

陈启蒙 陈 忠 编著

集成电路电视机 原理与维修

科 学 普 及 出 版 社

49.8

内 容 提 要

本书详尽地讨论了集成电路黑白电视机的原理与维修,全书共十一章。第一章概述了电视集成块的内电路,介绍其一般特点和基本单元电路。第二章对晶体管电视机和集成电路电视机进行了比较,指出二者的联系与区别。从第三章至第八章分块介绍电视机各集成块的内、外电路。第九章至第十一章着重讨论集成电视机的修理方法及常见故障的排除,书中列举了54种常见故障。

本书适于电视维修人员及广大业余爱好者阅读,亦可作技术训练班教材。

集成电路电视机原理与维修

陈启蒙 陈 忠 编 著

责任编辑:朱桂兰

封面设计:赵一东

*

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京外文印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 10.75 插页: 5 字数: 250千字

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数: 1—36,400册 定价: 1.80元

统一书号: 15051·1143 本社书号: 1036

目 录

引 言	1
第一章 电视集成块的内电路	3
第一节 内电路的一般特点	3
第二节 集成块内电路的基本单元电路	5
第二章 晶体管电视机和集成电视机方框图比较	31
第一节 方框图比较	31
第二节 集成电视机信号处理和传送过程	32
第三章 集成稳压电源	35
第一节 晶体管与集成电路稳压器	35
第二节 集成稳压电路	36
第三节 集成稳压电源全电路	39
第四节 集成稳压电源故障分析	40
第四章 集成化图象通道HA1144和HA1167	42
第一节 电视公共通道集成化	42
第二节 集成块HA1144的内外电路	42
第三节 集成块HA1167的内外电路	47
第四节 公共通道HA1144和HA1167的全电路	54
第五节 集成公共通道的故障	55
第五章 集成KC583C伴音通道	59
第一节 集成块KC583C内外电路认识	59
第二节 伴音通道KC583C全电路	64
第三节 集成伴音电路常见故障分析	64
第六章 集成KC581C场扫描电路	67
第一节 KC581C场扫描电路内外电路认识	68
第二节 KC581C场扫描全电路	73
第三节 KC581C场扫描电路故障	74
第七章 集成HA1166Z行扫描电路	76
第一节 行扫描电路的集成化	76
第二节 集成HA1166Z行扫描内外电路分析	77
第三节 HA1166Z行扫描全电路(包括行输出电路)	83
第四节 HA1166Z行扫描电路主要故障	85
第八章 全频道高频头	87
第一节 VHF高频头	87
第二节 全频道高频头电路概述	87
第三节 UHF高频头全电路	91
第四节 U-V附加变频器	95

第九章 集成电视机修理的基本方法	101
第一节 集成电视机和晶体管电视机检修的比较	101
第二节 电视机检修的一般方法	103
第三节 维修用的仪器仪表与工具	109
第四节 维修集成电视机的基本注意事项	112
第十章 集成电视电路检查法	115
第一节 集成场扫描KC581C电路检查	115
第二节 行扫描HA1166电路的检查	118
第三节 稳压电源KC582C检查法	123
第四节 伴音电路KC583C检查法	126
第五节 公共通道HA1144和HA1167电路检查法	129
第六节 HA1167的视频消隐放大电路及视放输出级的检查	136
第十一章 集成电视机常见故障	139
一、场线性差	139
二、场幅过大或不足	140
三、场幅渐缩	140
四、水平一条亮线	140
五、场不同步	140
六、场同步范围窄、场抖动	141
七、场低频自激	141
八、光栅下部暗	142
九、图象顶部扭曲或摆动	142
十、图象整幅扭曲和逐格扭曲	142
十一、光栅突然消失	143
十二、行频过低或过高	143
十三、行不同步或同步范围窄	143
十四、整幅图象左移	144
十五、垂直一条亮线	144
十六、行缩图象乱	145
十七、行线性差	145
十八、行幅不足	145
十九、无光栅	145
二十、烧直流保险丝	146
二十一、烧交流保险丝	146
二十二、光栅中部有一条或数条干扰横条	146
二十三、光栅扭曲	146
二十四、光栅缩小	147
二十五、图象上出现黑滚条	147
二十六、有图象无伴音	148
二十七、伴音轻、失真	148
二十八、有蜂音	148
二十九、交流声	149
三十、音量开足图象跳动	149

三十一、伴音忽高忽低	149
三十二、噗噗声	149
三十三、音量关不掉	149
三十四、伴音逐渐变轻	150
三十五、低音不丰富	150
三十六、行消隐不良	150
三十七、光栅背景上部暗	150
三十八、光栅左侧有垂直黑条	150
三十九、光栅左右暗亮不匀	151
四十、高压打火	151
四十一、回扫线故障	151
四十二、雪花和噪波点	152
四十三、无图象无伴音	153
四十四、图象淡而稳定	153
四十五、空频道网状干扰	153
四十六、强信号阻塞	153
四十七、图象渐淡，局部行扭	154
四十八、行、场同时失步	154
四十九、信号弱、场跳动	154
五十、图象模糊	155
五十一、图象轮廓镶边	155
五十二、亮度失控	155
五十三、关机亮点	156
五十四、亮度暗并有关机亮点	156
附录1 中放参差调谐幅频特性曲线的调整元件	157
附录2 几种电视机集成块引出脚的电压、电阻值	158
附录3 凯歌4D14型电视机可动电压一览表	165

引 言

六十年代初，在工程上实现了将晶体管、电阻、电容以及连线等局部电路制作在一块硅片——集成电路块上。以这种集成电路块装配的电视机，称为集成电路电视机（本书简称集成电视机）。

集成电路电视机^①具有成本低、元件少、可靠性高、性能优良等特点。它的出现犹如破土而出的春笋，发展极为迅速，已有取代分立元器件电视机之势，显示出强大的生命力。因此，人们迫切需要了解集成电视机的原理以及检修的基本方法。如何把维修技术从晶体管电视机延伸到集成电视机领域，已成为当务之急了。

（一）

虽然集成电路电视机是从分立元器件电视发展而来的，两者信号处理过程也很相似，但是，集成化的过程并不是将分立元件电路原封不动地分块组合、集成在一起就成的。它是根据集成块制作工艺特点，扬长避短地进行电路设计的。

因此，集成电视机的电路往往与分立元器件电路有很大差异，甚至面目全非；同时在集成块内部很难做成的电感性元件、大容量电容元件、大功率电阻、可调元件等，需要通过集成块的引出脚引出，形成集成块外接元件。显然，如果离开了集成块内电路，外接元件的作用是很难认识的。因此，在没有掌握集成块特点的情况下，即使提供了集成块内电路，还不能一目了然地看懂内电路的构成和功能；然而撇开内电路，又无法认识外围元件的作用，给维修带来困难。从这一点上说，熟悉集成块内电路的基本组成和外接元件的作用，是从事维修工作的技术人员必须跨越的一个台阶。

另外，由于集成化，使得原来在检修分立元件电视机中已经掌握的关键测试点也不适用了，有的因集成化而消失，有的变得难以认识。为了提高集成电视检修的效率和准确性，重新掌握集成电视关键测试点显得十分重要。

此外，因集成电路质量不良而引起的故障现象，有的与分立元件相似，有的则很不同；加上集成块引出脚多，拆装困难，判断引起故障的原因是在集成块内部还是集成块外部，要比分立元件复杂，判断的失误容易人为地诱发出新的故障或者损坏集成块。

因此，进一步学习和掌握集成电视机的维修规律和方法是完全必要的。

（二）

但是无论怎么说，晶体管电视机维修是集成电视维修的基础。

集成电视机的检修过程，在许多方面与晶体管分立元件电视机检修相似，都是从观察

① 集成电路电视机，以下均简称集成电视。

故障现象着手的。从观察故障现象中得到第一手资料,并充分利用电视机所提供的外部可调整部位,如天线、频道开关、微调、场频和行频旋钮以及对比度和亮度电位器等,结合故障的具体情况,有选择地进行操作、调节、以获取故障的辅助情报,作为综合分析故障原因和故障部位的依据。然后结合原理或经验进行分析判断,把故障部位集中在与故障情况相应的某部分功能电路上或某几部分电路上。运用各种修理工具(主要是万用表),找出引起故障现象的损坏元器件,排除故障,恢复功能。具备了上述的基本维修经验的读者,掌握集成电视机原理和维修的特有规律,就可以充分运用对比方法把原有的经验加以扩大充实,指导实践,做好集成电视机的维修工作。

(三)

在学习集成电视机维修时,我们认为应当从下述几个方面去努力:

- 1.弄清集成电视电路基本构成和作用原理,掌握各集成块的功能和外接元器件对电路的影响。了解集成块内电路的特点、供电情况、信号出入和处理的概要。最终应能借助于电路图中所标出的集成块内部方框结构,来掌握主要的外接元件作用。

- 2.能正确观察、分析各种故障现象和可能出现的故障部位,并灵活地运用可调元件和集成电视机基本测试点来判断故障部位。

- 3.能使用多种工具以及仪器仪表进行故障检查,例如万用表、示波器、扫频仪、信号发生器及其他简易自制工具,以提高“诊断”速度和准确性。事实上,在一般情况下,若能用好万用表,完全可能排除绝大部分故障,因此本书所涉及的修理方法,都以万用表为主要测试仪表。

- 4.掌握集成电视机修理中应注意的事项,例如不允许带电焊接,烙铁应接地线,某些集成块的外接元件不允许作开路试验等,以防止修理中误损集成块。

- 5.掌握集成电视机修理的思考方法以及主要故障现象、易损元器件,以便在修理中不断丰富和发现某些特殊规律。

总之,如果我们能对集成块内电路特点和功能,以及外接元件作用心中有数并对集成块供电情况、信号传递和处理的来龙去脉很熟习,又对集成电视机中主要测试点了如指掌,并在维修时能正确运用,那么,我们就不难通过常用的检查工具,有条不紊地排除故障。

第一章 电视集成块的内电路

第一节 内电路的一般特点

集成电路的制造工艺，形成集成块内电路不同于分立元件电路。了解集成块内电路组成的一般特点，有助于熟悉电路和维修时的思考。

电视集成块内电路的一般特点，大致有以下几个方面。

1.集成块内部各元器件是在同一衬底硅片上，通过平面工艺制造出来的。在集成块内部要作成晶体管，只需要占用0.03平方毫米的面积，比一粒芝麻还小几十倍，而且多做一个晶体管不会增加成本和制造工艺的复杂性。因而集成块的第一个特点是可以设计采用多晶体管电路，只要对提高性能有利，甚至还可以用晶体管代替电阻，这是分立元件电视所望尘莫及的。

2.集成块内部很难制成大阻值电阻和大容量的电容。

由于集成块基片的面积有限，一般制作10pF电容及10kΩ电阻所占用面积已超过制作晶体管面积的1~2倍，而且制作电阻和电容所占的面积随阻值和容量而增大。因此，在有限面积的硅衬底上，不希望经常出现10kΩ以上的电阻，更不可能制作微法级的电容。

但是，在分立元件电路中，大于几十千欧的电阻和微法级的电容并不少见。怎样解决这个矛盾呢？这就需要在集成块电路设计中想办法。例如

(1)集成块内电路级间避免采用阻容耦合，而改用直接耦合方式。这便省去了大容量的耦合电容，以适应集成块工艺上的要求(图1-1)。

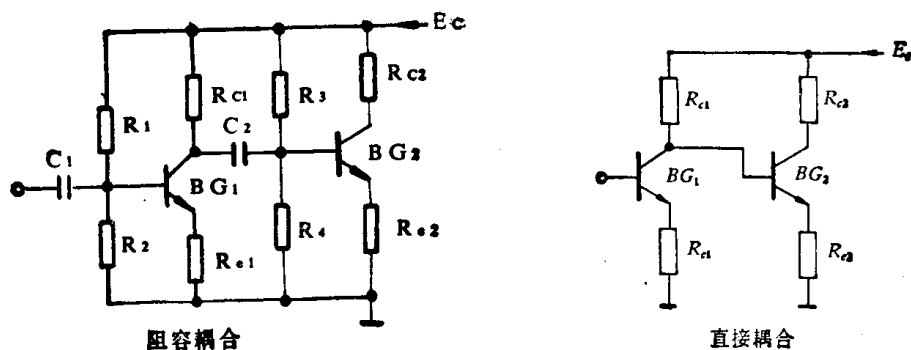


图 1-1 阻容耦合和直接耦合

(2)在某些不能省略大容量电容的场合，例如场扫描锯齿波形成电路中的电容、AGC滤波电容和旁路电容等，采用外接的办法，即把这部分电容通过集成块引出脚，用外接电容加以解决(图1-2)。

(3)偏置电阻阻值较大时，常用镜象恒流源来替代(电路原理在后面讨论)，镜象恒流源中出现的电阻较小，从而使集成块工艺可以实现(见图1-3)。

3.集成块系在同一块硅衬底上制成晶体管、电阻、电容等元器件，并且相互连接成一个完整的电路。在工艺上容易使晶体管特性和电阻的阻值相同，适宜作成对称电路，所以

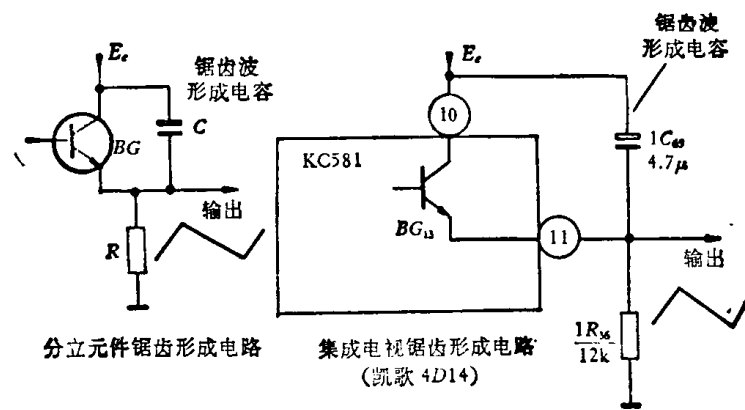


图 1-2 外接锯齿波形成电容

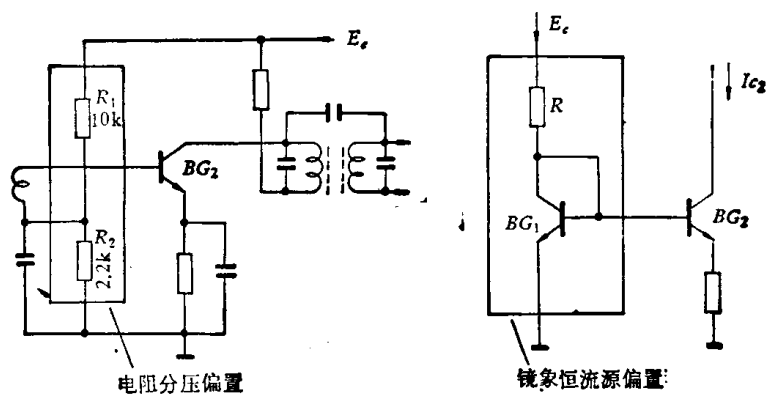


图 1-3 电阻分压偏置和镜象恒流源偏置

集成放大器电路，大多采用差动形式(见图1-4)。

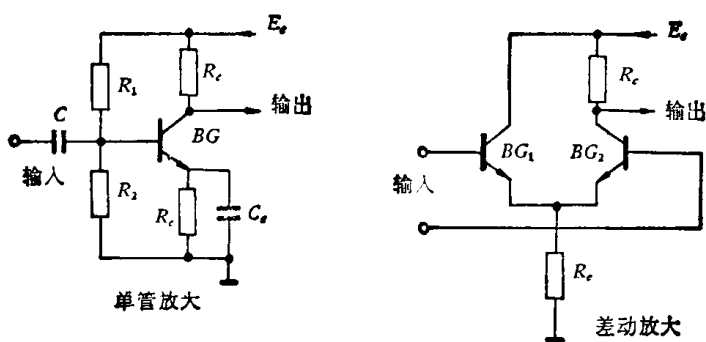


图 1-4 单管放大与差动放大

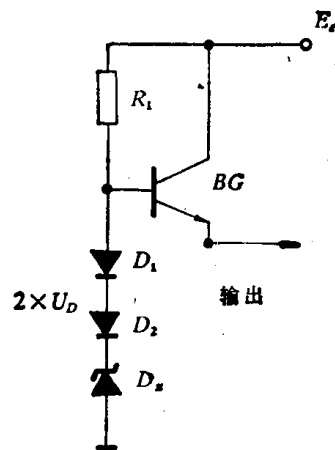


图 1-5 具有温度补偿的稳压电路

4. 由于大量采用直接耦合，尤其是使用具有正温度系数的齐纳二极管，提供基准电压时，很容易发生工作点随环境温度、工作时间漂移，为此应在集成块内部采用温度补偿。温度补偿一般是由具有负温度系数的二极管来实现的。图1-5是具有温度补偿的稳压电路，图中BG为射随器， D_z 为齐纳二极管，正向二极管 D_1 、 D_2 起抵消 D_z 电压随温度变化的作

用, 电源电压 E_c 通过电阻 R_1 给稳压管提供工作电流, 并为晶体管提供基极偏流。由 D_1 、 D_2 正向压降 $2U_D$ 及 D_z 的齐纳电压 U_z 作为晶体管基极偏置电压。

5. 以多级NPN管共发射极放大器直接耦合为例, 由于直耦将引起后级基极电位逐级上升(见图1-6), 造成后级放大器工作点不当, 线性动态范围变小。因此需要在级间插入电位迁移电路, 保证各级都有合适的工作点。电位迁移电路亦可简称为电位移电路。

电位迁移电路通常是由射极输出器、二极管或PNP共发射极放大器来担任。

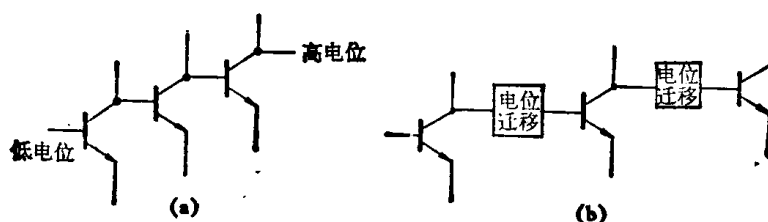


图 1-6 直耦电路直流电位上升和电位迁移

6. 在集成块内电路, 例如互补对称OTL输出电路、PNP电位迁移电路等, 需要有性能相仿的NPN型管和PNP型管。但是在集成块的一个衬底中所制作的两类管子性能不尽相同, 以电流放大倍数 h_{fe} 为例, NPN型管的 β 值较高, 而PNP型管较低。为此, 常采用复合管形式, 达到增大放大倍数和性能配对的要求。复合方式有PNP-NPN复合或NPN-NPN复合, 复合的结果, 分别为PNP管或NPN管(图1-7)。这在集成块内电路中是屡见不鲜的。

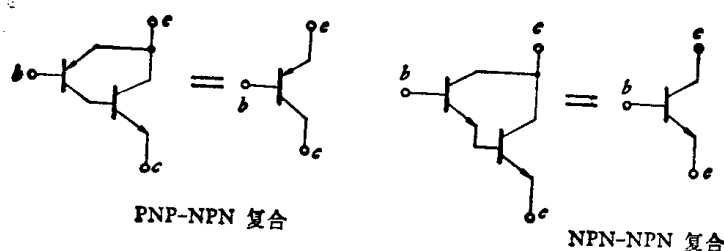


图 1-7 复合管

综合上述特点, 可说无一不与工艺特点有关。其中, 集成块内电路设计的最大特点在于直接耦合和用有源元器件替代无源元件; 其他特点则是由此而派生出来的。

为了熟悉集成电视内电路和外接元件的关系, 我们有必要与学习分立元器件电路一样, 首先要抓住熟悉组成内电路的基本单元电路, 然后才有可能顺利地掌握由这些基本单元电路组合、变化而成各种实用的功能电路。

第二节 集成块内电路的基本单元电路

集成电路有数字集成和线性集成两类。在国内集成电视中所用的集成块大多是线性集成。电视接收机集成块以应用范围分, 又有通用和专用二种。

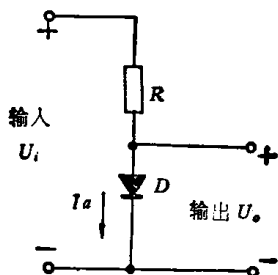
集成块复杂的内电路, 都是由简单的基本单元电路组合起来的。电视集成块内部基本单元电路并不多, 这里我们将介绍最主要的四种电路: 稳压电路(恒压电路); 恒流源电路; 直流电位迁移电路; 差动放大电路。

一、稳压电路(恒压电路)

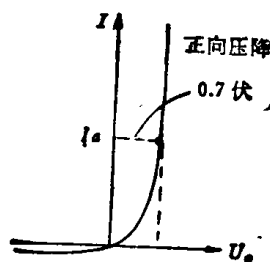
稳压电路是集成块内部最常用的基本电路之一。它的作用是保持恒定电压输出以供集成块内电路运用,提高工作性能的稳定性。在集成块内部的稳压电路形式多样,繁简不一,其典型形式有如下五种:

1. 二极管稳压电路

它是利用二极管伏安特性中正向压降为0.7伏不受电流大小而变化的那一段特性曲线作基准电压形成稳压输出。图1-8(a)为二极管稳压电路,图1-8(b)为二极管伏安特性。当流过二极管D的电流 I_a 适中时,输出电压 U_o 与输入电压 U_i 无关,并保持为 $U_o = 0.7V$ 不变。试验证明:当二极管的电流增加一倍时,电压仅变化18mV。图中 R 为限流电阻,此电阻阻值不能太小,它会使电流过大而烧毁二极管。反之亦不能太大,否则稳压性能变差。



(a) 二极管稳压电路

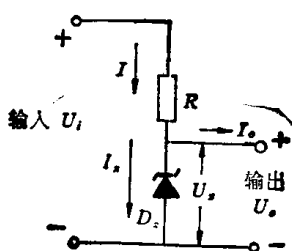


(b) 二极管伏安特性

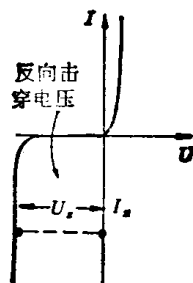
图 1-8 二极管稳压电路及二极管特性

2. 齐纳二极管稳压电路

齐纳二极管又叫稳压管。图1-9(a)(b)是齐纳二极管稳压电路及稳压管特性。齐纳二极管工作在反向电压软击穿区域。当齐纳二极管稳压电路的输入电压为 U_i ,且 U_i 大于齐纳管反向击穿电压 U_z ($U_i > U_z$)时,齐纳二极管中流过的电流 I_z 急剧增长,其大小随限流电阻 R 变化。



(a)



(b)

图 1-9 齐纳二极管稳压电路及稳压特性

$$I = \frac{U_i - U_z}{R} \quad (1-1)$$

而输出电压 U_o 等于稳压管反向击穿电压 U_z ,它几乎与输入电压 U_i 无关。应当注意的是流过限流电阻 R 的电流 I 包括二个部分: I_z 及输出电流 I_o ,且有

$$I = I_z + I_o \quad (1-2)$$

当未接上负载, 输出电流 $I_o = 0$ 时, $I = I_z$,

在接上负载有输出电流时, 输出电压 U_o 与输入电压 U_i 的关系式为:

$$U_o = U_z = U_i - IR \quad (1-3)$$

从式 (1-3) 可见, 在输入电压 U_i 和电阻 R 给定的情况下, 要维持输出电压 U_o 不变, 必须保证流过电阻 R 的电流 I 恒定。该电路电压稳定的自动调整过程是: 当负载电流 I_o 增加时, 流过稳压管的电流 I_z 相应减小, 从而保证输出电压稳定。当负载电流过大, I_z 过小时, 工作点便移向稳压特性弯曲部分, 稳压性能将变差。限流电阻选择应兼顾负载电流的影响和稳压管的额定功率。

3. 二极管-晶体管组合的稳压电路

电路如图1-10所示。该电路特点是构成简单, 输出电压稳定, 对负载变化的适应能力较强。

图中, 输出电压 U_o 为:

$$U_o = U_i - U_{be} \quad (1-4)$$

输出电压主要由基极电压 U_b 决定, 与输入电压 E_c 无关。

从输出端看, 还有下述关系:

$$U_o = I_z \cdot R_2 \quad (1-5)$$

$$I_e = I_z + I_o \quad (1-6)$$

其中 I_o 为输出电流。

式 (1-6) 中发射极电流 I_e 由 BG_1 基极偏流决定。如果负载加重, 输出电流 I_o 增大, I_z 和 U_o 呈下降趋势, 此时自动调整作用为:

$$U_o \downarrow \rightarrow U_{be} \uparrow \rightarrow I_b (I_e) \uparrow \rightarrow I_z \uparrow \rightarrow U_o \uparrow。$$

从而保持输出电压 U_o 不变。电压自动调整过程表明, 输出电压与输出电流 I_o 也无关。

实际应用中需要几种不同电压输出的稳压电路, 可采用图1-11电路。此时运用式 (1-4) 即可得到 $U_{o1} = 4.2V$, $U_{o2} = 2.1V$ 两种输出电压。

4. 齐纳二极管-晶体管组合的稳压电路

齐纳管-晶体管组合的稳压电路有并联型和串联型两种, 见图1-12和1-13。它可以获得更稳定的电压输出, 而且稳压范围也宽。

图1-12中 BG_1 是调整管, 它与输出端的负载并联, 称为并联型稳压电路。 R_2 和 R_1 是稳压管 D_z 的限流电阻, R_2 又是调整管 BG_1 集电极负载。输出电压 U_o 与 E_c 无关, 可用下式表示:

$$U_o = U_z + U_{be1}, \quad (1-7)$$

式中 U_z 为齐纳管击穿电压,

U_{be1} 是 EG_1 调整管 b 、 e 间电压。

该电路电压自动调整过程是: 当负载加重输出电流

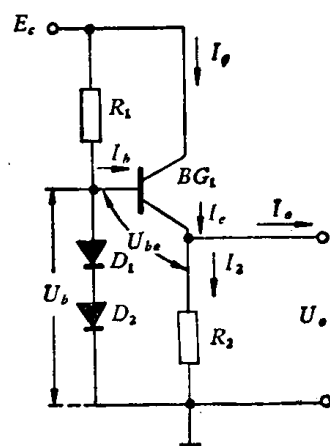


图 1-10 二极管-晶体管组合的稳压电路

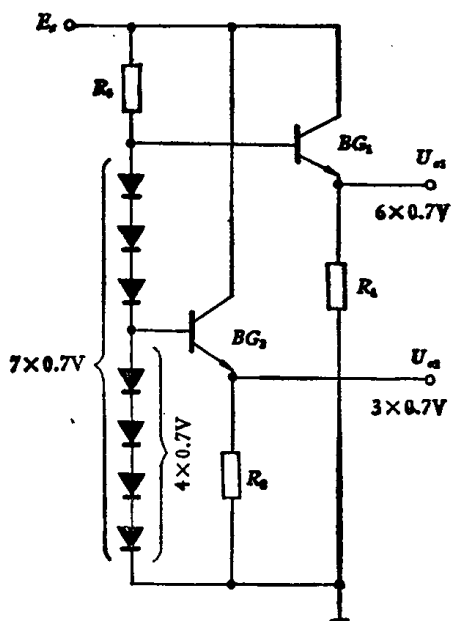


图 1-11 有不同电压输出的稳压电路

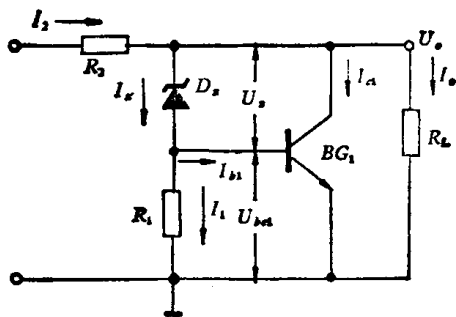


图 1-12 并联型稳压电路

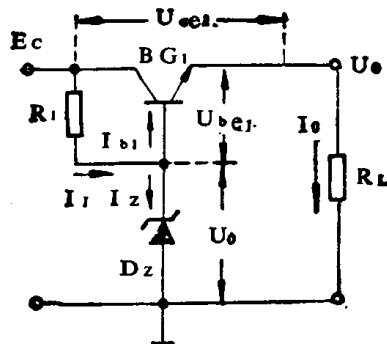


图 1-13 串联型稳压电路

I_o 增大，输出电压 U_o 有下降趋势时，即：

$U_o \downarrow \rightarrow$ 因 U_z 一定， $U_{be1} \downarrow \rightarrow$ 调整管 $I_{b1} \downarrow \rightarrow$ 在 R_2 上流过 $I_2 \downarrow$ ，压降减小 $\rightarrow U_o \uparrow$ 回升，从而维持输出电压不变。用上述相似的分析方法还可以说明自动电压调整过程与电源电压 E_c 变化也无关。

图1-13调整管 BG_1 与负载相串联，是串联型稳压电路，输出电压由下式表示：

$$U_o = U_z - U_{be1},$$

且

$$E_c = U_o + U_{ce1}. \quad (1-8)$$

当负载电流 I_o 增大，输出电压 U_o 下降时，其自动调整过程为：

$U_o \downarrow \rightarrow$ 因 U_z 一定 $U_{be1} \uparrow \rightarrow$ 基极电流 $I_{b1} \uparrow \rightarrow$ 调整管 $U_{ce1} \downarrow \rightarrow$ 输出电压 $U_o \uparrow$ 。

5. 反馈型稳压电路

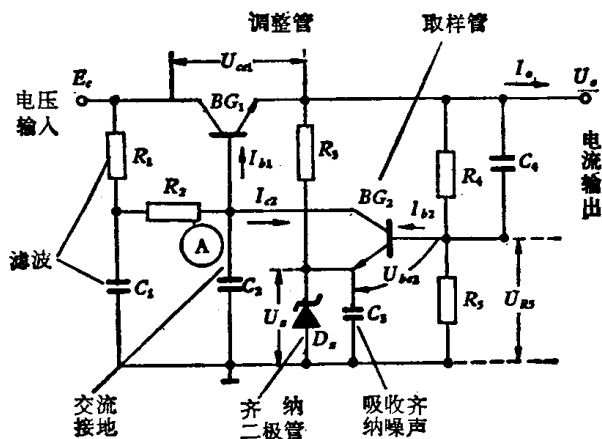


图 1-14 反馈型稳压电路之一

图1-14是反馈型稳压电路之一。该电路与分立元器件稳压电路相仿， BG_1 是电压调整管， BG_2 是取样放大管， R_4 、 R_5 为取样电阻，输出电压的波动通过 R_5 加到取样放大管 BG_2 基极，经 BG_2 放大，以调整 BG_1 的 U_{be1} 电压，保证输出电压 U_o 恒定。 R_1 、 C_1 组成的滤波网络，用以滤去电源供电电压波动，使调整管 BG_1 基极电位不受电源纹波影响， R_2 是 BG_2 的直流负载电阻，同时又是 BG_1 的偏置电阻，电容 C_2 把 BG_1 基极交流接地，使 BG_1 基极偏置稳定，同时当 E_c 降低

到一定程度， BG_1 失去控制作用后， C_2 起有源滤波器作用，使输出电压纹波减小， C_3 是用以吸收齐纳管穿透电流所产生噪声的旁路电容， C_4 也是旁路电容，将输出电压变动直接反映到取样管基极，提高取样的灵敏度， R_3 是齐纳管 D_z 限流电阻。

该电路的输出电压计算式，可由下述关系导出：

在图1-14中显然有：

$$U_{R5} = U_z + U_{be2}. \quad (1-9)$$

当 BG_2 基极电流 I_{b2} 很小以至可以忽略时还有

$$U_{R5} = \frac{R_5}{R_4 + R_5} \cdot U_0 \quad (1-10)$$

由式 (1-9) 及式 (1-10) 可得

$$\frac{R_5}{R_4 + R_5} \cdot U_0 = U_s + U_{be2}$$

令分压比 $\frac{R_5}{R_4 + R_5} = n$, 则

$$U_0 = \frac{1}{n} (U_s + U_{be2}) \quad (1-11)$$

式 (1-11) 说明输出电压 U_0 主要由分压比 n 及齐纳管电压 U_z 决定, 而与输入电源电压 E_c 无关。当自由选择分压比 n 值时, 可获得实际应用中所需要稳压输出。

在制作集成块时, C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 电容均采用外接形式。当输出电压要求手动调整, 取样电阻用电位器替代时也需要用外接元件来解决。

图1-14稳压电路电压调整过程: 当 $U_0 \downarrow$ 时, U_{R5} 随之下降 $\rightarrow U_{be2}$ 减小 $\rightarrow BG_2$ 的集电极电流 I_{c2} 减小 $\rightarrow$ ④点电位上升, I_{b1} 增大 $\rightarrow BG_1$ 调整管 U_{ce1} 减小 $\rightarrow$ 输出电压 U_0 回升 $\uparrow$ 达到自动稳压。反之, U_0 上升时同样可以自动保持输出电压不变。

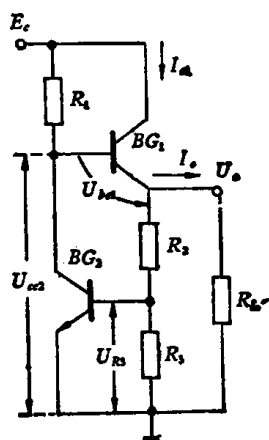
图1-15是反馈型稳压电路之二。输出电压 U_0 如果发生变动, 通过 R_2 在 R_3 两端取出 U_{R3} , 经 BG_2 放大并反馈到调整管 BG_1 基极进行自动调整。

由图1-15 (a) 可见, 在调整管 BG_1 基极与发射极之间的电压 U_{be1} 与 BG_2 的 U_{ce2} 之间存在下述关系:

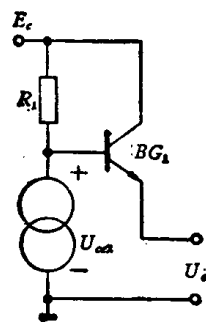
$$U_{ce2} = U_{be1} + U_0$$

即

$$U_0 = U_{ce2} - U_{be1} \quad (1-12)$$



(a) 电路图



(b) 简图

图 1-15 反馈型稳压电路之二

当负载加重, 负载电流 I_0 增大引起输出电压 U_0 下降时, 从图1-15(a) 及式 (1-12) 可知电压调整过程:

U_0 下降 $\rightarrow U_{R3} \downarrow \rightarrow U_{ce2} \uparrow \rightarrow U_{be1} \uparrow \rightarrow I_{c1}$ 增大 $\rightarrow BG_1$ 内阻 $\downarrow$ 输出电压 U_0 回升 $\uparrow$, 达到稳压目的。

上述所介绍的各种简单的稳压电路, 均出现在复杂的集成块内电路之中, 成为内电路的一个组成部分, 有时亦可用符号来表示 (见图1-16)。若用稳压符号表示图1-15(a), 可简化成图1-15(b)。

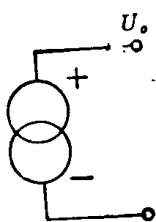


图 1-16 稳压符号

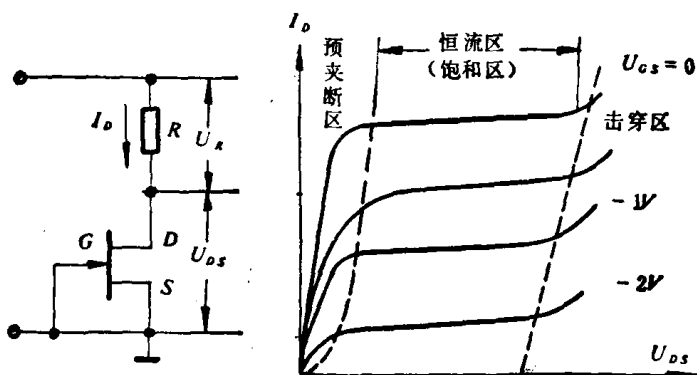
二、恒流源电路 (恒流电路)

恒流源电路是集成块内电路的又一基本电路。所谓恒流源电路是指该电路输出电流与输出端的电压大小无关, 并能保持恒定不变。恒流源电路与稳压电路在集成块内部相辅相成, 各树一帜。

恒流源电路形式不少，择其主要介绍于后。

1. 场效应恒流源电路 (FET)

图1-17 (a) 是场效应恒流源电路。它在集成电路中的作用是为放大器提供正常偏置或提高差分放大器的增益，也有用它作负载的。图中S为源极，G为栅极，D为漏极。当栅极G及源极S之间电压 U_{GS} 一定时，电源 E_c 或漏极与源极之间电压 U_{DS} 发生变化，漏极电流 I_D 可以恒定不变，这是由于场效应管的漏极特性所决定的。由图1-17(b)所示的场效应管漏极特性曲线可知，当场效应管栅极G与源极S之间电压一定，例如 $U_{GS} = 0$ ，当 U_{DS} 由零逐渐增大， I_D 也随之增大，这是由于沟道电阻随栅压变化引起的，这也是预夹断区的特点；当继续增大 U_{DS} 时，栅漏二极管PN结附近的耗尽层变宽，使漏极附近的沟道横向靠拢，此时耗尽层电阻比沟道电阻大得多，所以漏极电流基本上与 U_{DS} 无关，便出现一个很宽的恒流区。



(a) 电路；(b) 场效应管漏极特性

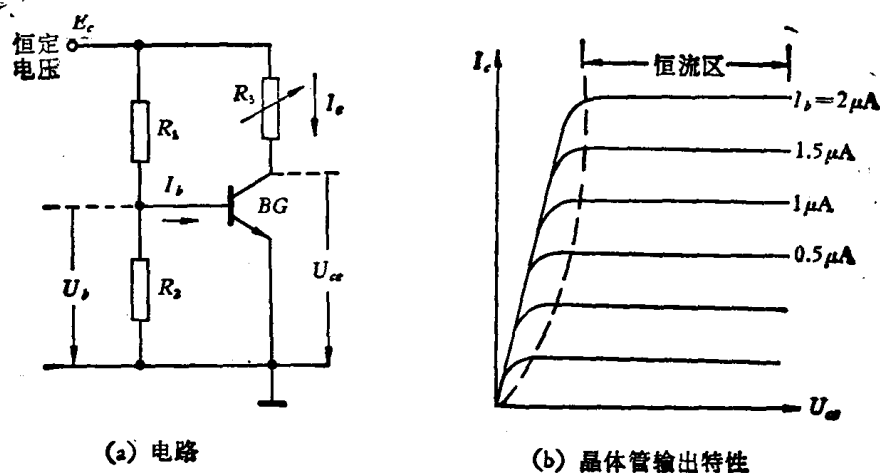
图1-17 场效应恒流电路

另外，从图1-17 (a) 可以看出电压关系为：

$$E_c = I_D \cdot R + U_{DS} \quad (1-13)$$

电阻 R 已知， I_D 在恒流区时保持不变；当电源 E_c 变化时， U_{DS} 也随之作相应变化，只要 U_{DS} 不过分小，工作点不进入非恒流区， U_{DS} 对 I_D 不会产生影响。

2. 晶体管恒流源电路



(a) 电路

(b) 晶体管输出特性

图 1-18 晶体管恒流电路

同样，晶体管的输出特性也有相似的恒流区。在恒流区中只要基极偏置电压一定，基极电流 I_B 一定， I_C 大小与 U_{CE} 大小无关，即使负载电阻 R_3 作一定范围变化， I_C 也恒定不变。

但是该电路基极偏压是由 E_c 分压供给。当 E_c 发生变化时会引起基极电流 I_B 变化，不

能保持 I_c 不变, 为此要达到更好恒流效果, E_c 要采用稳压电源。

由此可见晶体管恒流电路, 只要保证基极电压(电流)一定, 工作点在恒流区, 则集电极电流 I_c 恒定, 与负载 R_L 大小无关。 R_L 的变化只会引起 U_{ce} 变化, 但不影响 I_c 大小。

3. 齐纳管和晶体管组合的恒流电路

采用图1-18的晶体管恒流电路的缺点是当电源电压 E_c 不稳定时, 不能保持恒流, 但采用齐纳管和晶体管组合的恒流电路, 对电压稳定度要求便可以降低。在图1-19电路中即使 E_c 不太稳定, 晶体管集电极电流 I_c 也能保持恒定。

图1-19中, 晶体管的基极电流 I_b 很小可以忽略时, 则下式关系应该成立。

$$\begin{aligned} U_c &= U_{be} + I_c \cdot R_2 \\ &= U_{be} + I_c \cdot R_2 \end{aligned}$$

变换上式, 集电极电流 I_c 为:

$$I_c = \frac{U_c - U_{be}}{R_2} \approx \frac{U_z}{R_2} \quad (1-14)$$

因为 U_z 和 R_2 都是固定的, 所以 I_c 也应该为恒定值。

由式(1-14)可知, 如果晶体管基极电压用齐纳管稳定, 集电极电流 I_c 与 E_c 无关而保持恒定。

4. 镜象恒流源

镜象恒流源电路是由晶体管组合而成的恒流电路见图1-20 (a)。它是集成块内电路中最主要的恒流源电路之一。

图中晶体管 BG_1 的基极和集电极相连, 接成二极管, 基极和发射极间电压近似于同类三极管的 U_{be} ; 同时, 当 BG_1 的基极注入基极电流时则在集电极流过电流 I_{c1} , 同样, 由于 BG_2 的基极与 BG_1 基极直接连接, 则在同一个偏压 U_{be} 作用下, 产生相应的 I_{b2} 及 I_{c2} 。由于在单片集成元器件中, 将二个晶体管作得十分靠近, 能获得特性一致的对称晶体管, 当 U_{be} 相同时, 很容易得到:

$$I_{b1} = I_{b2} = I_b,$$

$$I_{c1} = I_{c2} = I_{c0}$$

在这种情况下, 分析图1-20的电压和电流关系有:

$$E_c - U_{be} = I \cdot R,$$

即

$$I = \frac{E_c - U_{be}}{R}. \quad (1-15)$$

根据克希霍夫定律, 在节点④处的电流方程式应为:

$$I = I_{c1} + 2I_b = I_{c0} + 2I_b,$$

即

$$I = I_{c0} + \frac{2}{\beta} I_{c0} \quad (1-16)$$

当晶体管的 $\beta \gg 2$, I_b 可以忽略不计, 则由式(1-15)与式(1-16)可得

$$I = I_{c1} = I_{c2} = \frac{E_c - U_{be}}{R} \approx \frac{E_c}{R}. \quad (1-17)$$

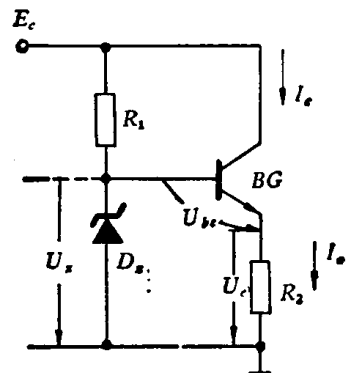
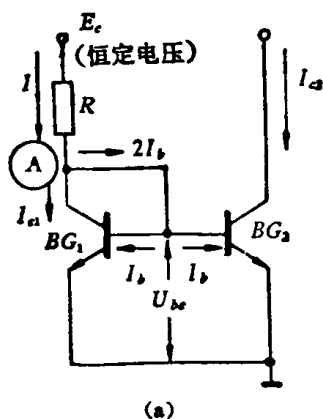
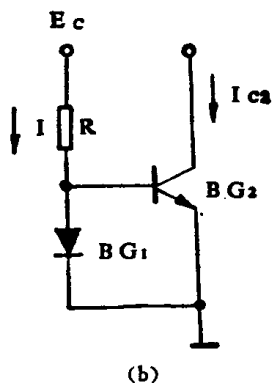


图 1-19 不受电源影响的晶体管恒流电路



(a)



(b)

图 1-20 镜象恒流电路

由式(1-17)可以说明:

(1)当镜象恒流源 E_c 及 R 一定时, $I \approx I_{c1} = I_{c2}$ 也一定, 电流 I 称为基准恒流电流。

(2)当 E_c 或 R 变化时, 基准恒流电流及 I_{c1} 、 I_{c2} 同时变化, 如同照镜一般形影相随。

(3)我们间接地可通过对镜象恒流源电阻 R 的调节, 来控制 I_{c2} 大小, R 替代了分立元件中的偏置电阻调节作用, 且 R 的阻值较小, 为集成块内电路所许可。

(4)该恒流源对 E_c 有稳压要求, E_c 变化会影响恒流稳定性。

(5) BG_1 管对 BG_2 管具有温度补偿作用, 所以 I_{c2} 的温度特性较好。

上面介绍的恒流源电路是最简单的一种, 在集成块内部出现的略有变化。例如图1-21是图1-20恒流源的一种改进电路, 它在④点及镜象管基极之间接入一个晶体管 BG_3 , 显然 I_{c2} 比 $2I_{c1}$ 更小, 该恒流源对管子 β 要求降低, 基本关系 $I = I_{c1} = I_{c2}$ 依然成立。

图1-22是具有强烈负反馈的一种恒流电路, 该电路恒流特性更好, 输出阻抗可获得进一步提高。

当某种因素使电流 I 增加, 而不稳定时, 负反馈的过程为:

$I \uparrow \rightarrow I_{b2} \uparrow \rightarrow I_{c2} \uparrow \rightarrow I_{b1} \uparrow \rightarrow I_{c1} \uparrow \rightarrow I_{b2} \downarrow \rightarrow I_{c2} \downarrow$, 使 I_{c2} 达到稳定。

具有负反馈恒流电路可以看作是一个电流增益近似为1的放大器。恒流源电路符号见图1-23, 箭头方向表示电流方向。

5. 微电流镜象恒流源

图1-20的镜象恒流源电路的恒流电流, 由式(1-17)已知:

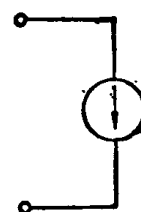
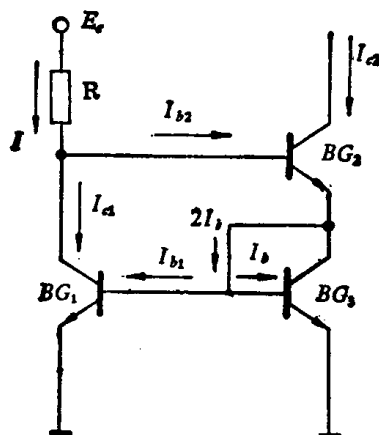
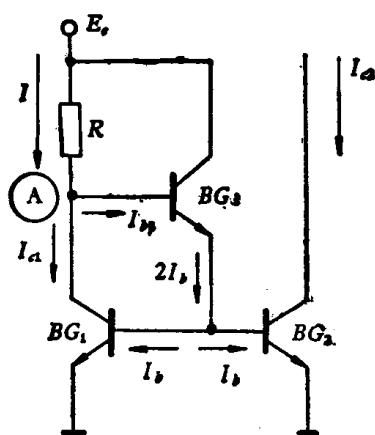


图 1-21 镜象恒流源的改进电路之一 图 1-22 具有负反馈的恒流电路 图 1-23 恒流源符号

$$I \approx I_{c2} = \frac{E_c - U_{be}}{R}$$

当恒定电流 I_{c2} 要求很小如在数十微安以内, 而 E_c 电压又不可能太小时, 则需用阻值很大的电阻 R , 例如当 I_{c2} 要求为 0.01mA , E_c 电压采用 10V , R 值将近 $1000\text{k}\Omega$ 。这样大的电阻为集成块内电路所不许可。这时可选用微电流镜象恒流源(见图1-24)。

与图1-20相比, 图1-24在 BG_2 的发射极串入适当的电阻 R_2 , 用以减小 I_{c2} , 这时 I 与 I_{c2} 就不存在近似相等的关系, 而是 $I > I_{c2}$ 。

R_2 的阻值应根据要求配置, 经过推导:

$$R_2 = \frac{kT}{qI_{c2}} \ln \frac{I}{I_{c2}} \quad (1-18)$$