



高等学校试用教材

华东师范大学物理系
万嘉若 林康运 等编

电子 线路 基础

下 册

本书是根据1980年高等学校理科物理教材编审委员会审定的《电子线路基础教学大纲》编写而成，其内容可分三种方案供各校选用：(1) 1~7章、10章和11章(约92学时)；(2) 1~11章(约110学时)；(3) 1~12章(约140学时)。

全书分上、下两册，上册内容包括：半导体管原理和特性、放大器基础、负反馈放大器、功率放大器、直流放大器和集成运算放大器、调谐放大器和正弦振荡器。下册内容包括：无线电广播与收音机、直流稳压电源、场效应管电路、脉冲与数字电路基础和黑白电视接收机。本书为下册。

本书可作为高等师范院校物理专业的试用教材，也可供有关工程技术人员参考。

责任编辑 郭玉凤

高等学校试用教材
电子线路基础
下 册

华东师范大学物理系
万嘉若 林康运 等编

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京印刷一厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 19.5 插页 2 字数 440,000

1986年3月第1版 1986年4月第1次印刷

印数 00,001—14,650

书号 13010·01161 定价 2.95 元

目 录

第八章 无线电广播与收音机

8.1 无线电广播与接收	1
8.1.1 无线电波段的划分	1
8.1.2 无线电波的传播	2
8.1.3 无线电广播的基本过程	3
8.1.4 调制和解调的方式	4
8.2 调幅与检波	5
8.2.1 调幅原理	5
8.2.2 调幅波的特性	7
*8.2.3 晶体管调幅电路	8
8.2.4 检波	11
8.3 调频与鉴频	18
8.3.1 调频信号	18
8.3.2 调频波的频谱	19
*8.3.3 调频器	21
8.3.4 鉴频器	24
8.4 变频	29
8.4.1 变频原理	30
8.4.2 变频电路	30
8.5 超外差式收音机	33
8.5.1 输入回路	34
8.5.2 自动增益控制(AGC)电路	35
8.5.3 超外差式收音机的统调	37
8.5.4 超外差晶体管调幅收音机	39
8.5.5 集成化收音机电路	43
8.5.6 调频立体声广播和接收	45
思考题与练习题	56
本章参考书目	57

第九章 直流稳压电源

9.1 整流和滤波	58
9.1.1 半波整流	58
9.1.2 全波整流和桥式整流	60

9.1.3	倍压整流	62
9.1.4	滤波电路	63
9.1.5	整流滤波电路设计	68
9.2	硅稳压管稳压电路	68
9.2.1	稳压电路的组成方式	69
9.2.2	硅稳压二极管	69
9.2.3	硅稳压管稳压电路	71
9.2.4	稳压电源的指标	71
9.2.5	稳压管稳压电路的设计	72
9.3	串联型稳压电路	74
9.3.1	串联型稳压电路工作原理	74
9.3.2	串联型稳压电路的基本环节	74
9.3.3	串联型稳压电源的改进	76
9.3.4	串联型稳压电源设计	80
9.4	集成化稳压电源	82
9.4.1	集成运算放大器组成的稳压电路	82
9.4.2	单片集成稳压电路	83
9.5	开关式稳压电路	89
9.5.1	开关式串联型稳压电路工作原理	89
9.5.2	开关式稳压电路实例	89
	思考题与练习题	91
	本章参考书目	93

第十章 场效应管电路

10.1	场效应管原理和特性	94
10.1.1	结型场效应管	94
10.1.2	MOS 场效应管	97
10.2	场效应管基本电路	102
10.2.1	场效应管的偏置电路	102
10.2.2	场效应管等效电路	104
10.2.3	共源放大电路	105
10.2.4	源极输出器	107
10.2.5	场效应管电路应用实例	107
	练习题	109
	本章参考书目	110

第十一章 脉冲与数字电路基础

11.1	脉冲的基本知识	111
11.1.1	脉冲波形与参数	111

11.1.2	RC 电路暂态过程	112
11.1.3	RL 电路暂态过程	114
11.1.4	简单脉冲波形变换电路	115
11.2	双稳态电路	123
11.2.1	反相器	123
11.2.2	集-基耦合双稳态电路	124
11.3	单稳态电路	126
11.3.1	集-基耦合单稳态电路	127
11.3.2	射极耦合单稳态电路	129
11.4	多谐振荡器	130
11.5	斯密特电路	131
11.5.1	电路的工作原理	131
11.5.2	回差现象	132
11.6	间歇振荡器	134
11.6.1	脉冲变压器	134
11.6.2	间歇振荡器的工作原理	135
11.7	锯齿波发生器	136
11.7.1	锯齿波的主要参数	137
11.7.2	锯齿波电压发生器	137
11.7.3	同步和分频	139
11.8	数字电路及其应用	140
11.8.1	二进制	140
11.8.2	门电路和逻辑代数	143
11.8.3	集成电路逻辑门	149
11.8.4	组合逻辑电路的分析和设计	155
11.8.5	集成电路触发器	158
11.8.6	寄存器	164
11.8.7	计数器	165
11.8.8	同步时序逻辑电路分析和设计	168
11.8.9	编码、译码和显示	174
*11.8.10	数字式石英钟	181
思考题与练习题		182
本章参考书目		187

第十二章 黑白电视接收机

12.1	黑白电视原理	188
12.1.1	光电转换	188
12.1.2	扫描与同步	190
12.1.3	全电视信号	195
12.1.4	显象管	199

12.2 晶体管黑白电视接收机	203
12.2.1 黑白电视接收机的组成	203
12.2.2 扫描电路	206
12.2.3 同步分离与抗干扰电路	237
12.2.4 高频调谐器	242
12.2.5 中频放大器、视频检波器和自动增益控制电路	250
12.2.6 视频放大器	261
12.2.7 伴音通道	266
12.2.8 显象管附属电路	267
12.2.9 飞跃 12D1 型黑白电视接收机介绍	269
12.3 集成电路电视接收机	274
12.3.1 HA1144 集成电路	274
12.3.2 HA1167 集成电路	278
12.3.3 KC581C 集成电路	283
12.3.4 HA1166X 集成电路	287
12.3.5 KC583C 集成电路	292
12.3.6 KC582C 集成电路	295
思考题	297
本章参考书目	299
附录: 部分国内外音响、电视中常用集成电路互换对照表	300
下册部分练习题答案	302
下册参考书目	304
附图 1. 12D1A 黑白电视接收机电路图	
附图 2. 12D4 集成电路黑白电视机电路图	

第八章 无线电广播与收音机

本章根据无线电广播和接收的基本过程阐述调制、解调、变频的工作原理和常用电路，然后综合运用前述各章的基本电路来分析超外差式接收机的工作原理和典型电路，最后介绍调频立体声广播和接收。

8.1 无线电广播与接收

8.1.1 无线电波段的划分

传输信息的系统，统称为通信系统。一般说，它包括信号源、发送设备、传输信道、接收设备和受信器五个部分，如图 8.1.1 所示。传输信道分有线和无线两类，电缆、光缆等为有线信道，而通过空间传播的无线电波为无线信道。

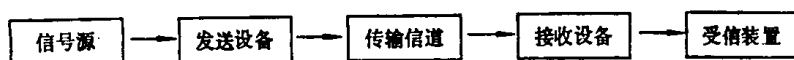


图 8.1.1 通信系统方框图

表 8.1.1 无线电波波段的划分

波段名称		波长范围	频段名称	频率范围	主要用途
超长波		10000m以上	甚低频VLF	30kHz以下	水下通信(如潜艇之间通信)
长波		1000~10000m	低频LF	300~30kHz	电报
中波		200~1000m	中频MF	1500~300kHz	调幅无线电广播
短波		50~200 m	中高频IF	6000~1500kHz	电报、业余通信、调幅无线电广播
		10~50m	高频HF	30~6MHz	电报、业余通信、调幅无线电广播
超短波	米波	1~10m	甚高频VHF	300~30MHz	电视、导航、业余通信、调频无线电广播
	分米波	10~100cm	特高频UHF	3000~300MHz	电视、导航、雷达等
微波	厘米波	1~10cm	超高频SHF	30~3GHz	电视、导航、雷达、卫星通信等
	毫米波	1~10mm	极高频EHF	300~30GHz	雷达、通信、遥感、射电天文等方面
	亚毫米波	1mm以下		300GHz以上	理论和技术已趋成熟，正开拓应用之中

注：kHz— 10^3 Hz；MHz— 10^6 Hz；GHz— 10^9 Hz

无线电波是一种电磁波，占有的波长包括从几百微米至几万米之间很宽的波段范围。根据传播的特征和产生、放大等技术的差异，通常将无线电波划分为不同的波段(或称频段)。习惯上，对波长较短的无线电波常以波长称呼，例如 3 厘米波段、8 毫米波段等；对波长较长的无线电波以频率称呼较为方便，例如 465 千赫、2.3 兆赫等。表 8. 1. 1 给出无线电波波段的划分及主要应用。

无线电波在空间的传播速度是每秒 30 万公里，它的波长 λ 、周期 T 、频率 f 和传播速度 c 之间关系为：

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

8. 1. 2 无线电波的传播

无线电波的传播是无线电通信的一个重要环节，下面简要介绍无线电波传播的基本方式和不同波段上电波传播的特点。

和光波一样，无线电波具有直射、绕射、反射和折射等现象。按传播的途径，无线电波又可分为地波和天空波两大类，地波又有地面波和空间波之分。凭借绕射现象沿着地表面传播的电磁波称为地面波；直接由发射端传播至接收端或从地表面反射到达接收端的电磁波称为空间波；向天空辐射，利用电离层的折射或反射而返回地面，这种方式传播的电磁波称为天空波，简称天波。图 8. 1. 2 给出各种传播方式的示意图。近年来，利用人造卫星、人造电离层、天体星球、流星途迹等反射、散射现象实现通信已获得成功。以下介绍各波段的传播特点和主要应用。

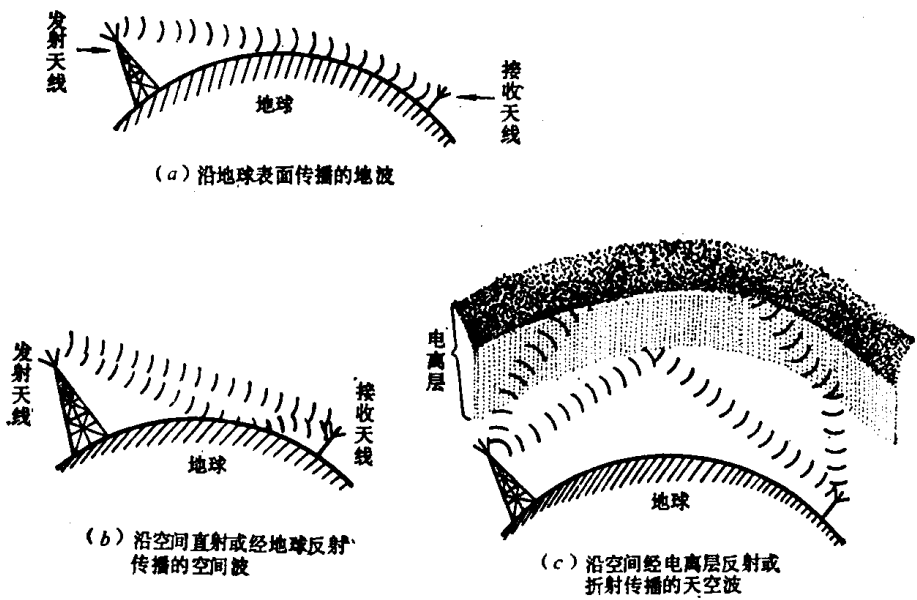


图 8. 1. 2 无线电波传播方式示意图

一、长波与中波的传播

长波与中波在电离层中会反射。长波传播的特点是稳定可靠，但在白天从电离层折返后，能量大大减弱，故白天的长波通信主要靠地面波，距离一般不超过 2500~3000 公里。长波波段主

要用作发射标准时间信号和远距离的无线电报。

在水面下,无线电波的频率愈低,则传播时的损耗愈小,所以,超长波适宜作水下通信,例如潜艇的通信联络。

中波的特性与长波相似,白天传播距离不远,晚上,电离层弱,中波可借助天空波大大增加传播距离。中波波段主要用于近距离无线电广播,也用于海上通信、无线电导航与飞机通信等。

二、短波传播

短波沿地面传播时衰减很快,传播距离很短,但借助天空波可以传送到地球表面各处。短波传播中常出现接收强度时起时落的不稳定现象,那是由于短波经电离层一次或多次反射后沿不同路径到达同一接收点引起的相互干扰,或是由于电离层高度的起落变化之故。短波波段主要应用于国际无线电广播、远距离无线电话、无线电报、无线电传真以及海上通信和人造卫星通信等方面。

三、超短波传播

超短波在电离层中反射小,遇上障碍物不易绕射,需要采用较高的发射天线和接收天线,且两者彼此对准以集中波束,在直线视距范围内以空间波形式传播来实现通信。发射超短波的天线尺寸不大,有利于集中电磁波的能量作定向发射,节省发射功率。此外,超短波通信还具有天线干扰小、保密性强、多路通信容量大等优点。不足的是传播距离仅达数十公里,远距离通信需采用中继站接力方式。超短波主要应用于电视、调频广播、多路通信、雷达和导航等方面。

8.1.3 无线电广播的基本过程

无线电通信有电报、电话、广播、电视、遥控、导航等等,形式虽然不同,但实现通信的基本原理是一致的。下面仅以无线电广播与接收的实现过程为例说明无线电通信的基本原理。

无线电通信是利用无线电波将信息由发送端传送到接收端的,整个系统如图 8.1.3(a) 所示。无线电广播所传送的信息是语言或音乐,即频率约几十赫至数十千赫范围的声振动。发送端通过声电转换装置,将声振动信息转换成音频电信号。但是这种低频信号不能直接以无线电波的形式从天线上有效地辐射出去。理论和实践证明,只有无线电波的波长与天线尺寸可以相比拟时,才能达到有效的辐射,而音频电信号(频率约 $20 \sim 20000\text{Hz}$)的波长范围是 $15 \times 10^3 \sim 15 \times 10^6\text{m}$,要制造与此尺寸相当的天线是困难的。即使能用天线来辐射,各个电台的电信号都占有相同的频段,互相混合一起使接收者无法按需要来进行选台。解决以上矛盾的办法是各个电台采用不同频率的高频电振荡去“寄载”音频信号,然后再辐射出去。将音频信号“寄载”于高频振荡的过程称为调制,经过调制以后的高频振荡称为“已调信号”。

为了进行调制,发射机中需设置一个频率很稳定的高频振荡器(常用晶体振荡器)产生高频等幅振荡。若频率不够高,再插入倍频器。如图 8.1.3.(b) 所示,经音频放大器放大后的音频信号与高频放大器输出的等幅高频信号同时送入调制器,产生一个寄载着低频信号特征的已调信号。调幅广播台的已调信号称为调幅波信号。通过高频功率放大器将调幅波放大到足够强度,再把信号馈送至发射天线以无线电波方式辐射出去。

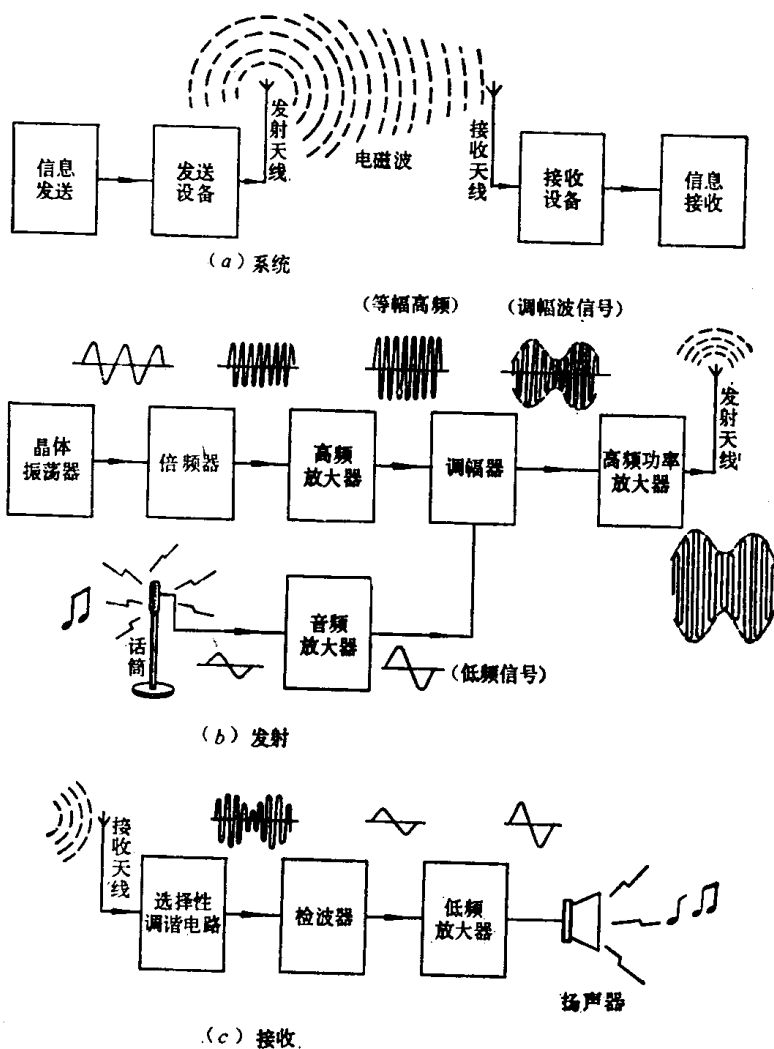


图 8.1.3 无线电通信系统(以调幅广播为例)

调幅接收机的简单方框图如图 8.1.3. (c) 所示。天线中感应出许多电台的各种高频信号, 通过调谐电路选出所需电台的已调信号, 经检波器从已调信号中检取音频信号, 再经放大后推动扬声器变换成声音。以上是实现无线电广播与接收的简单过程。

由天线感应到的已调信号一般是非常微弱的, 为了提高接收机的灵敏度, 检波之前需要对高频已调信号进行放大。但是, 要获得增益高且电路稳定的高频放大器其代价比较高, 通常都不是先直接对高频已调信号进行放大, 而是采用超外差式接收机, 这类接收机在检波之前增设变频级和中频放大级两个环节。由天线感应下来的信号, 经过调谐电路选出所需的高频已调信号, 然后经过变频级变换成一定的中频已调信号, 再专门设置增益很高、选择性很好且电路稳定的中频放大器将中频已调信号放大到足够强的电平后送入检波器。这样安排的电路程式, 使接收机的灵敏度、选择性等性能指标大大提高, 现代接收机普遍采用超外差式线路, 原因就在于此。

8.1.4 调制和解调的方式

从上述无线电广播的实现过程可知, 调制和解调是实现现代通信中基本的信号处理过程。

信号调制和解调的方式很多。设高频等幅振荡信号为 $v_c = V_{cm} \cos(\omega_c t + \theta)$, 式中 V_{cm} 是振幅、 ω_c 是角频率、 θ 是相角。按照随信号变化的高频振荡参数(幅度、频率或相角)的不同, 调制方式可分为调幅(AM)、调频(FM)和调相(PM)。因为频率和相角的变化都可归结为高频载波瞬时相位角的变化, 所以调频和调相又可统称为“角度调制”。近年来, 在双通道立体声调频广播中, 又采用了所谓调幅-调频制(AM/FM)的方式。

按不同的调制信号, 调制方式又可分为连续(模拟)信号调制和数字信号调制。此外, 若先将调制信号去调制一脉冲序列的某参数(如脉冲幅度、宽度或位置), 再用这组已经调制的脉冲序列去调制一高频正弦波, 这种调制方式称为脉冲调制。

接收机从高频已调制的信号中取出调制信号的过程称为解调。解调是调制的相反过程。调幅波的解调称为幅度检波或简称检波; 调频波和调相波的解调分别称为频率检波和相位检波, 或简称为鉴频和鉴相。

调制过程的实质是把信号的频谱变换到某个频率范围上, 例如变换到广播台发射的高频载波附近频段上, 使已调信号易于以高频电波形式有效地向空间辐射。各个广播台使用的高频载波各不相同, 接收机就能够根据需要进行选台。此外, 通过调制以及相应的解调方式还可实现多路通信。

8.2 调幅与检波

8.2.1 调幅原理

设高频等幅载波为 $v_c = V_{cm} \cos \omega_c t$ 。又假设调制信号为单频率正弦信号 $v_m = V_m \cos \omega_m t$ 。通常, $\omega_c \gg \omega_m$ 。

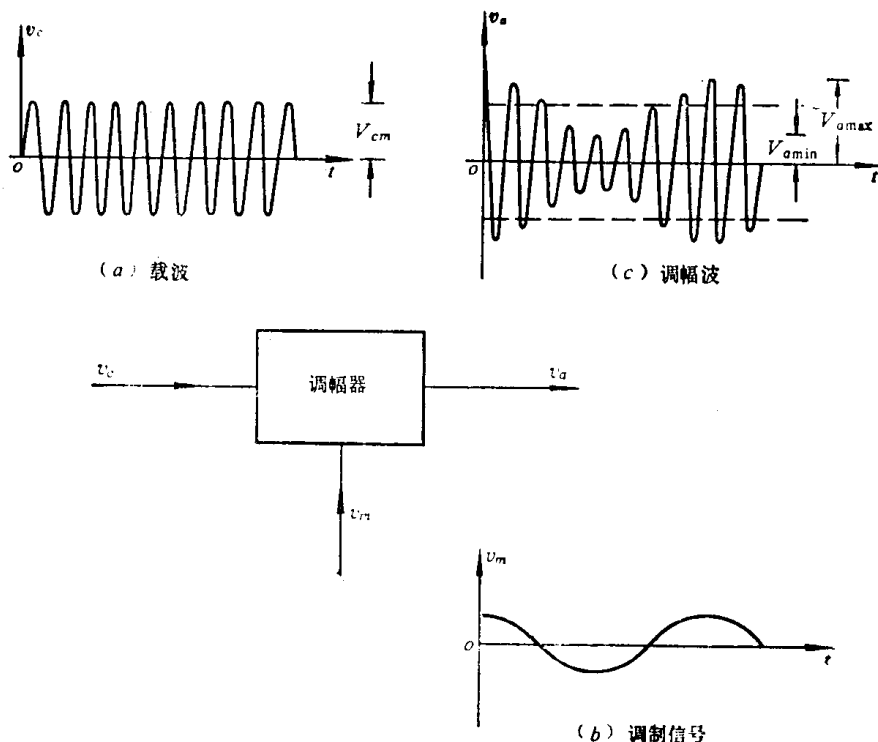


图 8.2.1 调幅波的产生

如图 8.2.1 所示, 将 v_c 和 v_m 同时输入含有非线性元件的调幅器中, 输出为包络线随 v_m 而变的高频调幅波信号 v_a 。调幅过程中载波幅度受到调制信号 v_m 的控制, 使高频载波的瞬时幅度在 V_{cm} 基础上与 v_m 成比例地变化。但是, 调幅过程不能通过调制信号 v_m 和载波信号 v_c 的线性叠加来实现, 简单的线性叠加不能产生调幅波。调幅过程的实质是一个频率的变换过程, 只有将调制信号和载波信号同时加于非线性元件, 经过非线性变换作用产生新的频率分量, 再利用谐振回路选出所需频率成分才能实现调幅。

最简单的调幅器如图 8.2.2 所示, 它是利用二极管 D 的非线性特性实现调幅的。二极管的伏安特性可近似用以下二次方程式表示

$$i_D \approx a_0 + a_1 v + a_2 v^2 \quad (8.2.1)$$

根据图 8.2.2 串联形式输入信号, 则式中 $v = v_c + v_m$, 上式变为

$$i_D = a_0 + a_1 (V_{cm} \cos \omega_c t + V_m \cos \omega_m t) + a_2 (V_{cm} \cos \omega_c t + V_m \cos \omega_m t)^2$$

利用三角公式变换上式并经过整理得:

$$\begin{aligned} i_D = & \left(a_0 + \frac{a_2}{2} V_{cm}^2 + \frac{a_2}{2} V_m^2 \right) + a_1 (V_{cm} \cos \omega_c t + V_m \cos \omega_m t) \\ & + \frac{a_2}{2} (V_m^2 \cos 2\omega_m t + V_{cm}^2 \cos 2\omega_c t) + a_2 V_{cm} V_m [\cos(\omega_c - \omega_m)t + \cos(\omega_c + \omega_m)t] \end{aligned} \quad (8.2.2)$$

式中第一项括弧内为直流分量; 第二项括弧内是原来输入的两个信号频率分量; 第三项括弧内是两个信号的二次谐波分量; 最后是两个信号的频率差与频率和的分量。所有新增加的频率分量都是由于二极管非线性特性 ($a_2 \neq 0$) 所引起的。

图 8.2.2 中输出端的 LC 并联回路调谐在 ω_c 上, 由于 $\omega_c \gg \omega_m$, 只要回路的 Q 值足够高, 仅对 ω_c 、 $(\omega_c - \omega_m)$ 、 $(\omega_c + \omega_m)$ 频率分量产生较大的电压降, 因此, LC 回路上的电压降近似为

$$v_a = Z_o [a_1 V_{cm} \cos \omega_c t + a_2 V_{cm} V_m \cos(\omega_c - \omega_m)t + a_2 V_{cm} V_m \cos(\omega_c + \omega_m)t] \quad (8.2.3.a)$$

式中 Z_o 是 LC 回路谐振阻抗。利用三角公式将上式变换为

$$v_a = V_a [1 + m_a \cos \omega_m t] \cos \omega_c t = V_a(t) \cos \omega_c t \quad (8.2.3.b)$$

式中 $V_a(t) = V_a(1 + m_a \cos \omega_m t)$ 是包络线瞬时振幅, $m_a = \frac{2a_2}{a_1} V_m$ 称为调幅度 (或调幅系数), $V_a = a_1 Z_o V_{cm}$ 。

调幅波的调幅系数 m_a 与 a_2 和 V_m 成正比关系。假如二极管的静态工作点调节不当, 使它工作在线性区域, 使 $a_2 \approx 0$, 则 $m_a \approx 0$, 输出信号 v_a 近似为等幅高频波。由此证实, 实现调幅必须利用元器件的非线性特性。

(8.2.3.b) 式中包络线振幅的最大值和最小值分别为

$$V_{a \max} = V_a(1 + m_a) \quad , \quad V_{a \min} = V_a(1 - m_a)$$

利用这两个关系式, 调幅系数可以表示为

$$m_a = \frac{V_{a \max} - V_{a \min}}{2V_a} = \frac{V_{a \max} - V_{a \min}}{V_{a \max} + V_{a \min}} \quad (8.2.4)$$

上式的物理意义十分清楚。从图 8.2.3 所示波形可以看出, m_a 必须小于 1, 若 $m_a > 1$ [图(b)], 则调幅波包络线与调制信号不成线性关系, 这种现象称为“过调制”, 接收端将无法恢复原调制信号; 当 $m_a = 1$ 时[图(a)], 即 100% 调制度, 包络线最大振幅 $V_{a\max} = 2V_a$, 最小振幅 $V_{a\min} = 0$; 正常的调制度应介于 0 与 1 之间。为了防止过调制现象, 无线电广播的调制度 m_a 限制在 90% 以下。

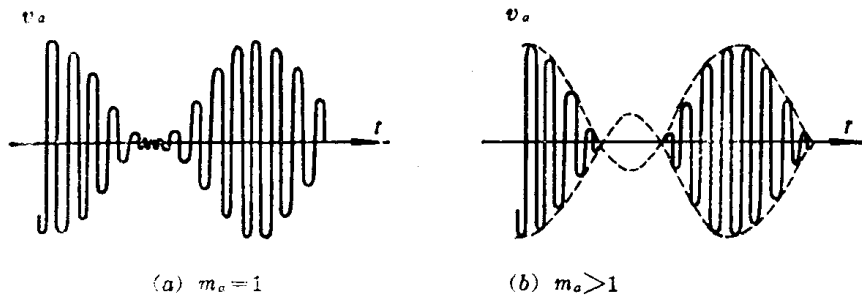


图 8.2.3 最大调制和过调制

8.2.2 调幅波的特性

一、调幅波的频谱

(8.2.3.a) 式表明, 由单频率正弦信号调制的调幅波, 可以看作三个不同频率正弦波的叠加, 这三个频率分别是载频 ω_c 、上边频 $(\omega_c + \omega_m)$ 和下边频 $(\omega_c - \omega_m)$ 。按它们的振幅 (或相对振幅) 与频率之间关系绘于坐标系中得出图 8.2.4 所示调幅波的频谱图。

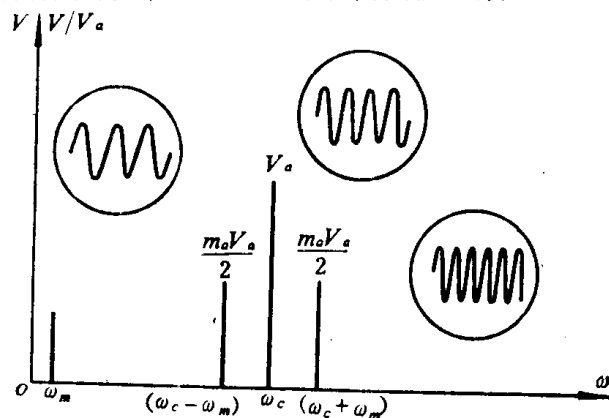


图 8.2.4 单频率调制的调幅波频谱

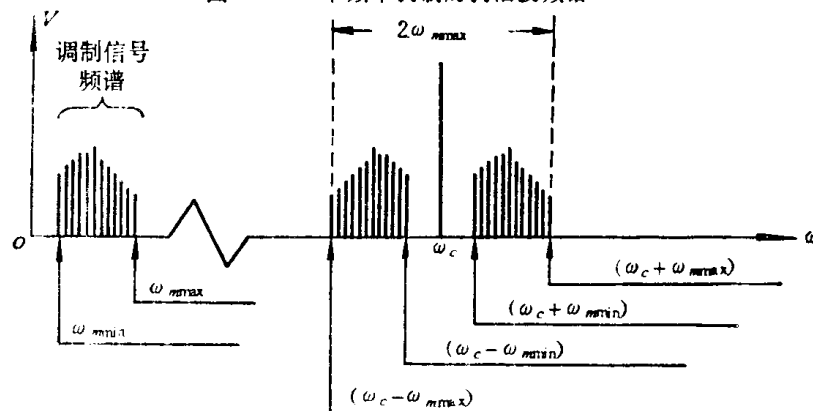


图 8.2.5 复杂调制信号的调幅波频谱

实际调制信号常常由许多频率分量组成,例如,广播电台调制信号的频带范围扩展到 5kHz 左右,广播电视的频宽达 6.5MHz,而且各频率分量的振幅分布各不相同,随时间而变化,常以频谱分布图表示。如图 8.2.5 所示,假设调制信号频谱如图中左边所示,调制后的调幅波频谱分布图如右边所示。调制信号频谱搬移到载频两边,成为上边带和下边带,调幅波的频带宽度等于调制信号最高频率的二倍($2\omega_{m\max}$)。

二、调幅波的功率

若把发射天线看作发射机的负载,设其等效负载电阻为 R , 则(8.2.3)式中三个频率成分在载频 ω_c ($\gg \omega_m$) 一周期内给负载输送的平均功率分别为:

$$\text{载波功率 } P_c = \frac{1}{2} \frac{V_a^2}{R}$$

$$\begin{aligned} \text{上、下边频功率 } P_{\omega_c + \omega_m} &= P_{\omega_c - \omega_m} \approx \frac{1}{2} \left(\frac{m_a V_a}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{R} \\ &= \frac{1}{8} \frac{(m_a V_a)^2}{R} = \frac{m_a^2}{4} P_c \end{aligned}$$

调幅波的总功率应等于三部分功率之和

$$P_a = P_c + P_{\omega_c + \omega_m} + P_{\omega_c - \omega_m} = P_c \left(1 + \frac{m_a^2}{2} \right) \quad (8.2.5)$$

未调幅时, $m_a = 0$, $P_a = P_c$; 最大调幅时, $m_a = 1$, $P_a = 1.5P_c$ 。可见, 调幅波输出功率随 m_a 增大而增加, 增加的部分就是上、下边频中所包含的功率。边频总功率为:

$$P_{\omega_c + \omega_m} + P_{\omega_c - \omega_m} = \frac{m_a^2}{2} P_c \quad (8.2.6)$$

在最大调幅($m_a = 1$)情况下, 边频总功率占调幅波总功率的三分之一。可见, 调幅发射机的利用率比较低。调幅波中所传送的信息包含在边带功率中, 真正有用的是边频功率。载波功率不包含任何信息, 但却占有调幅波总功率的大部分, 为了克服这个缺点, 可以只发射边频, 不发射载波, 称为抑制载波双边带调幅; 考虑到上、下边频的频谱分量完全对称, 有时采用仅发射一个边频的方式, 称为单边带调幅; 在广播电视中还采用所谓残留边带调幅发射, 这样不仅节省了功率, 而且压缩了电台所占用的频宽。

*8.2.3 晶体管调幅电路

目前, 大功率(千瓦数量级)发射机中仍然以电子管为主, 但在小功率发射机中, 采用晶体管电路具有明显的优越性。

晶体管调幅电路分为基极调幅电路、发射极调幅电路和集电极调幅电路。以下介绍两种电路。

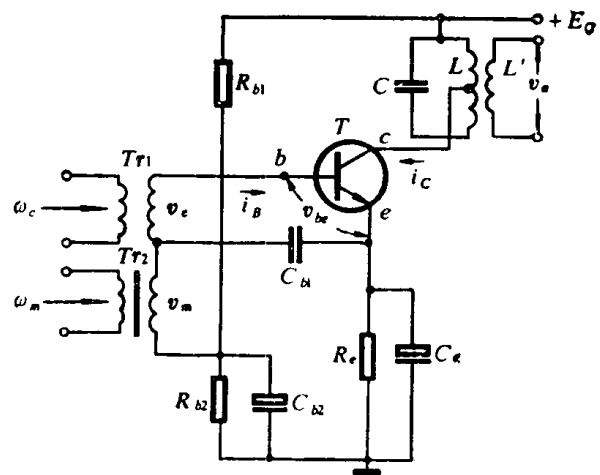
一、基极调幅电路

基极调幅电路原理图如图 8.2.6(a) 所示, Tr_1 为高频变压器, 次级线圈上的高频电压 v_c 通过电容 C_{b1} 直接加到 $b-e$ 极间。 Tr_2 是低频变压器, 次级线圈上低频调制信号 v_m 加到 $b-e$ 极间。

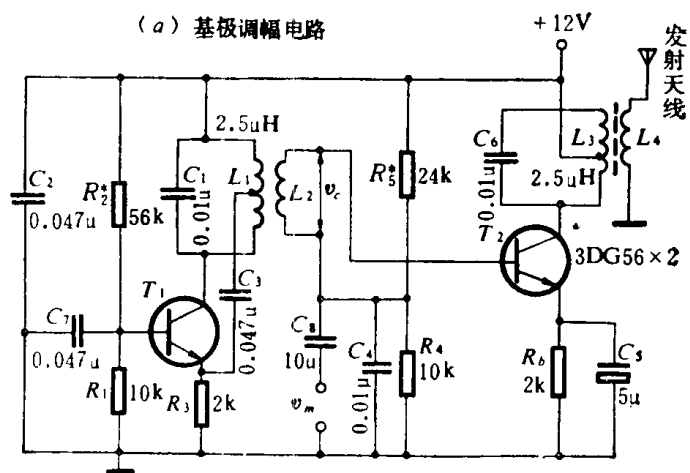
$$v_{be} = v_c + v_m$$

适当调节偏置电阻, 使晶体管工作非线性区(如图 8.2.7 转移特性曲线上的 Q 点)。这时, 集电极电流

$$i_c \approx a_0 + a_1 v_{be} + a_2 v_{be}^2 + \dots$$



(a) 基极调幅电路



(b) 简易基极调幅波发射机

图 8.2.6 基极调幅电路

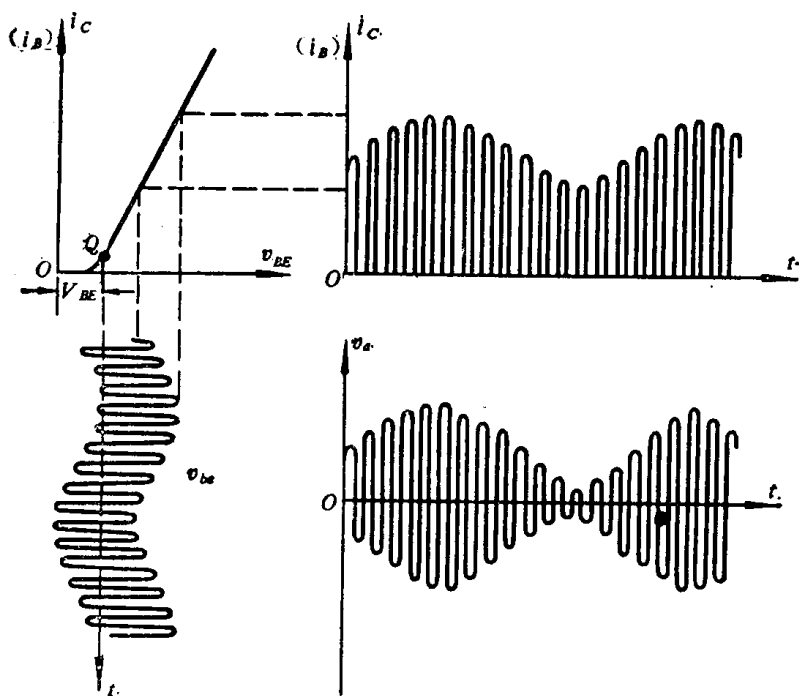


图 8.2.7 基极调幅原理

由前面(8.2.2)式类似的分析可知, 集电极电流 i_c 包含有许多频率成分 (ω_m 、 ω_c 、 $\omega_c - \omega_m$ 、 $\omega_c + \omega_m$ 、 $2\omega_c$ 、 $2\omega_m$...)。调整 LC 回路使其谐振于频率 ω_c 上, 由于 $\omega_c \gg \omega_m$, 谐振回路将对 ω_c 、 $\omega_c + \omega_m$ 、 $\omega_c - \omega_m$ 三个频率分量产生较大的电压降, 由此从与 LC 回路相耦合的线圈 L' 上获得调幅波电压 v_a 。图 8.2.7 给出基极调幅原理的图解分析。

图 8.2.6(b) 为小功率调幅信号发射机电路实例。图中由 T_1 组成电感三点式振荡器, 载频为 1 MHz。 T_2 组成基极调幅电路。 L_1 采用 0.2 毫米漆包线, 绕在 5 毫米塑料棒上共 35 圈 (约 $2.5 \mu\text{H}$), 并在 L_1 的三分之一处抽头; L_2 套在 L_1 外边, 约绕 10 圈, L_3 与 L_1 相同; 发射天线 L_4 的圈数由实验调整决定。

二、集电极调幅电路

如图 8.2.8 所示, 高频载波电压 v_c 从高频变压器 Tr_1 次级线圈加到 T 的 $b-e$ 极间。 C_1 和 C_2 是高频旁路电容。调节静态偏压 V_{BE} 使管子工作在乙类或丙类状态。 Tr_2 是低频变压器。调制信号 v_m 未输入时, 集电极电流为高频脉冲等幅波形, 如图 8.2.10(b) 中 $t_0 \sim t_1$ 期间波形。

输入调制信号 v_m 以后, 集电极电源等效为

$$E'_c = E_c + v_m = E_c + V_m \cos \omega_m t$$

E'_c 波形如图 8.2.10(a) 所示。

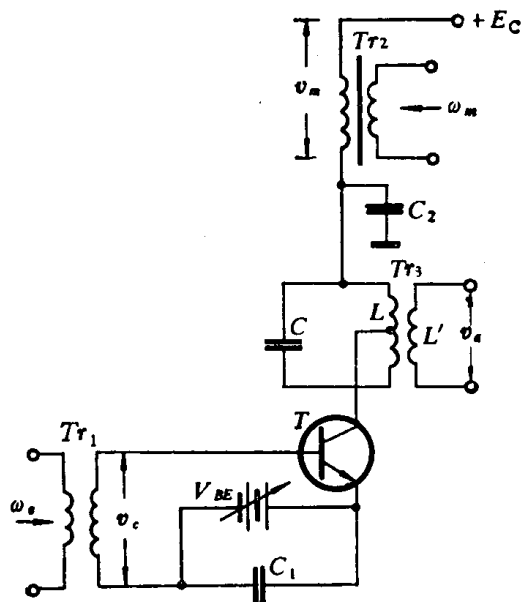
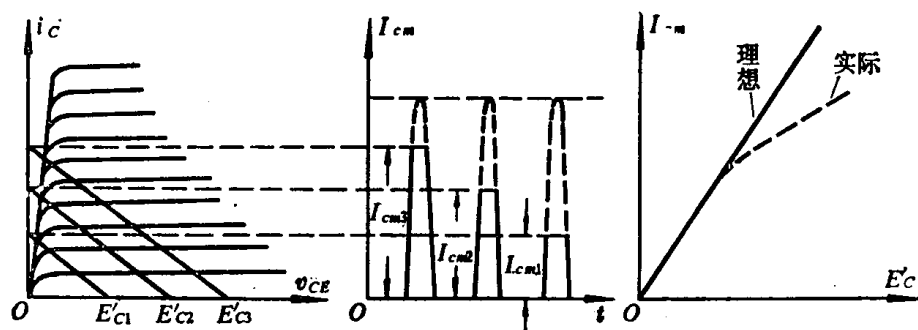


图 3.2.8 集电极调幅电路



(a) 不同 E'_c 时, 集电极脉冲电流的振幅 I_{cm} (b) 调幅特性曲线

图 8.2.9 集电极调幅特性

调幅过程要求载波输出电流(或电压)的振幅与集电极电源电压成线性关系, 见图 8.2.9(b)。由于晶体管饱和和压降等原因, 实际调幅特性如图中虚线所示, 并非线性关系。由图 8.2.9(a) 和图 8.2.10(b) 中图解分析表明, 集电极电流波形为脉冲波形, 当 LC 回路调谐在载波频率上时, 由回路输出的信号将是调幅波信号 v_a , 见图 8.2.10(c)。

必须指出, 集电极调幅过程中, 当处在 E'_c 较小区域以及 $b-e$ 极间激励电压很大时, 电路可能处于过压状态; 而在 E'_c 较大区域, $b-e$ 极间激励电压不足情况下, 电路可能进入欠压状态。上述现象会造成调制的非线性失真。这是它的缺点。

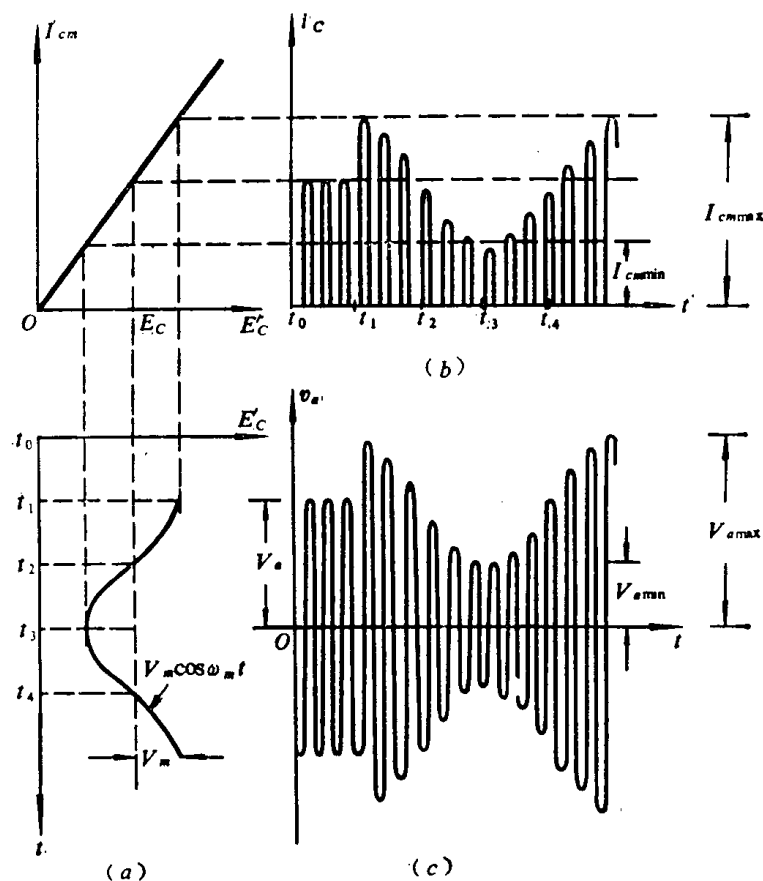


图 8.2.10 集电极调幅原理

8.2.4 检波

调幅波的解调称为幅度检波，简称检波。检波的作用是从高频调幅波中检取与调幅波包络线变化规律一致的低频调制信号。检波过程是一种频率变换过程，因此实现检波，必须利用非线性器件。通过非线性器件将产生许多频率分量，为了从中检取所需的低频信号分量，检波器的负载电路应具有低通滤波特性。通常，检波器就是由非线性的检波器件和低通滤波特性的负载电路两部分所组成。

按调幅波信号大小，常用的检波器分小信号平方律检波和大信号直线性检波两种。

一、小信号平方律检波器

图 8.2.11 可以说明这种检波器的工作原理。图(a)是检波电路，偏置电源 E 提供二极管 D 适当偏压使其工作在非线性区域[如图(b)中 Q 点]。当上、下波形对称的调幅波 v_a 输入时，通过二极管的非线性作用，电流 i_D 成为不对称的波形[如图(c)所示]，经 RC 低通滤波特性的负载电路，滤除高频成分，从负载 R 上检出 i_D 中的平均直流成分[如图(c)中粗线波形]，它与 v_a 的包络线波形相似，即为所需检取的调制信号。上述原理表明，小信号检波器必须利用检波元件 D 的非线性工作区域。

在小信号(v_a 幅度约在 0.2V 以下)情况下， Q 点附近二极管的伏安特性近似以下式表示