

电子测试技术与实验

郭三明 修编

焦作工学院电气中心实验室

目 录

第一章 实验基础知识	(1)
第一节 电子电路的安装工艺与调试.....	(1)
第二节 电子电路的干扰.....	(4)
第三节 电子电路焊接基本知识.....	(7)
第四节 电子测量方法.....	(9)
第二章 模拟电子电路实验	(14)
实验一 常用电子仪器使用练习及用万用表简测晶体管	(14)
实验二 单管交流放大器	(17)
实验三 电子线路的组装焊接技术	(22)
实验四 场效应管放大器	(24)
实验五 多级电压放大电路	(27)
实验六 功率放大电路(一)	(30)
实验七 功率放大电路(二)	(33)
实验八 差动放大器	(34)
实验九 负反馈放大器	(37)
实验十 集成运算放大器线性应用	(40)
实验十一 集成运算放大器的非线性应用	(44)
实验十二 RC 桥式正弦波振荡器(一)	(47)
实验十三 RC 桥式正弦波振荡器(二)	(49)
实验十四 直流稳压电源	(50)
实验十五 单相可控硅整流电路	(52)
第三章 数字电路实验	(55)
实验一 双踪示波器与数字逻辑电路学习机的使用	(55)
实验二 TTL 门电路参数测试	(57)
实验三 CMOS 门电路参数的测试	(61)
实验四 基本逻辑门电路	(63)
实验五 组合逻辑电路设计	(66)
实验六 数据选择器及其应用	(68)
实验七 全加器及其应用	(72)
实验八 触发器	(74)
实验九 移位寄存器	(78)
实验十 计数器	(82)
实验十一 静态随机存取存储器 SRAM	(83)
实验十二 脉冲产生与整形电路	(86)
实验十三 555 集成定时器	(90)

实验十四 CMOS 传输门的应用	(92)
实验十五 D/A 转换器	(94)
第四章 实验装置及常用电子仪器	(98)
第一节 实验装置	(98)
一、MDS-1 型模拟电路实验器简介	(98)
二、便携式数字逻辑电路学习机简介	(99)
三、分立元件模拟电路学习机(SXJ-3A 型)	(102)
四、集成模拟电路学习机(SXJ-3B 型)	(104)
五、数字电路学习机(SXJ-3C 型)	(105)
第二节 常用电子仪器简介	(108)
一、示波器显示原理简介	(108)
二、ST-16 型示波器	(114)
三、VP-5220A 双踪示波器	(121)
四、DA-16 型晶体管毫伏表	(129)
五、XD-2 型低频信号发生器	(130)
六、JWY-30B 型晶体管稳压电源	(133)

第一章 实验基础知识

电子技术基础是一门实践性很强的技术基础课,在系统学习本课程基础理论的同时,进行基本实验技能的训练是十分重要的,一是能帮助初学者理解和巩固所学的理论知识;二是可以学会这门课的实验研究方法,培养实验技能。

电子技术基础实验包括电子测量和电子线路的调试技术。电子测量是泛指以电子技术作为手段进行的测量。本课程中,电子测量的对象仅限于各种电参数和电性能的测量。电子线路调试包括模拟电路和数字电路的检测与调试。

为了帮助初学者顺利进行电子技术的实验,本章介绍一些必备的实验基础知识。重点介绍电子线路的安装工艺与调试技术,然后简要说明电子线路中常用特性参数的基本测量方法,以便初学者能正确处理实验中测量的各种数据。

第一节 电子电路的安装工艺与调试

制造一台电子设备,一般要经过设计、安装和调试三个阶段,本节以放大器为例介绍制造过程的步骤。

1、放大器的设计

放大器的设计过程,就是综合运用基本理论解决实际问题的一个重要方面。对于半导体电路的设计,一般可采用定性分析、定量计算和实验调整三结合的设计方法。没有理论上的定性分析和定量计算,将是盲目的实践,但是由于半导体管参数的分散性大,分析计算既不可能也不必要十分精确,因此整个电路的定型必须通过实验调整使之完善起来。

(1)选择电路方案

①确定电路结构:主要根据环境温度,从稳定工作点的角度来考虑,也要注意适应信号频率的范围。此外为了提高输入电阻或降低输出电阻,可在第一级或末级采用射极输出器。

②确定放大器的级数:放大器的级数主要根据放大倍数的要求来确定,级数应尽量少些,但对放大倍数必须留有一定余量(例如可加15%~20%)。而且有时要采取措施来改善放大器性能(如工作点稳定和负反馈等),这时就要全面考虑妥善安排放大器的级数。

(2)、确定管型

主要根据信号频率的要求。例如在20Hz~200kHz的范围内采用一般的低频管(如3AX22、3AX25、3AX31等)或高频管(3DG6、3DG4、3DG8管)。管子的耐压应保证 $BV_{CE} > 2V_{om}$ (输出电压幅值),在环境温度超过50℃时以采用硅管电路为宜。当要求噪声低或输入电阻高时,可采用场效应管。

(3)、选择电源电压 V_{cc}

主要根据输出电压幅值及管子耐压的要求,一般有:

$$BV_{CE} > V_{cc} \geq (1.2 \sim 1.5) \times 2(V_{om} + V_{CEmin}) + V_E$$

式中 V_{CEmin} 为集电极电压最小值, V_E 为射极偏置电路中 R_E 上的压降,估算出 V_{cc} 后,尽量选

用标准电压级。

(4)、确定各级工作点和各级电路元件的数值

对 RC 耦合放大器, 确定各级静态工作点的原则和单级一样, 一般各级的 I_c 可选 $0.5 \sim 2\text{mA}$ 左右。一般前级的 I_c 可选得小些, 后级可选得大些。

各级电路元件数值的确定与单级放大器相同。但多级放大器中应尽量采用同类型的元件, 以减少备件的种类。

(5)、校核放大倍数

根据各级电路参数求出各级放大倍数, 然后校核总的放大倍数。

(6)、安装调试、完成电路定型

2、安装工艺

放大器要达到高质量, 除了设计合理的电路外, 还要有合理的安装工艺, 对安装工艺的主要要求是:

(1)、合理布线

放大器的输入线要和输出线、交流电源线分开走, 不要平行布线以免互相感应。同时元件要紧凑, 接线要尽量短。

(2)、合理接地并采用屏蔽(见第二节)。

(3)、焊接工艺要好(见第三节)。

3、调试方法

(1)、通电前的检查

通电前, 要检查放大器电路的接线是否正确, 所用元件规格是否符合要求, 以及仪表仪器的规格接线是否正确, 所用电源是否符合要求等。

(2)、静态工作点的调整

不加输入信号, 用万用表或电子仪表检查放大器的静态工作点, 如 V_{cc} 、 V_{ce} 、 V_{be} 、 V_e 、 I_c 等。一般是测量 V_{cc} 、 V_c 、 V_B 、 V_E (均对共同端而言), 然后算出 V_{CE} 、 V_{BE} 及 I_c 的值。因为用电子仪表测量时, 仪表的接地端要求和放大器的接地端连在一起以免引入干扰, 所以为了测到 V_{CE} , 我们可分别测量 c 和 E 对地电位 V_c 和 V_E , 则 $V_{CE} = V_c - V_E$, 同样可得 $V_{BE} = V_B - V_E$ 。另外, 在测量时要尽可能测量电压而不直接测量电流, 以免更动接线, 例如 $I_c = (V_{cc} - V_c) / R_c$, 可通过 V_{cc} 、 V_c 得到。此外在测量时应选用内阻较高的电压表, 以减小测量误差。

在测量静态工作点时, 通常遇到两种不正常的情况, 一种是工作点偏高 ($V_{CE} < 0.5V$), 此时放大器工作到饱和区; 另一种是工作点偏低 (V_{CE} 接近 V_{cc}), 此时放大器到截止区, 这就需要对工作点做适当的调整。

静态工作点通常是利用基极电阻来进行调整的, 因改变 R_b 就会改变了 I_b , 而 I_b 一改变, I_c 、 V_c 、 V_E 、 V_B 等都会随之而变。图 1-1 是通过改变 R_{b1} 来改变静态工作点的电路。当工作点偏低时可将

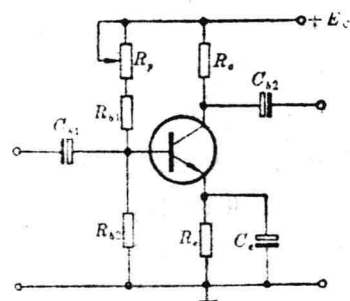


图 1-1 利用 R_{b1} 改变工作点

R_{b1} 适当减小,当工作点偏高时又可将 R_{b1} 适当增大。一般可先串入电位器 R_p 来进行调节,当工作点调整合适后,测出电位器的电阻,再换成固定电阻接入电路。

多级放大器的各级工作点可按各级不同的要求逐级调整。

(3)、测量放大倍数

调好静态工作点后,就可根据技术要求在放大器输入端加入交流信号,利用示波器逐级观察波形有无失真现象,以使放大器既能获得较高的放大倍数,又不产生波形失真。测量时必须注意所有仪器的接地端和放大器的接地端要连在一起以避免引起干扰,如图 1-2 所示。

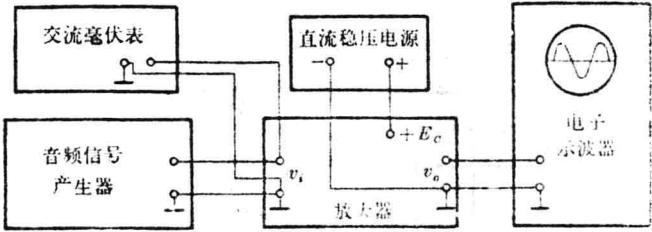


图 1-2 调试放大器时测量仪器的接线图

产生波形失真的现象主要有三种(针对 NPN 管而言):①工作点偏高,产生饱和失真,可增大 R_{b1} ;②工作点偏低,产生截止失真,可减小 R_{b1} ;③波形上下均有失真,可能是信号过大或 V_{cc} 偏低所造成的。单级放大器输出电压波形失真的情况如图 1-3 所示。

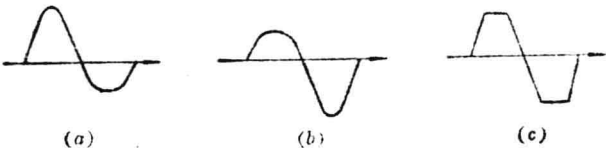


图 1-3 单级放大器输出电压的波形失真

(a)饱和失真 (b)截止失真 (c)波形上下失真

解决了波形失真后,即可测量放大倍数。用交流毫伏表逐级测量各级输入输出电压,从而得到电压放大倍数。如放大倍数不符合要求,可适当提高电流 I_c 或换用 β 较大的管子,或适当增大 R_c 来提高放大倍数

(4)、测量频率特性

放大器的幅频特性可在维持输入正弦信号幅度不变的条件下,改变信号频率,用交流毫伏表分别测量在各种频率下的输出电压,作出幅频特性,并在幅频特性上确定 f_L 、 f_H 及通频带。相频特性可以利用利萨如图形法测量。或利用示波器的外触发信号输入测出输出输入相位关系,从而作出相频特性。

将频率可变的周期性方波信号加于放大器的输入端,在输出端接入一个脉冲示波器以观察输出波形。当频率在中频区时,可以看出输出脉冲波形的失真不甚显著,但是当方波信

号的频率向低频方向改变时,可以发现输出波形将产生平顶降落,如图1-4(a)所示,若开始产生此现象时的频率愈低,则表示放大器的下限频率也愈低。同理,若方波信号的频率向高的方向改变,则输出波形的上升时间增加,产生前沿失真,如图1-4(b)所示。开始产生前沿失真的频率愈高,则表示放大器的上限频率也愈高。当放大器的通频带很窄时,可以观察到即使在中频区内,也可能既产生前沿失真,又出现平顶降落,如图1-4(c)所示。这种方波测试方法可定性比较放大器的通频带。参数测量方法详见第四节。

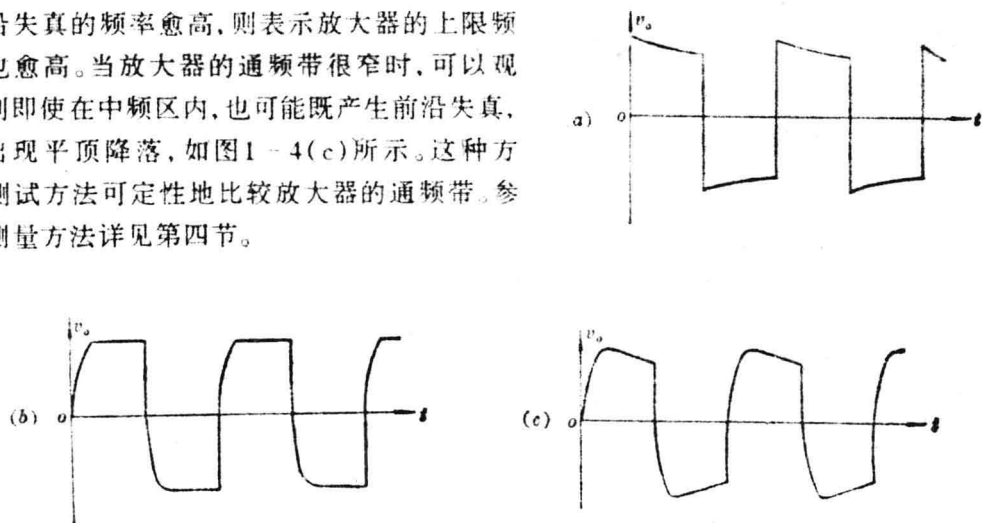


图1-4 放大器对方波信号的输出电压波形
(a)平顶降落 (b)前沿失真 (c)平顶降落和前沿失真同时存在

第二节 电子电路的干扰

干扰是外界因素对放大器中各部分的影响所造成的,例如通过电源进来的50Hz交流电压,放大器周围存在的发电机、电动机及气体放电器件等的杂散电磁场以及放大器有机械振动时可能在输出端出现的干扰电压等。

1、杂散电磁场干扰

放大器周围存在杂散电磁场时,放大器的输入电路或某些重要元件处于这种变动的电场和磁场中,就会感应出干扰电压。对于一个增益高的放大器来说,只要第一级引进一点微弱的干扰电压,经过各级的放大,放大器的输出端就有一个较大的干扰电压。

图2-1表示由静电感应造成的干扰原理图。干扰源和放大器的输入电路(或某些重要元件)之间存在杂散电容 C ,构成了干扰电流的回路。此干扰电流在放大器输入电阻 R_i 上产生干扰电压。可见,放大器输入电阻越大或杂散电容 C 越大,干扰电压也越大。

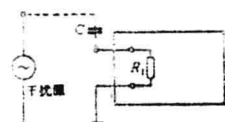


图2-1 由静电感应造成的干扰

放大器中的磁性材料元件(如输入变压器等)对杂散磁场的干扰是很敏感的。当干扰磁场足够强时,在输入端产生的干扰电压就会妨碍放大器的正常工作。

对于杂散电磁场的干扰,可采取下列措施:

(1)、合理布局

从放大器的结构布线来说,电源变压器要尽量远离第一级的输入电路,更应远离放大器。在安装变压器时要选择它们的安装位置,使之不易对放大器产生严重干扰。对有输入变压器的放大器,应特别注意将输入变压器的线圈安装得和干扰磁场垂直,以减小感应的干扰电压。

此外,放大器的布线要合理,放大器的输入线与输出线,交流电源线要分开走线,不要平行走线。输入走线越长,越易接受干扰。

(2)、屏蔽

为了减小外界的干扰,可采用屏蔽措施。屏蔽有静电屏蔽和磁场屏蔽两种。屏蔽的结构可以将干扰源或受干扰元件用屏蔽罩屏蔽起来,特别是多级放大器的第一级更加重要。如第一级的输入线采用具有金属套的屏蔽线,屏蔽线的外套要选一点接地。

在抗干扰要求较高时,可把放大器的前级或整个放大器都屏蔽起来。静电屏蔽采用导电率高的材料,如铜、铝或铁等金属。磁屏蔽用具有高导磁率的磁性材料,如坡莫合金或铁等。此外屏蔽罩的形状影响很大,圆柱形屏蔽效果最好。

静电屏蔽的原理是在屏蔽罩接地后干扰电流经屏蔽外层短路入地。因此,屏蔽的妥善接地是十分重要的,否则不但不能减小干扰,反而会使干扰增大。由图2-2可见,当未加屏蔽时,干扰源与放大器输入电路之间的分布电容为 C_1 。当加上屏蔽而屏蔽罩不接地时,两者的分布电容是 C_2 和 C_3 的串联值,由于屏蔽罩的面积大,就有可能使 C_2 与 C_3 的串联值大于 C_1 ,从而使屏蔽后的分布电容反而加大,干扰电压也增大。因此屏蔽罩必须接地,使干扰电流直接经屏蔽罩入地,而不经放大器的输入电阻。

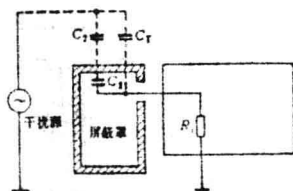


图 2-2 屏蔽罩不接地时分布电容增大

磁屏蔽的原理是利用高导磁率做成的磁屏蔽罩,其磁阻远小于屏蔽罩与输入变压器间空气隙的磁阻,干扰磁场的大部分磁力线由屏蔽罩通过而不穿过空气隙进入变压器的铁芯,如图2-3所示。即使有小部分杂散磁场的磁力线进入铁芯,屏蔽罩中涡流产生的磁场也能将它消掉一部分。

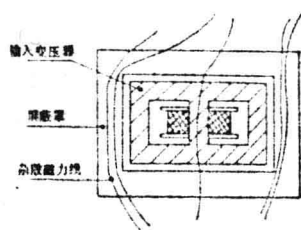


图 2-3 磁屏蔽原理

由此可见,屏蔽罩如能由既是高导磁率又是高导电率的材料组成时效果最好。

还因负载电流流回电源时,造成机壳(地)与电源负端之间电压波动,而前置放大器级的输入端接到这个不稳定的“地”上,会引起更为严重的干扰。如将接地点改为如图2-4(b)所示,则可克服上述弊端。在某些场合下,也采用RC去耦电路(图2-5)。

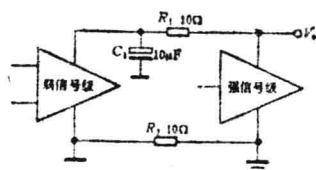


图 2-5 RC 去耦电路

使强信号放大级与弱信号放大级的交流通路彼此隔离,以防止干扰或低频自激。在要求较严或条件恶劣的情

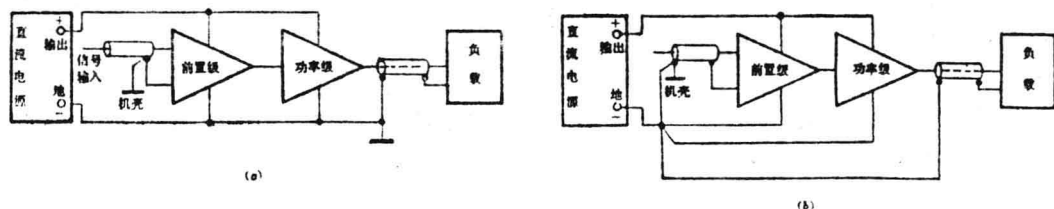


图 2-4 接地点不正确引起干扰

(a)接地不正确 (b)接地正确

况下,也常采用稳压管稳压电路或三端稳压器对弱信号放大级单独供电。

3、由于电子设备的共同端没有正确连接而产生的干扰

图 2-6 表示两台电子设备相连时,共同端没有正确地连在一起。图中电源变压器原副边之间的漏电作用可以用一个等效电源 e 及内阻 Z_l 来代表。

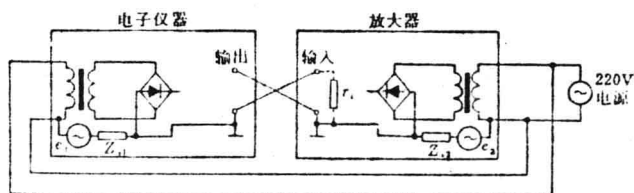


图 2-6 共同端没有正确连接引起干扰

如果仪器的共同端没有和放大器的共同端连在一起,则即使仪器的输入电压为零,但变压器的感应电压 e_1, e_2 却加到了放大器的输入端而产生干扰,除非 e_1, e_2 是正弦波,同时它们和 Z_{l1}, Z_{l2} 的幅度和相位匹配得非常合适,否则这个干扰电压的影响很大。因此电子设备连接时,必须把它们共同端连接在一起,这样感应电压 e 才不会加到放大器的输入端。减小这种干扰的一种方法是在变压器原、副边之间加一屏蔽层并把它接地,这样可减小 e 并增加 Z_l 。

4、由于直流电源电压波动引起的干扰

一般放大器的直流电源是用 50Hz 的交流电经整流滤波后得到,如果滤波不良,整流电源输出电压就有 50Hz 或 100Hz 的交流电压使集电极电流发生波动而产生干扰。特别是第一级,由于电源产生的干扰电压将被以后各级放大而使输出端产生较大的干扰电压。对这种原因所产生的干扰电压可采用稳压电源供电来解决。

5、由于交流电源串入的干扰

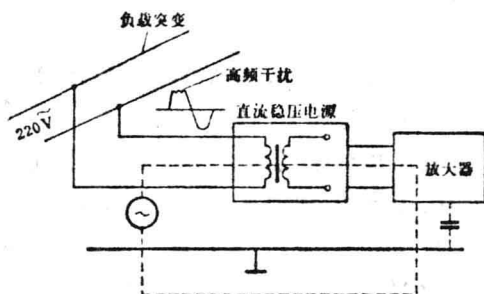


图 2-7 交流电网负载突变引起干扰

当交流电网的负载突变时(如电机的起动和制动),在负载突变处交流电源线与地之间将产生高频干扰电压。这个电压引起的高频电流将通过直流稳压电源、放大器及放大器与地之间的分布电容,经过地线再返回负载突变处组成回路,如图 2-7 虚线所示。这样就构成对放大器的高频干扰,而且这个高频电流不仅沿导线流动,凡有电容的地方均是良好的通道,如变压器原副边之间的分布电容、放大器与地之间的分布电容等。

这个高频干扰对高灵敏度放大器来说影响较大,因此必须采取措施加以抑制。

(1)稳压电源中电源变压器原副之间加屏蔽层要很好接地,如图 2-8a 所示,这样高频电流由变压器原边通过屏蔽层流入地线而不经放大器。

(2)在稳压电源交流进线处加滤波器,如图 2-8b 所示,此滤波器的作用是滤去高频干扰,一般 L 为几至几十毫亨, C 为几千微微法。

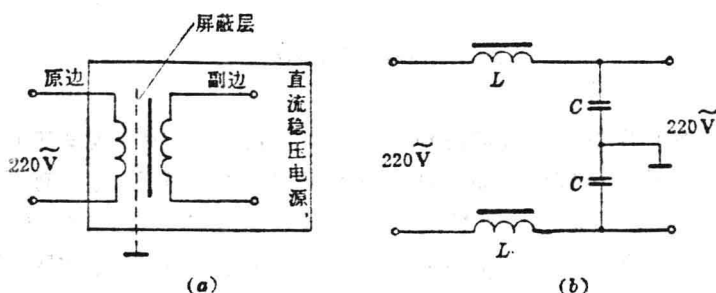


图 2-8 抑制交频干扰的措施

(a) 变压器原付边加屏蔽 (b) 交流电源进线加滤波器

(3)抑制交流干扰的另一个措施是采用“浮地”,即交流地线与直流地线分开,而且只有交流地线接大地,这样可以避免交流干扰由共地线串入而影响放大器的工作。

第三节 电子电路焊接基本知识

在制作一块实验电路板或电子仪器过程中,焊接工艺是很重要的。往往因焊接质量不好,给调试工作带来很大的困难,同时也会严重地影响设备的使用和检修。为此有必要介绍一些焊接工艺方面的基本知识。

1、焊料与焊剂:

焊接电子电路时常用“焊锡”作为焊料。一般所说的焊锡,并不是纯锡,而是由锡、铅和其它一些金属组成的一种软焊料。因为纯锡虽然有较好的光泽,但流动性差,价格也较贵,而铅的流动性好,成本较低。二者合成后可以得到比较好的效果。以不同比例合成的焊锡,其溶点和凝点温度如图 3-1 所示。

由图中可知,在锡含量 63%,铅含量 37%时(图中 A 点)熔点最低(约 180°C),而且这时由液态到固态几乎不经过半凝固状态,从而可以使焊点迅速凝固,缩短焊接时间。所以一般焊锡成份大致为:锡 63%、铅 36.5%、其它金属 0.5%,其溶点温度约为 190°C 。焊锡的性能

一般用熔点温度、光泽度、凝固速度和导电性能指标来衡量。

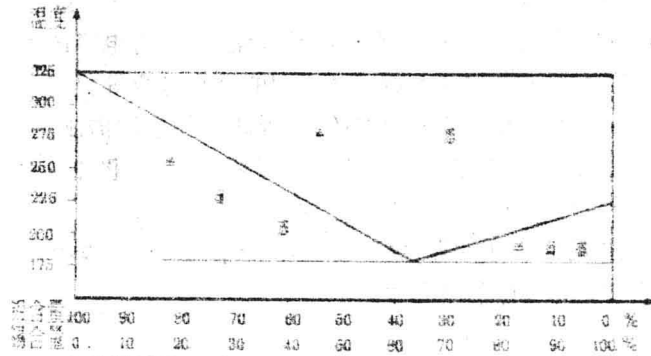


图 3-1 锡铅合金相图

“焊剂(亦称助焊剂)”作用是除去油污和氧化层,并防止被焊接金属受热氧化,增加焊锡的流动性。焊剂一般用松香和酸性焊油两种。但大多用松香作焊剂,它具有价廉、对线路板无腐蚀、焊后不易沾积灰尘等优点且效果也很好。而焊油对焊点有腐蚀作用,所以一般不用。在焊接较粗导线及在要求不高的临时场合,适当使用尚可,但焊接后要用酒精洗净,否则对电路性能有影响(尤其对高频电路)。

2、电烙铁的结构和使用:

电烙铁主要由烙铁头和烙铁芯(发热元件)构成。烙铁头是用导热性能良好的铜制成,烙铁芯由电热丝制成。烙铁头受烙铁芯加热,改变其伸出长度调节烙铁头温度。电烙铁大体分为内热式和外热式两种。一般焊接电子线路选用 20W~45W 电烙铁。

对新烙铁要先进行上锡处理,即用锉刀或砂纸将烙铁头表面的氧化层锉干净,然后接通电源加热,待开始变紫色时,先涂上松香再擦涂上一层薄锡,如涂不上,说明烙铁头上的氧化物或杂质没有除净,需重新处理。对旧烙铁,若烙铁头氧化变黑或表面出现凹孔,需用锉刀锉平,重新上锡处理。烙铁不易长时间使用。加热 2~3 小时后应断电冷却一段时间再使用。另外在使用电烙铁时不可猛力敲击,以防震断内部电阻丝或引线。

3、焊接方法

焊接前一定要将元器件和焊接点用刀片刮、砂纸擦或用酒精、盐酸等清洗掉表面的污物和氧化层,使其露出新表面,然后涂焊剂,随即镀上焊锡。涂松香有两种方法:一是用烙铁头吸附固体松香,这样比较方便、省事,但这方法有两个缺点:松香在烙铁头上易挥发,沾到焊点上的数量比较少,不能充分发挥焊剂的作用;烙铁头经常接触松香,易使松香氧化变质。所以最好采用另一种方法:将松香溶于酒精中制成溶液,使用时将溶液涂在焊接处,再用焊锡焊,效果较好且焊点干净。松香酒精溶液的配制方法:松香(碎末)20%、酒精 78%、三乙醇胺 2%。使用专用的松香芯锡丝时,把锡丝和烙铁头同时接触焊接处,焊接质量好也很方便。

元器件的引线不能太短,至少留 5mm,半导体管至少留 10mm,且不能从引线根部弯曲,

否则易折断,应留一定长度。

烙铁温度和焊接时间要适当。若烙铁温度不够或焊接时间不够就会造成焊锡不能充分熔化,使焊点不光滑、结晶粗脆,象一团胶合的沙粒易脱落,同时焊剂未充分发挥,使焊锡与金属面间存在一层焊剂隔膜,造成“虚焊”。反之,若温度太高或焊接时间太长,易烫坏元件(尤其是半导体件或集成元件),同时造成印刷线路板铜皮脱落。

焊接时先焊电阻、电容等小型元件,后焊大中型元件如变压器等,最后焊半导体元件和集成块。而且焊接半导体和集成块时动作既准又快,最好一次完成。焊点上的焊锡要适当,不宜过多,但也不宜过少。焊锡尚未凝固前,切勿脱手或移动元器件、引线等。

焊接集成电路组件时,由于组件引线多且引线间隙小,不注意会造成邻近引线间短路。为此焊前应做好引线、焊点的除杂镀锡处理,烙铁头也不要沾很多锡。焊接 MOS 电路时应注意烙铁良好接地。

4、焊点质量

焊点的质量直接关系到电路能否稳定可靠地工作,所以焊接技能是从事电子电路工作人员的一项基本功。

质量好的焊点在其交界处焊锡、焊孔(铜箔或焊片等)和元件引线三者较好地熔合在一起。而质量差的焊点,从表面上看焊锡把焊点包住了,但焊点内部并没有完全溶合,用欧姆表一量也可能通,但用手拉一下就可能把导线拉出来,即使当时拉不出来,一段时间后,由于温度、湿度或振动等因素,焊点处就形成断路,这样的焊点一般称为“虚焊点”。由于虚焊点从表面看不易被发现,所以将给调试和检修工作造成很大困难。产生虚焊点的主要原因是元件引线、导线或焊片等表面不清洁,焊锡或焊剂质量不好或用量太少,烙铁温度低等,而引线清理得好不好是主要原因。

避免虚焊点,首先把好清洁处理一关,注意焊锡、焊剂和烙铁的选择;焊接时使烙铁头和被焊物的接触面积尽量大些,并保证有足够的焊接时间,使焊锡完全溶化;焊点的锡量要合适,避免过分堆积。

检查质量的好坏,可从表面观察:焊点大小合适;焊锡与导线、铜箔(或焊片)之间溶合,没有明显分界;焊接点光亮清洁。

第四节 电子测量方法

电子测量方法与所使用的电子仪器有关,这里仅以最基本的万用表、毫伏表、低频信号发生器、普通示波器为例作简单说明。

1、直流量的测试

电路的静态工作点及直耦电路用直流量进行测试时信号与响应均是直流量。除了少数场合可以直接进行电流的测量外,大部分均是电压测量(需要测量电流时,用测出已知电阻上的电压来换算)。当用普通万用表测试,其负载效应往往不能忽略。例如用灵敏度为 $10\text{K}\Omega/\text{V}$ 的万用表

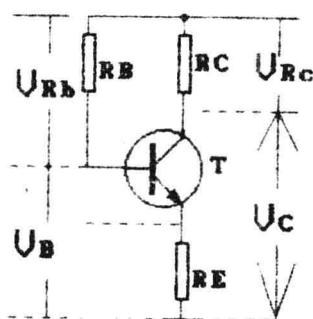


图 4-1 放大器直流量的测试

的 10V 档对图 4-1 电路进行测量。

分别逐个测出 V_c 、 V_{Rc} 、 V_E 、 V_B 、 V_{Rb} ，你将发现 $V_c + V_{Rc} < V_{cc}$ ， $V_{Rb} + V_B < V_{cc}$ ， $V_B < V_E$ 。如果要测量的是静态电流 I_c ，如何从上述结果中得出正确的数值呢？例如电压表是理想的（内阻为 ∞ ），则从上述数据中任一值均可求出 I_c （设 β 很大， $I_c \approx I_E$ ）。

$$I_c = V_{Rc}/R_c = (V_{cc} - V_c)/R_c = V_E/R_E = (V_B - V_{BE})/R_E = (V_{cc} - V_{Rb} - V_{BE})/R_E$$

而万用表测得的与算出的结果各不相同，那么，用哪个关系可得出比较正确的结果呢（这里不考虑读数误差）？能否得出正确的电流值呢？

对输出回路而言，从集电极向晶体管看入的等效电路总可以看作 R_T 与 V_T 的串联电路，所以，测量 V_{Rc} 与 V_c 时的等效电路如图 4-2(a)、(b) 所示，而需要测出的电流 I_c 是图 4-2 所示电路中没有电压表（用 R_V 表示其等效电阻）时的回路电流。对三种（还有一种未画出，即在(a)或(b)电路中去掉 R_V 的情况）电路联立求解后可得出：

$$I_c = (V_{Rc}/R_c) \cdot V_{cc} / (V_{Rc} + V_c)$$

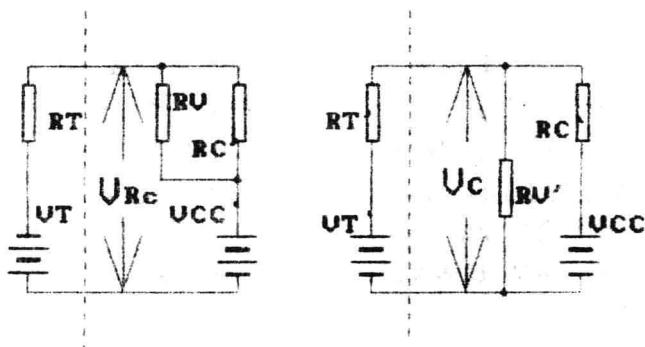


图 4-2 直流等效电路

这就是静态电流的正确结果，式子表明只要分别测得 V_{cc} 、 V_{Rc} 、 V_c 就可以求出电流 I_c （当然是知道 R_c 时），而不必知道电压表的等效电阻 R_V （但测试时万用表不能换档，因为换档后 R_V 在不同量程是不一样的，上述式子就不成立了）。

任何一个二端口网络均可作为戴维南等效，测量时端电压与开路电压的相对误差在等效电阻（电路的）远小于外接电阻（这里指电压表内阻）时可忽略。对图 4-1 电路而言，从晶体管射极看入的等效内阻最小（静态测试为 $R_c / (R_b / (1 + \beta))$ ），故一般可直接由 $I_c = V_E / R_E$ 求出静态电流。

由于从基极看入的等效电阻很大，电压表接入后严重改变电路的静态工作点，故一般不能用普通万用表测试基极电压（测出的结果根本不能反映原静态值）。

当交、直流同时存在时，直流电压表测出的电压是平均值。只有交流分量的平均值为零时其大小能与静态值一致。故静态测量时一定要先消除自激（振荡电路除外），且最好在不加交流信号情况下进行测试。

2、交流电压的测量

普通万用表交流档除了等效电阻小以外，灵敏度太低且频率范围很窄，故一般均采用电

于毫伏表进行正弦交流电压测量。毫伏表的输入电阻较高,在一般电路的测量中其负载效应可略。但使用时必须把公共端与被测电路地端接在一起。一般不能作浮地测试。毫伏表读数为正弦有效值。

电子技术测量中的电压放大倍数、输入、输出电阻、幅频特性等都是在输入正弦交流电压且输出不失真的情况下测量。

3. 输入电阻与输出电阻的测量

任一线性电路从某二端口(例如输入端口或输出端口)看入的等效电路,均可如图 4-3(a)所示。其中 r 为端口看入的等效电阻。

测试方法一:若端口内无源,测试端外加一信号源 V_s ,为了测出电流 i 串入一电阻 R ,如图 3(b)所示。分别测出源电压 V_s 和端口电压 V_i 则: $r = V_s / i = R \cdot V_s / (V_s - V_i)$

测试方法二:若端口有源,则先测出开路电压 V_0 ,再如图 4-3(c)在端口上接一电阻 R 后测出端电压 V_0' ,则:

$$r = (V_0 - V_0') / i = R \cdot (V_0 - V_0') / V_0$$

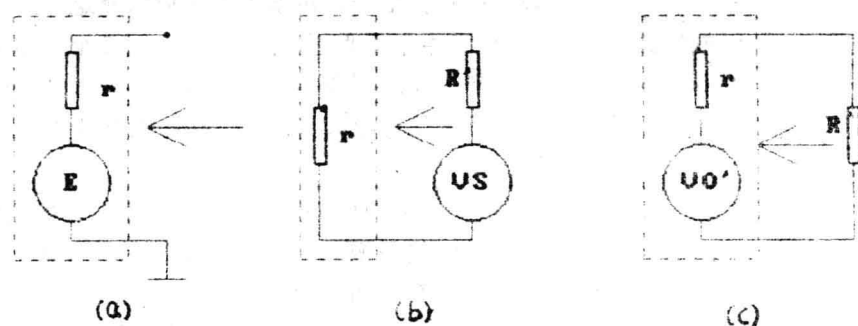


图 4-3 输入、输出电阻测试

输入电阻常用方法一测试。输出电阻常用方法二测试(也可用方法一)。

两种测试其原理是相同的。当 R 的大小与 r 相近时,其测试误差较小。实际测试过程中应注意信号不产生非线性失真,但也要使干扰信号的影响小些,测试信号的频率应选在 r 近似为纯电阻中间频率区。

对高输入电阻电路(例如场效应管放大器)测试时,由于毫伏表内阻与电路输入电阻数量级相当(比如 DA-16 型毫伏表的输入阻抗约 $1M\Omega \sim 1.5M\Omega$),用图 4-3(b)所示方法测得的 V_i 中包括毫伏表内阻的影响,即所得结果为电路输入电阻与毫伏表内阻的并联值。为消除此影响可采用图 4-4 所示方法:

先将信号 V_s 直接接在放大器输入端口,测出输出电压值 V_0 (在接上要求的负载电阻的情

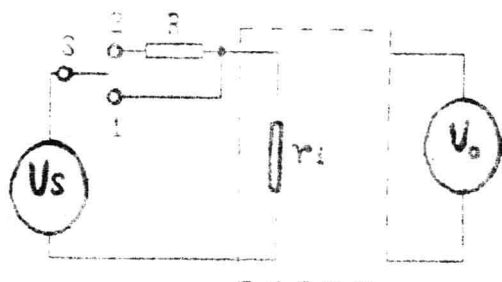


图 4-4 高输入电阻电路输入电阻测试

况下);再在输入端与信号源间串入电阻 R , 测出相应的输出电阻值 V_0 , 则输入电阻:

$$r_i = R \cdot V_0' / (V_0 - V_0')$$

此法对一般电路同样适用。

4、幅频特性的测量

就是在不同信号频率下, 分别测出不失真情况下的输入电压与输出电压。通常采用保持输入电压值不变的方法, 故输出电压相对于中间频率下输出电压之比即为相对幅频特性。测试中应注意当改变频率时输入电压是否能保持不变(有些信号发生器的电压——幅频特性较差), 应随时校正。一般低频放大器的相对频宽较大, 故频率测试点不能按等差数列选取, 而应以等比数列选取, 幅频特性曲线应选对数(单对数或双对数)坐标纸绘制。

5、非正弦交流电压的测量

非正弦电压用示波器进行观察。有刻度灵敏度校正的示波器可以方便地读出所见波形的幅值参数。没有刻度校正的示波器用比较法(将被测信号高度与已知幅值的信号电压在相同 Y 轴放大情况下的幅值进行比较)进行有关幅值参数的测试。

6、频率的测量

在没有数字式频率计时, 几十千赫以下的正弦信号可用李沙育图形法测定。

将被测信号接至示波器 Y 端口, 将有频率指示的信号发生器的输出接至示波器 X 端口。适当调节 Y 与 X 放大系统, 使光迹在荧光屏范围内。当信号频率 f_y 与信号源频率 f_x 不成整数比时, 荧光屏上为一矩形光迹区。改变信号源频率, 当 f_y 与 f_x 成整数比时, 荧光屏显示较稳定的曲线图形。

图 5 表示几种不同频率比的李沙育图形。由于相位差的不同, 同一频比下的图象有所不同。通常采用频比 1:1 的图形测试频率, 此时信号源频率即等于被测信号频率。由于不同信号具有互相独立的不稳定性, 频率的相等是暂时的, 故所见图形总在不断变化, 当信号频率较高时, 就很难调节到使图形相对稳定的位置, 故此法只适用于测试较低频率的信号。

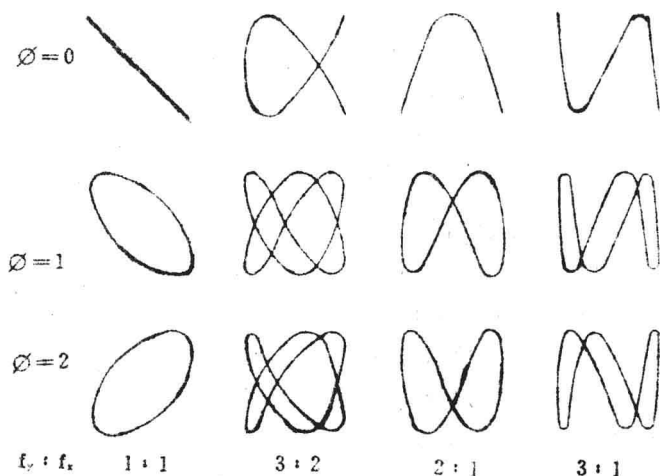


图 4-5 不同频比的李沙育图形

当被测信号为非正弦信号时,如原信号有阶跃变化,可先经过积分电路转换成类似三角波的波形,则同样可用李沙育图法测定频率。当频比为 1 时,图形呈单环形状,但含有转折点,其拓扑结构不变。

7、周期、脉冲宽度的测试

这是时间的测量。用有扫描时间校正的示波器,可以从有关波形在荧光屏水平方向的长度确定时间,类似于用示波器测量信号幅值的方法。有时标发生器的示波器,也可以用时钟信号测定时间。用扫描时间法测定时,应注意“扫描时间”旋钮必须在“校正”位置,“扫描扩展”也在校正位置。

8、传输特性测量

除了用逐点测试法测出传输特性外,可以用示波器直接显示电压传输特性。测试信号用正弦波、三角波等不含阶跃变化的信号,信号频率按测试电路的要求来定。被测电路的输出电压接 Y 输入端口,输入电压接 X 输入端口(示波器 X 输入端选在外接位置),荧光屏上即显示输出电压与输入电压的关系——传输特性曲线。由于一般示波器的 X 放大系统含奇数个反相放大级,所以,从荧光屏图形画成通常表示的传输特性时,X 方向应以 Y 轴作镜像变换。测试时应注意示波器 Y 与 X 放大系统本身的相位差对所示图形的影响,信号频率应选在其相位差为 0 的频率范围内。这可通过将同一信号同时接至 Y 与 X 放大系统输入端,观察所见图形是否为一条斜直线来测定。

9、相位差的测量

在双踪示波器上,或在单线示波器上,用外触发扫描方式按测量时间的方法,可以测出两相关波形对应的时间关系。

第二章 模拟电子电路实验

实验一 常用电子仪器使用练习及用万用表简测晶体管

一、实验目的：

1、熟悉模拟实验常用电子仪器的面板和控制旋钮的名称、功能及使用方法。模拟实验常用电子仪器有：

ST-16 型示波器、JWY-30B 型直流稳压电源、XD-2 型音频信号发生器、MF-30 型万用表、模拟电路实验箱。

2、了解以上电子仪器的主要技术指标。

3、学习用万用表判别二、三级管管脚，并简单判断其优劣。

二、实验说明

常用电子仪器的主要用途及相互关系见图 1-1。

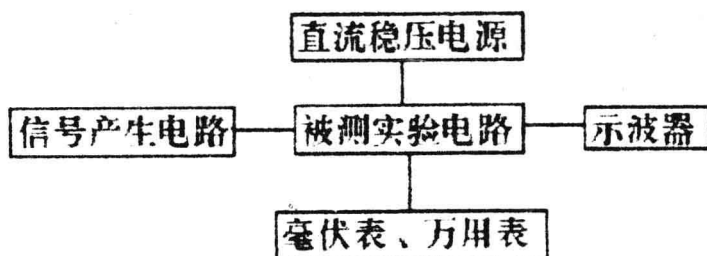


图 1-1 常用电子仪器相互关系框图

各电子仪器的使用方法详见附录。

三、实验内容与步骤

1、示波器面板各控制钮置于表 1-1 位置：

打开电源开关，稍待片刻后，可在屏幕上看到不稳定的方波波形。将触发电平(LEVEL)调离“自动”(AUTO)位置，并逆时针旋转直到方波波形稳定不动。读取方波分别于垂直、水平方向所占格数(方波幅度为 100mV)，计算其频率。

2、开启信号发生器电源，调节各旋钮，使输出电压约为 1V，频率为 1.25KHz，用示波器观察其波形(示波器垂直幅度调节旋钮 V/div 顺时针旋转至屏幕上显示合适幅度正弦波形，且耦合方式开关置“DC”，t/div 钮旋至合适位置，微动电平旋钮)，读取显示波形的峰—峰电