

毛 主 席 语 录

路线是个纲，纲举目张。

我全军将士必须提高军事艺术。

学习的敌人是自己的满足，要认真学习一点东西，
必须从不自满开始。

前 言

遵照伟大领袖毛主席关于“要准备打仗”的教导，为加强部队火炮配套雷达人员的技术训练，我部组织有关人员整理编写了一套雷达基础知识教材。分为《电工基础》、《无线电原理》和《雷达原理》三部分，供雷达技术人员学习和部队训练用。

由于时间仓促，水平有限，可能有不少错误之处，望在使用中总结经验，提出修改意见，以便再版时订正。

总后勤部军械部

一九七五年四月

目 录

第一章 概 述

第一节	无线电通信系统的基本原理	(1)
第二节	无线电发送设备和接收设备的组成	(2)
第三节	无线电信号的概念	(4)
第四节	信号的频谱分析	(6)
一、	非正弦信号的组成	(6)
二、	周期性非正弦信号的频谱	(9)
三、	低频信号的频带和带宽	(9)
四、	视频脉冲信号频谱	(10)
五、	高频信号及其频谱	(12)

第二章 电 子 管

第一节	概 述	(18)
第二节	二极管	(18)
一、	二极管的结构	(18)
二、	二极管的导电特性	(19)
三、	二极管的特性曲线	(20)
四、	二极管的参量	(21)
第三节	三极管	(23)
一、	三极管的结构及符号	(23)
二、	三极管的导电特性	(23)
三、	三极管的特性曲线	(25)
四、	三极管正栅工作特性	(29)
五、	三极管的特性参量	(31)
六、	三极管的极间电容	(35)
七、	三极管的应用	(35)
第四节	五极管和集射管	(37)
一、	五极管	(37)
二、	集射管	(42)
第五节	多极管和复合管	(44)
一、	多极管	(44)
二、	复合管	(45)

第六节 闸流管	(46)
第七节 电子管的使用	(47)
一、电子管的型号	(47)
二、电子管管底接线	(47)
三、极限运用数据	(48)
四、电子管的寿命	(49)
五、电子管的一般故障	(50)
附 录 电子器件的编号	(50)
一、我国电子管编号方法	(50)
二、常用电子管型号对照表	(53)

第三章 放 大 器

第一节 概 述	(58)
第二节 放大器的基本分析方法	(58)
一、放大电路和放大的物理过程	(59)
二、放大器的图解法	(59)
三、等效电路法	(65)
第三节 低频电压放大器	(67)
一、阻容耦合放大器	(68)
二、阻容耦合放大器的频带加宽	(76)
第四节 低频功率放大器	(77)
一、单管功率放大器	(77)
二、推挽功率放大器	(80)
第五节 负反馈放大器	(84)
一、反馈的概念	(84)
二、单级负反馈放大器	(84)
三、阴极输出器	(88)
四、多级负反馈放大器	(91)
第六节 调谐放大器	(92)
一、电 路	(92)
二、调谐放大器的工作原理	(93)
三、单调谐放大器	(93)
四、双调谐放大器	(93)
五、高频功率放大器	(94)
第七节 多级放大器	(98)
一、放大倍数	(98)
二、通频带	(100)
三、通过公共阳极电源的寄生耦合及其抑制方法	(100)

第四章 振荡回路与振荡器

第一节 振荡回路	(106)
一、自由振荡	(106)
二、R-L-C串、并联振荡回路	(111)
三、双电感和双电容并联回路	(117)
第二节 互感耦合电路	(119)
一、耦合电路概述	(119)
二、互感耦合电路的工作物理过程	(119)
三、反射阻抗	(120)
四、双调谐互感耦合电路的频率特性	(122)
第三节 振荡器	(124)
一、自激振荡器的基本工作原理	(125)
二、三点式振荡器	(136)
三、石英晶体振荡器	(141)
四、振荡器工作的检查	(146)

第五章 调制与检波

第一节 调制	(150)
一、调制的基本概念	(150)
二、调幅的基本概念	(151)
三、阳极被调丙类放大器	(153)
四、脉冲调制器工作原理	(155)
第二节 检波器	(158)
一、检波器的基本概念	(158)
二、二极管串联检波器的工作原理	(160)
三、检波器电路介绍	(166)

第六章 变频器

第一节 变频器概述	(169)
一、变频器的作用	(169)
二、变频的方法	(170)
三、对变频器的要求	(172)
第二节 变频器电路	(173)
一、单栅变频器的电路与特点	(173)
二、双栅变频器的电路与特点	(174)
第三节 变频器的工作原理分析	(177)
一、变频管的S曲线	(178)
二、 U_r 控制S的图解	(178)

三、变频管阳流的交流分量	(179)
四、变频器的输出与放大系数	(179)

第七章 整 流 电 源

第一节 单相整流电路	(181)
一、半波整流电路	(181)
二、全波整流电路	(183)
三、桥式整流电路	(184)
第二节 三相整流器	(185)
一、三相半波整流电路	(185)
二、三相桥式整流电路	(186)
第三节 倍压整流电路	(188)
一、全波二倍压整流电路	(188)
二、半波倍压整流电路	(189)
第四节 滤波电路和稳压电路	(190)
一、滤波电路	(190)
二、稳压电路	(195)
第五节 整流电源的使用	(198)
一、典型电路举例	(198)
二、整流电源的使用与检修	(199)
附表一 技术符号代号表	(202)
附表二 注脚符号表	(203)
附表三 分贝表	(204)

第一章 概 述

“无线电”一语原意系指无线电通信，是与“有线电”通信相对立的名称，有强调利用无线电波来完成通信任务的含义。现在，无线电技术的任务已远远超出通信的范围，而与各种科学技术的发展紧密地联系在一起了。因为无线电技术和电子学的发展是互相交织着的，而它们在教育上也是紧密地结合着的。所以严格地讲，无线电学应称为无线电电子学。但由于人们用惯了个称呼，所以我们仍沿用个名称。

无线电的应用范围很广。例如，无线电通信、无线电广播、电视、无线电定位、无线电导航、水下探测、红外线技术、无线电天文学、无线电气象学、无线电遥测遥控、电子计算机、工业电子学、电真空技术、半导体技术等，都属于无线电电子学的领域。我们所说的雷达，就是上面提到的无线电定位，它是利用无线电波反射现象来测定目标位置的技术，是在无线电通信的基础上发展起来的一门科学。

无线电通信的主要任务是利用电磁波将各种电信号由发送者传到接收者，以达传递消息的目的。单就无线电通信而言，可以看成是信号的产生、变换及传输的过程。此过程是靠一系列无线路来实行的。本书首先分析信号的性质并介绍常用的频率分析法，接着研究无线电通信中应用的电子管电路的组成和作用，以期对无线电通信有个比较清楚的了解，为学习雷达兵器打下较好的理论基础。

第一节 无线电通信系统的基本原理

通信的任务是要将代表消息的信号从发送者传输给接收者。在发送到接收之间，信号的传递如果是借助于导线来实现的，就是有线电通信，如果是借助于能在空间传播的电磁波来实现的，则是无线电通信。后者正是我们所要研究的。

消息发送者和接收者所使用的全部技术设备，总称为通信系统。这种系统，表示在图 1—1 中的虚线框内。无线电通信系统包括转换设备、发送设备及接收设备。

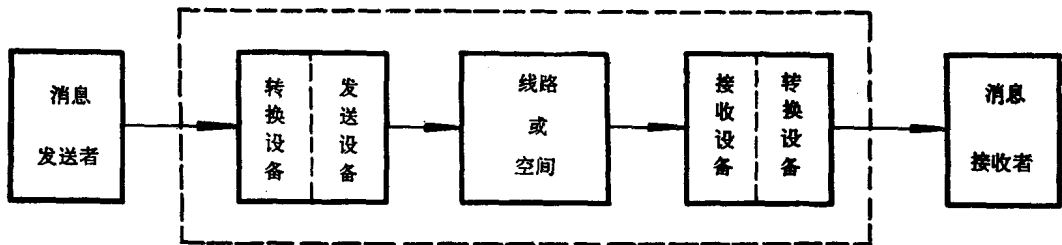


图 1—1 通信系统简图

其中变换设备的作用是将消息变换成电信号。例如，传递的消息是语言，就需要采用声电变换器件(如送话器)，将说话的声音变换成随着它作相应变化的电流或电压。这种由语言

消息直接变换而成的电信号，其频率一般都比较低(20周/秒~20千周/秒)，通常称为低频信号。

低频信号不能有效地辐射到空间去，要想经过空间传递信号，还需要借助于高频振荡(即频率在100千周/秒以上的正弦交流电)。通常是先将低频信号“寄载”在高频振荡上，然后由天线辐射到空间，成为无线电波在空间传播。

为了将低频信号“寄载”在高频振荡上，需要在发射机中以低频信号去控制高频振荡的某一个参数(如振幅)，使它随低频信号的瞬时值而变化。这种控制过程称为调制。其中高频振荡称为载波，低频信号称为调制信号，经过调制以后的高频振荡称为已调信号或高频(射频)信号。

高频信号经天线辐射到空间后，就以无线电波的形式在空间传播。当高频信号被接收机接收后，将它还原为原始的低频信号，再经过变换器件，就能使需要传递的消息重现出来。

由上述可知，无线电通信的基本原理是将原始信号进行一系列的变换，使之借助于无线电波在空中传播。到达接收地点后，又被还原成原来的信号，从而达到了通信的目的。

第二节 无线电发送设备与接收设备的组成

在前一节里，已经提及通信系统的主要任务是将含有信息的信号从发送端传送到接收端。一个通信系统包括发送设备、接收设备和传输信道三个部分。现分别讨论无线电发送设备与接收设备的组成。

一、发送设备的方框图。

一个无线电发送设备包括四个组成部分：高频载波部分、低频信号部分、直流电源部分和传输辐射部分。

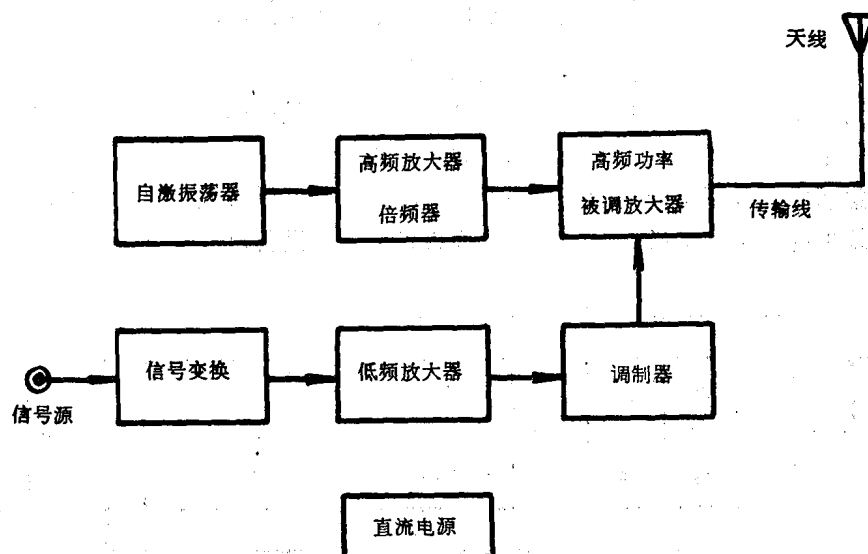


图 1—2 发送设备方框图

在低频部分中，首先须将原始信号转换为电信号。譬如，利用话筒或微音器将声音的高低变换为电流的大小。这样得来的电信号，一般是很微弱的，需要经过放大，才能达到足以

调制高频振荡的电平。信号频率与载波频率相比是较低的。人耳可闻频率仅在 15,000 周/秒以下，电视信号频率限制在 6.5 兆周/秒 以内。而载波频率至少要比信号频率高十倍 以上，所以一般信号称为低频信号。由于信号的频率过低，不能直接辐射，必须借助于高频电磁波的运载才能将信号带到远方。由于载有低频信号的高频电磁波在变化规律上为低频信号所控制，所以低频信号又称为控制信号。

在高频部分中，自激振荡器产生了高频等幅振荡。经过高频放大器和倍频器将振荡幅度和振荡频率提高到所需的数值，然后利用控制信号进行调制。所谓调制就是使高频振荡的内在特征（幅度、频率或相位）之一随着信号的强弱及时间变化的过程。经过调制的高频振荡已含有原信号的消息，称为已调振荡。高频振荡的主要作用在于将信号传播出去，所以高频振荡又简称为载波，其频率称为载频。

直流电源用来供给各部分所需的直流电能。电子管的阳极、帘栅极和控制栅极的直流电压都取自直流电源。最常用到的直流电源是将电网中的交流电经过整流设备后变换为直流电的。在小型设备或晶体管设备中，有时采用电池作为直流电源。

传输和辐射部分包括传输线和天线。这部分的主要功用是将已调高频振荡从发射机传输到天线，再从天线辐射到空间，成为载有信号的电磁波。

总起来说，一个发送设备是由直流、低频和高频三部分组成的，包括了直流能量源，控制信号源和高频辐射源。为了提高电平，应用了低频放大器和高频放大器；为了提高振荡频率，应用了倍频器。调制器和被调放大器是用来进行调制的。

二、接收设备的方框图

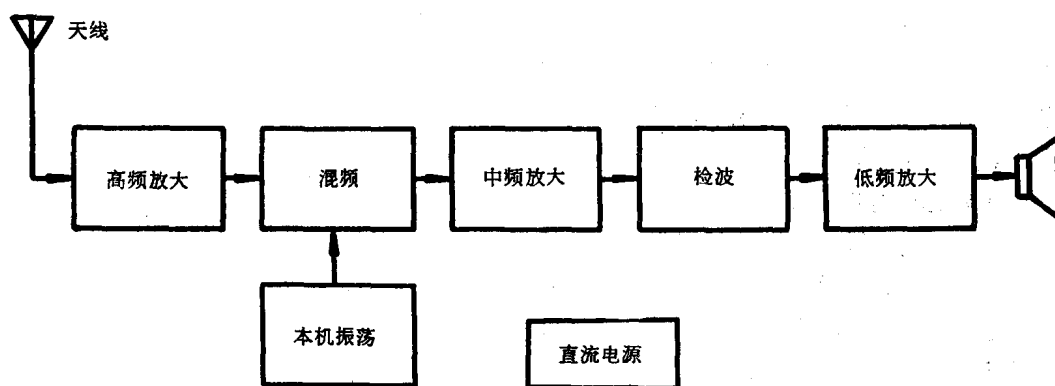


图 1—8 接收设备方框图

从天线接收到的带有信息的高频振荡经过放大后被送入混频器。在混频级，输入的高频振荡与本机振荡相混得中频振荡（在广播接收机中，中频常用 465 千周/秒）经中频放大后，含有信息的中频振荡被送至检波器。检波又称为解调，是调制的相反过程。从已调振荡中检出或解得原来的低频电信号，再经过放大和变换装置，即得原信号。

同发送设备相似，一个接收设备包括直流部分、低频部分、高频部分和传输部分。由于接收过程与发送过程不同，故在接收设备中，应用了检波器与混频器。从以上讨论可知，调制与解调是无线电通信中的两个基本过程。进行调制的主要原因有二：一是便于电磁波的辐射。当天线的长度可以和振荡波长相比时，才能获得有效的辐射。例如，直接辐射频率等于

10,000 周/秒的正弦振荡的低频信号是不可能的, 因为与 10,000 周/秒 振荡相对应的波长为 30,000 米, 即 30 公里, 如要辐射这样低的频率就需要制造几十公里长的辐射体, 这是不可想象的。若将信号附于 30 兆周/秒的载波上, 这时振荡波长仅为 10 米, 天线长度不过几米, 这是很易实现的; 调制的另一原因是便于信道的划分。同频率的信号同时在空间传播, 必将相互干扰。譬如, 在一个地区之内, 若用相同的载波同时广播几个节目, 由于相互干扰, 将无法接收。为了将各广播信号分开, 各电台必须采用不同频率的载波。如果每电台占有 10 千周/秒的频带, 在广播波段 500—1500 千周/秒内, 可容纳 100 个电台。每电台各占的一定的波段, 称为波道。为使不同电台的信号在不同的波道中传输, 各路信号必须按不同载波进行调制。由以上两原因可知, 调制和解调是通信系统的必要过程。

应该指出: 在调制过程中, 在载频的两旁出现了与信号有关的频率分量, 这些频率分量构成了已调振荡的频带。当已调振荡通过线路时, 为避免失真, 线路的通过频带 必须 足够宽, 使已调振荡的各频率分量能全部通过。

第三节 无线电信号的概念

人们相互问讯、发布新闻、传递数据或广播图象, 其目的无非是要把某些消息借一定形式的信号传送出去。信号是消息的表现形式, 消息则是信号的具体内容。

信号的变化可表现为任一物理量的变化, 如果以声音的形式反映一定的消息, 这种信号就称为声音信号(如号音等); 以光的形式反映一定的消息, 这种信号就称为光信号(如信号灯等); 以电的形式反映一定的消息, 这种信号就称为电信号。在无线电技术中, 通常所说的信号, 都是指的电信号。

通信系统的主要任务之一就在于: 将原始的、不便于传送的信号变换为易于传送的信号, 并将此信号通过适当的传输系统送到目的地。为此目的, 我们就必须深入分析各种信号的特征以及它们的基本性质。

任一信号既表现为一种物理量的变化, 那么都可表示为时间的函数。将这时间函数绘出, 即得信号波形。图 1—4 所示波形中, (a) 是音频信号, 因在发射设备中, 是用它去调制高频振荡的, 所以又叫做调制信号; (b) 是高频振荡, 信号就是骑在它上面辐射到空中去的, 所以又叫做载波; (c) 是已调振荡。

信号波形虽然花样很多, 但根据其特点可分为非周期信号(单一脉冲)、周期信号、概周期信号和随机信号四类。在通信系统中所遇到的实际信号都可认为是这四类信号的组合。

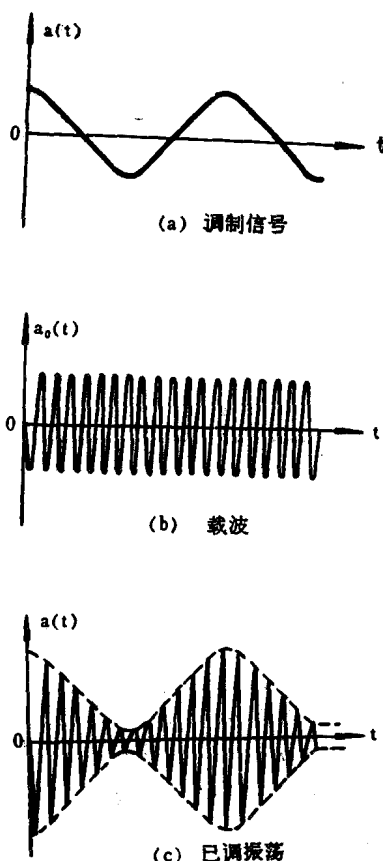


图 1—4 调制信号、载波及已调振荡

(一) 非周期信号——单一脉冲

所谓非周期信号就是在时间上不具有周而复始的性质的信号，在实际应用中，经常遇到的单一脉冲信号就是非周期信号。

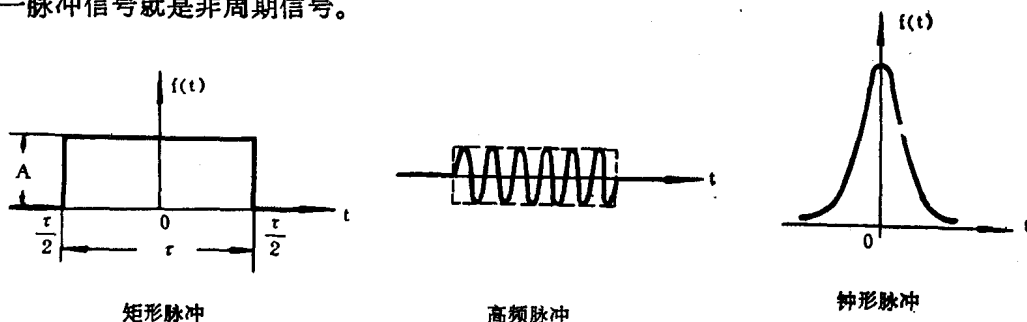


图 1—5 非周期信号举例

图 1—5 中示出了几种脉冲波形。

(二) 周期信号

所谓周期信号就是以一定的时间间隔周而复始的信号。

它满足

$$f(t) = f(t + nT).$$

的关系，如图 1—6 所示，其中 n 为任意整数满足上式关系的最小 T 值，称为信号的周期。雷达兵器原理中遇到的信号，大多数是周期信号。

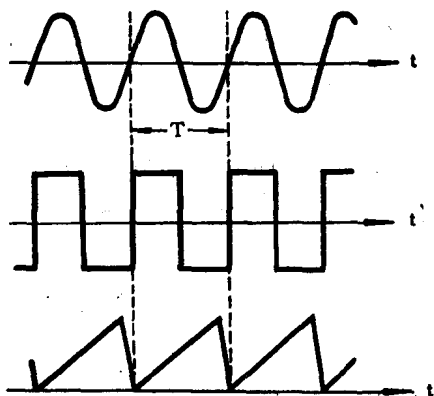


图 1—6 周期信号

(三) 概周期信号

有限个周期不成公倍数的周期信号之和构成了概周期信号。严格地讲，概周期信号并不满足所定义的周期条件。例如，概周期信号

$$f(t) = \cos \omega t + \cos \sqrt{2} \omega t$$

是由两个不同频率的周期信号组成。由于我们不能严格地找到 $f(t)$ 的周期，所以 $f(t)$ 不能称为周期信号。若近似地取 $\sqrt{2} = 1.4$ ，那末 $f(t)$ 便可近似地看为是周期等于 10π 的周期信号；若要求更准确一些，取 $\sqrt{2} = 1.41$ ，那末 $f(t)$ 的周期将从 10π 增加到 200π 。逐步提高准确程度，即增加 $\sqrt{2}$ 的近似数值的位数， $f(t)$ 的近似周期将随之逐渐趋于无限大。由此可知，概周期信号的周期是不存在的，只有近似的周期，并且这近似周期也是随着近似的程度而改变的。

(四) 随机信号

“随机”两字的本义含有不可预测的意思，不能用单一时间函数表达出来。所谓随机信号是指一些不规则的信号。由于随机信号的不规则性，对这类信号的分析，就不得不从概率和统计着手。例如，从一障碍物反射回来的雷达信号，其出现的时间和信号的强度都是随机的，不是按照一定的时间规律出现的。只有利用统计的方法，才能找到这种信号出现时间及其强度的统计规律。

第四节 信号的频谱分析

信号波形已经比较直观地反映出信号的特征,但在实际应用中,为了便于分析,我们往往将较为复杂的信号分解为简单信号之和,犹如将任一方向之力分解为几个分力一样。在无线电技术中,最常用到的分解方法有二:

一是将信号分解为许多相邻的窄脉冲,称为时域分析。

另一是将信号分解为许多不同频率的正弦分量之和,这就是信号的频谱分析,它是广泛应用的一种电路分析方法。

一、非正弦信号的组成

因为分解和合成从两个侧面说明了同一问题,所以在讨论非正弦信号的组成时,我们可以先研究正弦波的合成,再研究非正弦波的分解。

(一) 正弦波的合成

毛主席说:“就人类认识运动的秩序说来,总是由认识个别的和特殊的事物,逐步地扩大到认识一般的事物。”为了认识正弦波合成的一般规律,我们从几个个别的例子开始讨论。

【例1】 有两个正弦交流电压 u_1 和 u_2 , $u_1 = 30 \sin \omega t$ 、 $u_2 = 10 \sin 2\omega t$ (式中 $\omega = 2\pi f$), 试求它们的合成波形。

解:

1. 在同一坐标上分别画出 u_1 、 u_2 波形,如图1—7所示。

2. 指定 t 的数值,求 u_1 、 u_2 的数值。将 $u_1 + u_2$ 为纵坐标,指定的 t 为横坐标,在图上

标出一点。若依次指定 t 为 $\frac{T}{8}$ 、 $\frac{T}{4}$ 、 $\frac{3T}{8}$ 、……, ($T = 1/f$), 则可标出点 A、B、C……。

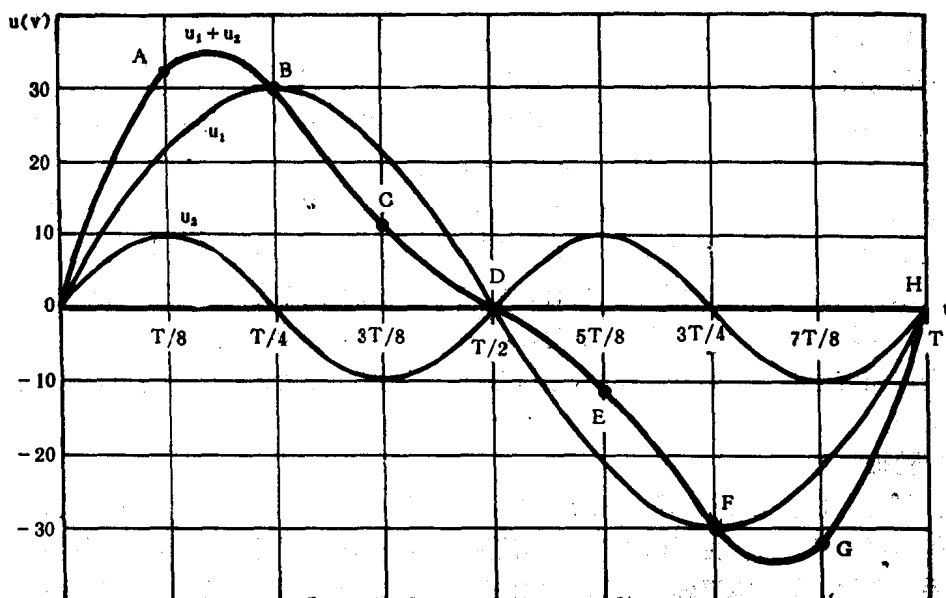


图1—7 正弦波的合成 ($30 \sin \omega t + 10 \sin 2\omega t$)

具体计算列表如下:

表 1-1

$30\sin\omega t + 10\sin 2\omega t$ 的计算

t	0	$\frac{T}{8}$	$\frac{T}{4}$	$\frac{3T}{8}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{5T}{8}$	$\frac{3T}{4}$	$\frac{7T}{8}$	T
u_1	0	21.2	30	21.2	0	-21.2	-30	-21.2	0
u_2	0	10	0	-10	0	10	0	-10	0
$u_1 + u_2$	0	31.2	30	11.2	0	-11.2	-30	-31.2	0
合成点	座标原点	A	B	C	D	E	F	G	H

对应 $t = \frac{9}{8}T$ 、 $t = \frac{5}{4}T$ ……等等时间 $u_1 + u_2$ 的数值, 和对应 $t = \frac{T}{8}$ 、 $t = \frac{T}{4}$ ……等等时

间 $u_1 + u_2$ 的数值相同, 即 $u_1 + u_2$ 数值呈周期性重复(周期为 $T = \frac{1}{f}$), 因而列表计算到 $t = T$ 就

可以了。

3. 将点 A、B、C……用光滑的曲线连接起来, 就是 $u_1 + u_2$ 的波形, 亦即 u_1 和 u_2 的合成波形, 如图 1-7 所示。

【例 2】如果有两个正弦交流电压, $u_1 = 30\sin\omega t$ 、 $u_2 = 10\sin 3\omega t$, 试求它们的合成波形。

解: 解题方法同例 1, 解得 u_1 、 u_2 的合成波形如图 1-8。

【例 3】同例 1, 如果在 u_1 与 u_2 迭加后再迭加一直流电压 $u_3 = 10$ 伏, 求合成波形。

解: $u_1 = 30\sin\omega t$, $u_2 = 10\sin 2\omega t$ 其合成波形如图 1-7。在此基础上迭加 $u_3 = 10$,

则 $t = 0$ 时, $u_1 + u_2 + u_3 = 10$; $t = \frac{T}{8}$ 时, $u_1 + u_2 + u_3 = 41.2$;

$t = \frac{T}{4}$ 时, $u_1 + u_2 + u_3 = 40$; ……。

因此, 将图 1-7 中 A 点、B 点、……H 点沿垂直方向向上移动一个方格(相当于 10 伏)。再将各点联结起来, 就是所求的合成波形, 如图 1-9 所示。

根据以上几个例题的分析, 可以得到如下的结论:

1. 不同频率的正弦波迭加, 其合成波形是非正弦波。如果各正弦波的频率成整数倍的关系, 如例 1 中的两个正弦波频率分别为 f 和 $2f$, 例 2 中的分别为 f 和 $3f$, 则合成波形是周期性非正弦波。

由此不难推论出, 频率为 f 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ ……的正弦波迭加起来, 其合成波形都是周期性非正弦波。

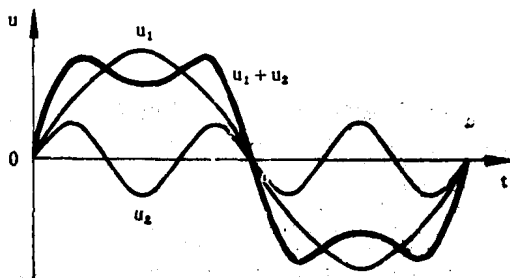


图 1-8 正弦波的合成
($30\sin\omega t + 10\sin 3\omega t$)

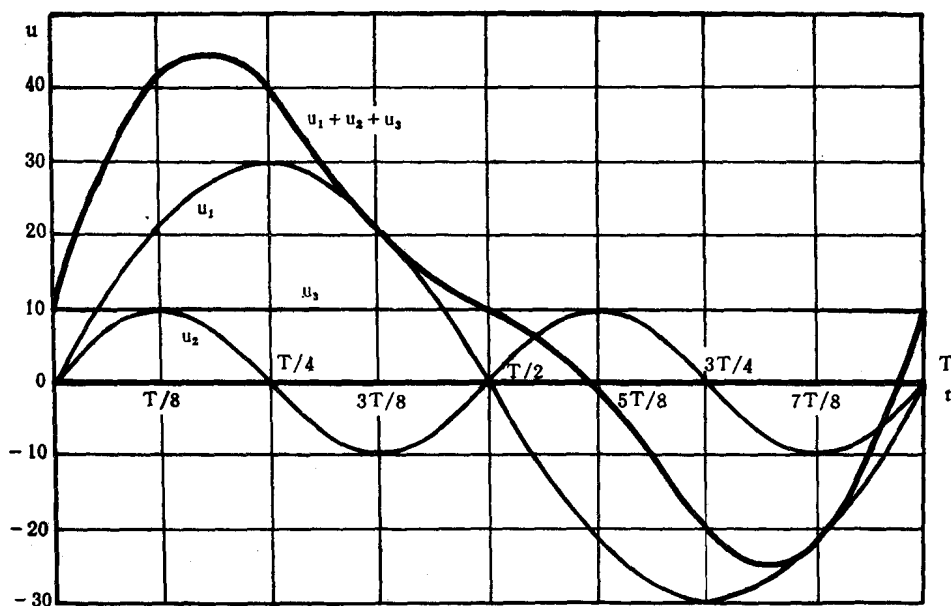


图1—9 正弦波的合成
($10 + 30\sin\omega t + 10\sin 2\omega t$)

2. 频率成整数倍关系的各正弦波迭加, 得到的周期性非正弦波, 其重复频率和各正弦波频率中的最低频率相等。如以上三个例题, 正弦波频率最低的是 f , 则合成非正弦波的重复频率也是 f 。

3. 如果迭加的各波形都是正弦波, 它们的频率是 $f, 2f, 3f, 4f, \dots$, 则迭加结果所得的合成波形, 它在坐标横轴以上的部分和在坐标横轴以下的部分, 其形状和大小完全一样 (通常叫做对称)。如果迭加的各波形中包含有直流 (其波形是平行于坐标横轴的直线), 那么合成波形在坐标横轴以上的部分和在坐标横轴以下的部分, 其形状和大小就不一样, 也就是不对称。但无论那种情况, 合成波形都是周期性非正弦波。

(二) 非正弦波的分解

如上所述, 许多不同频率, 不同幅度的正弦波 (可能还有直流) 可以合成为非正弦波。反过来说, 非正弦波就可以分解为许多不同频率、不同幅度的正弦波 (可能还有直流)。例如图 1—7 所示的非正弦波, 可以分解为两个正弦波, 即 $u_1 = 30\sin\omega t$ 和 $u_2 = 10\sin 2\omega t$; 图 1—8 所示的非正弦波也可以分解为两个正弦波, 即 $u_1 = 30\sin\omega t$ 和 $u_2 = 10\sin 3\omega t$; 等等。

一般地说, 任何周期性非正弦波, 如果其重复频率为 f , 那么它就可以分解成直流成分以及频率为 $f, 2f, 3f, \dots, nf$ 的正弦交流成分。其中频率为 f (即与非正弦波重复频率相同) 的正弦交流成分叫做基波; 频率为 $2f$ 的正弦交流成分叫做二次谐波; 频率为 $3f$ 的正弦交流成分叫做三次谐波; $\dots$ 频率为 nf 的正弦交流成分叫做 n 次谐波。

周期性的非正弦电压 u 可以用数学式子表达如下:

$$\begin{aligned}
 u &= U_0 && \text{(直流成分)} \\
 &+ U_{1m}\sin(\omega t + \varphi_1) && \text{(基 波)} \\
 &+ U_{2m}\sin(2\omega t + \varphi_2) && \text{(二次谐波)} \\
 &+ U_{3m}\sin(3\omega t + \varphi_3) && \text{(三次谐波)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ \dots\dots \\
 &+ U_{nm} \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (n \text{ 次谐波}) \\
 &+ \dots\dots \dots\dots\dots\dots (1-1)
 \end{aligned}$$

当然，非正弦信号的波形不同，其组成成分也不相同。如图 1—7 所示的非正弦波，就只包含有基波和二次谐波，其直流成分和三次以上的谐波均等于零。图 1—8 所示的非正弦波就只包含有基波和三次谐波，其直流成分、二次谐波和四次以上的谐波均等于零。

二、周期性非正弦信号的频谱

频谱图是用来表示非正弦信号组成情况的一种方法。常见的幅度频谱图，是以频率为横坐标，以幅度为纵坐标，将非正弦信号各组成分量按其频率和幅度的数值画在坐标上得到的。一个组成分量用一个垂直线段来表示，线段的长度相当于该分量的幅度，线段在横坐标上的位置代表该分量的频率，此线段称为谱线。例如，图 1—7 所示非正弦信号的幅度频谱，如图 1—10(a)；图 1—8 所示非正弦信号的幅度频谱，如图 1—10(b)。如果非正弦波中包含有直流分量，作频谱图时则将此分量画在纵坐标轴上(即相当于频率为零的位置)。例如图 1—9 所示非正弦信号，其幅度频谱如图 1—10(c)所示。

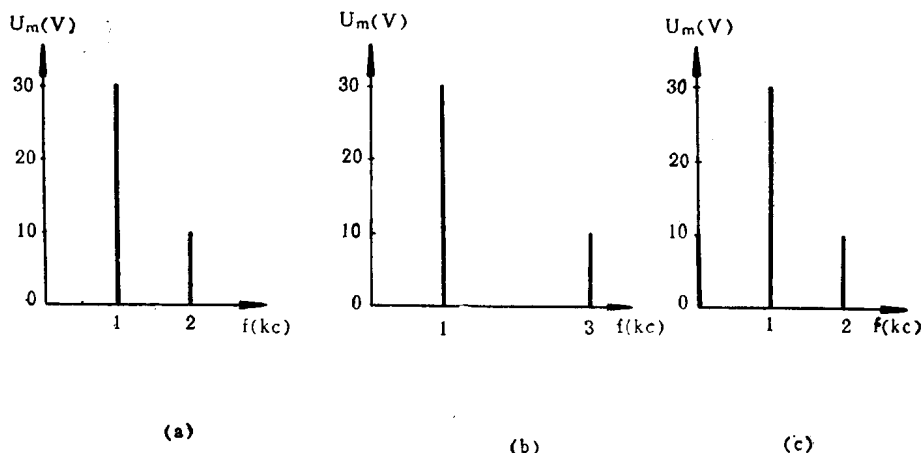


图 1—10 低频信号的频谱举例

三、低频信号的频带和带宽

研究信号的组成和频谱的目的之一，就是为了知道信号的频带或带宽。这样才便于在传递信号时，根据信号频带和带宽采取相应的电路，以保证信号的质量。

什么是信号的频带？我们从前面讨论已经知道，非正弦信号是由许多不同频率的正弦分量组成的。通常把这些分量中最高频率与最低频率之间所包含的频率范围称之为信号的频带。例如前面图 1—9 所示的非正弦信号，若其重复频率为 1000 周/秒，则组成这个非正弦波的分量最高频率是 2000 周/秒、最低频率是 0 (可以认为直流分量的频率为零)，信号的频带为 0~2000 周/秒。

在实际应用中，有时不用信号各分量中最高频率与最低频率的绝对值来说明信号的组成，而是用最高频率与最低频率之差来说明信号的组成。通常把信号各分量中最高频率与最低频率之差，叫做信号的频带宽度(简称带宽)。例如，图 1—9 所示非正弦信号，它的频带

宽度为 2000 周/秒。

四、视频脉冲信号频谱

为了便于今后学习兵器，下面我们再着重分析一下雷达视频脉冲的频谱。

雷达视频脉冲是一种周期性的矩形脉冲。如图 1—11 所示。脉冲持续时间为 τ ，重复周期为 T ，脉冲幅度为 U_m 。

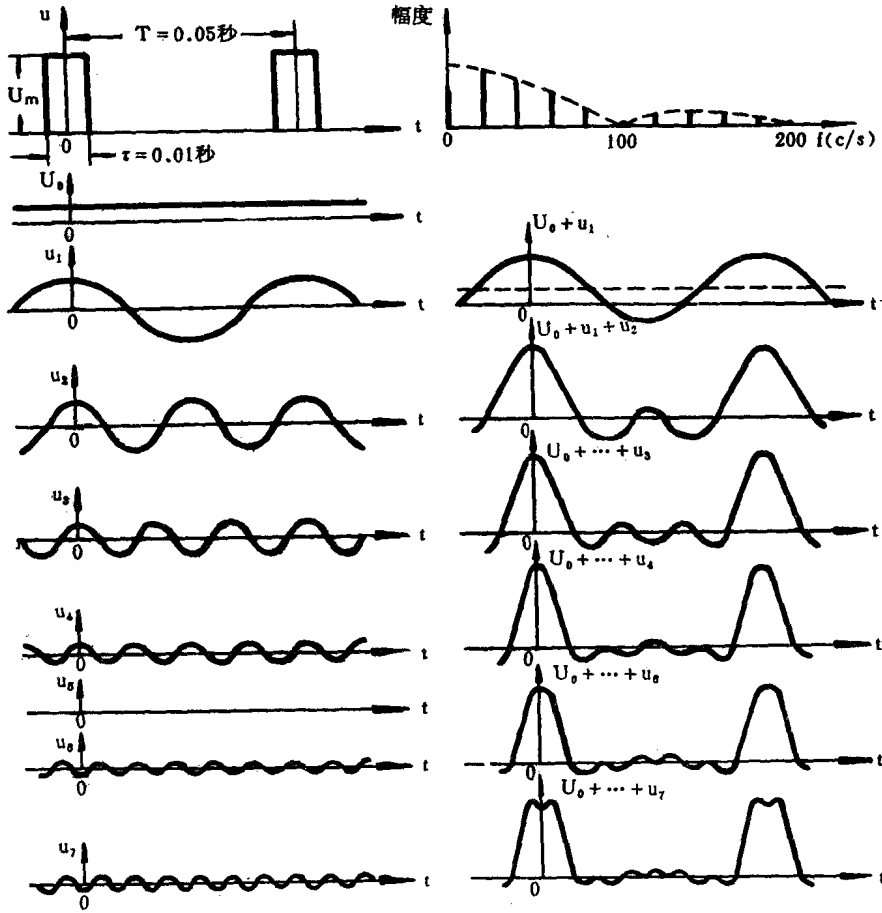


图 1—11 视频脉冲的组成及其频谱

对于周期性视频脉冲电压，用 (1—1) 数学公式表示如下：

$$u = \frac{U_m \tau}{T} \quad (\text{直流分量})$$

$$+ \frac{2 U_m}{\pi} \sin \frac{\pi \tau}{T} \cos \omega t \quad (\text{基 波})$$

$$+ \frac{2 U_m}{2\pi} \sin \frac{2 \pi \tau}{T} \cos 2\omega t \quad (\text{二次谐波})$$

$$+ \frac{2 U_m}{3\pi} \sin \frac{3\pi\tau}{T} \cos 3\omega t \quad (\text{三次谐波})$$

+

.....

$$+ \frac{2 U_m}{n\pi} \sin \frac{n\pi\tau}{T} \cos n\omega t \quad (n \text{ 次谐波})$$

+

(1-2)

若将 $\tau = 0.01$ 秒、 $T = 0.05$ 秒代入上式，不难得到各分量的幅度与脉冲幅度的关系：

直流成分： $U_0 = \frac{U_m \tau}{T} = 0.2 U_m$

基波成分： $U_{1m} = \frac{2 U_m}{\pi} \sin \frac{\pi\tau}{T} = 0.374 U_m$

二次谐波成分： $U_{2m} = \frac{U_m}{\pi} \sin \frac{2\pi\tau}{T} = 0.302 U_m$

三次谐波成分： $U_{3m} = \frac{2 U_m}{3\pi} \sin \frac{3\pi\tau}{T} = 0.201 U_m$

.....

图 1—11 中表示直流、基波和谐波成分及其迭加情况，由图可知，加到七次谐波成分，合成波形就已经很接近于一个对称矩形波了。若继续迭加七次以上的谐波，则波形更接近于矩形。不过随着谐波次数的增高，谐波分量的幅度其总趋势是减小的。因此再迭加八次谐波、九次谐波，甚至迭加更高次谐波，合成波形的变化也不明显了。这就是说，组成周期性视频脉冲的成分，主要是基波和低次谐波，高次谐波对合成波形的形状虽然也有影响，但影响不大。这种影响主要是改变了合成波形的边沿陡直程度。

图 1—11 还画出了周期性视频脉冲的频谱。在频谱图中，谱线之间的频率间隔是均匀的，某些谱线之间的频率间隔比基波频率大一倍，是由于视频脉冲有些谐波分量的幅度等于零的缘故。例如，当视频脉冲的宽度为 0.01 秒、重复周期为 0.05 秒（重复频率 $F = 20$ 周/秒）时，其 5 次谐波（频率为 $5F = 100$ 周/秒）、10 次谐波（频率为 $10F = 200$ 周/秒）等谐波分量的幅度就等于零。

幅度等于零的谐波频率可推算如下：

由于 (1-2) 式中的 n 项代表任意次谐波，若其幅度等于零，必须 $\frac{2 U_m}{n\pi} \sin \frac{n\pi\tau}{T} = 0$,

亦即

$$\frac{n\pi\tau}{T} = k\pi \quad (k \text{ 取任意正整数}),$$

因为 $F = \frac{1}{T}$ ，所以

$$nF = \frac{k}{\tau} \quad \dots\dots\dots (1-3)$$