

示波器 波形分析与应用手册

〔美〕小米尔斯·李特-桑德尔斯 著

韩继仁 张天明 译

戎宗仁 校

35.3

国防工业出版社

绍，对饱和电抗器的基本应用做了说明。铁磁共振、负阻效应和基本的磁放大器波形也包括在这一章中。附录中包括复合波形的平均值表达式、基波和信号谐波波形，以及与典型的电路波形有关的基本几何曲线等。

感谢那些在示波器技术领域里写过其他著作并作出贡献的作者们。并感谢曾为此书提出帮助性建议和建设性批评的教职员工们。本书应该说是集体的成果。作为教学工具，谨将本书献给我们的学院及技术学校的师生们。

小米尔斯·李特-桑德尔斯

序 言

现代示波器无疑是最通用和有效的测试仪器。它被许多工程师和专家看作是现代技术中最重要的电子仪器。为了充分发挥示波器的应用潜力,操作者必须掌握波形分析及其应用技术原理。近年来,随着这两个方面的迅速发展,迫切要求出版一本既适合于自学又适合于教学的相应的手册。本书是为此而写的。目前,由于某些专科院校课程重点的改变,特别强调了波形分析技术的实际应用,而很少应用数学推导。本书直观地向读者介绍了线性电路作用和非线性电路作用之间的区别以及电压、电流、功率等波形的综合特性。

第一章阐述了波形特性及其相互关系。对正弦波和方波之间的一些意料之外的关系也做了说明。这些关系包括波形的加法、减法和乘法;而除法是通过取对数和反对数过程来描述的。在该章中还介绍了理想与非理想波形之间的区别和基本的波形-数字关系。所有这些阐述并不依赖于高深的数学推导。第二章介绍了音频放大器的故障及其波形分析。同时讨论了常常引起争论的放大器音乐功率额定值的问题。接着讨论了多路立体声的测试和详细解释了用矢量示波器测试立体声分离度的方法。

第四章详细叙述了电视接收机,并讨论了实际的幅度和波形的容许偏差。介绍了同步蜂音故障寻迹并解释了鉴频波形。第五章是讲彩色电视机故障寻迹,包括专用测试信号的分析。工业电子设备电路的作用及其波形在第六章中介

目 录

第一章 波形特性及其相互关系

1-1 概述	1
1-2 对数与反对数波形的运算	9
1-3 线性运算与非线性运算	12
1-4 连续积分和微分	17
1-5 理想波形与实际波形	22
1-6 规范化波形	26
1-7 基本的波形-数字关系	27
1-8 基本的波形-电路关系	33
1-9 同步扫描示波器的操作	37

第二章 音频放大器的故障及其波形分析

2-1 概述	40
2-2 功率带宽的测量	46
2-3 音乐功率波形	48
2-4 波形失真的测定	53
2-5 放大器灵敏度的测量及其电压增益	64
2-6 不平衡互补对称输出	65
2-7 互调失真	66

第三章 多声道立体声电路测试

3-1 概述	69
3-2 多声道立体声信号源波形	72
3-3 多声道立体声波形分析	85
3-4 噪声波形的特征	88
3-5 调频接收机的调试	90

第四章 电视接收机的测试

4-1 概述	92
4-2 高频头的测试	94
4-3 同步脉冲波形的分析	100
4-4 中频放大器的调整方法	110
4-5 偏转电流波形的校准	113
4-6 通用示波器探头的说明	117
4-7 基本的波形处理	121
4-8 载波差拍伴音部分的波形	124
4-9 同步峰音干扰的三种形式	125
4-10 天线和电视接收机阻抗匹配的测试	127

第五章 彩色电视接收机的测试

5-1 概述	129
5-2 色度带通放大器的测试	135
5-3 带通放大器的校准	139
5-4 色同步信号放大器的测试	141
5-5 副载频振荡器的检验	145
5-6 色度解调器的检验	146
5-7 专用彩色电视测试信号	154
5-8 可控硅整流扫描电路波形	158

第六章 工业电子设备电路的作用及其波形

6-1 概述	160
6-2 步进计数电路波形	163
6-3 移相器波形	164
6-4 开关的交流波形中瞬态分量的消除	168
6-5 等离子体振荡波形	169
6-6 箝位电路波形	171
6-7 过阻尼、临界阻尼和欠阻尼波形	173
6-8 用双踪示波器测量延迟时间	174

6-9 逆变器波形的检验	174
6-10 工频转换器波形	177
6-11 铁磁共振和负阻效应	178
6-12 磁放大器波形	179
附录 1 基本复合波形的有效值	181
附录 2 基波与单一谐波波形	183
附录 3 基本的几何曲线	184
附录 4 彩色电视机输入和输出系统波形	187
附录 5 I-Q 彩色信号波形图	187
附录 6 矢量示波器波形的产生	187
附录 7 平衡调制器的波形	190

第一章 波形特性及其相互关系

1-1 概 述

正弦波是基本波形的一个例子，它也是基本的稳态波形。而方波是基本的瞬态波形的一个例子，如图 1-1 所示。两

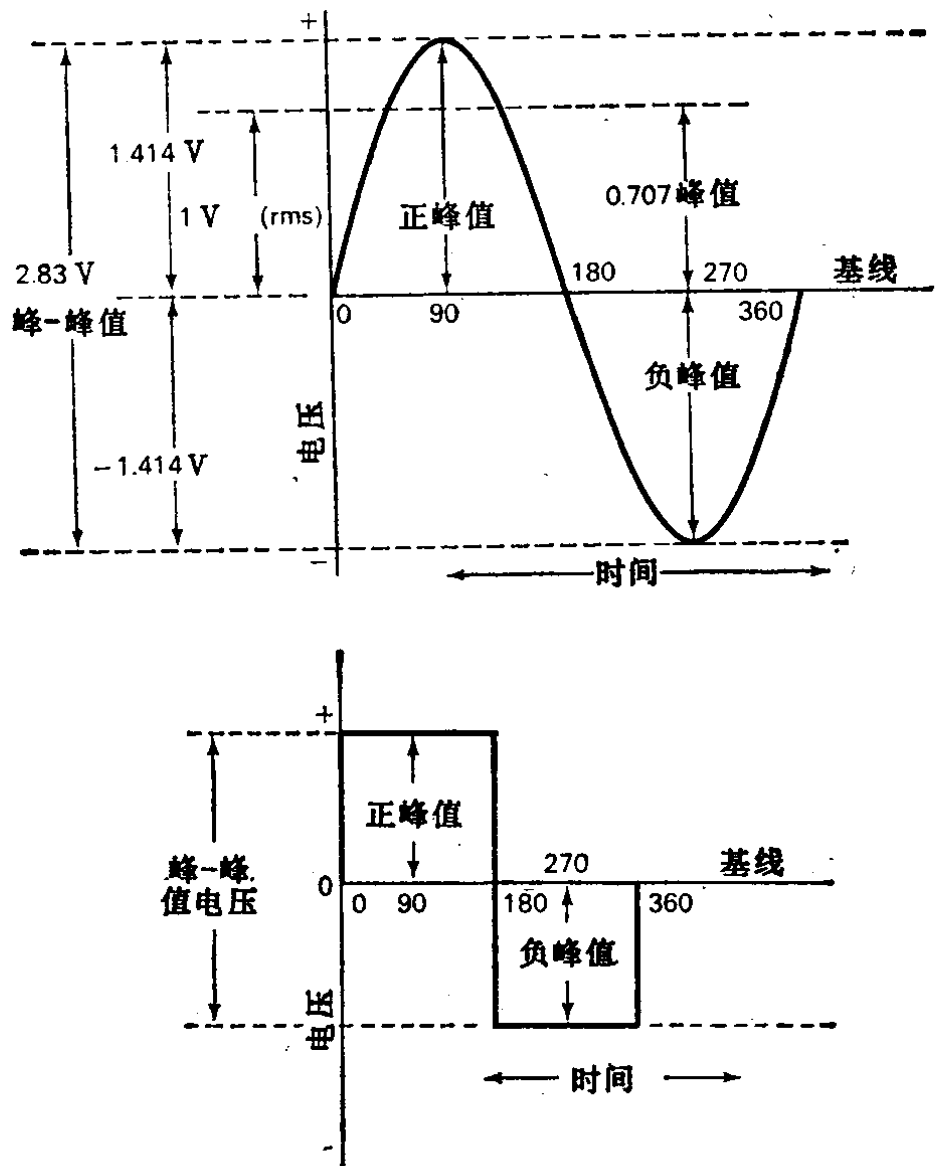


图1-1 正弦波和方波存在着意料之外的相互关系

种波形的特性由其形状、幅度和频率来决定。这些基本波形有着重要的相互联系，有些是意料之外的。例如，正弦波与方波相乘便会得到另外一种类型的复合波形；假如方波没有直流分量，则乘积便是正弦波的全波整流波形；如果方波是单极性（等于 $1/2$ 峰值的直流分量），则乘积便是正弦波的半波整流波形。因而可以将半波整流波和全波整流波归纳为乘积波形类。

我们研究基本乘积波的产生是有指导意义的。可以看到，图 1-1 所示的正弦波和方波为交流波形，换句话说，这些波形没有直流分量。其次，会注意到图 1-2 (a) 中所示的方波仅有正极性，这就是由交流方波和等于 $1/2$ 峰值电压的直流分量混合而成的方波，于是这个波形显示在零电压轴以上。另外，在图 1-2 (b) 中描述了一个交流方波，零电压轴通过该波形的中心。上述两种方波广泛的应用在模拟计算机和其他各种整形设备中。

波形可以相加、相减、相乘或相除。例如，图 1-3 所示的是一个加法探头与一台示波器联用，两个输入信号的和可在示波器的荧光屏上显示出来。如图 1-4 所示，正弦波与方波相加，可产生一个具有附加基波的方波。当然，在这个例子中两个输入信号的频率（重复率）必须相同，而且输入正弦波和输入方波的基波的相位也要相同。如果输入正弦波移相 180° ，加法探头的输出则为两个波形之间之差。换句话说，要从方波中减去正弦波，而输出是具有凹形顶底的方波，这种波形的作用如图 1-5 所示。

可以看到，如图 1-5 所示的运算是一种波形滤波器。这种滤波作用是部分的还是完全的，将取决于输入波形的相对幅度。下面研究一下两个波形的乘法是有意义的。参见图 1-6，

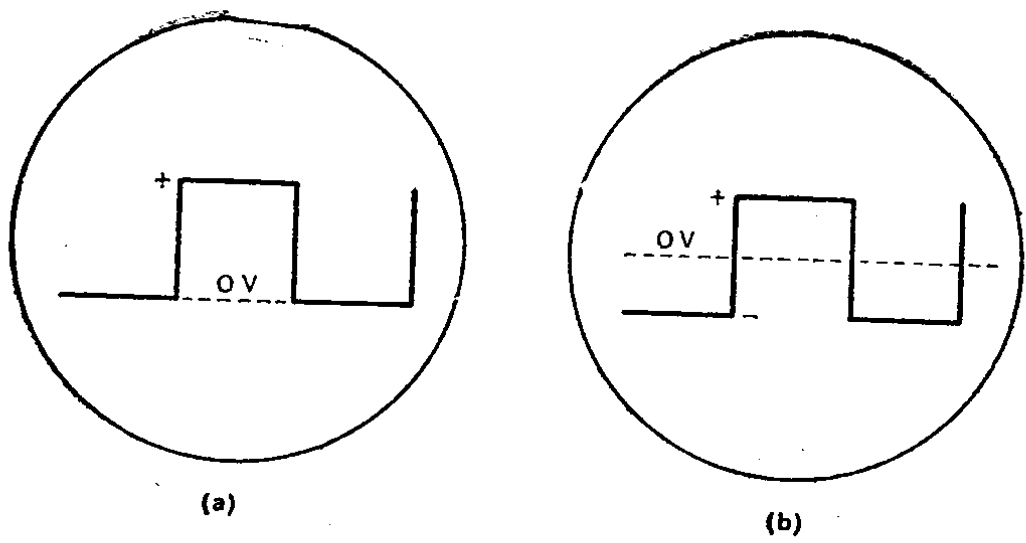


图1-2 有或没有直流分量的方波
 (a) 有1/2峰值电压直流分量的方波；(b) 无直流分量的方波。

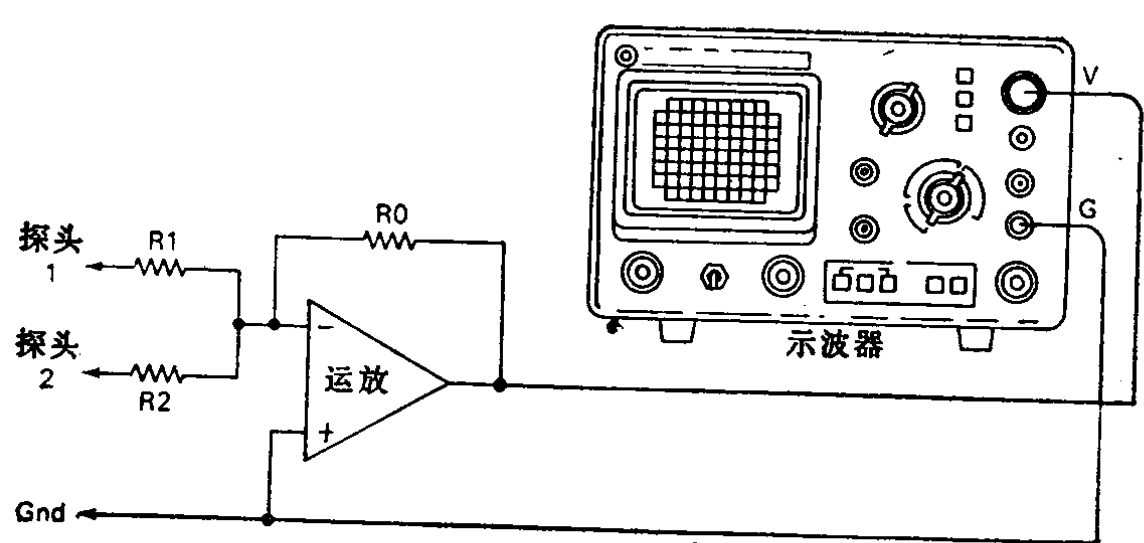


图1-3 基本的加法探头
 V—垂直输入，G—接地。

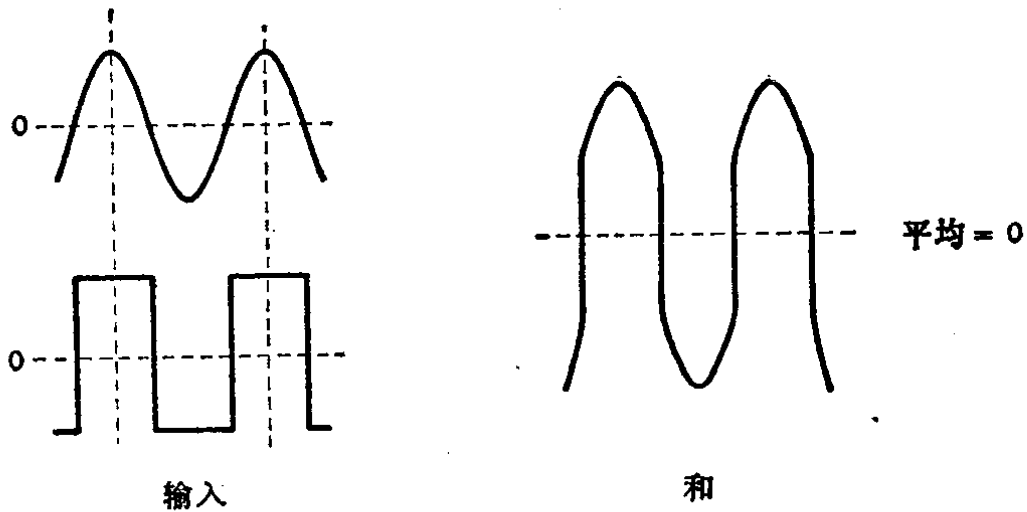


图1-4 正弦波和方波相加其和为带有附加基波的方波

三个运算放大器(简称运放)通过反相连接可构成一个通用波形乘法器。简单地说, 应该注意到, 当放大器串接工作时, 第一级的增益将乘以第二级的增益。如图 1-7 所示, 当正弦波乘以方波时, 输出的乘积波形为正弦波的全波整流波形。在这个例子中要注意到, 不论是方波还是正弦波, 都没有直流成分, 同时, 正弦波和方波的基波的相位相同, 并且两个输入波形的频率也相同(重复率)。

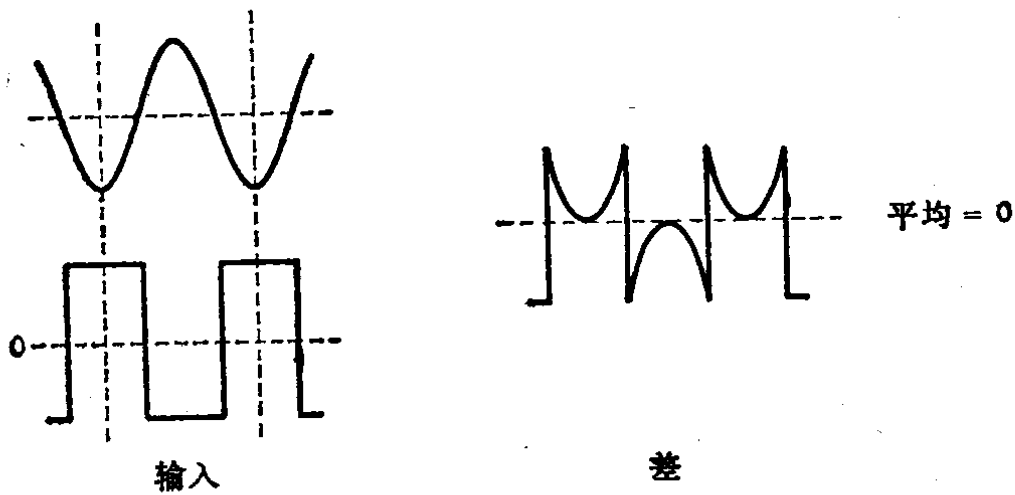


图1-5 方波减去正弦波, 其差为方波减去它的基波分量

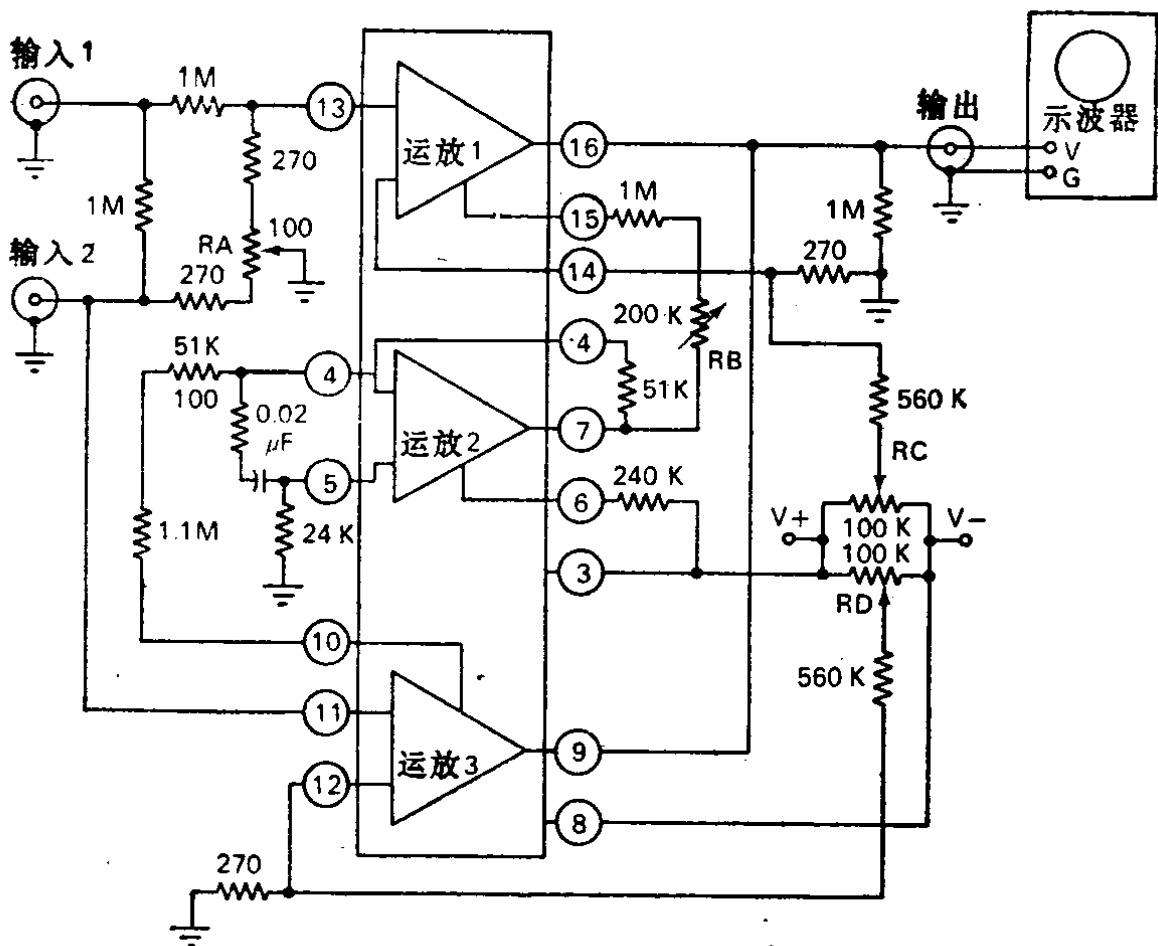


图1-6 用运放组成通用波形乘法器的线路结构

可以看到，如果输入正弦波的相位与图 1-7 所示的正弦波的相位差 180° ，则输出的乘积波极性相反。换句话说，在图 1-7 中所示的乘积波为正极性。另一方面，输入正弦波移相 180° ，则输出波为负极性。还要注意，在任何一种情况下，不论输入有否直流分量，输出波形均有直流分量。产生这个直流分量是因为任何两个负量相乘结果为正，而两正量相乘结果亦为正的缘故(参见图 1-8)。如果方波输入波形具有等于 $1/2$ 峰值电压的直流分量，很明显，在输入正弦波的负半周期间，方波电压值为零，这样，输出乘积波的形状是正弦波的半波整流波形。

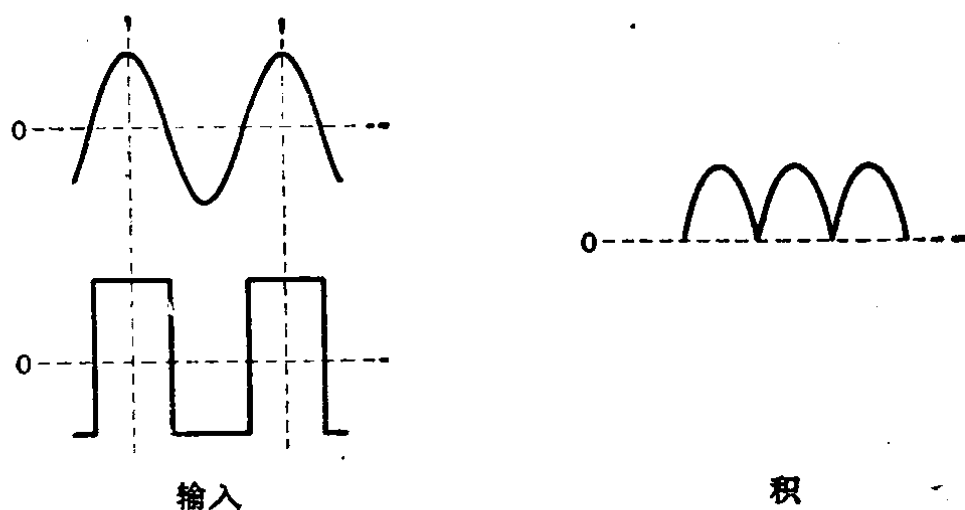


图1-7 正弦波乘以无直流分量的方波构成全波整流波

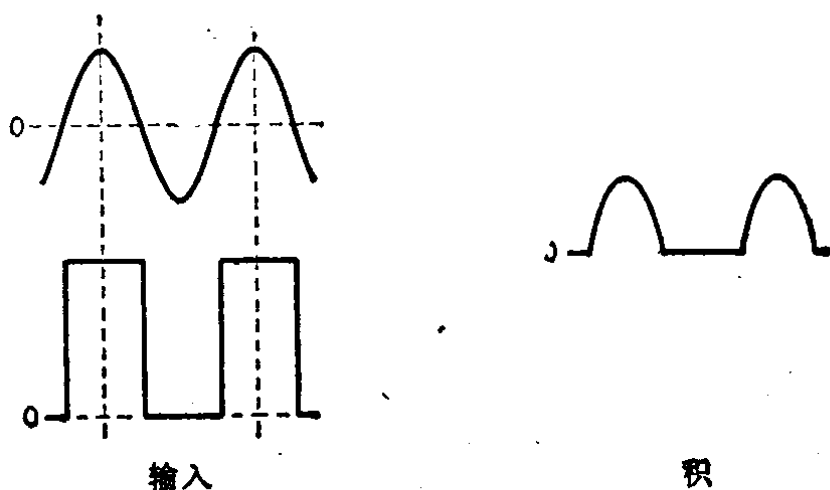


图1-8 正弦波与含有直流分量的方波相乘其乘积
波形为半波整流波

当然，可以把相同的波形送入由运放构成的乘法器的两个输入端。在这种情况下，波形是自身相乘的，也就是波形的平方。如果正弦波乘方如图 1-9 所示，则输出乘积波仍然为正弦波，其频率为输入波的二倍，也就是说，基本上是二倍频工作。还要注意到，输出波形已经有了直流分量，从而使

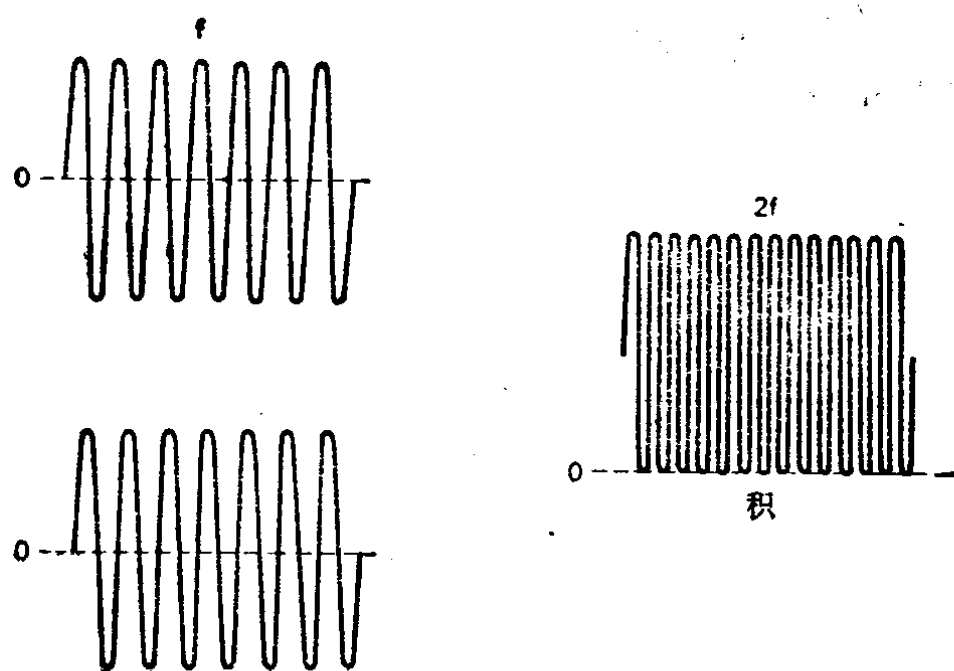


图1-9 正弦波自身相乘构成的乘积波为
二倍频正弦波(正弦平方波)

波形变化完全处在正向范围。引入直流分量是因为任何两个正数相乘为正，两个负数相乘亦为正的缘故。可以看出，如果一个输入波形移相 180° ，则输出波形完全一样，但直流分量为负。

为了由方波获得抛物线波形，可应用二次运算。例如，应用如图 1-10 所示的运放积分器，可把方波变成三角波。这里应注意到，方波的数学积分就是三角波，然后，如果把三角波送入乘法器的两个输入端，则三角波乘方，其输出的乘积波即为抛物线波形，如图 1-11 所示。这些都是用于函数发生器中的普通运算。典型的函数发生器能产生正弦波、方波、锯齿波、抛物线波和脉冲波等波形。

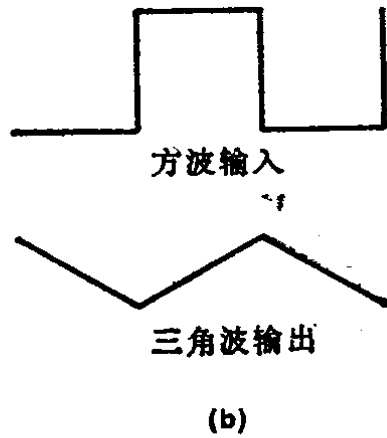
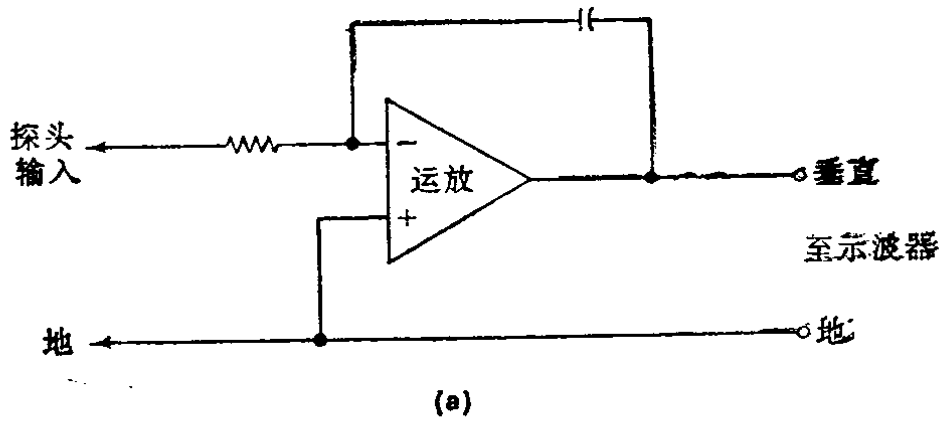


图1-10 运放积分器电路

(a) 电路结构；(b) 相应的输入和输出波形。

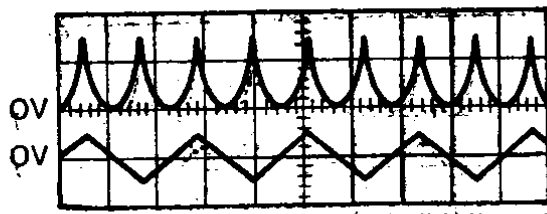


图1-11 由三角波平方得到的抛物线波形

1-2 对数与反对数波形的运算

波形的乘法和除法常常可以用对数和反对数运放电路来实现。开平方（平方根）和开方（提高根次数）一般也是用对数方法来实现的，基本的线路结构如图 1-12 所示。完成对数和反对数的功能是因为应用了半导体结特性。在基本的对数放大器中，双基极晶体管的基射结，在负反馈回路中提供一个正比于输入电压的对数输出电压。相反，在基本的反对数放大器中，在输入回路里工作的半导体二极管结，它提供一个正比于输入电压的反对数输出电压。如图 1-12 (c) 所示，半导体二极管结的正向特性大体上是一对数形式。

将两个量的对数相加，然后对其和取反对数，可以实现两个量的相乘。因此，一个正弦波可按下列过程和方波相乘：

1. 将正弦波送入对数放大器；
2. 将方波送入另一个对数放大器；
3. 将两个对数放大器的输出送入图 1-3 所示的加法器中；
4. 将加法器的输出送入反对数放大器；
5. 反对数放大器的输出即为正弦波和方波的乘积波。

如果两个量的对数相减，其差再送入反对数放大器，则可以实现一个量除以另一个量。一个基本的减法器如图 1-13 所示。注意，如果一个波形送到非倒相端（第二输入端），另一波形送入倒相输入端，则输出波形为两输入波形之差，换句话说，就是由输入 2 的电压减去输入 1 的电压。三角波

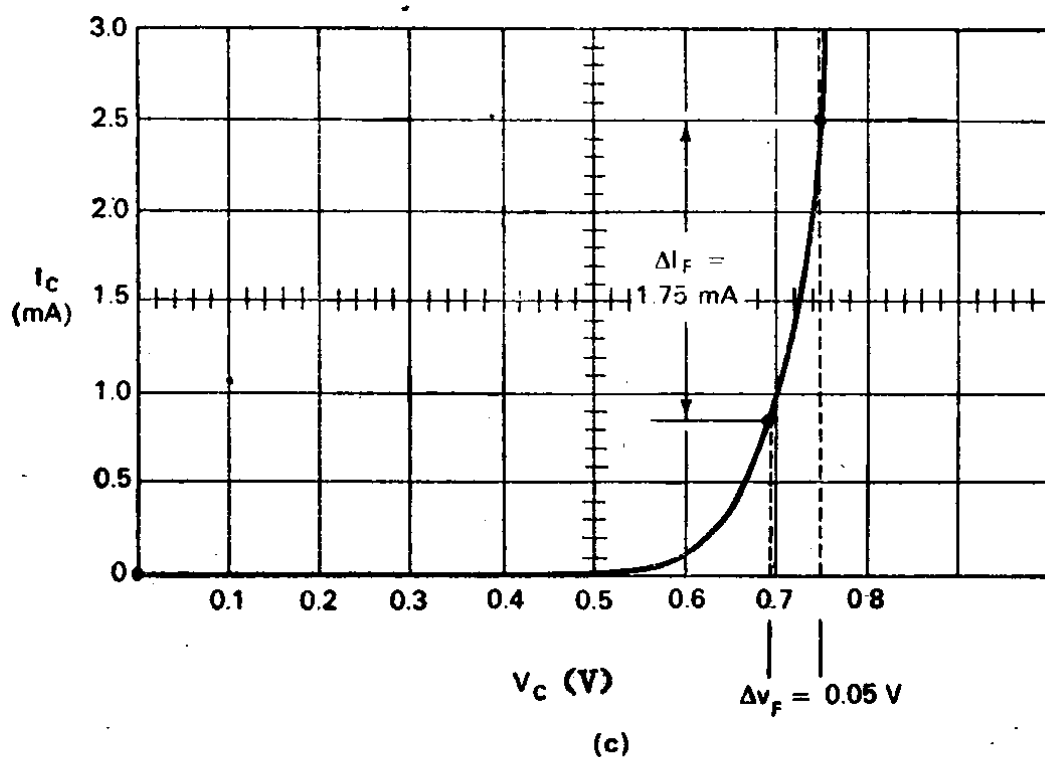
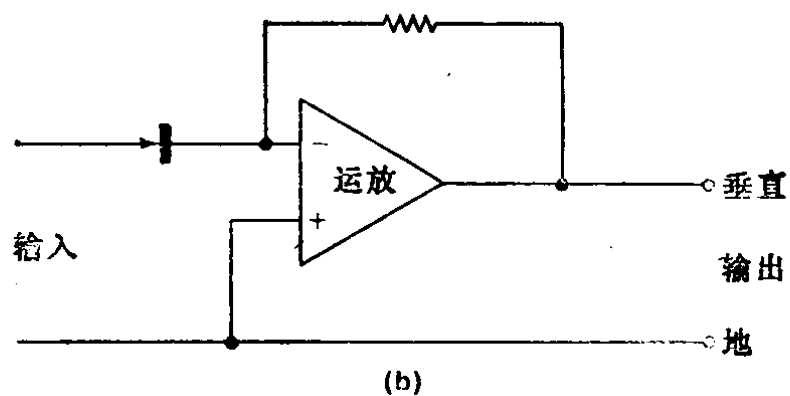
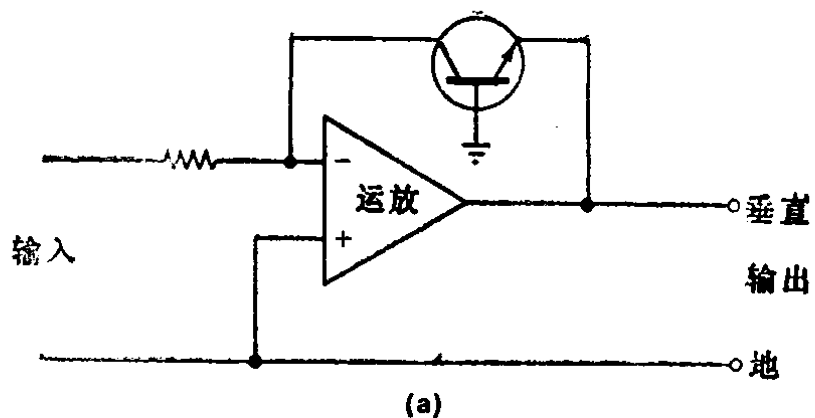


图1-12 运放构成的对数和反对数电路
 (a) 基本的对数放大器；(b) 基本的反对数放大器；
 (c) 典型的半导体结特性。

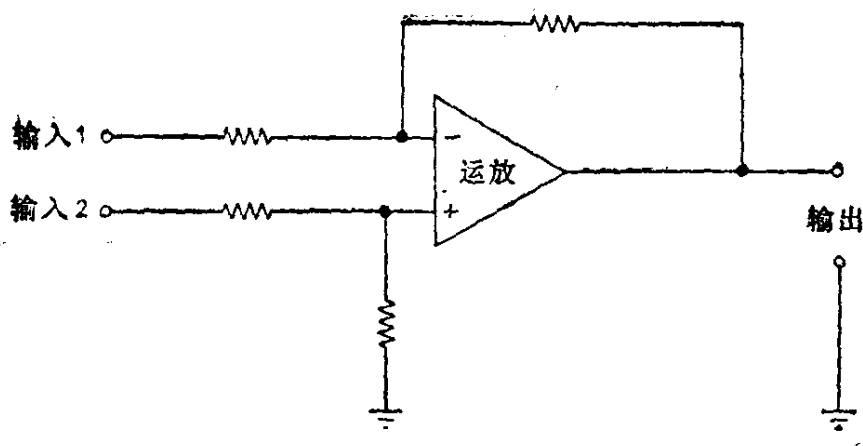


图1-13 基本的运算放大器型减法器电路

除以⊙ 正弦波 的顺序如下：

1. 将正弦波送入对数放大器；
2. 将三角波⊙ 送入对数放大器；
3. 将放大器的输出送入减法器；
4. 减法器的输出送入反对数放大器；
5. 反对数放大器的输出波形即为三角波⊙ 除以正 弦 波 的商。

下面研究一下用给定的幂提高波形的方法。例如，欲求正弦波的立方，则可以将正弦波的对数值乘以三来实现。乘积送入反对数放大器。按以下顺序获得正弦波的三次方：

1. 正弦波送入对数放大器；
2. 对数放大器的输出送入运放组成的乘法器；
3. 同时将 3 个单元的直流电压送入乘法器；
4. 乘法器的输出送入反对数放大器；

-
- 原书P10正21行 “subtracted from” 应为 divided。——译注
 - 原书P10正24行 “square wave” 应为triangular wave。——译注
 - 原书P11正 2 行小标题 5 中的 “triangular” 与正 3 行的 “sine” 换一个位置。——译注