主中放电路：将前端电路送来的固定中频已调波信号进行放大，由于信号频率较低且固定不变，因此，该放大器的增益较高，电视机整机的增益主要依赖该放大电路。主中放电路通常由三到四级放大器级联而成。

视频检波电路：将中放电路送来的较大幅度的中频已调波信号进行视频检波，将原调制信号（视频信号）解调出来，提供给图像处理电路进行处理；同时，将中频已调波信号中的音频信号进行二次混频，变成 6.5MHz 的第二伴音中频信号，提供给伴音通道进行解调放大。

伴音中放电路：将视频检波电路送来的第二伴音中频信号进行限幅放大，提供给鉴频电路进行解调，限幅的作用是去掉第二伴音中频信号（等幅调频波）上的寄生调幅，从而使解调后的伴音信号不会产生由此而引起的失真。

鉴频电路：将伴音中放送来的伴音调频信号进行调解，以还原出原调制信号（音频信号），此信号为低频信号，后面所接的音放电路，也属于低频电路。

亮色分离电路：将视频检波后的复合图像信号进行亮度信号和色度信号的分离，以便后续电路进行图像还原。亮度信号即黑白全电视信号，在电视原理中，虽然图像信号的最高频

率较高，但还是称其为低频调制信号，主要是因为它相对图像载波信号而言频率较低。而色度信号是一个以 4.43MHz 为载波的正交平衡调制信号，它上面调制了有关图像彩色信息的两个色差信号。色度信号分离出来后，提供给后面的色解码电路，进行色差信号的解调，以还原出两个色差信号。

色解码电路：它包括副载波提取电路、色度放大电路和色差解调电路。其作用是从色度信号（高频已调信号）中解调出原来两个色差信号，以便译码电路合成三基色信号来。

同步分离电路：将黑白全电视信号中的行、场同步信号进行分离，以便产生相应的行、场扫描信号。

行、场扫描电路：分别将行、场同步分离电路送来的行、场同步信号转换成行、场扫描信号，以控制偏转电路产生相应的偏转磁场，从而使电子枪按图像还原的规律进行扫描，最终形成或还原出图像来。

彩色电视信号的频谱和图像信号的波形如图 1-5 所示。

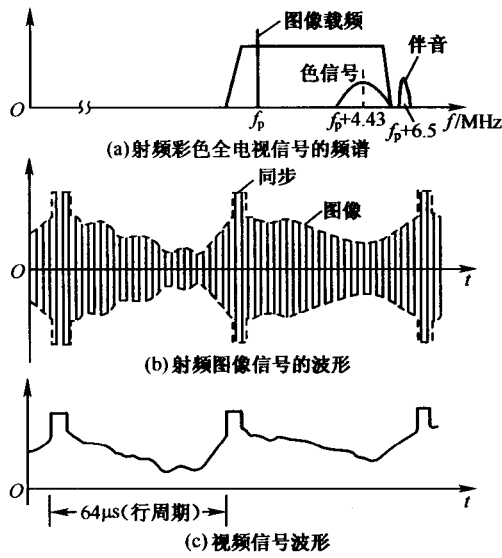


图 1-5 彩色电视信号的频谱和图像信号的波形

第 2 章 高频谐振放大器

2.1 内容归纳

本章分为 LC 选频回路、高频小信号放大器、高频功率放大器三部分。

LC 选频回路作为高频放大电路的负载，具有阻抗匹配和滤波功能。常用的 LC 选频回路有：串联谐振回路、并联谐振回路、双调谐耦合回路等。描述电路性能的主要参数有：谐振频率 f_0 (ω_0)、谐振阻抗 R_0 、空载及有载品质因数 (Q_0 、 Q_L)、通频带 $BW_{0.7}$ 等。并联谐振回路的阻抗匹配功能需要通过抽头连接实现。接入系数 p 直接决定了阻抗在并联谐振回路两端的等效结果，进而影响回路的品质因数和通频带等。双调谐耦合回路则具有比并联谐振回路更好的选择性和更宽的通频带。

高频小信号放大器用于对微小的高频信号提供电压放大，用作接收机的高放级和中放级。由于输入信号幅度很小，管子可近似为线性工作，采用 Y 参数等效电路进行分析，主要性能有：增益、通频带、选择性（矩形系数和抑制比）等。其中增益和通频带相互制约，设计电路时必须综合考虑，保证足够的增益带宽积。由于高频工作时，管子极间电容不能忽略，使高频小信号放大器存在稳定工作问题。

高频功率放大器的作用是高效率地向外提供足够大的输出功率，因此管子为大信号、非线性工作。为了提高管子的集电极效率，管子通常工作在乙类或丙类状态，此时管子的集电极输出电流为余弦脉冲序列，与输入电压相比不是线性关系，发生了畸变。通过选频回路的选频作用，在负载两端得到与输入信号成线性关系的输出电压，从而完成对输入信号的线性放大。放大器的工作状态有欠压、临界和过压三种，不同的情况下，放大电路应工作于不同的状态。放大器工作状态的调整依据是其外部特性，包括负载特性、放大特性、调制特性及调谐特性。根据负载特性，当放大器作为末级功放使用时，需要高效率的输出大功率，必须工作在临界状态才能满足要求，反之，若放大器用作末前级功放，则为使输出到后级的电压稳定，应工作于微过压状态。若要放大幅度变化的信号，则应使功放工作于欠压状态。为实现集电极调幅，放大器要工作于过压状态，而要实现基极调幅，则应工作在欠压状态。末级运用的高频功率放大器与其负载之间、级联功放之间都需要通过匹配网络连接。常用的匹配网络有：L 型、 π 型、T 型和互感耦合匹配网络。

2.2 大纲研读

在本章中，对于高频放大器应掌握其原理、性能和电路组成，而对于高频谐振功率放大器，则应掌握工作原理、分析方法、性能指标、调试的理论依据和方法、电路组成等。

2.2.1 LC 选频网络，要求达到“识记”的层次

LC 选频网络作为高频放大器电路中晶体管、场效应管的负载，完成滤波、阻抗匹配的功能。因此要熟练掌握几种 LC 选频网络电路形式，电路参数 ω_0 、 f_0 、 R_0 、 Q 、 $BW_{0.7}$ 的计算公式及相互影响关系，回路失谐时阻抗的性质。

1. 串、并联谐振回路

串、并联谐振回路及谐振特性分别如图 2-1 (a)、(b) 所示。表 2-1 中列出了串、并联谐振回路相关参数的关系。

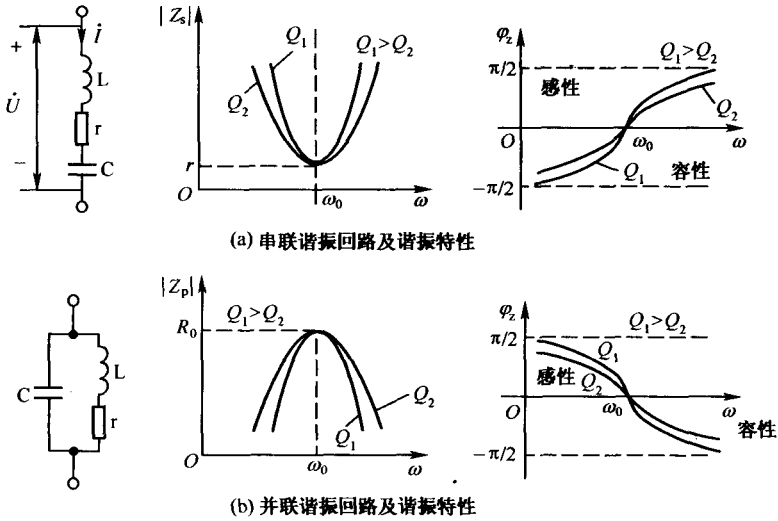


图 2-1 串、并联谐振回路及其特性

表 2-1 谐振回路参数

特 性 \ 回 路	串联谐振回路	并联谐振回路
阻 抗	$r(1 + j\xi)$	$\frac{R_0}{1 + j\xi}$
幅频特性	$r \sqrt{1 + \xi^2}$	$\frac{R_0}{\sqrt{1 + \xi^2}}$
相频特性	$\arctan \xi$	$-\arctan \xi$
谐振电阻	r	$R_0 = \frac{L}{Cr}$
谐振频率	$\frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$	$\frac{\sqrt{1 - (1/Q^2)}}{2\pi \sqrt{LC}}$
Q 值	$\frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{\omega_0 Cr}$	$\frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{\omega_0 Cr} = \frac{R_0}{\omega_0 L} = R_0 \omega_0 C$
特性阻抗	$\sqrt{\frac{L}{C}}$	$\sqrt{\frac{L}{C}}$

特 性 \ 回 路		串联谐振回路	并联谐振回路
阻 抗 特 性	$f > f_0$	感性	容性
	$f = f_0$	纯阻 (r)	纯阻 (R_0)
	$f < f_0$	容性	感性
通频带		f_0/Q	f_0/Q

注：式中 $\xi = (\omega L - \frac{1}{\omega C})/r$ 为广义失谐。

由表 2-1 可知，谐振回路的基本参数有： ω_0 (f_0)、 Q 、 R_0 等。谐振回路的谐振频率取决于回路中的 L 、 C ，通频带则与谐振频率 ω_0 (f_0)、品质因数 Q 有关。通常用并联谐振回路作高频放大器的负载，当激励电流源频率 $\omega = \omega_0$ 时，回路谐振，呈现的阻抗最大，回路两端的电压最大，放大器的输出达到最大。

当并联谐振回路两端并联有负载 R_L 时（如图 2-2 所示），回路的谐振频率不变，谐振时的等效阻抗为 $R_0 // R_L$ ，回路的有载品质因数 Q_L 为

$$Q_L = \frac{R_0 // R_L}{\omega_0 L} = \omega_0 C (R_0 // R_L) \quad (2-1)$$

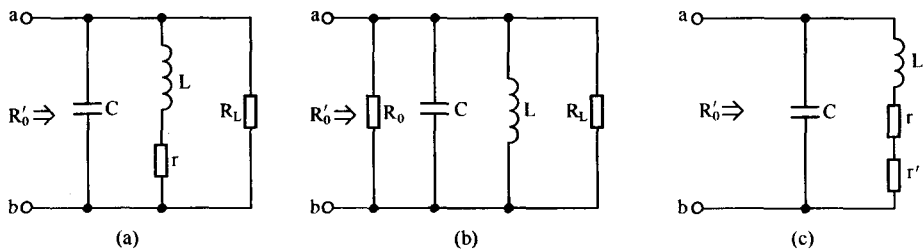


图 2-2 接有负载的 LC 并联谐振回路及其等效电路

$$\text{通频带} \quad BW_{0.7} = \frac{f_0}{Q_L} \quad (2-2)$$

可见在并联谐振回路两端并联一负载 R_L ，将减小 Q_L ，增大 $BW_{0.7}$ ；也就是说，要增大谐振回路的通频带，可以通过在回路两端并联一外接电阻实现。

2. 抽头谐振回路

在实际电路中常采用抽头并联谐振回路实现回路与信号源或负载的阻抗匹配，如图 2-3 所示。

接入系数 p

$$p = \frac{\text{抽头两端电压 } U}{\text{回路两端电压 } U_r} \quad (2-3)$$

$$\text{电感抽头时 } p = \frac{L_2}{L_1 + L_2}; \quad \text{电容抽头时 } p = \frac{C_1}{C_1 + C_2};$$

$$\text{变压器抽头 } p_1 = \frac{N_1}{N}, \quad p_2 = \frac{N_2}{N}.$$

需要特别注意的是，当回路中包含有多个电感或电容时，回路两端指的是总电感或总电容的两端。

上述分析是在窄带、高 Q 值的情况下进行的，而这一要求通常都能满足。此时可获得