

上海市工人业余学校课本

电子技术

第三册

试用本

上海科学技术出版社

上海市工人业余学校课本

电 子 技 术

第 三 册

(试 用 本)

上海科学技术出版社

上海市工人业余学校课本

电 子 技 术

第 三 册

(试 用 本)

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9.875 字数 220,000

1979 年 3 月第 1 版 1980 年 7 月第 2 次印刷

印数 90,001—105,000

书号: 15119·1997 定价: 0.80 元

目 录

第一章 直流放大器	1
第一节 概述	1
第二节 级间耦合与零点漂移	3
一、直流放大器的耦合方式	3
二、零漂对放大器的影响	9
三、产生零点漂移的原因及温度补偿电路	10
第三节 射极补偿电路	13
第四节 差动放大器	15
一、平衡放大电路原理	15
二、平衡式差动放大器	18
三、不平衡式差动放大器	22
四、差动放大器的改进	26
第五节 应用举例	35
一、滑差电机调速系统	35
二、SR-8 型二踪示波器 X 轴放大电路的末级	38
三、土壤湿度计	39
四、直流电机调速系统中的直流放大器	42
五、集成化放大器电路	43
本章小结	45
习题	46
第二章 整流电路	47
第一节 单相整流电路	47

一、半波整流电路	47
二、全波整流电路	51
三、桥式整流电路	55
四、几种整流电路的比较	57
五、倍压整流电路	59
六、整流元件的串联和并联	62
第二节 滤波器	67
一、电容滤波器	67
二、电感滤波器	73
三、复式滤波器	75
第三节 应用举例	78
一、交直流收音机电源	78
二、高压电源	81
本章小结	82
习题	82
第三章 直流稳压电源	84
第一节 硅稳压管稳压电源	84
一、并联式稳压的基本原理	84
二、硅稳压管	85
三、稳压管稳压原理	87
四、稳压管稳压电路元件参数估算	89
五、稳压管稳压电源工作范围	90
第二节 串联式稳压电源	91
一、串联稳压的基本原理	91
二、串联式稳压电源的工作原理	92
三、最简单串联式稳压电源的估算	96
四、稳压电源稳定度的改善措施	99

五、串联型稳压电源的一般规律及主要环节分析	105
第三节 稳压电源的主要参数、调试步骤及安装测试	
中的注意事项	124
一、稳压电源的特性指标	124
二、稳压电源的质量指标	126
三、调试与测试	128
第四节 稳压电源的设计	135
一、稳压电源的设计	135
二、稳压电源的设计实例	139
第五节 稳压电源应用电路介绍	143
一、硅稳压管稳压电源	144
二、简单串联型晶体管稳压电源	145
三、宽范围可调稳压源	146
四、放大部分为“恒流源负载”的稳压电源	149
五、两级差动放大集电极输出型稳压电源	151
六、具有辅助电源正负输出的稳压电源	153
本章小结	155
习题	156
第四章 正弦波振荡器	161
第一节 振荡回路中的振荡现象	161
一、什么叫振荡	161
二、自由振荡的频率	163
第二节 振荡器的基本原理	165
一、自激振荡	165
二、振荡条件	166
三、起振与幅度稳定	169
第三节 LC 振荡器	170

一、 LC 选频电路	170
二、 LC 振荡器电路	174
第四节 RC 振荡器	196
一、 RC 移相振荡器	197
二、 RC 桥式振荡器	201
第五节 石英晶体振荡器	210
一、石英晶体谐振器的电特性	210
二、石英晶体振荡器电路	217
三、石英晶体谐振器的正确使用	227
本章小结	229
习题	229
第五章 场效应晶体管及其应用	233
第一节 场效应晶体管的工作原理与分类	233
一、结型场效应晶体管的工作原理	234
二、MOS 场效应管的工作原理	237
三、场效应管的分类	242
第二节 场效应晶体管的特性及参数	242
一、场效应晶体管的特性	242
二、场效应管的主要参数	247
第三节 场效应晶体管低频阻容耦合放大器	250
一、场效应管的低频等效电路	250
二、场效应管的偏置电路	253
三、场效应管阻容耦合共源放大电路	259
四、共漏放大电路(源极跟随器)	264
五、高输入阻抗的源极跟随器	267
六、场效应晶体管与普通晶体管的复合跟随器	269
第四节 场效应晶体管单管应用电路	276

一、低频电压放大器(扩音机前置放大器)	276
二、源极跟随器(SR-8 型示波器中的 X 放大输入级)	277
三、差动放大器(场效应晶体管峰值电压表)	278
四、阻抗变换器	279
五、斩波器	280
本章小结	281
习题	283
实验	287
实验一 平衡式差动放大器	287
实验二 桥式整流电路	289
实验三 稳压电源	291
实验四 RC 移相振荡器	293
实验五 场效应晶体管特性测量	295
实验六 场效应晶体管共源低频放大电路	297
附录	300
附录一 关于“三角形——星形互换”	300
附录二 常用稳压管参数	301
附录三 场效应晶体管的测试	303
习题答案	308

第一章 直流放大器

内 容 提 要

由于直流放大器通常是指用于直流电流, 直流电压或变化十分缓慢的电流、电压的放大器, 因此它的级间耦合就和低频小信号放大器、功率放大器有所不同。当采用直接耦合的形式后, 直流放大器的零点漂移则是直接耦合的必然产物。本章针对上述问题扼要地介绍了直流放大器的级间耦合和零漂, 并介绍了在减小零漂的原则上(使有用信号不被零漂所淹没)发展起来的各种电路形式, 目前差动放大器是最常用的形式。

本章最后例举了直流放大器的应用实例。

第一节 概 述

在第二册中, 我们已经讨论了低频交流放大器和功率放大器问题, 其放大对象都是交流信号, 在电子技术中已广泛地运用这种电路。

在自动控制及自动测量系统中, 往往先要将一个非电量(如转速、温度、厚度、照度、流量、压力等)的变化, 用传感器(如测速装置、热电偶、光电管等)转变为电量(如电压、电流、电阻等)的变化, 再加以放大后输送到控制机构(如电动机、继电器、电磁铁)去进行控制, 或输送到仪表中去显示读数, 从而

达到自动控制及自动测量的目的。而这些需要放大的信号并不全是交流信号，有很多是变化极其缓慢的非周期性的直流信号。例如，当我们用热电偶去测量高温炉的炉温时，由于炉温的变化很慢，所以热电偶给出来的信号也是一个变化很慢的电压信号，这个信号一般只有几毫伏到几十毫伏，必须加以放大才能利用。

由于需要放大的信号和放大器的输出信号都是变化极为缓慢的非周期性的直流信号，对于这种信号能不能应用交流放大器来进行放大呢？我们知道：一个信号总是要通过一定的方式逐级输送下去，而交流信号是依靠变压器或阻容来输送的。如果把直流信号输送到变压器的初级，那么变压器中流过的是直流而不是交流，因而不产生交变磁场，所以无法输送到次级；如采用阻容来输送，那么直流是流不过电容器的，也无法把直流信号传到下一级去。因此交流放大器是不适用于进行直流放大的。

于是人们就应用了另一种放大器，这种放大器的输入信号和输出信号都是变化缓慢的直流量，我们把运用于这种情况下的放大器，叫做直流放大器。

那么，直流放大器和交流放大器究竟有什么本质的不同，又有什么联系呢？

因为直流是流不过电容器的，而当直流流过变压器时也不能产生交变磁场。所以为了放大直流信号，无论在输入端、输出端，还是在各级之间，都不能再用电容耦合或变压器耦合了，只能直接接过去，或者采用其它允许直流信号通过的连接方法，因此也有人把直流放大器叫做“直接耦合放大器”。由于是直接耦合，每一级放大器和它的输入信号之间，以及负载之间，都有直流通路存在，因而实现了直流信号的传递。但在

考虑每一级的静态工作点时,必须同时考虑到输入、输出回路对放大器工作点的影响。一般来说在交流放大器中,由于耦合电容的隔直流作用,每一级的静态工作点都是独立的。因此,在多级直流放大器中,静态工作点的安排和计算,要比交流放大器复杂一些。

在交流放大器中,如果隔直电容的容量足够大,则在一定的频率范围内它们均可视为短路,而短路后的电路形式和直接耦合放大器基本一致。所以对变化量而言,由交流放大器等效电路所推导出来的有关放大倍数、输入电阻、输出电阻的计算公式对直流放大器依然适用。不同的只是在直流放大器中,电压放大倍数不再用复数表示,而是以输出电压与输入电压的变化量之比来定义,即

$$K = \frac{\Delta U_{s_0}}{\Delta U_{s_i}}$$

此外,由于各级之间有直流通路,在多级放大器中,由工作点不稳定所引起的第一级静态电位的缓慢变化,将被逐级放大,使输出电压严重地偏离起始值,这个现象称作“零点漂移”。在多级直流放大器中,级间耦合与零点漂移成了必须解决的主要问题。

第二节 级间耦合与零点漂移

一、直流放大器的耦合方式

在直流放大器中,当一级的放大倍数不够大时,同样需要将几级放大器串接起来。前面我们已经分析了直流放大器不能用变压器耦合或阻容耦合,那么能不能象图 1-1 那样用一根导线把前后级直接连接起来呢?

从图 1-1(a) 可见, BG_1 集电极与 BG_2 基极是同电位的, 但晶体管基极-发射极电压 U_{be} 总是很低的, (一般锗管只有 0.3V 左右, 硅管也只有 0.7V 左右)。因此 BG_2 的基极电位不过 0.7V, 这样 BG_1 集电极工作电压就被限制在这个极低的数值内, 工作点 Q 接近饱和区, 工作范围大受限制, 甚至进入饱和区而无法工作, 见图 1-1(b), 因此级间耦合的方法

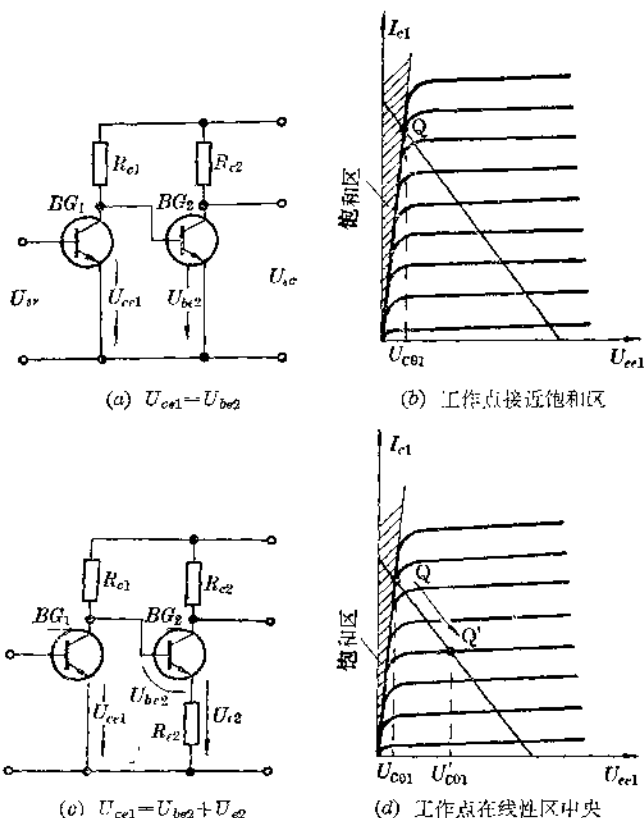


图 1-1 后级发射极电位对前级工作点的影响

是直流放大器中的一个重要问题。

解决的办法之一是提高后级发射极电位以增加前级集电极的工作电压，从而能扩大工作点的线性工作范围。因此可以在 BG_2 发射极串一电阻 R_{e2} ，见图 1-1(c)，在 I_{e2} 流过 R_{e2} 时将产生一个压降 $U_{e2} = I_{e2} R_{e2}$ 。因为 BG_1 集电极与 BG_2 基极同电位，所以就使 BG_1 集电极电压增加了 U_{e2} 。从图 1-1(d) 可见这样处理后 BG_1 的线性工作范围较图 1-1(b) 有所增加。

但是， R_{e2} 的负反馈作用将削减电压放大倍数，这在交流放大器中可以在电阻 R_{e2} 上并联一只交流旁路电容来得到改善。由于旁路电容对交流信号的阻抗很小，相当于短路，因此不起负反馈作用。但在直流放大器中，旁路电容对缓慢变化的直流信号的阻抗还是很大的，还有很大的反馈作用，因此不能按交流放大器并联旁路电容的办法。

如果我们用几只硅二极管串联起来代替 R_{e2} ，也可以提高后级发射极电位，又不致影响电路的原有放大倍数，如图 1-2(a) 所示。其原理如下：

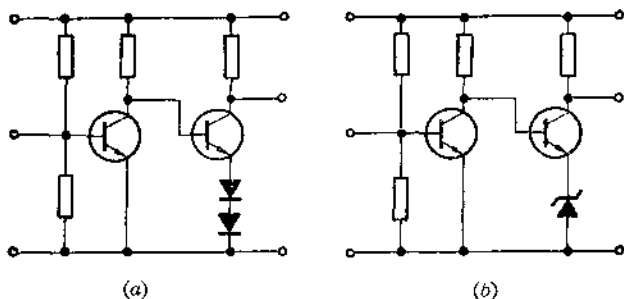


图 1-2 用硅二极管或稳压管代替 R_{e2}

从图 1-3 所示的硅二极管的伏安特性曲线中 A 点可见，

当管子中通过 50 mA 直流电时, 管子两端的直流压降是 1.5 V。这时它的电阻

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1.5}{50 \times 10^{-3}} = 30 \Omega$$

称为静态电阻, 是它工作在直流状态下表现的电阻。如果流过

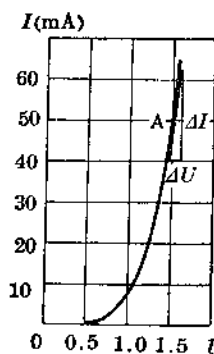


图 1-3 硅二极管正向伏安特性

管子的是交流电, 那么我们可以象求三极管输入电阻 r_{be} 那样, 作 A 点的切线, 从图中可见, 当电流从 60 mA 变化到 40 mA 时, 管子的压降从 1.55 V 变化到 1.45 V, 这个变化的电压和变化的电流的比值

$$R' = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{1.55 - 1.45}{(60 - 40) \times 10^{-3}} = 5 \Omega$$

称为动态电阻, 是它工作在交流状态下表现的电阻。可见硅二极管的动态电阻远小于静态电阻。因此用

硅二极管代替 R_{e2} 后, 它对于直流工作点的建立, 有电阻、有压降, 在直流情况下, 同 R_e 的作用一样, 从而提高了后级发射极电位, 解决了前级集电极工作点的问题, 但对于被放大的变化信号则电阻极小, 如同短路, 信号在它的上面几乎没有压降, 全部落在三极管的发射结上, 可以不降低原有的放大倍数。

同理, 还可以用稳压管来代替 R_{e2} , 达到与二极管同样的作用, 其接法见图 1-2(b)。关于稳压管原理, 我们将在第三章里学到。

另外还有一种使前级集电极电压加大的办法, 即将 NPN 型管子与 PNP 型管子配合使用, 见图 1-4。

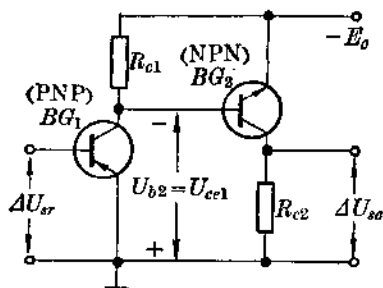


图 1-4 NPN 管与 PNP 管配合使用

由于 NPN 管和 PNP 管的电压极性相反, 因此, 第一级 BG_1 的发射极接电源正极(“地”), 而第二级 BG_2 的发射极必须接电源负极($-E_0$), 这样一来, 第二级 BG_2 的基极电位(对“地”) U_{b2} 的大小将接近 E_0 , 也就是说, 第一级 BG_1 的集电极-发射极电压 U_{ce1} 也可以接近 E_0 , 从而克服了 U_{ce1} 的数值不能加大的缺点, 这样 BG_1 的线性工作范围就增大了。

还有一些解决直流放大器级间耦合的方法, 其原理不外乎从解决前级工作点着手, 这里不再一一介绍。

关于直流放大器工作点的建立, 同交流放大器相似, 其不同之处在于交流放大器采用阻容耦合或变压器耦合, 而直流放大器则是直接耦合的。前者由于电抗元件的隔直作用, 级间直流电位互不影响; 后者则不然, 一级直流电位的变化, 会影响到其它各级直流电位的变动, 因此在调试工作点时要反复进行。直流放大器工作点的确立, 一般不采用图解法, 而用计算的方法。

例 在图 1-5 电路中, 电源 $E_c = 20\text{ V}$, 工作点取 $U_{ce1} = U_{ce2} = 6\text{ V}$, $I_{c1} = 1\text{ mA}$, $I_{c2} = 10\text{ mA}$, 第一级发射极加反馈电阻 $R_{e1} = 1\text{ k}\Omega$ 。试计算 R_{c1} 、 R_{c2} 和 R_{e2} 。

$$R_{c2} = \frac{E_c - I_{c2}R_{e2} - U_{ce2}}{I_{c2}}$$

$$= \frac{20 - 10 \times 0.63 - 6}{10 \times 10^{-3}} = 0.77 \text{ k}\Omega \quad (\text{取 } 750 \Omega)$$

为了使 R_{e2} 加入后不降低放大倍数, 最好挑选一只工作电流为 10 mA , 稳压值在 6.3 V 左右的稳压管(如 $2\text{DW}7\text{O}$)来代替 R_{e2} 。

二、零漂对放大器的影响

解决了耦合方式以后, 是不是就可以随意地多加级数来提高放大倍数呢?

在实践中我们发现: 即使将输入端短路, 输出电压也会出现忽大忽小忽快忽慢的波动, 如图 1-6(a) 所示, 而且这种波动随着级数增加逐级增大, 如图 1-6(b) 所示的三级直流放大器各级增益为 10, 当输入信号为零, 而由于温度的变化使每级的输出电压变化了 0.1 V , 这样第二级输出电压的漂移除了本身的 0.1 V 以外, 还包含第一级输出的漂移经第二级的放大以后所引起的变化, 而且后一部分有 1 V 之多, 比第二级本身的漂移还大。同理可知第三级输出电压的漂移, 主要是第一级的漂移经第二、三级放大后的结果。这样使我们得到了两个十分有用的结论:

第一, 放大器总的放大倍数越高, 输出电压的漂移也越严重。

第二, 在多级放大器中, 输出端的零点漂移, 主要是由输入级的零点漂移决定的。根据这个道理, 如果要想减小零点漂移, 必须着重在第一级加以解决。

同时, 还使我们明确了在比较两个放大器的零点漂移时,