

无线电通信设备

发 射 部 分

上 册

无线电通信设备编写组

西北电讯工程学院

1976

毛主席语录

千万不要忘记阶级斗争。

路线是个纲，纲举目张。

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

教材要彻底改革。

我们能够学会我们原来不懂的东西，我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

前 言

遵照毛主席关于教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合的教导，为了适应工农兵学员学习本系有关专业的教学需要，编写了“无线电通信设备”这样一本教学参考书。全书共分发射设备、接收设备及频率合成三大部分，每部分又各包括上、下两册。

鉴于现代通讯技术的飞速发展，为适应生产和科学实验的需要，本书在着重介绍通信设备常用的、基本的知识与电路的同时，还对一些较新的技术及发展趋势作了必要的介绍，供读者参考。

由于我们对毛主席“教材要彻底改革”的指示理解不深，思想水平及业务水平有限，并由于编写时间仓促，没有能更多、更广泛的征求意见及细致的讨论，无疑会有不少错误和不妥之处，望读者给予批评指正，以便今后改进。

编 写 组

.....

目 录

第一章 发射机概论	1
§ 1-1 发射机的功用、组成、分类	1
§ 1-2 无线电信号和调制的基本概念	3
§ 1-3 发射机的主要质量指标	9
§ 1-4 课程内容	10
第二章 单振荡回路	11
§ 2-1 引言	11
§ 2-2 串联谐振电路的阻抗和串联谐振	11
§ 2-3 串联回路的谐振曲线及相位特性曲线	17
§ 2-4 串联回路的通频带	22
§ 2-5 并联谐振电路与并联谐振	27
§ 2-6 并联回路的谐振曲线、相位特性和通频带	32
§ 2-7 并联谐振电路的等效电路	35
§ 2-8 复杂的并联振荡回路	38
§ 2-9 串、并联回路的对应关系	42
第三章 晶体管高频功率放大器	46
引言	47
§ 3-1 高频功率放大器的工作原理	47
§ 3-2 高频功率放大器的工作状态和负载特性	53
§ 3-3 晶体管高频功放的近似计算方法	58
§ 3-4 高频功率放大器的设计	66
§ 3-5 高频功率放大器的高频特性	75
§ 3-6 高频功率放大器的馈电线路	91
§ 3-7 高频功率放大器的调整	95
附录 硅外延平面高频功率管的结构与工艺简介	99
第四章 高频功率放大器的实用线路	103
§ 4-1 概述	103
§ 4-2 发射机的级间耦合和输出电路	105
§ 4-3 输出放大器	117
§ 4-4 宽带功率放大器和传输线变压器	138
§ 4-5 晶体管的高频功率合成	161

§ 4-6 晶体管倍频器	169
§ 4-7 参量倍频器	171
§ 4-8 高频功率晶体管的安全工作	179
附录 传输线和传输线变压器的简单分析	190
第五章 电子管高频功率放大器	198
§ 5-1 概述	198
§ 5-2 某典型电子管高频功率放大器线路原理	201
§ 5-3 电子管高频功率放大器的计算	207
§ 5-4 输出极的分析与调整	228
附录 电子管的基本知识	238
§ 1 二极管	238
§ 2 三极管	242
§ 3 多极管	248
§ 4 电子管命名的意义及方法	255

第一章 发射机概论

§ 1-1 发射机的功用、组成、分类

在无线电通信中，无线电发射机的功用就是产生一个受到传送消息控制的高频振荡，通过发射天线的辐射，传播到远方，被接收机收到。它是无线电通信系统的一个主要组成部分。由于无线电通信的类型很多，无线电发射机可以按不同内容进行分类，了解分类情况，对于了解无线电通信的原理及具体学习发射机课程都是必要的。

发射机所以要产生高频振荡，是因为只有高频振荡才能被天线有效地辐射。所谓“高频”指的是从几十千赫到几千兆赫，甚至几万兆赫的很宽频率范围。因此发射机首先可以按工作的波段（频率范围）进行分类，不同波段所利用的传播方式是不同的。下面是大致的分类。

波段名称	（波长）	频率范围（频率）	主要传播方式及用途
长波波段	1000—10,000米	30—300千赫	表面波，远距通信
中波波段	100—1000米	300—3000千赫	表面波，广播
短波波段	10—100米	3.0—30兆赫	电离层反射，一般通信，广播
超短波波段	1—10米	30—300兆赫	直射波，一般通信、电视
分米波波段	10—100厘米	300—3000兆赫	直射波、对流层散射，接力、卫星通信、雷达
厘米波波段	1—10厘米	3,000—30,000兆赫	
毫米波波段	1—10毫米	30—300千兆赫	

通常将高于 300 兆赫的波段统称为微波波段。传统的军用通信主要是用短波、超短波波段，随着无线电技术的发展，目前军用通信还采用对流层散射，视距接力及卫星通信，频率范围也向微波扩展。

发射机按传送的消息分类，可分为电话发射机、电报发射机。除了某些小型的背负式电台（如对讲机）和航空电台等外（电台指包括收、发信机的整套无线电设备），一般发射机都是既能传送语音消息，也能传送电报消息。随着无线电通信的发展，还要求发射机能传送数字消息，如雷达数据、保密化的数字电话等，以进行数字通信。

通常语音消息、电报、数字消息都是低频信号，要对高频振荡进行控制，才能通信。用无线电的术语来说，所谓控制，就是将这些低频信号对高频振荡进行调制。常用的调制方式有：振幅调制（简称调幅）、频率调制（调频）、单边带调制等。对于数字消息有振幅键控、频率键控（移频）、相位键控（移相）等。采用不同调制或键控的发射机其组成差别很大。调幅和单边带主要用于短波波段，调频用在超短波及微波波段。此外，在超短波及微波波段，有时也会用到脉冲调制。

发射机还可以按输出高频功率大小分类。不同功率适应不同的通信距离要求。功率可以小至几分之一瓦，大的可到几千瓦甚至几十千瓦。对短波发射机来说，100 瓦以下的发射机

算小功率发射机，100瓦至1千瓦为中等功率发射机，1千瓦以上的称为大功率发射机。不同功率的发射机，其体积重量及复杂程度有很大不同，运载和使用的方法也不同。某些小功率发射机通常与接收机合装构成便携式电台，能进行背负和行进间工作。中功率以上的发射机通常都是车载，某些大功率发射机则主要作固定电台使用。

发射机为完成其功用通常都由多级组成。下面以一个调幅电话发射机和一个单边带发射机的简化方块图为例，说明它的组成和工作原理。

图1-1是调幅发射机的方块图。

振荡器产生一定频率的最初高频振荡，通常振荡功率是很小的。中间放大器的主要功用，就是将小的振荡功率加以放大，供给输出放大器所需的激励。它通常由几级放大器构成。输出放大器的主要功用，就是在激励信号的频率上，产生足够大的高频功率，送给天线。在调幅电话发射机中，振幅调制通常也是在输出放大器进行。方块图中的调制器，实际上就是多级音频放大器，它的功用就是将话音信号放大，供给输出放大器进行调制所需的电压和功率。图上各处的信号波形就反映了上述工作过程。

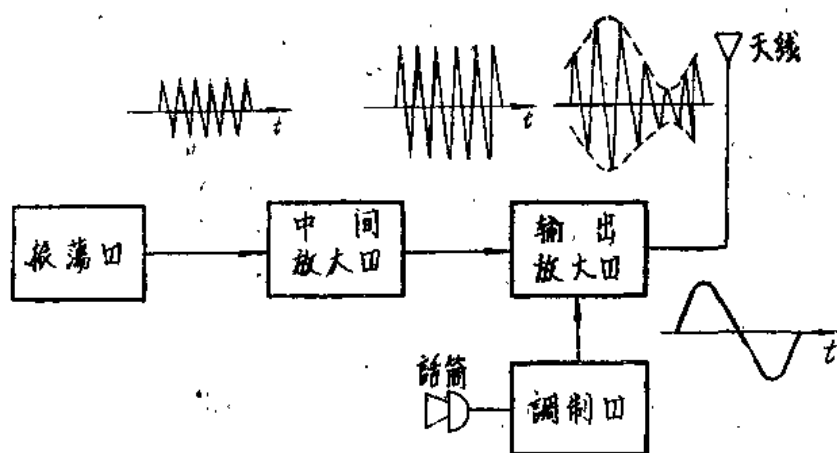


图1-1 调幅发射机简化方块图

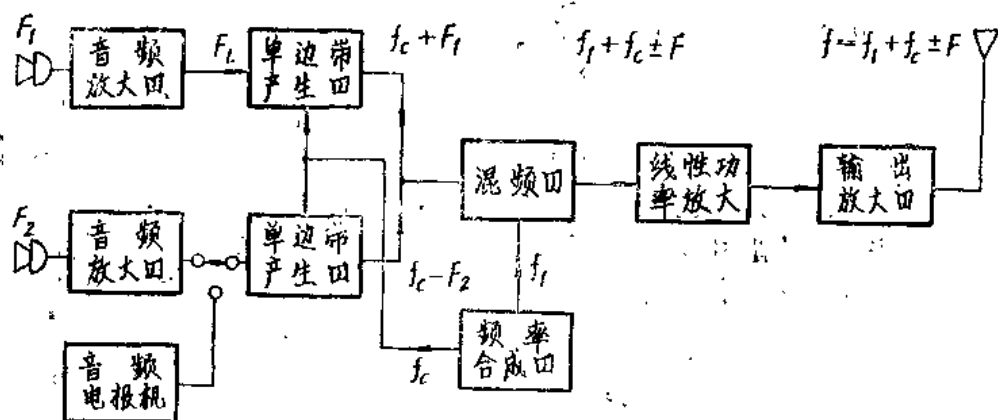


图1-2 短波单边带发射机简化方块图

图 1-2 是短波单边带发射机的简化方块图。单边带调制是在发射机的前级进行的。送话器产生的音频信号（话音频率 F 一般为 300 至 3000 赫范围）经放大后送到单边带产生器。在单边带产生器中对频率合成器来的载波信号（频率 f_c 为几百千赫）进行单边带调制。根据需要产生频率为 $f_c + F$ 或 $f_c - F$ 的已调信号。由于载波频率 f_c 通常较工作频率低，而且是固定的，而发射机需要在频率较高的一个波段范围内工作。混频器的作用就是将单边带产生器的输出信号（频率为 $f_c \pm F$ ）与频率合成器来的较高频率 f_1 进行混频，即两信号的频率相加，得到频率较高的单边带信号，其工作频率为 $f = f_1 + f_c \pm F$ 。这信号同样要进行多级放大，最后经输出放大器送到天线上。

在图 1-2 方块图中，两路话音分别利用单边带产生器中的上边带（ $f_c + F_1$ ）和下边带（ $f_c - F_2$ ），便可以在一部发射机中同时传送两路无线电话。在话音频率范围内送入音频电报信号及其他数字信号，就可以进行电报通信或数字通信。为了避免放大过程中产生失真及各路间的串话干扰，要求放大器进行线性无失真放大。

频率合成器的功用就是供给单边带产生器和混频器所需频率（ f_c 、 f_1 ）信号。发射机需要在波段中的任一频率上都能工作，因此 f_1 实际上是可以选择的许多频率。在单边带发射机中，这些频率都要求稳定不变。频率合成器的功用就是以频率很稳定的标准振荡器为信号源，利用各种电路技术合成所需要的各种频率。

由上面两种发射机的组成可以看出，发射机主要是由振荡器、各种高频功率放大器和各种调制电路组成，这些也就是本课程研究的主要对象。

§ 1-2 无线电信号和调制的基本概念

在学习无线电收发课程中，首先遇到的就是无线电信号。收发设备中的部件不外乎起着产生、放大、变换等处理这些信号的作用。因此对于无线电信号的一些性质和表示方法必须有一些基本概念，上面提到的调制方法也只有对信号有基本了解后才能理解。

一、信号的表示和分析方法

我们知道，最简单而又经常遇到的信号就是正弦信号。一个正弦波电压可以表示为

$$u = U \cos(\omega t + \varphi)$$

标志一个正弦波信号的三个基本要素就是振幅 U 、频率 $\omega = 2\pi f$ 和起始相角 φ 。当知道这三者后，对于任一瞬时 t 的电压值 u 就可以知道。信号最方便的表示法就是作出 $u \sim f(t)$ 的曲线。如图 1-3 示。对于其他信号也是这样。

频率是区分无线电信号的一个主要因素。无线电通信就是利用频率的特征从空中选取所需信号。因此无线电信号还有另一种表示方法，这就是在频率域中表示它。比如上面的正弦信号就可以用图 1-4 的 $U \sim \omega$ 和 $\varphi \sim \omega$ 的关系表示它。对于一正弦信号，在频率（角频率）系统中表示为一个线段。上面指出正弦波构成的三要素，这在频域中也完全能表示出来。图 1-4(a) 为振幅频率分布，图 1-4(b) 为相位频率分布。在许多实际情况下，初始相位 φ 并没有什么特别重要的意义，用得最多的是振幅频率分布。当然这种在频域表示信号的方法对于各种信号也是都适用的。

对于几个频率（ $\omega_1, \omega_2, \dots$ ）的正弦波合成信号，在频率分布图中就可以用几个不

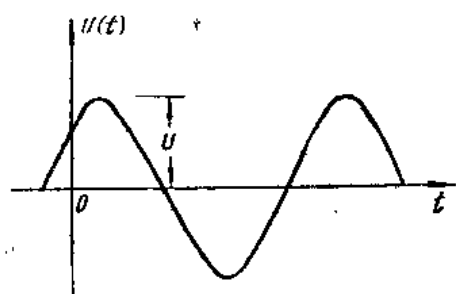
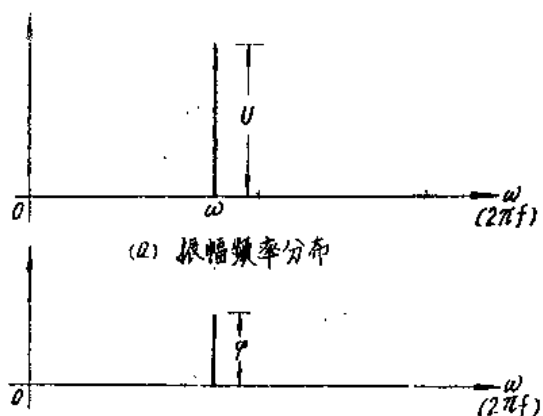


图 1-3 正弦波信号的图形表示



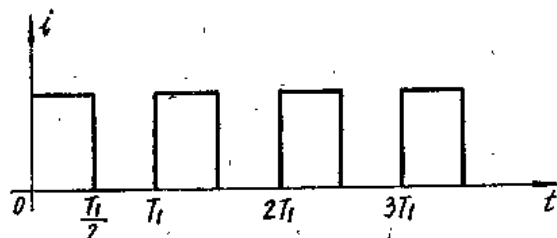
(b) 相位频率分布

图 1-4 正弦波信号的频域表示

同长度（表示振幅）的线段来表示，称为信号频谱分布，一根谱线代表一个频率分量。

语音信号是一种不规则的信号，通常电话中只需要传输其中的主要部分，其频率范围约为 300 至 3000 赫。这种信号显然是不能用简单的 $u(t)$ 形式表示，但是它的各频率分量的相对大小是可以测量确定（具有统计形式），这样在频谱图中就容易表示它的特点，图 1-5 就是语音信号的频谱图。频谱图上表示出它的频率位置和相对振幅大小。

在无线电设备中，还经常遇到各种周期性的低频和高频信号。如图 1-6(a) 的方波脉冲，



(a) 低频方波脉冲

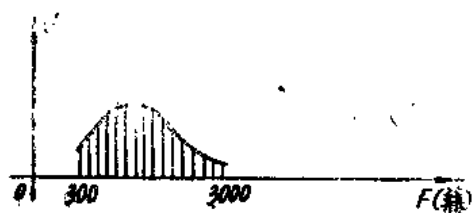
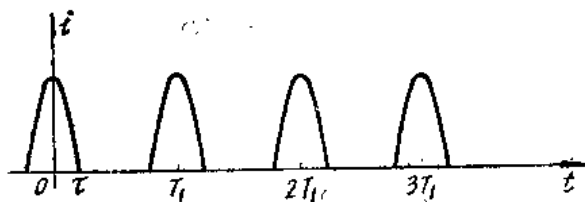


图 1-5 语音信号的频谱



(b) 高频余弦脉冲

图 1-6 周期脉冲波形

就是规则的低频电报信号。图 1-6(b) 的余弦脉冲，就是发射机中常遇到的高频信号。周期信号可以表示为

$$i(t) = i(t - nT_1) \\ n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

T_1 为重复周期。

这类信号的主要特点是，它可以分解为许多正弦波分量和直流分量。各分量频率间有整数倍关系。频率最低的信号分量称为基波，其周期为 T_1 ，角频率 ω_1 为

$$\omega_1 = 2\pi f_1 = \frac{2\pi}{T_1}$$

其余分量的频率为 $n\omega_1$ ，称为谐波。

周期性信号分解为许多正弦波时，要用到数学中的富里叶级数分析法。下面简单地介绍此方法。

设周期信号可表示为时间函数 $f(t)$ ，周期为 T_1 。当 $f(t)$ 是连续函数或只有有限个间断点时，它可以展开为如下的三角函数的级数

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_1 t + b_n \sin n\omega_1 t)$$

此式称为富里叶级数展开式，系数 a_n 、 b_n 分别为

$$a_n = \frac{2}{T_1} \int_{-\frac{T_1}{2}}^{\frac{T_1}{2}} f(t) \cos n\omega_1 t dt \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1-1)$$

$$b_n = \frac{2}{T_1} \int_{-\frac{T_1}{2}}^{\frac{T_1}{2}} f(t) \sin n\omega_1 t dt \quad (1-2)$$

下面以图1-6(a)的方波脉冲为例，进行谐波分析及频谱表示。此方波脉冲表示为

$$i(t) = \begin{cases} I & kT_1 < t < \left(k + \frac{1}{2}\right)T_1 \\ 0 & \left(k + \frac{1}{2}\right)T_1 < t < (k+1)T_1 \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

由式 (1-1) 和式 (1-2)，可得

$$a_0 = \frac{2}{T_1} \int_0^{\frac{T_1}{2}} I dt = I$$

$$a_n = \frac{2}{T_1} \int_0^{\frac{T_1}{2}} I \cos n\omega_1 t dt$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2}{T_1} \int_0^{\frac{T_1}{2}} I \cos n\omega_1 t dt = 0 \\
 b_n &= \frac{2}{T_1} \int_0^{\frac{T_1}{2}} I \sin n\omega_1 t dt \\
 &= -\frac{1}{n\omega_1} \cdot \frac{2I}{T_1} \left[-\cos n\omega_1 t \right]_0^{\frac{T_1}{2}} \\
 &= \begin{cases} \frac{2I}{n\pi} & n=1, 3, 5, \dots \\ 0 & n=2, 4, 6, \dots \end{cases}
 \end{aligned}$$

因此，图1-6(a)的方波脉冲可以展开为下列正弦分量之和

$$\begin{aligned}
 i(t) = I \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sin \omega_1 t + \frac{2}{3\pi} \sin 3\omega_1 t + \right. \\
 \left. + \frac{2}{5\pi} \sin 5\omega_1 t + \dots \right] \quad (1-3)
 \end{aligned}$$

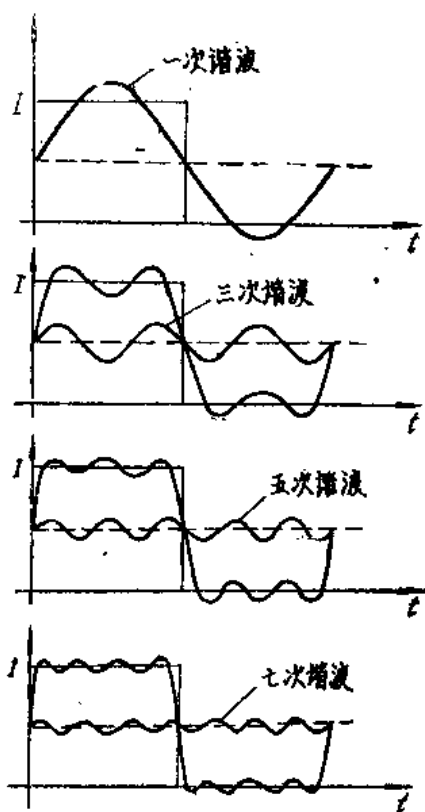


图 1-7 方波脉冲的各次谐波及合成波波形

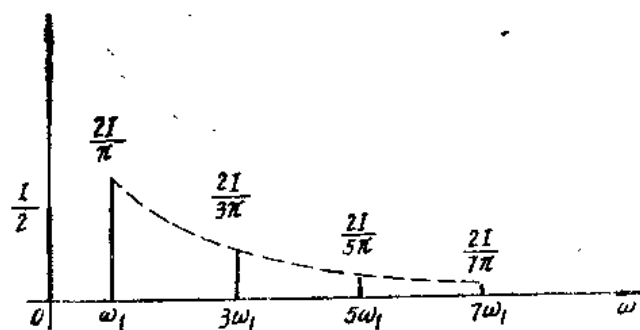


图 1-8 方波脉冲的振幅频谱

上式为一无穷级数，这意味着周期性方波脉冲包含有无穷多个谐波分量。图 1-7 为分别包括直流，基波及直至七次谐波时的信号波形。由图可见，当考虑谐波次数越多时，信号就越趋近于原来的方波信号了。

图 1-8 为方波脉冲的振幅频谱。从理论上说，其频率将包括从零到无穷大的频率范围。但从式 (1-3) 和频谱图中看出，谐波频率越高，振幅也越小。当 n 大于一定值后，更高的谐波分量实际上已可忽略。这与图 1-7 的波形叠加是一致的。图 1-8 上的虚线，表示各分量振幅随谐波次数增加时的变化规律，通常称为频谱包络。

二、调制的概念

设一高频振荡电流为

$$i = I \cos(\omega_1 t + \varphi)$$

若用某一要传送的消息信号 $u(t)$ 对这一电流中的某一因素：振幅、频率、相位进行控制，使它们按 $u(t)$ 规律变化，这一过程就称为调制。前面提到的振幅调制、频率调制等就是按控制不同的因素而分类的。下面以常用的振幅调制为例说明它的一些特点。

设传送的消息为一最简单的低频正弦信号

$$u(t) = U_\Omega \cos \Omega t$$

$\Omega = 2\pi F$ ， F 为低频频率。振幅调制就是使高频电流振幅 I 随 $u(t)$ 变化，设 I 由变化部分 ΔI 和不变化的部分，此处令为 I_c 组成， I_c 称为载波振幅。而 ΔI 与 $u(t)$ 成正比，即

$$\Delta I = k u(t) = k U_\Omega \cos \Omega t$$

ΔI 的最大值为 $k U_\Omega$ ，令

$$\frac{k U_\Omega}{I_c} = m$$

于是一个振幅受调制的高频振荡电流可表示为

$$\begin{aligned} i &= (I_c + \Delta I) \cos(\omega_1 t + \varphi) \\ &= I_c (1 + m \cos \Omega t) \cos(\omega_1 t + \varphi) \end{aligned} \quad (1-4)$$

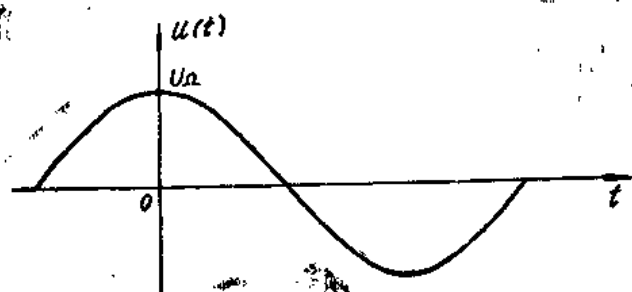
式中 m 称为调幅度，正常情况下 $m \leq 1$ 。图 1-9 就是未调高频振荡和已调高频振荡波形。

展开式 (1-4) 的已调振荡信号可以发现，它是由几个正弦波构成的。用三角函数关系展开此式可得：

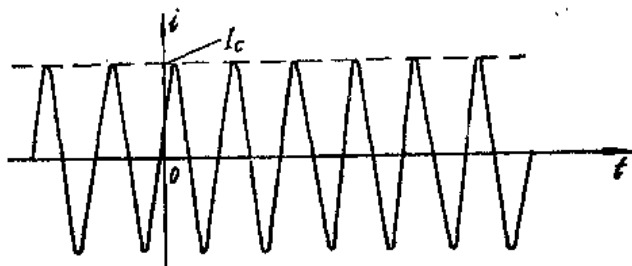
$$\begin{aligned} i &= I_c \cos(\omega_1 t + \varphi) \\ &+ \frac{1}{2} m I_c \cos[(\omega_1 + \Omega)t + \varphi] \\ &+ \frac{1}{2} m I_c \cos[(\omega_1 - \Omega)t + \varphi] \end{aligned} \quad (1-5)$$

第一项就是未受调制的载波本身，第二项频率为 $\omega_1 + \Omega$ 的信号称为上边频，第三项频率为 $\omega_1 - \Omega$ ，称为下边频。图 1-10(a) 是已调振荡的频谱图。

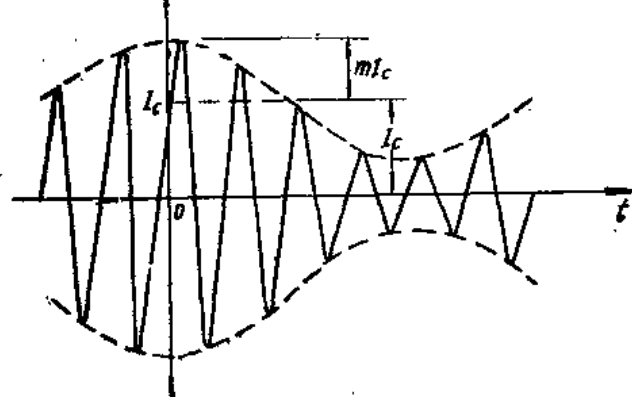
若调制信号 $u(t)$ 是许多频率的低频信号，比如是话音信号，则可以将 $u(t)$ 分解为许多



(a) 调制电压



(b) 未调的高频电流



(c) 已调高频电流

图 1-9 调制时的电流电压波形

正弦信号 $u_1(t)$ 、 $u_2(t)$ 等，这样得到的已调振荡中就有相应的许多上边频和下边频。图1-10(b)就是以话音信号调制得到的频谱图。

由图1-10(b)可看出，在话音调制时，已调振荡是由载波和两个边带组成，整个高频信号占据一定的频带宽度，设调制信号的最高频率为

$$\Omega_{\max} = 2\pi F_{\max}$$

信号占据的带宽 B为

$$B = 2F_{\max} \quad (1-5)$$

通常传输的话音最高频率为3000赫，已调信号带宽为6000赫。接收机为了正确地接收此信号，其高频部分的频带宽度必须大于此信号的频带宽度。

振幅调制的已调信号具有一定的频带宽度，这对于其他各种调制也是适用的（带宽的大小不同），这是关于调制的一个重要概念。另外，从调制信号频率 Ω 和载波信号频率 ω_1 的两个信号，到产生 $\omega_1 + \Omega$ 、 $\omega_1 - \Omega$ 边频信号过程可看出，调制过程要产生频率变换，这对

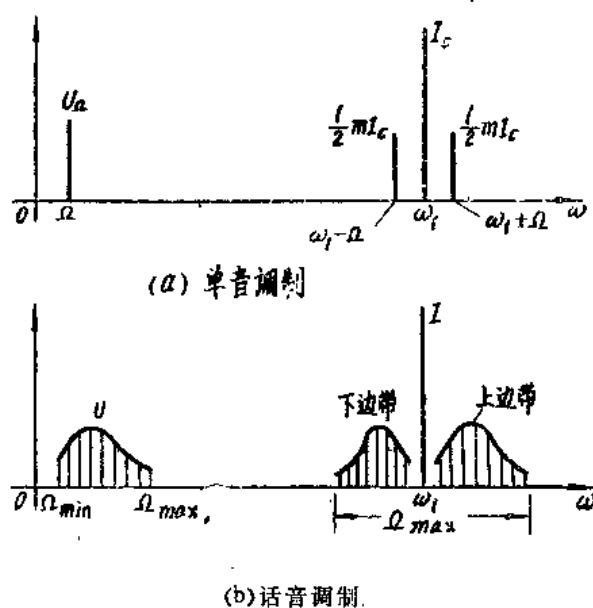


图 1-10 调制信号与已调信号的频谱

于其他调制也是适用的。这个频率变换过程只有利用非线性电路才能实现。具体的调制方法将在以后各章中讨论。

§ 1-3 发射机的主要质量指标

从第一节中叙述的发射机的主要功用出发，对发射机要提出一些技术要求，也就是要为发射机规定一些主要质量指标。发射机的具体组成及对各部分的具体要求都是要从这些要求出发。现将主要质量指标的意义及与发射机各部分的大致关系介绍一下。

1. 工作频率或工作波段

工作频率或工作波段是由发射机完成的通信任务决定的。通常短波发射机都是在一个较宽的波段范围内工作，比如2-12兆赫，2-30兆赫。超短波发射机一般在较窄的波段甚至在某一固定频率工作。工作频率或工作波段就决定了发射机各高频级的频率范围。

2. 输出功率

通常规定发射机送至天线输入端的功率为发射机的输出功率，某些情况下为测量方便，可以规定在指定的电阻负载(如50欧姆)上的功率为发射机的输出功率。波段工作的发射机要求在整个波段中输出功率不低于规定值。发射机的输出功率是由末级即输出级决定的。

3. 总效率

发射机的总效率是指发射机的输出功率与全机输入总功率之比。在大功率发射机中，提高效率可以减小电能消耗。对于小功率发射机，提高效率，减少输入功率，可以减小电源的体积重量。固定发射机的总效率一般约在5~30%之间，移动电台发射机的效率在百分之

一、二十左右。

4. 频率稳定度

从保证通信可靠出发,要求发射机的频率不要随外界条件(如温度、电源电压等)变化,因此对发射机的频率稳定度要提出一定要求。发射机的频率稳定度主要由振荡器决定。有频率合成器的发射机,频率稳定度由合成器中的标准振荡器决定。

5. 谐波和副波输出

发射机除了在工作频率上输出功率外,由于各种原因,在某些其他频率,比如工作频率的谐波及个别频率上也有不需要的输出。这种谐波和付波输出会形成干扰,因此应该有限制。通常要求谐波或付波输出功率比主波输出低40分贝(即为主波功率的万分之一),对于大功率发射机,谐波输出的绝对功率也有一定的限制。

6. 电声指标

在电话发射机中,为保证话音的传输质量,还提出一些电声方面的指标,如调幅度、音频频带、失真系数等。

以上是发射机的主要电方面的指标。此外在结构、使用方面及环境条件方面都有一定要求。

§ 1-4 课程内容

本课程主要目的在于研究短波、超短波波段调幅、调频、单边带发射机的工作原理和设计方法。为此,首先讨论发射机的主要组成部分如高频功率放大器、振荡器等的线路、工作原理、设计方法和调整测试。然后讨论振幅调制,频率调制的方法并介绍调幅,调频发射机的组成。考虑到在短波波段单边带通信已逐渐成为主要的通信方式,故另立一章重点讨论单边带发射机。

随着电子技术的发展,晶体管可工作的频率越来越高,功率也越来越大,小功率发射机的晶体管化已成现实,大、中功率发射机除了大功率的末级或末前级外,也是采用晶体管,因此本课程主要讨论晶体管发射机。应该说明,电子管发射机,除了所用的器件不同外,许多原理是和晶体管电路是相同的。目前大、中型发射机中的输出级,有的包括末前级,由于电子管的功率大,可靠性比晶体管高,还继续采用电子管,在一些现有装备中电子管发射机也还在使用,故在讨论晶体管高频放大器的基础上,单独讨论电子管高频放大器。关于发射机中的频率合成器,虽然是发射机的主要组成部分,但因接收机中也要用合成器,并有许多特殊问题,将在另一课程中讨论。

毛主席教导我们说:“读书是学习,使用也是学习,而且是更重要的学习。”作为一门通信设备课程,搞通书本上的理论是重要的,因为它是过去实践的总结,但是若没有亲身的实践经验和感性认识,也是不能学好的。因此更重要的是从实践中学习。目前结合典型产品和典型任务的教学方法已为我们结合实践学习理论创造了很好的方法。关于一些典型产品和机器的教学内容将在具体实施中准备。本书的目的就在为学习典型机器和产品时作准备和参考。

第二章 单振荡回路

§ 2-1 引言

毛主席指出“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性”。所谓单振荡回路是指由电感线圈和电容器组成的单个振荡回路，它又可分为串联振荡回路和并联振荡回路两种。由于这种电路具有可贵的选频特性(或称滤波特性)，即选出所需要的频率抑制不需要的频率，以及“阻抗转换”等特性，因而在无线电技术中被广泛采用。在接收机里利用振荡回路的选频特性从众多的无线电信号里选择出所需要接收的信号，摒除不需要的信号，在发射机里利用振荡回路滤除不应发射的频率成份而发射指定的工作频率。

本章只研究集中参数的振荡回路，由分布参数组成的振荡系统将在其它课程中讨论，但必须指出，本章所讨论的内容和主要结论，对于分布参数振荡回路也是适用的。

我们将在电工课程的基础上研究串、并联振荡回路的谐振特性。这些问题包括有：串、并联回路的阻抗、谐振频率、谐振时的特点，以及串、并联回路的谐振曲线，相位特性曲线，通频带，最后还讨论了几种常用的复杂并联振荡回路。

为了直观清晰，尽量采用数学分析与曲线表示相结合的方法来讨论问题。一些适用的计算公式，列于本章后面，以备查用。

§ 2-2 串联谐振电路的阻抗和串联谐振

凡是由电感 L 、电容 C 和电阻 R 与信号源一起串联组成的电路，如图 2-1 所示。称串联谐振电路。其中电阻 R 通常包括电感线圈和电容器的损耗电阻以及可能接入电路内的外加电阻。如果在该电路的电感线圈或电容器中已经储有能量，则当回路电阻 R 很小时，电路中即使没有外加电动势(即由 L 、 C 和 R 串联的闭合回路)，亦可产生电的振荡。所以又称串联谐振电路为串联振荡电路。

设回路的外加电动势 e 按正弦规律变化：

$$e = E \sin \omega t$$

式中 E 表示电动势的振幅， ω 表示电动势的角频率。为方便计，取电动势的初相角为零，我们用复数法来讨论电路中的稳定状态，则电路中电流的复数值为：

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}}{Z} = \frac{\dot{E}}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} \quad (2-1)$$

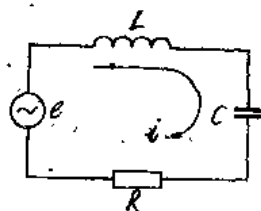


图 2-1 串联振荡回路

式中 Z 是串联回路的阻抗。由上式可以看出, 当回路的参数 L 、 C 、 R 固定, 电动势的振幅 E 不变时, 改变电动势 E 的角频率 ω 则回路中的电流 I 将发生变化。要知道电流 I 随角频率变化的关系, 只要研究阻抗 Z 随角频率 ω 如何变化即可。因此首先研究串联谐振电路的阻抗曲线, 讨论其他问题都是以此为依据的。正象毛主席教导我们的那样“研究任何过程, 如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的话, 就要用全力找出它的主要矛盾。捉住了这个主要矛盾, 一切问题就迎刃而解了”。

串联回路的阻抗为:

$$Z = R + jX$$

$$= R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = |Z|e^{j\varphi}$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} =$$

$$\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2-2)$$

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X}{R} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (2-3)$$

式中 $|Z|$ 是阻抗的模, φ 是阻抗的幅角,

将 X 、 $|Z|$ 、 φ 与 ω 的关系作成曲线, 如图 2-2 所示, 由此可以看出:

$$(1) \text{ 当 } \omega = \omega_0 \text{ 时, } \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

$$X = 0, \text{ 回路呈现纯电阻性,}$$

$$|Z| = R$$

$$\varphi = 0$$

$$(2) \text{ 当 } \omega < \omega_0 \text{ 时, } \omega L < \frac{1}{\omega C}, X < 0$$

回路呈现电容性, $|Z| > R$, $\varphi < 0$

$$(3) \text{ 当 } \omega > \omega_0 \text{ 时, } \omega L > \frac{1}{\omega C},$$

$X > 0$, 回路呈现电感性, $|Z| > R$, $\varphi > 0$

当外加电动势的角频率 ω 恰好等于 ω_0 时, 回路的电抗 X 等于零, 回路的阻抗 $|Z| = R$, 并呈现最小值, 回路中的电流出现最大值并与外加电势同相, 电阻 R 吸收的功率最大。我们称这种状态为回路对外加电动势发

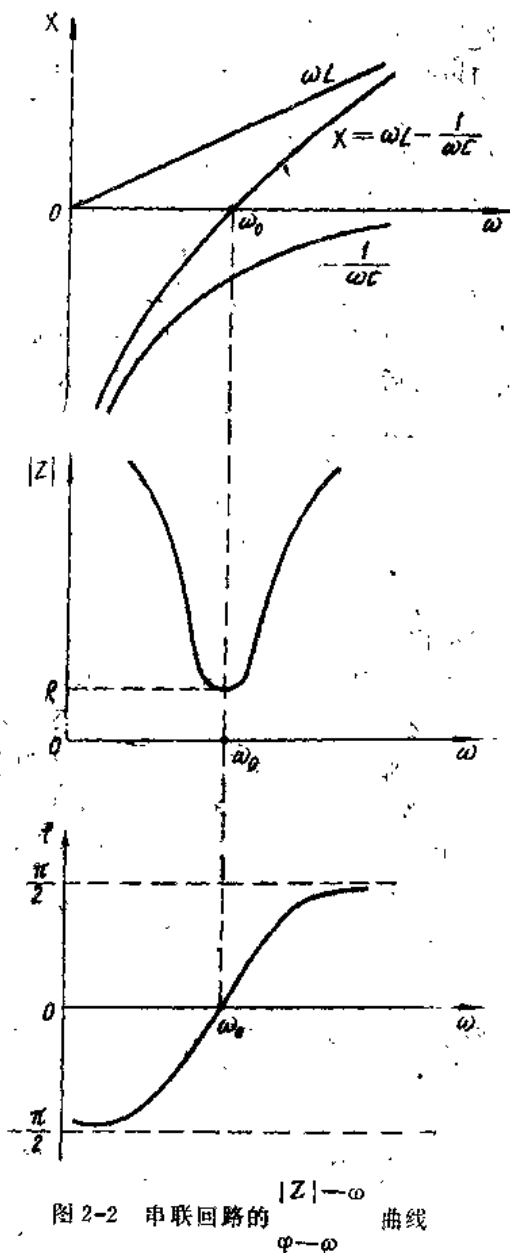


图 2-2 串联回路的 $|Z|-\omega$ 曲线 $\varphi-\omega$