



中等专业学校教学用书

无线电发送设备

(下册)

原编者：重庆邮电学院发送教研组郑吉申

审校者：邮电学院无线电发送设备教材选编组

人民邮电出版社

中等专业学校教学用书

无綫电发送設備

(下 册)

原編者：重庆邮电学院发送教研組 郑 吉 申

审校者：邮电学院无綫电发送設備教材选編組

人 民 邮 电 出 版 社

1 9 6 2

内 容 提 要

本书是按照邮电部中等专业学校无线电通信专业的“无线电发送设备”教学大纲（1962年修订草案）编写的。

本书主要讨论无线电发送设备中高频振荡的产生与放大的基本理论、电路图、调谐、调整等操作方法、基本计算等，内容适合中专学生在数学、电工、电子管与无线电基础等方面的水平，并注意物理概念的阐述和电路图、工作原理、理论计算、实际操作等之间的有机联系。

本书各章均附有复习思考题和习题。

本书可作电信中等专业学校无线电发送设备课程的教学用书，也可供维护和设计无线电发送设备的技术人员参考。

无线电发送设备（下册）

原编者：重庆邮电学院发送教研组 郑吉申

审校者：邮电学院无线电发送设备教材选编组

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四六条13号

（北京市书刊出版业营业许可证出字第048号）

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

发行者：人 民 邮 电 出 版 社

开本 787×1092 1/32

1963年1月北京第一版

印张 7 25/32 页数 125

1963年2月北京第一次印刷

印刷字数 182,000 字

印数 1—2,500 册

统一书号：K 15045·总1327-无347

定价：(9) 1.10 元

目 录

第十一章 柵极調幅

§ 1. 調幅的基本概念	1
1. 各种調幅方法簡介	1
2. 已調幅波的分析	3
3. 无线电话发射波所占的頻带	6
4. 調幅时被調发生器的功率	7
5. 調幅特性曲线的概念	10
§ 2. 柵偏压調幅原理	11
1. 柵偏压調幅的意义与原理图	11
2. 調幅的可能性	12
3. 静态調幅特性曲线与不失真調幅的条件	14
§ 3. 柵偏压調幅电路	14
§ 4. 柵偏压調幅时的被調发生器	17
1. 功率平衡关系	17
2. 被調发生器的計算	20
§ 5. 柵偏压調幅时調幅器与激励器的功率	25
1. 被調发生器柵流脉冲的分析	25
2. 柵极电路内的功率平衡关系	27
§ 6. 已調波放大器	32
1. 已調波放大的需要	32
2. 已調波放大器的分析	32
§ 7. 抑制柵調幅的概念	38
复习思考題	43
习題	44

第十二章 板极调幅

§ 1. 板极调幅原理与被调发生器的分析	44
1. 调幅的可能性	45
2. 深调幅的可能性	47
3. 被调发生器工作状态的选择	48
§ 2. 关于调幅特性曲线的讨论	49
1. 负载特性曲线的计算和绘制	49
2. 调幅特性曲线的绘制	51
3. 关于调幅特性曲线的直线性	53
4. 采用自生栅偏压的好处	54
§ 3. 板极调幅的计算	55
1. 板极电路的功率平衡关系	55
2. 被调发生器电子管的选择	59
3. 被调发生器工作状态的计算	60
§ 4. 板极调幅电路	64
1. 扼流圈耦合的电路	64
2. 电阻耦合的电路	66
3. 具有调幅变压器的电路	66
4. 调幅器的计算	68
§ 5. 栅偏压调幅与板极调幅的比较	75
§ 6. 多极管调幅	79
§ 7. 自动板调的概念	83

第十三章 单边带发送

§ 1. 单边带发送及其优缺点	86
1. 什么是单边带发送	86
2. 单边带发送的优缺点	88

§ 2. 单边带的获得	91
1. 平衡調幅器及其对載頻的抑止	91
2. 用頻帶滤波器直接滤去一个边带的困难	96
3. 用“重复平衡調幅法”抑止一个边带	97
4. 获得单边带的其它方法簡介	99
§ 3. 单边带系統的技术要求和引領信号	103
1. 单边带系統中的技术要求	103
2. 引領信号法的概念	104
§ 4. 典型单边带发射机方框图举例及其运用特点	106

第十四章 調 頻

§ 1. 調頻原理	111
1. 調頻的意义	111
2. 已調頻波的表示式	112
3. 已調頻波的頻譜、頻帶和矢量图	114
§ 2. 調頻的优缺点	121
§ 3. 調相及其与調頻的比較	128
1. 調相的意义	128
2. 已調相波的表示式、頻譜、頻帶和矢量图	128
3. 調頻与調相的比較	129
4. 調相电路的方框图	133
§ 4. 調頻的电路	135
1. 間接調頻法及其优缺点	135
2. 电抗管电路的工作原理	138
3. 直接調頻电路及其优缺点	141

第十五章 无綫电报

§ 1. 电报信号鍵控的方法	148
----------------------	-----

§ 2. 断續鍵控的各种电路	150
1. 鍵控級的选择	150
2. 各种鍵控电路的分析和举例	150
§ 3. 移頻鍵控的方法	157
1. 对于移頻鍵控电路的要求	157
2. 获得移頻电报的方法	157
3. 双路移頻的概念	161
§ 4. 无綫电报所占的頻帶	163
1. 莫尔斯符号及其矩形波的分析	164
2. 等幅电报所占的頻帶	165
3. 調幅电报所占的頻帶	166
4. 移頻电报所占的頻帶	167
§ 5. 电报信号的失真	172

第十六章 典型发射机

§ 1. 概述	180
§ 2. 电路分析	183
1. 电源部分	183
2. 射頻部分	186
3. 音頻部分	189
4. 控制电路	191
§ 3. 維護与检修	202
1. 維護注意事項	203
2. 定期检修	203
3. 故障修理	206

第十七章 多級发射机的設計与元件計算

§ 1. 現代发射机的技术指标	210
-----------------------	-----

1. 电气方面的技术指标·····	212
2. 电声方面的技术指标·····	213
3. 結構和使用方面的要求·····	214
§ 2. 发射机方框图的組成·····	215
1. 多級线路的必要性·····	215
2. 級数的选择·····	215
3. 拟制方框图的方法·····	217
§ 3. 发射机分波段的划分·····	222
§ 4. 发射机原理图的拟制和技术計算·····	227
§ 5. 迴路元件的結構計算·····	228
1. 波段发射机的調諧方法·····	228
2. 迴路电容量和电感量的決定·····	231
3. 空气可变电容器的結構計算·····	232
4. 线圈的結構計算·····	236
参考书目·····	240
附录Ⅳ 貝塞尔函数·····	241

第十一章 柵極調幅

在以前各章中，我們分析了如何得到高頻電流以及如何將高頻電流輸送到發射系統（即天綫）上去，這是發射機的首要任務。但是，要使一個無線電路能夠完成通信任務，還必須使高頻電流反映出所傳遞的信號。也就是說，還必須用某種方法將所要傳遞的信號“記載”在高頻電流上。這是我們在緒論中提到的發射機的另一重要任務。在發射機中，就是按照信號改變高頻電流的參數，這個過程叫做調制。

可以擬定三種不同的調制方法；即按照信號，改變高頻電流的振幅、頻率或相位，它們依次稱為調幅、調頻和調相。

本章及下章專門討論調幅，至於調頻和調相將在第十四章中討論到。

§ 1. 調幅的基本概念

1. 各種調幅方法簡介

既然我們說，所謂調幅就是按照信號改變高頻電流振幅的調制方法。那麼怎樣使高頻電流的振幅隨着信號電壓的改變而改變呢？換句話說，怎樣實現調幅呢？

有三種方法：

(1) 變化高頻迴路中的電阻（稱為“吸收法”）。

(2) 變動調諧迴路元件的數值，例如改變電感（稱為“失諧法”）。

(3) 變動發生器電子管某一個極的電壓。

第一個無線電話發射機，採用的就是“吸收法”。微音器直接接在天

线回路中,如图 11-1 所示。图中, M 为麦克风, Γ 为接成传导反馈的高频振荡器,采用简单输出电路。音频使麦克风 M 的电阻发生变化,从而使整个高频回路的总电阻发生变化,高频电流的振幅也就随着发生变化,实现了调幅。

在这种电路中,由于接进了随音频电压而变化的电阻(麦克风的电阻),这个电阻要消耗能量,所以称为“吸收法”。

吸收法的缺点是:约有振荡功率的一半消耗在麦克风,而一般麦克风所能吸收的功率有限,约仅数瓦,因此,发射机功率无法加大。

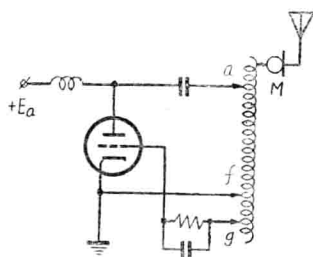


图 11-1 吸收法

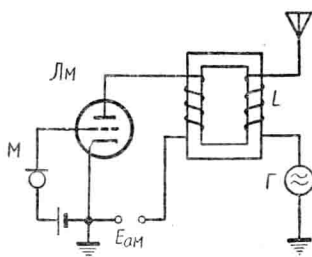


图 11-2 失谐法

高频发电机的发射机,曾采用失谐法来实现调幅,如图 11-2 所示。图中, A_M 为音频放大器(在这里,也称调幅器), Γ 为高频发生器,铁芯电感 L 串接在天线回路中,作为天线回路元件之一。如图,麦克风 M 控制调幅器 A_M 的板流,这个受控制的板流用来磁化电感 L 的铁芯,于是 L 的电感量随铁芯的磁化程度而变化,使天线回路的阻抗发生变化,从而引起高频电流振幅的变化,实现了调幅。

这种电路的缺点是:线圈铁芯中损耗很大,以及不能得到深的调幅等。

目前普遍应用的方法是变动发生器电子管某一个极的电压的方法。为了调幅而受到改变的电压,称为“调制因素”,用 E 来表示。由于调制因素的不同,调幅可分为下列五种:(1)栅偏压调幅;(2)板极调幅;(3)帘栅极调幅;(4)抑制栅极调幅;

(5) 板极——帘栅极调幅。它们的调幅因素依次为栅偏压 E_g 、板压 E_a 、帘栅压 E_{g2} 、抑制栅压 E_{g3} 、板压 E_a 与帘栅压 E_{g2} 。这几种调幅的方法，我们将在本章和下章中陆续讨论到。

2. 已调幅波的分析

众所周知，语言和音乐是各种不同振幅及频率的复杂声频振荡，其频率从 30~50 赫到 10,000 赫或者再高一点。但是为了简单起见，我们不妨只分析其中某一个单一音频 F 的电压对频率为 f 的高频振荡进行调幅时的情况。掌握了这种情况，也就掌握了各种声频电压对高频振荡进行调幅时的情况。

频率为 f （角频率为 $\omega = 2\pi f$ ）的高频电流的表示式为

$$i = I \cos \omega t \quad (11-1)$$

调幅时，这个电流的振幅 I ，将由于音频电压（角频率为 $\Omega = 2\pi F$ ）的作用，而按音频电压的变化规律变化。

所以，
$$I = I_T + I_1 \cos \Omega t \quad (11-2)$$

式中： I_T 表示没有音频电压控制时的高频电流振幅； $I_1 \cos \Omega t$ 表示受音频电压控制后所引起的高频电流振幅的变动量， I_1 是这个变动量的幅度。

如果令比值 $\frac{I_1}{I_T}$ 为 m ，那么式 (11-2) 可以化成

$$I = I_T(1 + m \cos \Omega t) \quad (11-3)$$

我们称 m 为调幅系数（或称调幅度，幅度调制系数），它表示高频电流振幅的最大变动量占未调幅时高频电流振幅的百分比。显然，音频电压的控制作用越强，例如音频电压的振幅越大，那么高频电流振幅的最大变动量越大，则调幅系数 m 越大（可称调幅越深），接收机得到的话音就越响。

图 11-3 中分别画出了不同调幅系数 m 值时已调幅波的波

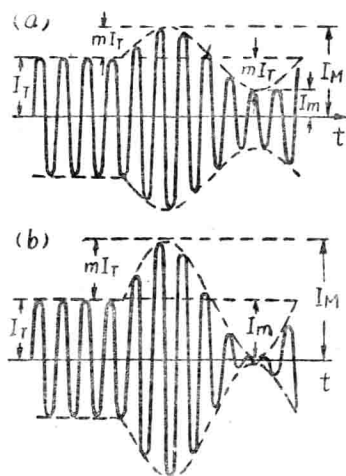


图 11-3 不同調幅系数时的已調幅波

形。各图左侧表示未調幅时的波形。已調幅波的包迹(图中用虛綫表示)的形状,正是用来調幅的音频电压的波形。由图,可見 $m \leq 1$ 是保証不失真調幅的条件之一。 $m > 1$ 时的失真称为“过調幅”。

將式(11-3)代入式(11-1),即得已調幅波表示式,

$$i = I_T(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega t \quad (11-4)$$

展开后为

$$\begin{aligned} i &= I_T \cos \omega t + m I_T \cos \omega t \cos \Omega t \\ &= I_T \cos \omega t + \frac{m}{2} I_T \cdot 2 \cos \omega t \cos \Omega t \end{aligned}$$

考虑到三角公式

$$2 \cos \omega t \cos \Omega t = \cos(\omega + \Omega)t + \cos(\omega - \Omega)t$$

于是,已調幅波的表示式又可以改写成

$$i = I_T \cos \omega t + \frac{m I_T}{2} \cos(\omega + \Omega)t + \frac{m I_T}{2} \cos(\omega - \Omega)t \quad (11-5)$$

由式(11-5)可以得出結論:当频率为 F (角频率为 Ω) 的音频电压对频率为 f (角频率为 ω) 的高频振盪进行調幅时,已調幅波可以看成是由频率为 f 、 $f + F$ 、 $f - F$ (角频率分别为 ω 、 $\omega + \Omega$ 、 $\omega - \Omega$) 的三个振盪組成。其中: f 称为載頻; $f + F$ 、 $f - F$ 分別称为上、下旁頻。上、下旁頻的幅度各为載頻幅度 I_T 的 $\frac{m}{2}$ 倍。

用矢量圖來表示已調幅波的表示式，可以幫助我們更清晰地掌握已調幅波的概念。

如图 11-4 (a) 所示：載頻矢量，上、下旁頻矢量分別以 I_T, I_1', I_1'' 來表示。它們分別以 $\omega, \omega + \Omega, \omega - \Omega$ 的角速度逆鐘向旋轉。

$$|I_1'| = |I_1''| = \frac{m}{2} I_T \quad (11-6)$$

這三個矢量在起始位置，即 $t=0$ 時，是同相的。這時電流的振幅最大

$$I = I_M = (1 + m) I_T \quad (11-7)$$

但是，在其它各瞬間，電流的振幅不易直接從圖 11-4 (a) 看出。

如果把載頻矢量和上、下旁頻矢量畫在一個逆鐘向旋轉的平面上，這個平面旋轉的角速度和載頻矢量旋轉的角速度一樣也是 ω ，那麼，相對看來，載頻矢量 I_T 就宛如不動；上旁頻矢量 I_1' 的角速度 $\omega + \Omega$ 比 ω 快，這時宛如以角速度 Ω 逆鐘向旋轉；下旁頻矢量 I_1'' 的角速度 $\omega - \Omega$ 比 ω 慢，這時却宛如以角速度 Ω 順鐘向旋轉，如图 11-4 (b) 所示。圖中並將旁頻矢量與載頻矢量畫成首尾啣接。

這樣，由於這三個矢量的起始位置同相，而上、下旁頻在

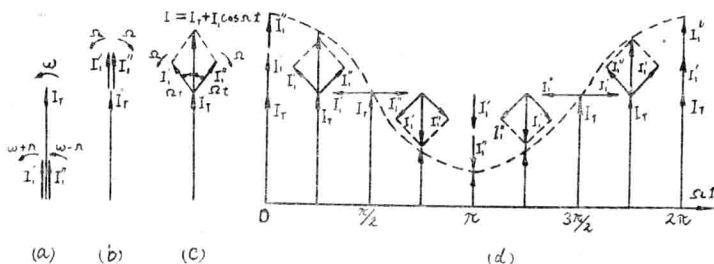


圖 11-4 已調幅波的矢量圖

图11-4 (b) 中角速度相同, 方向相反, 則任一瞬間, 兩旁頻矢量的位置对称, 如图 11-4 (c) 所示, 于是, 两个旁頻矢量的和 (称为調幅矢量) 总是与載頻矢量同相或反相。因此, 載頻矢量与两个旁頻矢量的和 (称为被調幅矢量) 就只有大小的变化, 而沒有相位的偏移。图 11-4 (d) 表示各瞬間的振幅 I 的变化情况, 它的变化范围从 $I_M = (1+m)I_T$ 到 $I_m = (1-m)I_T$ 。当 $m=1$ 时, 則从 $I_M = 2I_T$ 到 $I_m = 0$ 。图 11-4 (d) 中的虛綫就是各瞬間振幅变化的包跡, 它正是按照音頻电压的变化規律而变化的。

3. 无綫电话发射波所占的頻带

由上述, 被音頻为 F 的电压所調幅的載頻为 f 的已調幅波, 其旁頻为 $f+F$ 和 $f-F$ 。这样, 当音頻为較低的頻率 F_H 时, 其旁頻为 $f+F_H$ 和 $f-F_H$; 而当音頻为較高的頻率 F_B 时, 其旁頻为 $f+F_B$ 和 $f-F_B$ 。因此, 当音頻为 $F_H \sim F_B$ 范围内一系列頻率时, 已調幅波就有两个边带: 一个边带的范围是 $(f+F_H) \sim (f+F_B)$, 称为上边带; 另一个边带的范围是 $(f-F_B) \sim (f-F_H)$, 称为下边带。如图 11-5 所示。

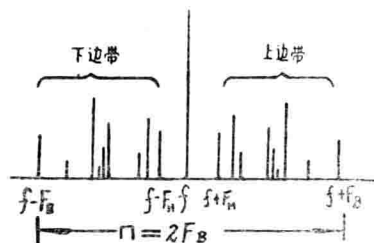


图 11-5 无綫电话发射波的頻带

由图 11-5, 可見頻带宽度为

$$\Pi = (f + F_B) - (f - F_B)$$

所以,

$$\Pi = 2F_B \quad (11-8)$$

即无綫电话发射波所占的頻带是最高調幅音頻頻率的两倍。

例如: 載頻 $f = 6$ 兆赫, 音頻調幅电压的頻率范围是

$F_H \sim F_B = 300 \sim 4,000$ 赫时，已調幅波的上边带的范围就是 6000.3~6004 千赫；下边带的范围则为 5996~5999.7 千赫頻帶宽度是 8,000 赫。

为了使无綫电话发射台不产生相互間的干扰，必須使它們的边帶不相重合。在两台使用的最高音頻 F_B 相同时，两台載頻的間隔也應該至少是 $2F_B$ 。通常通信用无綫电话台的調幅电压的頻率限制在 3000 赫以下，所以两台的載頻就应相隔 6,000 赫。

4. 調幅时被調发生器的功率

在发射机中，被音頻电压所調幅，从而产生已調振盪的他励发生器（或少数小机器的自励发生器）称为被調发生器或被調級。

在被調发生器中，高频电流的振幅是变化的，所以功率也相应地变化。

沒有进行調幅时，高频电流的振幅是 I_T ，这时的振盪功率 $\frac{I_T^2 R}{2}$ 称为載頻功率（ R 是高频电流 I 所流过的电阻），用 $P_{\sim T}$ 表示。通常提到无綫电话台的功率就是指載頻功率。

在調幅过程中，当高频电流的振幅最大时， $I_M = (1+m)I_T$ ，这时的功率称为最大状态的振盪功率，用 $P_{\sim M}$ 来表示。由于功率和电流的平方成正比，所以最大状态的振盪功率和載頻功率之間有下列关系，

$$P_{\sim M} = (1+m)^2 P_{\sim T} \quad (11-9)$$

在調幅过程中，当高频电流的振幅最小时， $I_m = (1-m)I_T$ ，这时的振盪功率称为最小状态的振盪功率，用 $P_{\sim m}$ 表示。显然，它和載頻功率之間有下列关系，

$$P_{\sim m} = (1-m)^2 P_{\sim T} \quad (11-10)$$

由上述, $m=1$ 时, $I_M=2I_T$, $I_m=0$, 这时,

$$P_{\sim M} = 4P_{\sim T} \quad (11-11)$$

$$P_{\sim m} = 0 \quad (11-12)$$

通常, 根据最大状态的振盪功率来选择被調发生器的电子管。

現在我們要問: 既然在音频变化一周的过程中, 高频各周期的功率是变化的, 那么平均功率是多少呢?

我們当然可以由下列积分式, 将高频各周期的功率总加起来求平均功率 (通常又称电话功率) $P_{\sim cp}$,

$$P_{\sim cp} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \frac{[I_T(1+m \cos \Omega t)]^2 R}{2} d(\Omega t)$$

式中, R 表示高频电流所流过的电阻。上式经过計算可得

$$P_{\sim cp} = \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) P_{\sim T} \quad (11-13)$$

当 $m=1$ 时

$$P_{\sim cp} = 1.5 P_{\sim T} \quad (11-14)$$

不过, 我們也可以根据电工的基础理論——叠加定理来求电话功率 $P_{\sim cp}$ 。叠加定理指出: 不同频率的电流在流过同一直綫性电路时, 完全互不相关, 它們产生的功率等于各电流所产生的功率的和。已知已調幅波可以看成由載頻电流和上、下旁頻电流組成, 因此平均功率等于載頻电流和上、下旁頻电流所产生的功率的和。即

$$P_{\sim cp} = P_{\sim T} + P_{\sim(\omega+\Omega)} + P_{\sim(\omega-\Omega)} \quad (11-15)$$

式中 $P_{\sim(\omega+\Omega)}$ 和 $P_{\sim(\omega-\Omega)}$ 分別表示上、下旁頻功率, 它們的和就称为旁頻功率, 用 $P_{\sim(\omega \pm \Omega)}$ 表示。

$$\begin{aligned}
 P_{\sim(\omega \pm \Omega)} &= P_{\sim(\omega + \Omega)} + P_{\sim(\omega - \Omega)} \\
 &= \frac{\left(\frac{m}{2} I_T\right)^2 R}{2} + \frac{\left(\frac{m}{2} I_T\right)^2 R}{2} = \frac{m^2}{4} I_T^2 R
 \end{aligned}
 \quad (11-16)$$

而載頻功率為

$$P_{\sim T} = \frac{I_T^2 R}{2} \quad (11-17)$$

所以，旁頻功率為

$$P_{\sim(\omega \pm \Omega)} = \frac{m^2}{2} P_{\sim T} \quad (11-18)$$

於是我們從式(11-15)可得

$$P_{\sim cp} = \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) P_{\sim T} \quad (11-13)$$

它和上述由積分式求得的是一致的。

歸納起來，可以作出這樣的結論：調幅時的電壓功率（平均功率）是未調幅時的振盪功率（載頻功率）的 $\left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$ 倍，它又可以看成是載頻功率和上、下旁頻功率的和。

這個結論可利用來作為粗測調幅度的依據。

具體方法是：分別讀出調幅時和未調幅時熱耦式高頻電流表的指示，求出比值 N 。按照功率與電流的平方成正比的關係，調幅時電流指示既然是未調幅時電流指示的 N 倍，則調幅時的功率是未調幅時的 N^2 倍，所以，

$$N^2 = 1 + \frac{m^2}{2}$$

調幅係數 m 即可由上式解得，（當然，負值無意義，棄去）

$$m = \sqrt{2(N^2 - 1)} \quad (11-19)$$