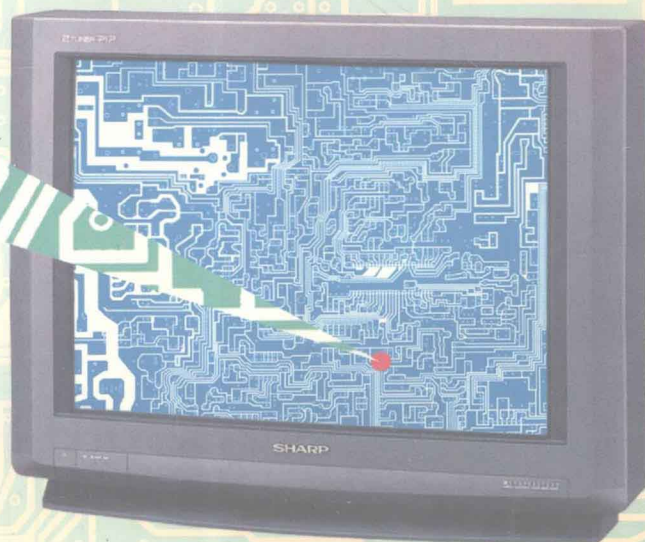


彩色电视解码电路 的测量与调整

明 军 著



安徽大学出版社

彩色电视解码电路的测量与调整

明 军 著

安徽大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

制彩色电视解码电路的测量与调整/明军著.
—合肥:安徽大学出版社,1999.6
ISBN 7-81052-207-8

I。P… II。明… III、彩色电视—电视接收机—电路参数测量②彩色电视—电视接收机—电路—参数—调节 IV、TN949.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 09837 号

内 容 提 要

本书说明彩色电视 PAL_D 解码电路工作原理及其对应电路测量与调整方法,同时分析多种类型与编码方式测试信号的特性和产生原理。

全书共分 7 章,内容主要包含:模拟乘法器及其应用、PAL 制彩色电视图像信号、标准彩色电视测试信号、彩色电视 PAL_D 解码电路、误差参量的测量与调整分析、计算机模拟软件与编程、多编码彩色电视信号发生器。

作者多年从事电视技术的教学、科研,各章从基本概念出发,力求说理清楚,推理严密,图文并茂。本书可供从事广播电视科研、生产、教学和维修工作的工程技术人员学习,也可供大专院校有关专业教学参考。

彩色电视解码电路的测量与调整

明 军 著

出版发行	安徽大学出版社 (合肥市肥西路 3 号 邮码 230039)	印 刷	中国科技大学印刷厂
联系电话	总编室 0551-5107719 发行部 0551-5107784	排 版	合肥市女娲照排中心
责任编辑	李 虹	开 本	787×1092 1/16
封面设计	孟献辉	印 张	11.5
经 销	新华书店	字 数	266 千
		版 次	1999 年 6 月第 1 版
		印 次	1999 年 6 月第 1 次印刷

ISBN7-81052-207-8/TN·1

定价: 17.25 元

如有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

序 言

电视技术是近代发展最迅速的技术之一,已经广泛地应用于各个领域,渗透入千家万户。彩色电视 PAL_D 解码电路是彩色电视机核心电路,其测量与调整技术的改进,是彩色电视现代自动化生产的重要标志。本书全面分析彩色电视 PAL_D 解码电路的测量与调整原理,研究标准彩色电视测试信号特性与产生机理,进而促进广播与电视工程技术行业的计算机辅助教学和电视测试系统测量与调整的自动化。

在电视技术的教学和科研中,笔者曾多次遇到有关彩色电视 PAL_D 解码电路的测量与调整问题。如国内生产的电视信号发生器主要产生 V 分量逐行倒相编码方式的测试信号,而在电视测试图中采用了非逐行倒相编码方式,国家颁布的彩色电视解码电路测试信号又选择了隔行彩条信号,此外国外引进的信号发生器又增加了 U 分量逐行倒相信号,这些信号测量与调整的条件是什么?如何进行测量与调整?由于各国的电视制式不同,且关于彩色电视 PAL_D 解码电路调整和测量系统分析部分说明甚少,笔者深感需要探讨解码电路及其测试信号,特别是计算机的应用、一些电路分析和数学分析软件的采用,终于在实践中有了一些眉目,借此提供给同行。由于本人的水平有限,不妥之处,敬请批评指正。

本书针对彩色电视 PAL_D 解码电路及其测试信号所做的主要工作有:

(1) 将彩色电视测试信号用两个参数:类型和编码方式表示,可准确表征现有测试信号特性,并有利于测试信号种类的扩展。

(2) 依据彩色电视 PAL_D 解码电路的等效电路及其测试信号的定义,导出一个更为通用的输出表达式,适用于不同类型和编码方式的测试信号分析。

(3) 在彩色电视 PAL_D 解码电路存在多种误差参量条件下,采用数学分析软件求解,得出了 5 种不同编码方式测试信号下 PAL_D 彩色电视解码电路测量与调整的具体条件和方法。

(4) 通过软件编程实现彩色电视 PAL_D 解码电路调试的计算机模拟,软件已经作为电视原理课程的实验,并可以直接用于不同类型和编码方式的测试信号特性分析和研究。

(5) 分析了多种编码方式的彩色电视信号发生器结构,建立了与计算机接口的三基色设计公式,提供了不同类型和编码方式测试信号的设计数据。

本书在第 1 章介绍模拟乘法器及其应用。模拟乘法器是一种从分离元件向集成电路转化的典型器件,其内部电路差分放大器技术成熟,外部数学运算简便,易于建立过渡期间的分析方法。

第 2 章说明彩色摄像机结构及其核心电路:PAL 制彩色电视图象信号编码器工作原理,着重介绍全色度信号波形和频谱的分析方法。

第 3 章介绍彩色电视解码电路测试信号有关标准、类型和编码方式,以此建立通用的测试信号表达式。同时,分析了测试信号在 PAL_D 彩色电视解码电路中部分测量与调整应用示例。此外,为了更好地理解解码电路特性,介绍了一些与解码电路相关的测试信

号。

第4章详细说明了彩色电视机的核心电路:彩色电视 PAL_D 解码电路工作原理,分析了对应 V 分量逐行倒相编码方式测试信号的常规调整方法。

第5章通过建立彩色电视 PAL_D 解码电路的数学模型,得出一个有利于测试信号分析的通解,给出了测试信号在理想条件下输出。并且逐个分析了各种编码方式测试信号,在彩色电视 PAL_D 解码电路测量与调整中原理、条件和方法。

第6章给出了一个采用计算机模拟彩色电视 PAL_D 解码电路测量与调整方法的软件,已获得国家版权局颁发的计算机软件著作权登记证书。并且介绍了图形方式下汉字显示、图形打印和保存等编程技术,提供了大量的波形图和矢量图的应用示例图片。

第7章讨论了多编码方式彩色电视信号产生原理,说明了色度编码方式和基色编码方式的基本结构,以及与计算机接口的一些基本原则和设计方法,相关仪器有 XT-14 型电视信号发生器和矢量示波器。

此外,作者注意到电视设备已经基本集成化,大规模集成电路的使用,元件模型的数学化,已经逐步改变着传统电路设计和分析的方法。其中原理说明和框图分析显得更为重要,线路分析具有新的特点,并且对工程技术人员提出硬件和软件要求。硬件主要指计算机和单片机,软件主要包含:系统软件、工具软件和编辑软件、电路模拟计算软件、电路图绘制软件、数学分析软件、高级语言和汇编语言,这些思想在本书中得到充分体现。

本书是作者长期注意有关彩色电视 PAL_D 解码电路及其测试信号资料的研究体会,也是安徽省教委项目“彩色电视 PAL_D 解码电路的计算机模拟”和国家教委教学仪器研究所项目“多功能彩色电视信号发生器的研制”的研究成果,其间得到校内外同行给予的热情支持。借此书稿出版之际,向所有关心这个研究项目的领导和帮助我的朋友们致谢!

明 军

1999 年 2 月于安徽大学

目次

序 言	1
第1章 模拟乘法器及其应用	1
1.1 模拟乘法器内部结构	1
1.1.1 恒流源电路	1
1.1.2 差分放大器	2
1.1.3 双差分电路	3
1.2 模拟乘法器应用	4
1.2.1 放大与增益控制	4
1.2.2 幅度调制与解调	5
1.2.3 移相器与相位调制	6
1.2.4 鉴相器	7
1.2.5 变频与混频	8
1.2.6 鉴频器	9
1.2.7 振荡器	10
第2章 PAL制彩色电视图像信号	11
2.1 彩色摄像机结构	11
2.2 摄像管及其工作原理	11
2.3 PAL制电视图像信号编码器	13
2.3.1 三基色矩阵	14
2.3.2 亮度通道	16
2.3.3 色度通道	16
2.3.4 色同步通道	19
2.3.5 彩色全电视信号	22
第3章 标准彩色电视测试信号	23
3.1 四数码表示法	23
3.2 视频测试信号的类型	24
3.2.1 彩色条信号	24
3.2.2 四矢量信号	27
3.2.3 去压缩矩阵测试信号	28
3.2.4 G-Y矩阵测试信号	30
3.2.5 三基色矩阵测试信号	35
3.2.6 其它类型测试信号简介	38
3.3 视频测试信号的编码方式	39
3.3.1 V分量逐行倒相信号	40

3.3.2 U 分量逐行倒相信号	41
3.3.3 色度逐行倒相信号	41
3.3.4 非逐行倒相信号	41
3.3.5 隔行色度信号	42
3.3.6 五种编码方式信号示例	42
3.4 电视测试图实例说明	45
第 4 章 彩色电视 PAL _D 解码电路	47
4.1 色同步通道	48
4.1.1 色同步选通电路	49
4.1.2 副载波压控晶体振荡器	50
4.1.3 锁相原理	51
4.1.4 90°移相与 PAL 开关	56
4.1.5 实例分析	59
4.2 延时分离电路	59
4.2.1 延时分离基本条件	59
4.2.2 色度延时线	61
4.2.3 延时分离级的梳状特性	64
4.2.4 误差参量的调整分析	67
4.2.5 实例说明	72
4.3 同步检波原理	73
4.4 三个色差信号的获取	74
4.5 三基色矩阵	76
4.6 解码电路调整步骤	77
4.7 相位补偿原理	78
第 5 章 误差参量的测量与调整分析	80
5.1 PAL _D 解码电路的传输特性	80
5.2 理想状态输出分析	82
5.2.1 V 分量逐行倒相信号	82
5.2.2 U 分量逐行倒相信号	82
5.2.3 色度逐行倒相信号	82
5.2.4 非逐行倒相信号	83
5.2.5 隔行色度信号	83
5.3 V 分量逐行倒相信号	84
5.3.1 单项误差分析	84
5.3.2 多项误差分析	86
5.4 U 分量逐行倒相信号	87
5.4.1 单项误差分析	87
5.4.2 多项误差分析	89

5.5 色度逐行倒相信号	89
5.5.1 单项误差分析	89
5.5.2 多项误差分析	91
5.6 非逐行倒相信号	92
5.6.1 单项误差分析	92
5.6.2 多项误差分析	93
5.7 隔行色度信号	95
5.7.1 单项误差分析	95
5.7.2 多项误差分析	96
5.8 多种编码方式比较	99
5.8.1 五种编码方式小结	99
5.8.2 集成化 PAL _D 解码电路	100
5.8.3 相位传输误差比较	100
第 6 章 计算机模拟软件及其编程	102
6.1 软件功能及其数学模型	102
6.1.1 基本功能	102
6.1.2 使用方法	103
6.1.3 数学模型构造	105
6.2 软件结构及其编程	106
6.2.1 软件基本结构	106
6.2.2 彩色图形显示编程	107
6.2.3 汉字显示编程	110
6.2.4 屏幕拷贝编程	112
6.2.5 BMP 文件读写编程	114
6.3. 软件操作与应用示例	116
6.3.1 初始化状态	116
6.3.2 信号类型转换	117
6.3.3 信号编码方式转换	119
6.3.4 波形图显示状态转换	120
6.3.5 矢量图显示状态转换	121
6.3.6 发射端对应图形观测	122
6.3.7 故障现象的观测	123
6.3.8 单项误差输出观测	125
6.3.9 多项误差调整	130
6.3.10 矩阵测试信号的观测	133
6.3.11 外部输入信号的观测	135
第 7 章 多编码彩色电视信号发生器	140
7.1 XT-14 型彩色电视信号发生器	140

7.1.1 亮度信号及脉冲信号	141
7.1.2 全色度信号	142
7.1.3 伴音信号及高频信号	147
7.2 色度编码方式	147
7.3 基色编码方式	150
7.3.1 三基色信号设计公式的推导	151
7.3.2 极值状态数据分析	153
7.3.3 典型信号设计示例	154
7.3.4 编码方式的转换	156
7.4 电视矢量示波器	158
7.4.1 基本功能	159
7.4.2 矢量图显示原理	159
附录一 彩色电视广播标准(GB 3174-82)	163
1. 彩色电视广播制式	163
2. 基本特性	163
3. 彩色全电视特性	165
4. 射频特性标准	168
附录二 彩色电视机测量用基本仪器表	169
附录三 彩色电视广播接收机基本参数和要求(草案)	171
参考文献	173

第 1 章 模拟乘法器及其应用

彩色电视机的集成化,主要经历了 3 个发展阶段。第一个阶段是 60 年代后期到 70 年代初期,当时因工艺还不够成熟,只能制作小规模集成电路(IC),一个单元往往用 2 到 4 块 IC 才能完成其主要功能,一部整机要多达 10 块以上。例如最早期小规模集成化的东芝 20C60 型机,共用 11 块 IC,其中图像中放通道用了 4 块,彩色解码有 4 块,伴音有 2 块,扫描电路用 1 块。第二阶段是 70 年代中后期,那时 IC 的功能和电气指标已大大超过初期水平,内部元件数目由一二百增加到三四百,通常一个单元只用 1 块 IC 就可以完成主要功能,一部整机只用 4 到 6 块,如东芝的 TA7611,TA7176,TA7609,TA7193 组成的彩色电视机。第三阶段从 80 年代开始,首先出现把几个单元的主要功能压缩到一块超大规模或接近大规模 IC 的新产品,如日本东芝的 TA7644P/AP/BP,包含彩色解码、亮度处理、同步分离和行场扫描几个单元,相当于 700 多个分立元件具有的全部功能;类似设计的 IC 有夏普公司的 H-IX0212CE, NEC 公司的 μ PC1400C,松下公司的 AN5150, AN5151 等。

到目前为止,除因高频、高压、大电流和一些特殊器件的限制,彩色电视机中少数电路还没有实现集成化以外,绝大多数小信号处理电路都有了相应的集成电路。集成化为电视机实现高性能、多功能、高可靠性和组织大规模自动化生产开辟了广阔前景。

模拟乘法器是在差分放大器基础上发展起来的优秀电路之一,由于结构简单、分析方便、性能优良、易于集成,已经广泛应用于电子技术以及电视技术中。作为线性器件,乘法器常用于加减法、放大和增益控制;作为非线性器件,用于幅度、频率、相位调制和解调,以及混频、倍频和振荡器等。因此,掌握模拟乘法器特性,有利于逐步建立集成化电路的分析方法,这在分立元件向集成化电路过渡期间是十分必要的。

1.1. 模拟乘法器内部结构

差分放大器是模拟乘法器的基础电路,内部经常采用恒流源,提高共模抑制比(CMRR),获得良好的电路性能。因此本节首先说明恒流源电路原理,然后介绍差分放大器至模拟乘法器的演变过程。

1.1.1 恒流源电路

恒流源电路由两个晶体管 Q_1, Q_2 和一个电阻 R 组成,如图 1.1 所示。图中电流 I_0 为电路确定的恒流源,即 A 点到地。其中 Q_2 连接成二极管,即将它的基极和集电极短路。由于两个晶体管对称连接,所以又称二极管-三极管镜像配置恒流源。

设两个晶体管的参数完全相同,根据节点电流定理,流入电阻 R 的电流为

$$I_2 = I_{c2} + 2I_b = I_{c2}\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \quad (1.1)$$

式中 β 是共发射极电流放大系数。

又由于 Q_2 的集电极与基极短路, 集电极电位与基极相等, 电位由基极和发射极电位差 E_{be} 决定, 对于硅管一般为 $0.7V$, 所以流入电阻 R 的电流为

$$I_2 = \frac{E - E_{be}}{R} \quad (1.2)$$

由 (1.1) 式和 (1.2) 式可以得到

$$I_{c2} = \frac{E - E_{be}}{R(1 + \frac{2}{\beta})} \quad (1.3)$$

如果两个晶体管参数完全相等, 流入基极的电流相等, 导致集电极的电流相等。考虑到当 β 足够大时, 由 (1.3) 式得到

$$I_o = I_{c2} \approx \frac{E - E_{be}}{R} \quad (1.4)$$

上式表明不管 Q_1 的集电极电压如何变化, 其集电极电流 I_o 主要由电压 E 和电阻 R 两个参数决定。所以这个电路是一个理想的恒流源, Q_1 的集电极对地呈现一个极大的动态电阻。同时调节电阻 R , 可以得到数值变化的恒定电流 I_o 。

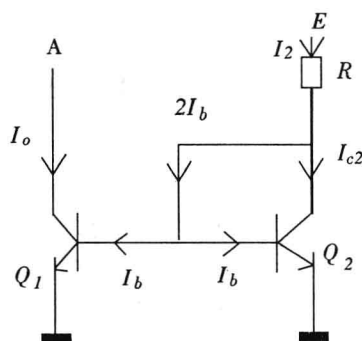


图 1.1 恒流源电路

1.1.2 差分放大器

双端输出恒流源差分电路如图 1.2 所示, 其恒流源 I_o 结构与图 1.1 相同。设晶体管 Q_1 和 Q_2 的参数完全相同, I_{c1} , I_{c2} 和 I_{e1} , I_{e2} 分别代表 Q_1 , Q_2 的集电极和发射极电流, I_o 是恒流源电流, e_{be1} , e_{be2} 是 Q_1 , Q_2 的基极和发射极之间电压, $e_i(t)$ 为输入信号。则:

$$I_o = i_{e1} + i_{e2} = \frac{i_{c1} + i_{c2}}{\alpha} \quad (1.5)$$

α 为共基电流放大系数。因为

$$e_i(t) = e_{be1} - e_{be2} \quad (1.6)$$

又根据半导体电子学理论:

$$i_e = I_s (e^{\frac{q e_{be}}{kT}} - 1) \quad (1.7)$$

式中 I_s 为发射极反向饱和电流, q 为电子电荷量, k 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度。

在室温下 $kT/q = 26mV$, 由于 e_{be1} , e_{be2} 是远大于 $26mV$, 因此 (1.7) 式中的 1 可以忽略, 于是有

$$i_e \approx I_s e^{\frac{q e_{be}}{kT}} \quad (1.8)$$

将 (1.5) 式和 (1.6) 式代入 (1.8) 式, 消去 I_s 和 e_{be1} , e_{be2} , 用双曲正切函数表示指数项, 得到:

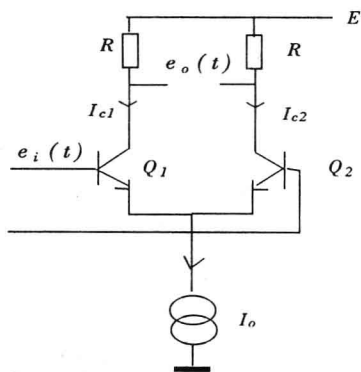


图 1.2 差分放大器

$$i_{c1} = \frac{\alpha I_o}{2} \{1 + \tanh[\frac{q}{2kT} e_i(t)]\} \quad (1.9)$$

$$i_{c2} = \frac{\alpha I_o}{2} \{1 - \tanh[\frac{q}{2kT} e_i(t)]\} \quad (1.10)$$

上两式中的双曲正切函数表示: $\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$, 由此得到差分电路的双端输出电压为

$$e_o(t) = R_c(i_{c1} - i_{c2}) = \alpha I_o R_c \tanh[\frac{q}{2kT} e_i(t)] \quad (1.11)$$

因为在室温下 $2kT/q = 52\text{mV}$, 只要输入信号幅度小于 52mV , (1.11)式可以化简为

$$e_o(t) \approx \alpha I_o R_c \frac{q}{2kT} e_i(t) \quad (1.12)$$

此时差分放大器的输入和输出成正比, 是一个性能比较良好的放大器。

当输入信号幅度大于 52mV , (1.12)式中双曲正切函数趋向于 ± 1 , 输出电压被双向限幅, 因此在大信号, 通常作为理想的限幅器。参见图 1.3。

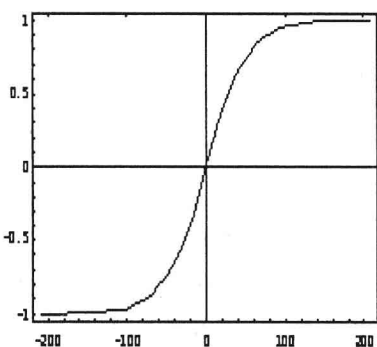


图 1.3 差分放大器的传输特性

1.1.3 双差分电路

双差分电路是一个性能良好的模拟乘法器, 内部电路见图 1.4, 是由 6 个晶体管和一个恒流源组成, 实际上是 3 组差分放大器。

首先依据 (1.9), (1.10) 式, 对 Q_5, Q_6 分析, 可以得到:

$$i_{c5} = \frac{\alpha I_o}{2} \{1 - \tanh[\frac{q}{2kT} e_{i2}(t)]\} \quad (1.13)$$

$$i_{c6} = \frac{\alpha I_o}{2} \{1 - \tanh[\frac{q}{2kT} e_{i2}(t)]\} \quad (1.14)$$

再对 Q_1, Q_2 依据 (1.9)、(1.10) 式分析, 可以得到:

$$i_{c1} = \frac{\alpha i_{c5}}{2} \{1 - \tanh[\frac{q}{2kT} e_{i1}(t)]\} \quad (1.15)$$

$$i_{c2} = \frac{\alpha i_{c5}}{2} \{1 - \tanh[\frac{q}{2kT} e_{i1}(t)]\} \quad (1.16)$$

再对 Q_3, Q_4 依据 (1.9) 式、(1.10) 式分析, 可以得到:

$$i_{c3} = \frac{\alpha i_{c6}}{2} \{1 - \tanh[\frac{q}{2kT} e_{i1}(t)]\} \quad (1.17)$$

$$i_{c4} = \frac{\alpha i_{c6}}{2} \{1 - \tanh[\frac{q}{2kT} e_{i1}(t)]\} \quad (1.18)$$

利用 (1.13) 至 (1.18) 六个式子的结果, 求出输出电压为

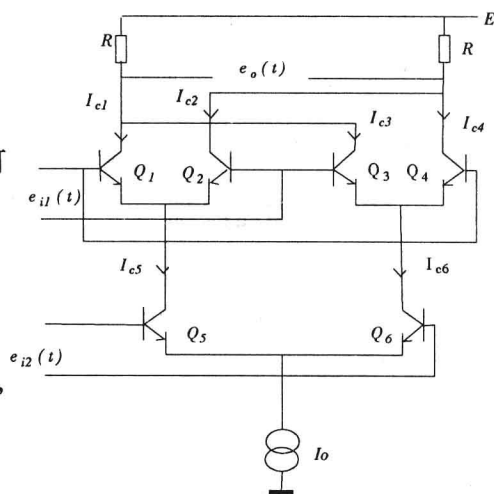


图 1.4 双差分电路

$$e_o(t) = R_c[(i_{c1} + i_{c3}) - (i_{c2} + i_{c4})] = \alpha I_o R_c \tanh\left[\frac{q}{2kT} e_{i1}(t)\right] \tanh\left[\frac{q}{2kT} e_{i2}(t)\right] \quad (1.19)$$

当两个输入信号幅度均小于 52mV, (1.19) 式可以化简为

$$e_o(t) \approx \alpha I_o R_c \left(\frac{q}{2kT}\right)^2 e_{i1}(t) e_{i2}(t) \quad (1.20)$$

此时双差分放大器的输出与两个输入信号成正比, 形成一个性能良好的乘法器。

如果不需要输入信号的幅度信息, 只要选择输入信号大于 52mV, (1.20) 式中双曲正切函数趋向于 ± 1 , 输出电压被双向限幅。因此在大信号, 也可以作为理想的乘法器。

综上所述, 模拟乘法器定义为: 输出信号与两个输入信号的乘积成正比。等效结构框图见图 1.5。设 $U_{i1}(t)$ 和 $U_{i2}(t)$ 为两个输入信号, $U_o(t)$ 为输出信号, 则

$$U_o(t) = k U_{i1}(t) U_{i2}(t) \quad (1.21)$$

由于上式中 k 为常数, 分析实际应用电路可以规一化, 忽略系数 k 的影响。

此外, 模拟乘法器具有多种输入、输出形式, 采用单端输入、双端输出及其组合方式, 可以非常方便地实现加减法运算和同相、反相放大。如减法运算, 只要两个输入端所接信号同相。

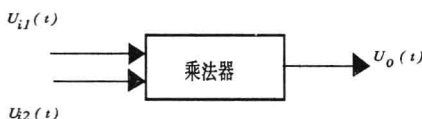


图 1.5 模拟乘法器的等效框图

1.2 模拟乘法器应用

本节结合彩色电视机, 仅从外部特性说明模拟乘法器的使用原理, 列举了大量的模拟乘法器的应用示例, 希望读者能将模拟乘法器作为一个基本元件对待。例如幅度检波电路, 与乘法器和低通滤波器对应, 逐步向结构和框图分析转化。此外, 本节涉及到的彩色电视技术中原理, 可进一步参考第 2, 3, 4 章说明。

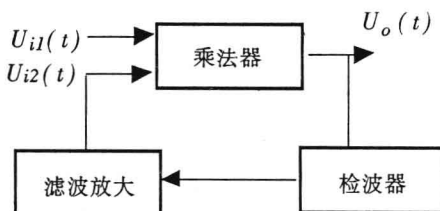
1.2.1 放大与增益控制

当模拟乘法器的一个输入端为常数时, 模拟乘法器可作为放大器或增益控制器使用。例如, 设 $U_{i2}(t) = E$ (常数), 由 (1.21) 式可得输出:

$$U_o(t) = k E U_{i1} \quad (1.22)$$

可见放大量与输入端直流电平 E 有关, 输出信号与输入信号成正比。显然调节模拟乘法器 2 端输入信号直流电平 E 的幅度, 可调节输出信号的幅度, 实现增益控制的作用。

图 1.6 为彩色电视机中的 ACC (自动色饱和度控制电路) 原理框图, 目的是稳定输出全色



1.6 彩色电视机中的 ACC 电路原理框图

度信号的幅度。乘法器输入一端 $U_{i1}(t)$ 为全色度信号,另一端 $U_{i2}(t)$ 为与输出信号 $U_o(t)$ 幅度成比例的直流电平。输出信号 $U_o(t)$ 为全色度信号,经幅度检波、放大滤波,获得与全色度信号成比例的直流电平。只要输出信号 $U_o(t)$ 越大, $U_{i2}(t)$ 直流电平越低,乘法器输出变小,就可以实现自动增益控制的作用,输出为幅度稳定的全色度信号。实际框图中检波和放大均由乘法器实现,外部接滤波电容。

乘法器作为选通放大电路,参见图 1.7。输入信号分别为正弦波和矩形脉冲。当矩形脉冲为零电平时,乘法器输出为零;当矩形脉冲非零电平,乘法器输出与正弦波成正比。因此,矩形脉冲起到选通门的作用。这种方式在彩色电视解码器用于实现色同步选通放大,也可以作为色度信号选通放大电路,仅仅是需要控制矩形脉冲在时域的起始位置和脉冲宽度不同。

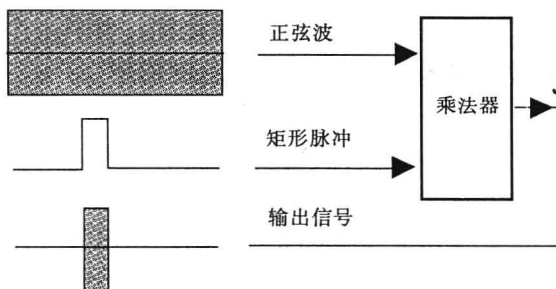


图 1.7 选通放大电路

1.2.2 幅度调制与解调

乘法器作为幅度调制和解调器使用分别见图 1.8 和图 1.9。

当乘法器作为幅度调制器使用,只要在两个输入端分别加调制信号和载波信号。为了避免乘法器内部产生的失真,可在输出端接一个带通滤波器。

设有调制信号迭加在一定的电平上为 $U_{i1}(t) = 1 + mu_{\Omega}(t)$,载波信号为 $U_{i2}(t) = \sin\omega_0 t$, ω_0 为载波频率,乘法器输出:

$$U_o(t) = k[1 + mu_{\Omega}(t)]\sin\omega_0 t \quad (1.23)$$

这是一个调制度为 m 的调幅波表达式。调整 $U_{i1}(t)$ 中的直流电平,可以改变调制度。

若 $U_{i1}(t) = u_{\Omega}(t)$, $U_{i2}(t) = \sin\omega_0 t$,乘法器输出:

$$U_o(t) = ku_{\Omega}\sin\omega_0 t \quad (1.24)$$

(1.24)式为平衡调幅波表达式,彩色电视色度信号采用了这一方式调制。

设 $U_{i1}(t) = u_{\Omega}(t)$ 的对应频谱为 $u_{\Omega}(\omega)$,又 $U_{i2}(t) = \cos\omega_0 t = \frac{1}{2}(e^{j\omega_0 t} + e^{-j\omega_0 t})$,所以,平衡幅度调制信号对应的频谱为

$$\frac{k}{2}[u_{\Omega}(\omega + \omega_0) + u_{\Omega}(\omega - \omega_0)] \quad (1.25)$$

因此乘法器将调制信号的频谱搬移到载波频率 ω_0 的两侧。

作为幅度解调器使用,乘法器在两个输入端分别加调幅信号和解调载波信号,经低通滤波器滤出二倍频分量,可以得到调制信号。例如,设调幅波是一个普通调幅波为:

$$U_{i1}(t) = [1 + mu_{\Omega}(t)]\sin\omega t.$$

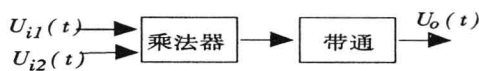


图 1.8 模拟乘法器组成的幅度调制器原理框图

解调载波为: $U_{i2}(t) = \sin\omega t$ 。

乘法器输出为: $U_o(t) = k[1 + mu_{\Omega}(t)]\sin^2\omega t = k[1 + mu_{\Omega}(t)](1 - \cos 2\omega t)/2$ 。

经低通滤波器滤除二次谐波, 输出为

$$U_o(t) = k[1 + mu_{\Omega}(t)]/2 \quad (1.26)$$

再如彩色电视中的色度信号解调, 采用同步检波器, 与图 1.9 结构相同。由于色度信号采用平衡调幅, 设色度信号为:

$U_{i1}(t) = u_{\Omega}(t)\sin\omega t$, 若解调载波: $U_{i2}(t) = \sin\omega t$, 乘法器输出: $U_o(t) = ku_{\Omega}(t)\sin^2\omega t = ku_{\Omega}(t)(1 - \cos 2\omega t)/2$ 。

经低通滤波器滤除二次谐波, 输出为

$$U_o(t) = ku_{\Omega}(t)/2 \quad (1.27)$$

因此输出与调制信号 $u_{\Omega}(t)$ 成比例。由此可见, 模拟乘法器实现幅度解调, 应该提供同频同相的解调载波。

下面观察当解调载波与调幅波同频不同相位条件下的状态。

设平衡调幅波为: $U_{i1}(t) = u_{\Omega}(t)\sin\omega t$, 若解调载波相位不同, 存在相位差 Ψ ,

设: $U_{i2}(t) = \sin(\omega t + \Psi)$, 乘法器输出为: $U_o(t) = \frac{k}{2}[u_{\Omega}(t)\cos\Psi - \cos(2\omega t + \Psi)]$ 。

经低通滤波器滤除二次谐波, 输出为

$$U_o(t) = \frac{k}{2}u_{\Omega}(t)\cos\Psi \quad (1.28)$$

容易看出: 仅当解调载波与调幅波同频同相时, 输出幅度最大。若两者存在相位差, 输出幅度下降。当两者相位正交时, 即相位差为 90° , 输出为零。

1.2.3 移相器与相位调制

移相电路通常采用电阻、电容、电感实现, 缺点是手动调节误差大, 且不能实现相位的自动调节。图 1.10 采用两个正交的输入信号, 分别经乘法器实现不同的放大, 在加法器中合成, 实现 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的移相。

设乘法器 1 的输入信号 $U_{i1}(t) = \sin\omega t$, 经乘法器 1 输出为 $k_2 \times \sin\omega t$; 乘法器 2 的输入信号 $U_{i2}(t) = \cos\omega t$, 经乘法器 2 输出为 $k_2 \times \cos\omega t$, 两者相加得到输出信号:

$$U_o(t) = k_1\sin\omega t + k_2\cos\omega t = C\sin(\omega t + \Psi) \quad (1.29)$$

式中:

$$\begin{cases} C = \sqrt{k_1^2 + k_2^2} \\ \text{tg}\Psi = \frac{k_2}{k_1} \end{cases} \quad (1.30)$$



图 1.9 模拟乘法器组成的幅度解调器原理框图

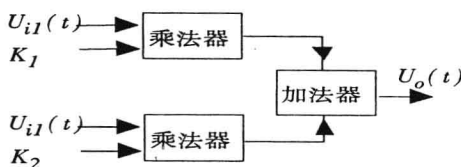


图 1.10 模拟乘法器组成的可控移相电路

输出信号相对于乘法器1端输入信号 $U_{i1}(t) = \sin\omega t$ 移动相位 Ψ , 显然 Ψ 与两个乘法器的放大倍数 k_1, k_2 的大小和极性有关。计算结果见表 1.1。作为正弦波的移相, 只要输入信号幅度较大, 由于乘法器的限幅作用, 输出信号将有恒定的幅度 C 。实现自动相位调节, 可以通过反馈控制两个乘法器的放大倍数 k_1, k_2 的大小和极性。这种方法的变形电路在集成化彩色电视编码器和解码器均有使用, 例如副载波振荡器的相位调节电路采用了这一方式。

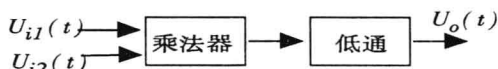
由载波通过可控移相电路实现相位调制, 其中可控移相电路由调制信号控制。

表 1.1 可控移相网络输出相位

系数 k_1	0	> 0	0	< 0	< 0	< 0	0	> 0
系数 k_2	> 0	> 0	> 0	> 0	0	< 0	< 0	< 0
输出 Ψ	0°	第 1 象限	90°	第 2 象限	180°	第 3 象限	270°	第 4 象限

1.2.4 鉴相器

乘法器作为鉴相器使用见图 1.11。设两个输入信号的相位差为 $\Psi(t)$, 输入信号 1 为: $U_{i1}(t) = \sin[\omega t + \Psi(t)]$, 输入



信号 2 为: $U_{i2}(t) = \sin\omega t$, 乘法器输出为: $\frac{k}{2} [\cos\Psi(t) - \cos 2\omega t]$, 经低通滤波器滤出二倍频, 得到输出:

$$U_o(t) = \frac{k}{2} \cos\Psi(t) \quad (1.31)$$

可见输出与两个输入相位差的余弦成正比, 所以乘法器组成的鉴相器又称作“余弦型鉴相器”。

例如为了从色同步信号中获得“半行频识别信号”, 乘法器两个输入信号一个为色同步信号, 另一个为副载波信号, 经低通滤波器滤除二次谐波分量, 即可获得半行频识别信号。设色同步信号的数学表达式为 $e_b(t) = K(t) \sin[\omega_s t + \pi + g(t) \frac{\pi}{4}]$, 式中 $K(t)$ 称作“K 脉冲”, 为矩形脉冲, 确定色同步信号时域出现的位置, $g(t)$ 为半行频识别信号, 决定色同步信号的 NTSC 行初相角为 135° , PAL 行初相角为 225° 。设副载波的数学表达式为 $e_c(t) = \sin(\omega_s t + \frac{\pi}{2})$ 。

根据乘法器组成的鉴相器的特性, 输出与两个信号的相位差的余弦成正比。代入上两式有

$$\begin{aligned} U_o(t) &= \frac{k}{2} K(t) \cos[\frac{\pi}{2} + g(t) \frac{\pi}{4}] \\ &= -\frac{k}{2} K(t) g(t) \sin \frac{\pi}{4} = -\frac{\sqrt{2}}{4} k K(t) g(t) \end{aligned} \quad (1.32)$$

可见输出与半行频识别信号 $g(t)$ 成比例。

1.2.5 变频与混频

乘法器作为变频器和混频器使用见图 1.12。设 $U_{i1}(t) = \sin\omega_1 t$, $U_{i2}(t) = \sin\omega_2 t$, 乘法器输出为:

$$\frac{k}{2} [\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t] \quad (1.33)$$

因此只要选择带通滤波器的谐振频率, 可获得和频或差频信号。乘法器作为倍频器, 只要两个输入信号相同。

混频器是指输入信号有一个为调制后的信号, 例如输入信号为调频波,

$U_{i1}(t) = \sin[\omega_1 t + k_f \int u_{\Omega}(t) dt]$, 设 $u_{\Omega}(t)$ 为调制信号, k_f 为调频指数。

设输入调制载波 $U_{i2}(t) = \sin\omega_2 t$, 经乘法器输出为:

$$\frac{k}{2} \{ \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + k_f \int u_{\Omega}(t) dt] - \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + k_f \int u_{\Omega}(t) dt] \} \quad (1.34)$$

输出信号中的和频和差频分量, 均包含了完整的调频波表达式, 仅仅改变了调频波的载频。

下面我们观察乘法器作为视频检波器, 如何获得视频信号和 6.5MHz 的调频伴音信号? 图 1.13 为模拟乘法器组成的视频检波器框图, 输入信号为电视中频信号, 包含一个幅度调制的中频图像信号和一个频率调制的中频伴音信号。

一路直接加到乘法器的输入端, 设输入信号为:

$$U_{i1}(t) = u_v(t) \sin\omega_v t + \sin[\omega_b t + \int u_{\Omega}(t) dt]。$$

式中前一项代表

图像中频信号, 后一项代表伴音中频信号, 图像调制信号为 $u_v(t)$, 伴音调制信号 $u_{\Omega}(t)$, ω_v 为图像中载频, ω_b 为伴音中

载频。另一路经限幅器, 消去调幅波的幅度变化量, 使得图像中频载波分量增加, 再经图像中频载波选频网络, 取出图像中载频, 加至乘法器的另一端。

设 $u_{i2}(t) = \sin\omega_v t$, 这里仅取基波, 谐波经乘法器和低通滤波器被滤除, 不影响结果。乘法器输出

$$\begin{aligned} u_o(t) = & \frac{k}{2} u_v(t) + \frac{k}{2} u_v(t) \cos 2\omega_v t \\ & + \frac{k}{2} \cos[(\omega_b - \omega_v)t + \int u_{\Omega}(t) dt] + \frac{k}{2} \cos[(\omega_b + \omega_v)t + \int u_{\Omega}(t) dt] \end{aligned} \quad (1.35)$$

式中第 1 项为视频信号输出, 第 3 项为第二伴音信号输出。第 2 项为图像中载频的

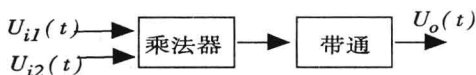


图 1.12 变频、混频器原理框图

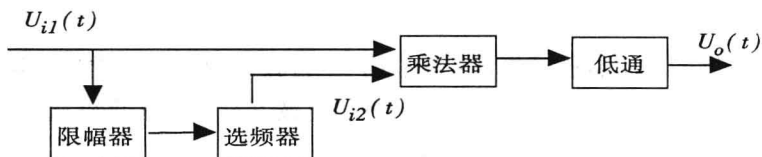


图 1.13 乘法器组成的视频检波原理框图