

无线电讲义

(技师班用)

中国人民解放军空军第四专科学校

一九七三年六月

建立一支强大
的人民空军，
保卫祖国，
准备粉碎敌人
的侵略。东

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

军队要严格训练，严格要求，才能打仗。

马克思主义看重理论，正是，也仅仅是，因为它能够指导行动。

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。

“世上无难事，只怕有心人。”入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。

要把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上，不要只是跟在教员后面跑，自己没有主动性。

要自学，靠自己学。

目 录

第一章 信号及其频谱

第一节 无线电设备传递信号的基本过程	1
一、什么是信号	1
二、无线电通信设备的基本工作	1
三、雷达设备的基本工作	2
第二节 低频信号及其频谱	3
一、非正弦信号的组成	4
二、周期性非正弦信号的频谱	9
三、低频信号的频带和带宽	12
第三节 高频信号及其频谱	13
一、已调幅信号的组成	13
二、高频脉冲的频谱	15
三、高频信号的频带和带宽	16

第二章 电子管

第一节 二极管	20
一、二极管的结构	20
二、二极管的导电特性	21
三、二极管的特性曲线	23
四、二极管的直流内阻	24
五、二极管的应用	25
第二节 三极管	26
一、三极管的结构	26
二、三极管的导电特性	26
三、三极管的特性曲线	29
四、三极管正栅工作特性	32
五、三极管的特性参量	34
六、三极管的极间电容	38
七、三极管的应用	38
第三节 五极管和集射管	39
一、五极管	39
二、集射管	45

第四节 电子管的使用	47
附 录 电子器件的编号	50
一、我国电子管编号方法	51
二、常用电子管型号对照表	53

第三章 低 频 放 大 器

第一节 基本放大电路	58
一、放大电路和放大的物理过程	59
二、图解法和等效电路法	60
三、单级放大电路的组成	74
第二节 低频电压放大器	76
一、阻容耦合放大器	77
二、高频补偿放大器	89
第三节 低频功率放大器	91
一、单管低频功率放大器	91
二、推挽式低频功率放大器	94
第四节 负回输放大器	99
一、单级负回输放大器	100
二、阴极输出器	107
三、多级负回输放大器举例	111
第五节 多级放大器	113
一、放大倍数	113
二、通频带	114
三、通过公共阳极电源的寄生耦合及其抑制方法	115

第四章 振 荡 回 路

第一节 自由振荡	121
一、自由振荡的产生	121
二、自由振荡的振幅和频率	124
三、自由振荡的衰减	125
四、回路并联电阻对振荡的影响	126
第二节 $r-L-C$ 串、并联回路	127
一、串、并联回路基本特性比较	127
二、并联回路的选择作用和通频带	129
三、并联回路应用中的几个问题	132
四、双电感和双电容并联回路	133
第三节 互感耦合电路	135
一、互感耦合电路的工作物理过程	135
二、反射阻抗	136

三、双调谐互感耦合电路的频率特性	138
------------------	-----

第五章 高频放大器

第一节 高频电压放大器	143
一、电路结构	143
二、放大倍数	144
三、频率特性曲线	144
第二节 高频功率放大器	145
一、基本工作原理	145
二、电源馈电电路	146

第六章 高频振荡器

第一节 基本工作原理	151
一、产生自激振荡的物理过程	151
二、维持自激振荡的条件	154
三、振荡振幅的分析	155
四、振荡频率及其稳定	160
第二节 三点式振荡器	163
一、电感回输三点式振荡器电路分析	164
二、电容回输三点式振荡器电路分析	165
三、三点式振荡器的组成原则	166
四、三点式振荡器的变形电路	167
第三节 石英晶体振荡器	168
一、电路结构	168
二、振荡条件的分析	168
三、石英晶体振荡器的特点	171
四、电子耦合晶体振荡器	172
第四节 振荡器工作的检查	173

第七章 整流电源

第一节 整流电路	175
一、半波整流电路	175
二、全波整流电路	176
三、桥式整流电路	177
第二节 滤波电路和稳压电路	179
一、滤波电路	179
二、稳压电路	181
第三节 整流电源的使用	185

第一章 信号及其频谱

内 容 提 示

毛主席教导我们：“懂得了全局性的东西，就更会使用局部性的东西，因为局部性的东西是隶属于全局性的东西的。”^①为了理解本课程要研究的放大器、振荡器、整流器等主要电路在无线电设备（包括雷达设备）中的地位，我们在这一章将首先介绍一下无线电设备的基本工作。

毛主席还教导我们：“不论做什么事，不懂得那件事的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不知道如何去做，就不能做好那件事。”^②无线电设备中的主要电路是用来产生信号、放大信号、变换信号的，如果不懂得信号的情形，它的性质和结构规律，就难于研究这些电路的工作，因此，这一章要着重讨论信号及其频谱的知识。

第一节 无线电设备传递信号的基本过程

无线电通信、广播、导航、遥控以及无线电定位（雷达）等无线电设备，要完成的具体任务虽然各有不同，但是都要传递信号这一点是共同的，因此它们的工作也有共同之处。这一节，我们要讨论的是无线电通信设备和雷达设备的基本工作。而为了讨论这个问题，需要先介绍一下信号的概念。

一、什么是信号

步兵作战时，常用号音实施指挥或进行联络；舰艇作战时，常用灯光、旗帜实施指挥或进行联络。由于号音和不同的旗帜都代表一定的命令，或者反映一定的消息，所以它们都叫做信号。

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。

不论声音信号或是光信号，由于受到人们听力和视力的限制，传递消息的有效距离不可能很远。但是电信号却可借助一些设备，如无线电设备，将消息传递到很远的地方。

二、无线电通信设备的基本工作

（一）信号传递过程

无线电通信，是利用无线电波来传递信号的。图1—1是无线电通信中信号传递过程的

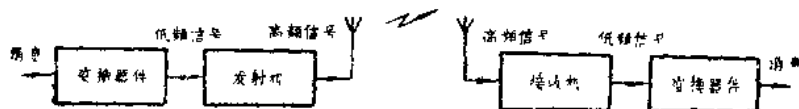


图1—1 信号传递过程的示意图

① 《中国革命战争的战略问题》。《毛泽东选集》，人民出版社1967年袖珍一卷本，第159页。

② 同上，第155页。

示意图。

图1—1左方是发送信号部分，其中变换器件的作用是将消息转换成电信号。例如，传送的消息是语言，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（图1—1右方）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。

（二）发射机、接收机的组成和工作

图1—2说明了一般无线电通信中发射机和接收机的概略组成。现将各组成部分的作用分述如下：

1. 发射机——由振荡器、调制器等部分组成。其中低频放大器的作用是将输入的、代表一定消息的低频信号加以放大，也就是在保持信号波形不变的条件下，将信号的振幅增大。振荡器的作用是产生等幅的高频交流电，即载波。调制器的作用则是将调制信号（低频信号）调制载波，输出已调信号（高频信号）。

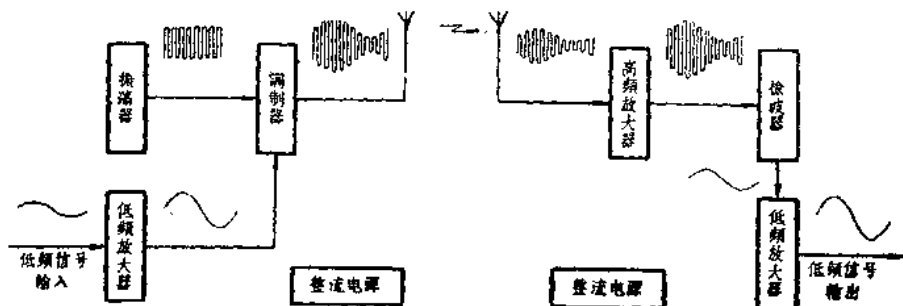


图1—2 无线电通信发射机和接收机的概略组成

2. 接收机——由高频放大器、检波器、低频放大器等部分组成。其中高频放大器的作用是放大高频信号。检波器的作用是将已调信号（高频信号）恢复为原来的低频信号。低频放大器的作用则是将低频信号加以放大后再输出。

此外，无论是发射机或是接收机都需要整流电源，用以供给收、发设备各部分所需的交直流电能。

三、雷达设备的基本工作

雷达是利用电波反射现象来测定目标位置的无线电设备。关于测定目标位置的原理，以

后在专业课程中将详细加以讨论。现在我们只简要说明一下雷达发射设备、雷达接收设备的概略组成和工作。

常见的脉冲雷达的发射机、接收机的组成概略情况如图 1—3 所示。其中调制器的作用是产生周期性的脉冲，这样的脉冲通常叫做视频脉冲。振荡器则受视频脉冲的调制，产生高频脉冲，此高频脉冲相当于无线电通信中的高频信号。当高频脉冲从天线辐射到空间后，就以无线电波的形式在空间传播，并且在碰到目标后立即反射回来。

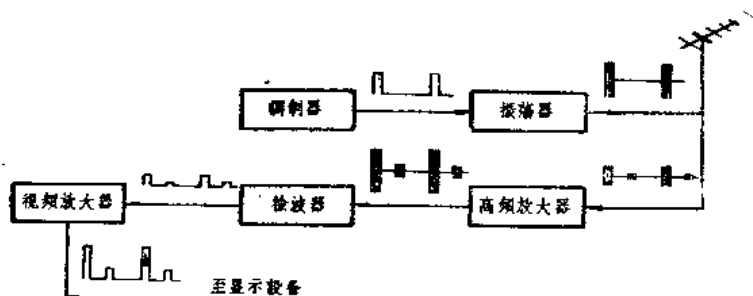


图1—3 脉冲雷达发射机和接收机的概略组成

天线收下反射回来的回波信号，将它送到接收机。接收机对回波信号进行放大、检波，使之还原成为视频脉冲信号，再经过视频放大器的放大，输出到雷达显示器。显示器功用之一，是将接收设备输出的电信号变换成可见信号。根据显示器上显示的可见信号情况，就可以判定目标的位置了。

由上所述可见，雷达设备和无线电通信设备有许多类似的地方。但脉冲雷达也有自己显著的特点，即调制信号是视频脉冲，因此各组成部分的输入和输出信号，都是脉冲信号（参见图 1—3 中所示波形）。

小 结

这一节概略介绍了无线电通信设备和雷达设备的基本工作。从介绍的内容可以看出，放大器、振荡器等电路是上述设备不可缺少的组成部分。因此，本课程将逐一研究这些单元电路，以便为今后学习、使用兵器奠定基础。

无线电通信是利用无线电波来传递信号的。如果传递的信号是语言，发射方需要将声音变换为电信号（低频信号），并使它调制高频振荡，变换为高频信号从天线发射出去。接收方收到高频信号，需要将它放大再还原为低频信号，最后再变换成为声音。

雷达，是利用无线电波反射现象来测定目标位置的。脉冲雷达的原始电信号是视频脉冲，其发射机、接收机各电路的输入、输出信号都是脉冲信号。

第二节 低频信号及其频谱

从上一节讨论的问题可以看出，信号的放大与变换过程，是研究无线电设备各电路必然

要涉及的问题。正如恩格斯所说的：“必须先研究事物，而后才能研究过程。”^①我们在研究信号放大、变换过程之前，也有必要先了解信号的性质和组成。本节讨论低频信号及其频谱，主要是要说明非正弦信号（由声音变换成的电信号或视频脉冲都是非正弦信号）是怎样组成的，以及怎样用频谱图表示低频信号的组成情况。

讨论非正弦信号的目的是，为广泛应用的一种电路分析方法（频率分析法）奠定基础。今后分析放大电路等都将应用这样的分析方法。

一、非正弦信号的组成

唯物辩证法认为，凡事可分。一束白光通过分光镜可以分解为红、橙、黄、绿、青、兰、紫七色可见光；一个非正弦信号（低频信号）也可以分解为许多不同频率、不同幅度的正弦波。换句话说，白光是由七色可见光组成的；非正弦波是由许多正弦波组成的。如果将七色可见光按适当的强度比例迭加起来，可以合成为白光；如果将许多不同频率的正弦波按适当的幅度比例迭加起来，也可以合成为一个非正弦波。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。”^②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 的幅度为30伏，频率为 f （如1000周/秒）； u_2 的幅度为10伏，频率为 $2f$ （如2000周/秒）。即 $u_1 = 30\sin\omega t$ 、 $u_2 = 10\sin 2\omega t$ （式中 $\omega = 2\pi f$ ），试求它们的合成波形。

解：1. 在同一座标上分别画出 u_1 、 u_2 波形，如图1—4细线所示。

2. 指定 t 的数值，求 u_1 、 u_2 的数值。将 $u_1 + u_2$ 为纵座标，指定的 t 为横座标，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 ……。具体计算列表如下：

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

表1—1

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

① 《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》，人民出版社1972年版，第35页。

② 《矛盾论》，《毛泽东选集》，人民出版社1967年袖珍一卷本，第284页。

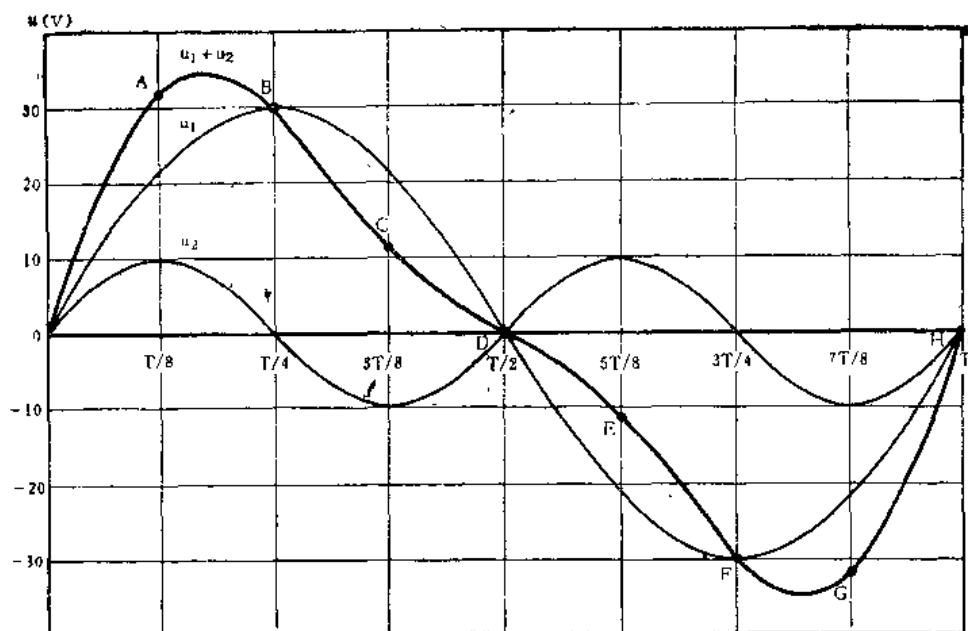


图1-4 正弦波的合成($30\sin\omega t + 10\sin 2\omega t$)

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 $t = \frac{1}{8}T$ 、 $t = \frac{T}{4}$ ……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 1-4 粗线所示。

【例 2】如果有两个正弦交流电压, 其幅度分别为 30 伏和 10 伏, 频率分别为 f (如 1000 周/秒), $3f$ (如 3000 周/秒)。即 $u_1 = 30\sin\omega t$ 、 $u_2 = 10\sin 3\omega t$, 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 1-5。

【例 3】同例 2, 但两正弦波的幅度分别为 30 伏和 20 伏, 求合成波形。

解: 解题方法仍然和例 1 一样, 解得 $u_1 = 30\sin\omega t$ 、 $u_2 = 20\sin 3\omega t$ 的合成波形如图 1-6。

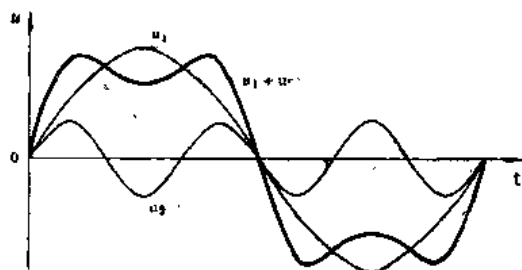


图1-5 正弦波的合成
($30\sin\omega t + 10\sin 3\omega t$)

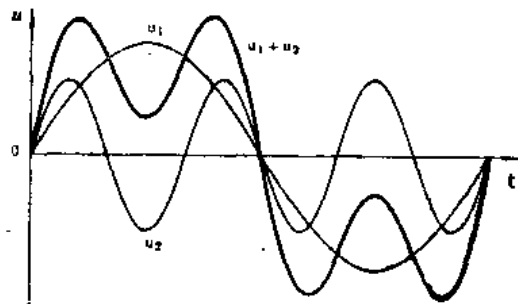


图1-6 正弦波的合成
($30\sin\omega t + 20\sin 3\omega t$)

【例4】有两个正弦波，其幅度分别为30伏、10伏，频率分别为 f 、 $3f$ （以上条件同例2），并且前者的初相角为零，后者初相角为 π 。即 $u_1 = 30\sin\omega t$ 、 $u_2 = 10\sin(3\omega t + \pi)$ ，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—7。

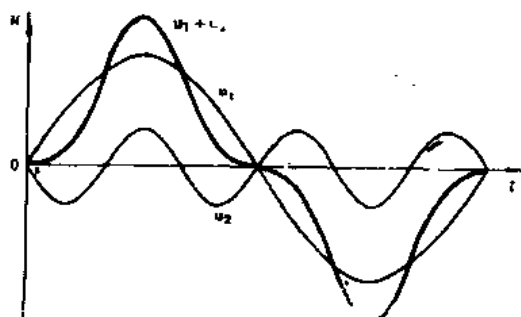


图1—7 正弦波的合成
($30\sin\omega t + 10\sin(3\omega t + \pi)$)

【例5】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—4。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—4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—8所示。

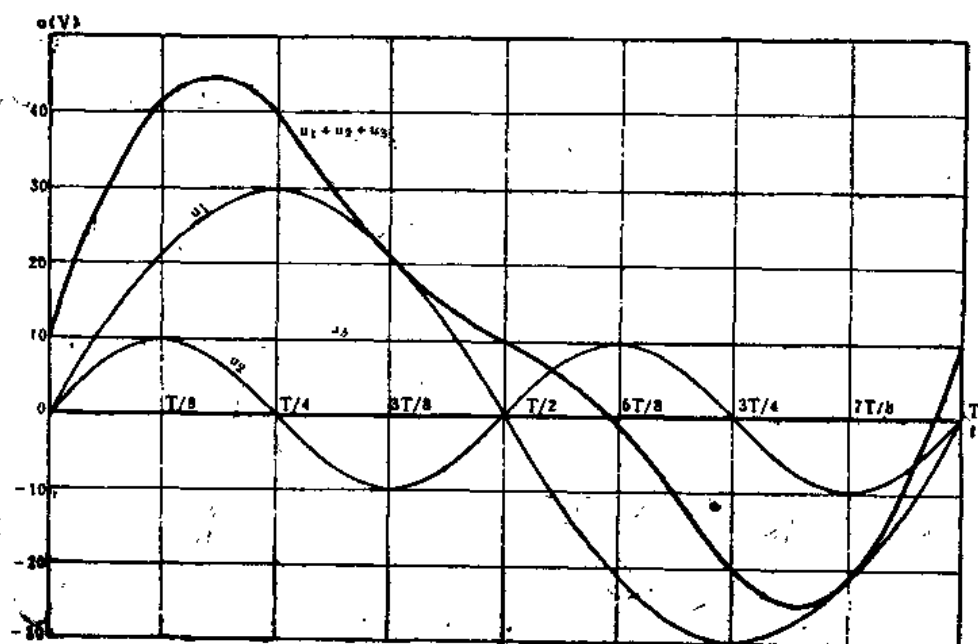


图1—8 正弦波的合成

图1—8 正弦波的合成

$$(10 + 30\sin\omega t + 10\sin 2\omega t)$$

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,则合成波形是周期性非正弦波。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 $3f$,其合成的波形都是周期性非正弦波。

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。

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,其频率和各正弦波频率中的最低频率相等。如以上四个例题,正弦波频率最低的是 f ,则合成非正弦波的频率也是 f 。一般地说,频率为 f 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ ……的正弦波合成的非正弦波,其交变的频率是 f ,通常称之为非正弦波的重复频率。

3. 同样是频率为 f 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ ……的几个正弦波迭加,如果各正弦波幅度或初相角取不同数值,则合成非正弦波的波形不同。如例 2、例 3 相比较,同样是频率为 f 、 $3f$ 的正弦波迭加,但所取正弦波的幅度不同,合成波形显然就不一样了。以例 2 与例 4 相比较,则可说明初相角不同,合成波形也不同。

4. 如果迭加的各波形都是正弦波,它们的频率是 f 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ ……,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。

思考题:如果有两个正弦波, $u_1 = 60\sin\omega t$, $u_2 = 20\sin 2\omega t$,试求它们的合成波形。将所得结果和例 1 相比较,并作出结论。

(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—4 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—5 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 、 $2f$ 、 $3f$ …… 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;……频率为 nf 的正弦交流成分叫做 n 次谐波。

当然,非正弦信号的波形不同,其组成成分也不相同。如图 1—4 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—5 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。

周期性的非正弦电压 u 可以用数学式子表达如下:

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

$$+ U_{3m} \sin(3\omega t + \varphi_3) \quad (\text{三次谐波})$$

+

$$+ U_{nm}(\sin n\omega t + \varphi_n) \quad (n \text{ 次谐波})$$

+

..... (1-1)

为了增强对(1-1)式的理解,下面再举两个例子来说明周期性非正弦波的分解情况。

图1-9所示半波正弦电压,假定其幅度为 U_m ,重复频率为 F ,则分解后可以得到:直流成分 $U_0 = \frac{1}{\pi} U_m$;基波成分 $\frac{1}{2} U_m \sin \omega t$;二次谐波成分 $\frac{2}{3\pi} U_m \sin(2\omega t - \frac{\pi}{2})$;四次谐波成分 $\frac{2}{15\pi} U_m \sin(4\omega t - \frac{\pi}{2})$;等等。这些组成成分的波形也画在图1-9中,要证明分解结果是正确的,只要将这些波形迭加起来就可以了。

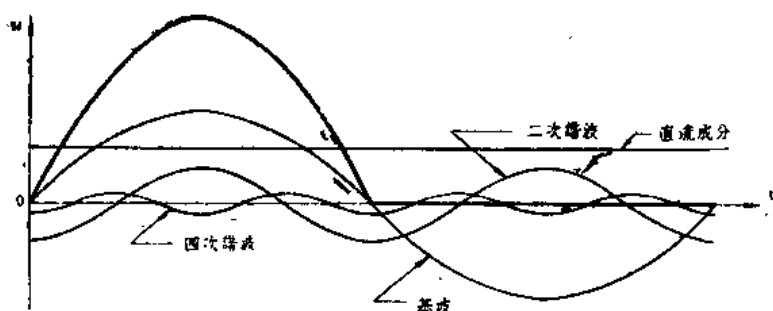


图1-9 半波正弦电压的分解

又如一个周期性对称矩形电压,假定其幅度为 U_m ,重复频率为 F ,则分解后可以得到:

$$\text{基波成分} \quad \frac{4}{\pi} U_m \sin \omega t, \quad \text{三次谐波成分} \quad \frac{4}{3\pi} U_m \sin 3\omega t;$$

$$\text{五次谐波成分} \quad \frac{4}{5\pi} U_m \sin 5\omega t, \quad \dots\dots$$

图1-10可以用来证明上述论断。其中(a)图为基波加上三次谐波,得到的合成波形;(b)图为再加上五次谐波后,得到的合成波形;(c)图为再加上七次谐波后,得到的合成波形。由(c)图可见,合成波已接近于一个对称矩形波了。

从理论上讲,象半波正弦、对称矩形这一类周期性非正弦波,其谐波成分可以有无穷多个,但实际应用中只需要考虑到适当次数的谐波就够了。例如图1-10,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。如果要求更准确一些,还可再加上九次谐波和十一次谐波。

思考题: 怎样解释半波正弦分解后有直流成分,而对称矩形波分解后没有直流成分?

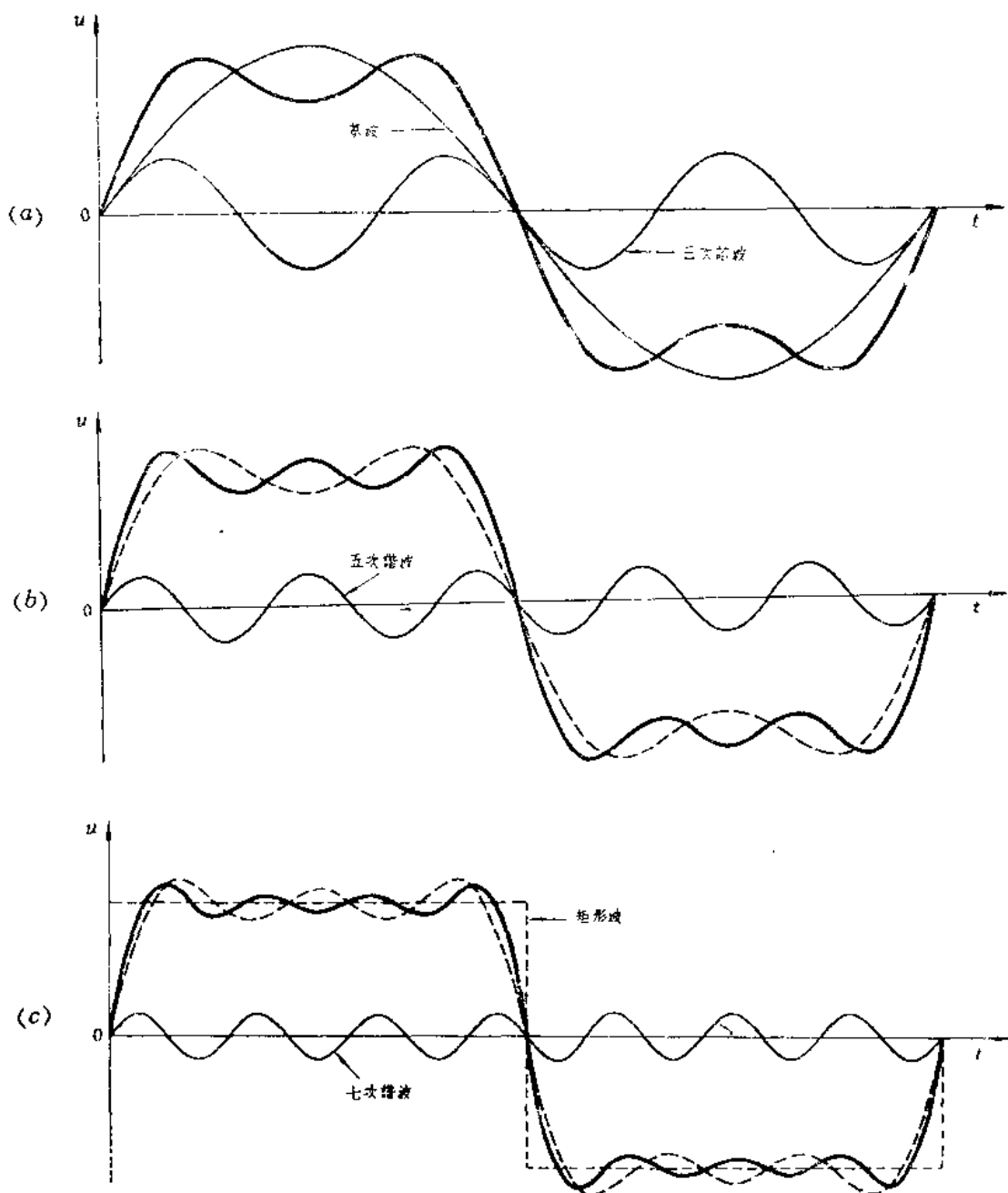


图1-10 对称矩形电压的分解

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1-4所示非正弦信号的幅度频谱，如图1-11(a)；图1-5所示非正弦信号的幅度频谱，如图1-11(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）。例如如图 1—8 所示非正弦信号，其幅度频谱如图 1—11(c) 所示。

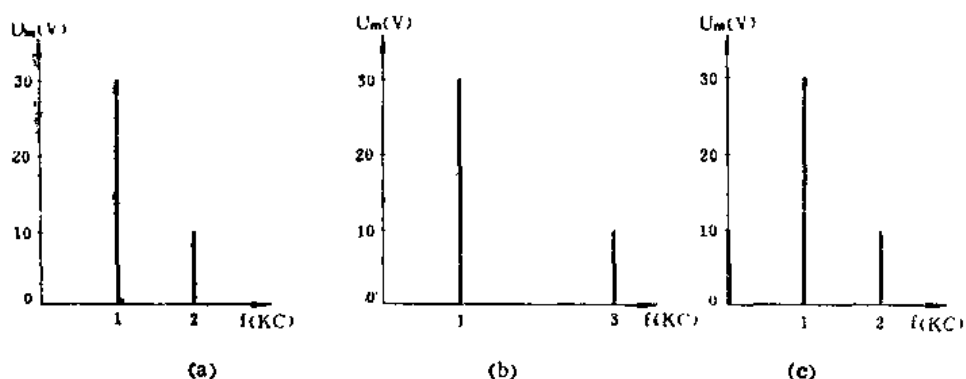


图1—11 低频信号的频谱举例

一般情况下，周期性非正弦波的幅度频谱如图 1—12 所示。图中 F 是非正弦波的重复频率，也可以说是非正弦波基波分量的频率。

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。这种脉冲所包含的直流、基波和谐波成分及其迭加情况，可以通过如图 1—13 所示的具体例子来说明。图中直流成分 (U_0) 的幅度为 $0.2 U_m$ ，基波 (u_1) 的幅度为 $0.374 U_m$ ，二次谐波 (u_2) 的幅度为 $0.302 U_m$ ，三次谐波 (u_3) 的幅度为 $0.201 U_m$ ，等等。这些分量的幅度取值是根据脉冲的宽度和重复周期，利用周期性视频脉冲的频谱公式求出来的。

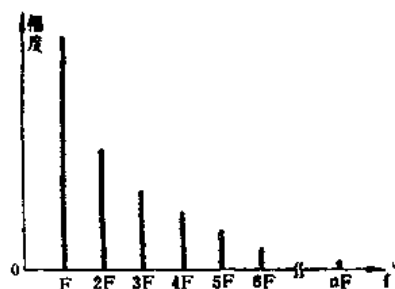


图1—12 周期性非正弦波频谱

图 1—13 仅迭加到七次谐波，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—13 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。

一般地说，若脉冲的宽度为 τ ，视频脉冲频谱图上第一个零点（即代表幅度为零的谐波中频率最低的一个谐波分量）对应的频率为 $\frac{1}{\tau}$ ，第二个零点对应的频率为 $\frac{2}{\tau}$ ，等等。

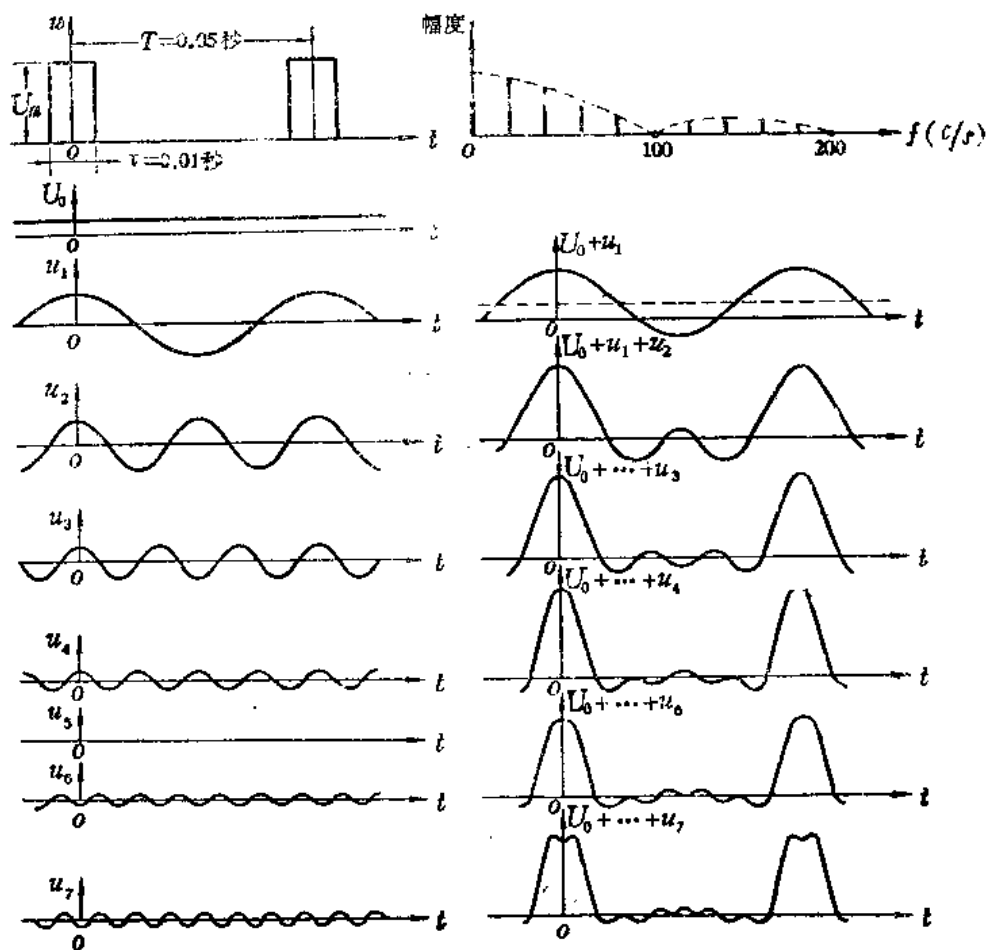


图1—13 视频脉冲的组成及其频谱

周期性视频脉冲电压的频谱可用数学公式表示如下：

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{U_m \tau}{T} + && \text{(直流分量)} \\
 &+ \frac{2U_m}{\pi} \sin \frac{\pi \tau}{T} \cos \omega t + && \text{(基 波)} \\
 &+ \frac{2U_m}{2\pi} \sin \frac{2\pi \tau}{T} \cos 2\omega t + && \text{(二次谐波)} \\
 &+ \frac{2U_m}{3\pi} \sin \frac{3\pi \tau}{T} \cos 3\omega t + && \text{(三次谐波)} \\
 &+ \dots + && \dots \\
 &+ \frac{2U_m}{n\pi} \sin \frac{n\pi \tau}{T} \cos n\omega t + && \text{(n 次谐波)} \\
 &+ \dots && \dots (1-2)
 \end{aligned}$$