

第3章 电子电路调试与故障检测技术

3.1 电子电路的调试

实践表明,一个电子装置,即使按照设计的电路参数进行安装,也往往难以达到预期的效果。这是因为人们在设计时,不可能周全地考虑各种复杂的客观因素(如元件值的误差、器件参数的分散性、分布参数的影响等),必须通过安装后的测试和调整来发现和纠正设计方案的不足,然后采取措施加以改进,使装置达到预定的技术指标。因此,掌握调试电子电路的技能,对于每个从事电子技术及其有关领域工作的人员来说是重要的。

实验和调试的常用仪器有:数字万用表、稳压电源、示波器和信号发生器。

下面介绍一般的调试方法和注意事项。

3.1.1 调试前的直观检查

电路安装完毕,通常不宜急于通电,先要认真检查一下。检查内容包括:

1. 连线是否正确

检查电路连线是否正确,包括错线(连线一端正确,另一端错误)、少线(安装时完全漏掉的线)和多线(连线的两端在电路图上都是不存在的)。查线的方法通常有以下两种。

(1) 按照电路图检查安装的线路

这种方法的特点是:根据电路图连线,按一定顺序逐一检查安装好的线路,由此可比较容易查出错线和少线。

(2) 按照实际线路来对照原理电路进行查线

这是一种以元器件为中心进行查线的方法。把每个元器件引脚的连线一次查清,检查每个去处在电路图上是否存在,这种方法不但可以查出错线和少线,还容易查出多线。

为了防止出错,对于已查过的线通常应在电路图上做出标记,最好用指针式万用表 $R \times 1$ 挡或数字式万用表电阻挡的蜂鸣器来测量,而且直接测量元器件引脚,这样可以同时发现接触不良的地方。

2. 元器件安装情况

检查元器件引脚之间有无短路;连接处有无接触不良;二极管、三极管、集成器件和电解电容极性等是否连接有误。

3. 电源供电(包括极性)、信号源连线是否正确

4. 电源端对地(\perp)是否存在短路

在通电前,断开一根电源线,用万用表检查电源端对地(\perp)是否存在短路。若电路经过上述检查,并确认无误后,就可转入调试。

3.1.2 调试方法

调试包括测试和调整两个方面。所谓电子电路的调试,是以达到电路设计为目的而进行的一系列的测量—判断—调整—再测量的反复过程。

为了使调试顺利进行,设计的电路图上应当标明各点的电位值、相应的波形图以及其他主要数据。

调试方法通常采用先分调后联调(总调)。

我们知道,任何复杂电路,都是由一些基本单元电路组成的,因此,调试时可以循着信号的流程,逐级调整各单元电路,使其参数基本符合设计指标。这种调试方法的核心是:把组成电路的各功能块(或基本单元电路)先调试好,并在此基础上逐步扩大调试范围,最后完成整机调试。采用先分调后联调的优点是能及时发现问题和解决问题。新设计的电路一般采用此方法调试。对于包括模拟电路、数字电路和微机系统的电子装置更应采用这种方法进行调试。因为只有把三部分分开调试,分别达到设计指标,并经过信号及电平转换电路后才能实现整机联调。否则,由于各电路要求的输入、输出电压和波形不匹配,盲目进行联调,就可能造成大量的元器件损坏。

除了上述方法外,对于已定型的产品和需要相互配合才能运行的产品也可采用一次性调试。

按照上述调试电路原则,具体调试步骤如下:

1. 通电观察

把经过准确测量的电源接入电路。观察有无异常现象,包括有无冒烟、是否有异常气味、手摸元器件是否发烫、电源是否有短路现象等。如果出现异常,应立即切断电源,待排除故障后才能再通电。然后测量各路总电源电压和各器件的引脚的电源电压,以保证元器件正常工作。

通过通电观察,认为电路初步工作正常就可转入正常调试。

在这里,需指出的是:一般实验室中使用的稳压电源是一台仪器,它不仅有一个“+”端,一个“-”端,还有一个“地”接在机壳上,当电源与实验板连接时,为了能形成一个完整的屏蔽系统,实验板的“地”一般要与电源的“地”连起来,而实验板上用的电源可能是正电压,也有可能是负电压,还可能正、负电压都有,所以电源是正端接“地”还是负端接“地”,使用时应先考虑清楚。如果要求电路浮地,则电源的“+”端与“-”端都不与机壳相连。

另外,应注意一般电源在开与关的瞬间往往会出现瞬态电压上冲的现象,集成电路又最怕过电压的冲击,所以一定要养成先开启电源、后接电路的习惯,在实验中途也不要随意将电源关掉。

2. 静态调试

交、直流并存是电子电路工作的一个重要特点。一般情况下,直流为交流服务,直流是电路工作的基础。因此,电子电路的调试有静态调试和动态调试之分。静态调试一般是指在无外加信号条件下所进行的直流测试和调整过程。例如,通过静态测试模拟电路的静态工作点、数字电路的各输入和输出端的高、低电平值及逻辑关系等,可以及时发现已经损坏的元器件,判断电路工作情况,并可及时调整电路参数,使电路工作状态符合设计要求。

对于运算放大器,静态检查除测量正、负电源是否接上外,主要检查在输入为零时,输出端是否接近零电位,调零电路起不起作用。当运放输出直流电位始终接近正电源电压值或负电源电压值时,说明运放处于阻塞状态,可能是外电路没有接好,也可能是运放已经损坏。如果通过调零电位器不能使输出为零,则除了运放内部对称性差外,也可能运放处于振荡状态,所以实验板

直流工作状态的调试,最好接上示波器进行监视。

3. 动态调试

动态调试是在静态调试的基础上进行的。调试的方法是在电路的输入端接入适当频率和幅值的信号,并循着信号的流向逐级检测各有关点的波形、参数和性能指标。发现故障现象,应采取不同的方法缩小故障范围,最后设法排除故障。

测试过程中不能凭感觉和印象,要始终借助仪器观察。使用示波器时,最好把示波器的信号输入方式置于“DC”挡,通过直流耦合方式,可同时观察被测信号的交、直流成分。

通过调试,最后检查功能块和整机的各种指标(如信号的幅值、波形形状、相位关系、增益、输入阻抗和输出阻抗等)是否满足设计要求,如有必要,再进一步对电路参数提出合理的修正。

3.1.3 调试中的注意事项

调试结果是否正确,很大程度受测量正确与否和测量精度的影响。为了保证调试的效果,必须减小测量误差,提高测量精度。为此,需注意以下几点。

① 正确使用测量仪器的接地端。凡是使用低端接机壳的电子仪器进行测量,仪器的接地端应和放大器的接地端连接在一起,否则仪器机壳引入的干扰不仅会使放大器的工作状态发生变化,而且将使测量结果出现误差。根据这一原则,调试发射极偏置电路时,若需测量 V_{CE} ,则不应把仪器的两端直接接在集电极和发射极上,而应分别对地测出 V_C 、 V_E ,然后将两者相减得 V_{CE} 。若使用干电池供电的万用表进行测量,由于万用表的两个输入端是浮动的,所以允许直接跨接到测量点之间。但要注意,一般万用表的内阻小,测量结果可能误差较大,此时用数字电压表进行测量较准确。

② 在信号比较弱的输入端,尽可能用屏蔽线连线。屏蔽线的外屏蔽层要接到公共地线上。在频率比较高时要设法隔离连接线分布电容的影响,例如用示波器测量时应该使用有探头的测量线,以减少分布电容的影响。

③ 测量电压所用仪器的输入阻抗必须远大于被测处的等效阻抗。因为,若测量仪器输入阻抗小,则在测量时会引起分流,给测量结果带来很大误差。

④ 测量仪器的带宽必须大于被测电路的带宽。例如, MF-20 型万用表的工作频率为 20~20 000 Hz。如果放大器的 $f_H = 100$ kHz,就不能用 MF-20 来测试放大器的幅频特性,否则,测试结果就不能反映放大器的真实情况。

⑤ 要正确选择测量点。用同一台测量仪器进行测量时,测量点不同,仪器内阻引进的误差大小将不同。例如,对于图 3.1.1 所示电路,测 c_1 点电压 V_{C1} 时,若选择 e_2 为测量点,测得 V_{E2} ,根据 $V_{C1} = V_{E2} + V_{BE2}$ 求得的结果,可能比直接测 c_1 点得到的 V_{C1} 的误差要小得多。之所以出现这种情况,是因为射极输出电阻较小,仪器内阻引进的测量误差小。

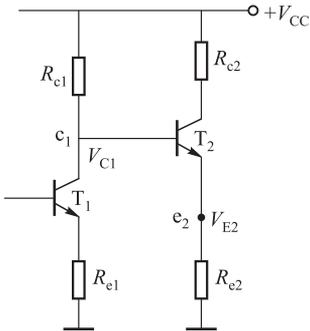


图 3.1.1 被测电路

⑥ 测量方法要方便可行。需要测量某电路的电流时,一般尽可能测电压而不测电流,因为测电压不必改动被测电路,测量方便。若需知道某一支路的电流值,可以通过测取该支路上电阻两端的电压,经过换算而得到。

⑦ 调试过程中,不但要认真观察和测量,还要善于记录。记录

的内容包括实验条件,观察的现象,测量的数据、波形和相位关系等。只有有了大量的可靠的实验记录并与理论结果加以比较,才能发现电路设计上的问题,完善设计方案。

⑧ 调试时出现故障,要认真查找故障原因,切不可一遇故障解决不了就拆掉线路重新安装。因为重新安装的线路仍可能存在各种问题,如果是原理上的问题,即使重新安装也解决不了问题。应当把查找故障,分析故障原因,看成是一次好的学习机会,通过它来不断提高自己分析问题和解决问题的能力。

3.2 检查故障的一般方法

故障是不期望但又是不可避免的电路异常工作状况,分析、寻找和排除故障是电气工程人员必备的实际技能。

对于一个复杂的系统来说,要在大量的元器件和线路中迅速、准确地找出故障是不容易的。一般地,故障诊断过程就是从故障现象出发,通过反复测试,作出分析、判断,逐步找出故障的过程。

3.2.1 故障现象和产生故障的原因

1. 常见的故障现象

- ① 放大电路没有输入信号,而有输出波形。
- ② 放大电路有输入信号,但没有输出波形,或者波形异常。
- ③ 串联稳压电源无电压输出,或输出电压过高且不能调整,或输出稳压性能变坏,输出电压不稳定等。
- ④ 振荡电路不产生振荡。
- ⑤ 计数器输出波形不稳,或不能正确计数。
- ⑥ 收音机中出现“嗡嗡”交流声和“啪啪”的汽船声等。

以上是最常见的一些故障现象,还有很多奇怪的现象,在这里就不一一列举了。

2. 产生故障的原因

故障产生的原因很多,情况也很复杂,有的是一种原因引起的简单故障,有的是多种原因相互作用引起的复杂故障。因此,引起故障的原因很难简单分类。这里只能进行一些粗略的分析。

① 对于定型产品使用一段时间后出现故障,故障原因可能是元器件损坏,连线发生短路或断路(如焊点虚焊,接插件接触不良,可变电阻器、电位器、半可变电阻等接触不良,接触面表面镀层氧化等),或使用条件发生变化(如电网电压波动,过冷或过热的工作环境等)影响电子设备的正常运行。

② 对于新设计安装的电路来说,故障原因可能是:实际电路与设计的原理图不符;元器件使用不当或损坏;设计的电路本身就存在某些严重缺点,不满足技术要求;连线发生短路或断路等。

③ 仪器使用不正确引起的故障,如示波器使用不正确而造成的波形异常或无波形、共地问题处理不当而引入的干扰等。

④ 各种干扰引起的故障(有关噪声、干扰问题将在3.3节讨论)。

3.2.2 检查故障的一般方法

查找故障的顺序可以从输入到输出,也可以从输出到输入。查找故障的一般方法有以下几种。

1. 直接观察法

直接观察法是指不用任何仪器,利用人的视、听、嗅、触等作为手段来发现问题,寻找和分析故障。

直接观察包括不通电检查和通电观察。

检查仪器的选用和使用是否正确;电源电压的等级和极性是否符合要求;电解电容的极性、二极管和三极管的管脚、集成电路的引脚有无错接、漏接、互碰等情况;布线是否合理;印制电路板有无断线;电阻电容有无烧焦和炸裂等。

通电观察元器件有无发烫、冒烟,变压器有无焦味,电子管、示波管灯丝是否亮,有无高压打火等。

此法简单,也很有效,可作初步检查时用,但对比较隐蔽的故障无能为力。

2. 用数字电压表或示波器检查静态工作点

电子电路的供电系统,电子管或半导体三极管、集成电路的直流工作状态(包括元器件引脚、电源电压),线路中的电阻值等都可用数字电压表或示波器测量。当测量值与正常值相差较大时,经过分析可找到故障。现以图 3.2.1 所示的两级放大器为例,正常工作时如图所示。静态时($v_i=0$), $V_{B1}=1.3\text{ V}$, $I_{C1}=1\text{ mA}$, $V_{C1}=6.9\text{ V}$, $I_{C2}=1.6\text{ mA}$, $V_{E2}=5.3\text{ V}$ 。但实测结果 $V_{B1}=0.14\text{ V}$, $V_{C1}\approx V_{CE1}\approx V_{CC}\approx 12\text{ V}$ 。考虑到正常放大工作时,硅管的 V_{BE} 约为 $0.6\sim 0.8\text{ V}$,现在 T_1 显然处于截止状态。实测的 V_{B1} 也证明 T_1 截止(或损坏)。 T_1 为什么截止呢?这要从影响 V_{B1} 的 R_{b11} 和 R_{b12} 中寻找。进一步检查发现, R_{b12} 本应为 $11\text{ k}\Omega$,但安装时却用的是 $1.1\text{ k}\Omega$ 的电阻,将 R_{b12} 换上正确阻值的电阻,故障即消失。

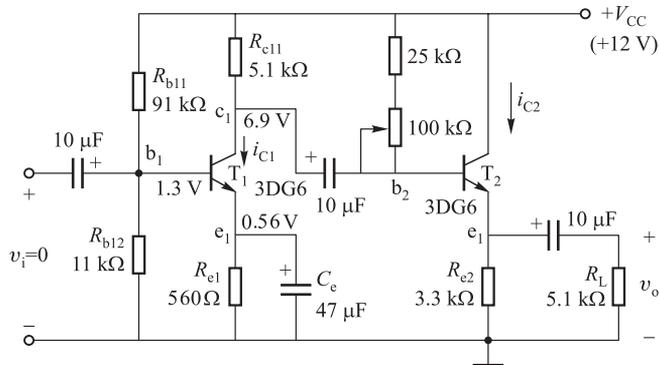


图 3.2.1 用数字电压表或示波器检查两级放大器故障的参考电路

顺便指出,静态工作点也可以用示波器“DC”输入方式测定。用示波器的优点是:内阻高,能同时看到直流工作状态和被测点上的信号波形以及可能存在的干扰信号及噪声电压等,更有利于分析故障。

3. 信号寻迹法

对于各种较复杂的电路,可在输入端接入一个一定幅值、适当频率的信号(例如,对于多级放大器,可在其输入端接入 $f=1\ 000\ \text{Hz}$ 的正弦信号),用示波器由前级到后级(或者相反),逐级观察波形及幅值的变化情况,如哪一级异常,则故障就在该级。这是深入检查电路的方法。

4. 对比法

怀疑某一电路存在问题时,可将此电路的参数与工作状态和相同的正常电路的参数(或理论分析的电流、电压、波形等)进行一一对比,从中找出电路中的不正常情况,进而分析故障原因,判断故障点。

5. 部件替换法

有时故障比较隐蔽,不能一眼看出,如这时你手头有与故障仪器同型号的仪器时,可以用仪器中的部件、元器件、插件板等替换有故障仪器中的相应部件,以便于缩小故障范围,进一步查找故障。

6. 旁路法

当发生寄生振荡现象时,可以利用适当容量的电容器,选择适当的检查点,将电容临时跨接在检查点与参考接地点之间,如果振荡消失,就表明振荡产生在此附近或前级电路中。否则就在后面,再移动检查点寻找之。

应该指出的是,旁路电容要适当,不宜过大,只要能较好地消除有害信号即可。

7. 短路法

就是采取临时性短接一部分电路来寻找故障的方法。例如图 3.2.2 所示放大电路,用数字电压表测量 T_2 的集电极对地无电压。我们怀疑 L_1 断路,则可以将 L_1 两端短路,如果此时有正常的 v_{c2} 值,则说明故障发生在 L_1 上。

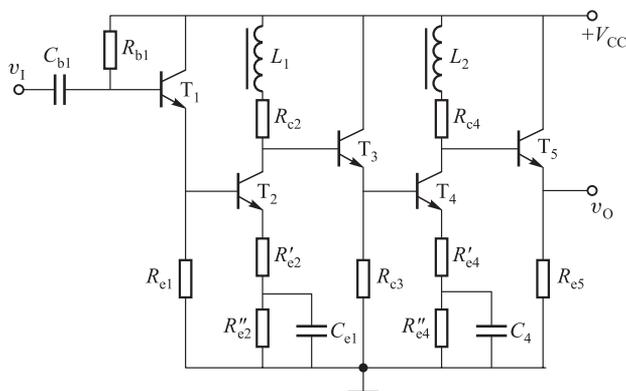


图 3.2.2 用于分析短路法的放大电路

短路法对检查断路性故障最有效。但要注意对电源(电路)不能采用短路法。

8. 断路法

断路法用于检查短路故障最有效。断路法也是一种使故障怀疑点逐步缩小范围的方法。例如,某稳压电源因接入一带有故障的电路,使输出电流过大,可以采取依次断开电路的某一支路的办法来检查故障。如果断开该支路后,电流恢复正常,则故障就发生在此支路。

9. 暴露法

有时故障不明显,或时有时无,一时很难确定,此时可采用暴露法。检查虚焊时对电路进行敲击就是暴露法的一种。另外还可以让电路长时间工作一段时间,例如几小时,然后再来检查电路是否正常。这种情况下往往可使有些临界状态的元器件经不住长时间工作而暴露出问题,然后对症处理。

实际调试时,寻找故障原因的方法多种多样,以上仅列举了几种常用的方法。这些方法的使用可根据设备条件、故障情况灵活掌握,对于简单的故障用一种方法即可查出故障点,但对于较复杂的故障则需采取多种方法互相补充、互相配合,才能找出故障点。在一般情况下寻找故障的常规做法是:

- ① 先用直接观察法,排除明显的故障。
- ② 再用数字电压表(或示波器)检查静态工作点。
- ③ 信号寻迹法是对各种电路普遍适用而且简单直观的方法,在动态调试中广为应用。

应当指出,对于反馈环内的故障诊断是比较困难的,在这个闭环回路中,只要有一个元器件(或功能块)出故障,则往往整个回路中处处都存在故障现象。寻找故障的方法是先把反馈回路断开,使系统成为一个开环系统,然后再接入一适当的输入信号,利用信号寻迹法逐一寻找发生故障的元器件(或功能块)。例如,图 3.2.3 所示是一个带有反馈的方波和锯齿波电压发生器电路, A_1 的输出信号 v_{O1} 作为 A_2 的输入信号, A_2 的输出信号 v_{O2} 作为 A_1 的输入信号,也就是说,不论 A_1 组成的过零比较器或 A_2 组成的积分器中的哪一个发生故障,都将导致 v_{O1} 、 v_{O2} 无输出波形。寻找故障的方法是,断开反馈回路中的一点(例如 B_1 点或 B_2 点),假设断开 B_2 点,并从 B_2 点与 R_7 连线端输入一适当幅值的锯齿波,用示波器观察 v_{O1} 输出波形应为方波, v_{O2} 输出波形应为锯齿波,如果 v_{O1} (或 v_{O2}) 没有波形或波形出现异常,则故障就发生在 A_1 组成的过零比较器(或 A_2 组成的积分器)电路上。

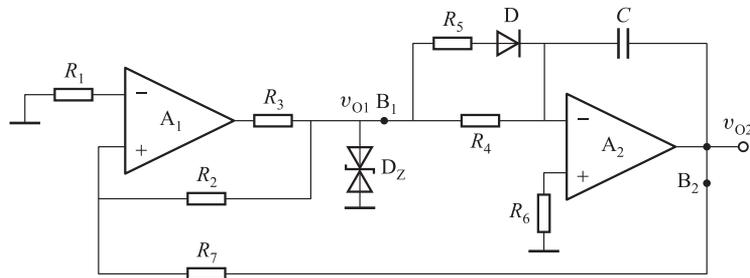


图 3.2.3 方波和锯齿波电压发生器电路

3.3 电子电路干扰的抑制

3.3.1 干扰源

电子电路工作时,往往除了有用信号之外,还存在一些令人头痛的干扰电压(或电流)。如何克服这些干扰是电子电路(设备)在设计、制造时的主要问题之一。干扰产生于干扰源。干扰源有的在电子电路(设备)外部,也有的在电子电路(设备)内部。

存在于电子电路(设备)外部的干扰源主要有:

- ① 电弧机、日光灯、弧光灯、辉光放电管、火花点火装置等产生的干扰。
- ② 直流发电机及电动机、交流整流子电动机等旋转设备,以及继电器、开关等产生的干扰。
- ③ 由大功率输电线产生的工频干扰。
- ④ 无线电设备辐射的电磁波等。

电子电路(设备)内部产生的干扰主要有:

- ① 交流声。
- ② 不同信号的互相感应。
- ③ 寄生振荡。

④ 线绕电位器的动点、电子元器件的引脚和印制电路板布线等各种金属的接点间,由于温度差而产生的热电动势等。

⑤ 在数字电路中,由于传输线各部分的特性阻抗不同或与负载阻抗不匹配时,所传输的信号在终端部位发生一次或多次反射,使信号波形发生畸变或产生振荡等。

3.3.2 干扰途径及其抑制方法

1. 内部干扰抑制

为减少设备内部产生的干扰,设计人员应注意以下几点:

- ① 元器件布置不可过密。
- ② 改善电子设备的散热条件。
- ③ 分散设置稳压电源,避免通过电源内阻引进干扰。
- ④ 在配线和安装时,尽量减少不必要的电磁耦合。
- ⑤ 尽量减少公共阻抗的阻值。

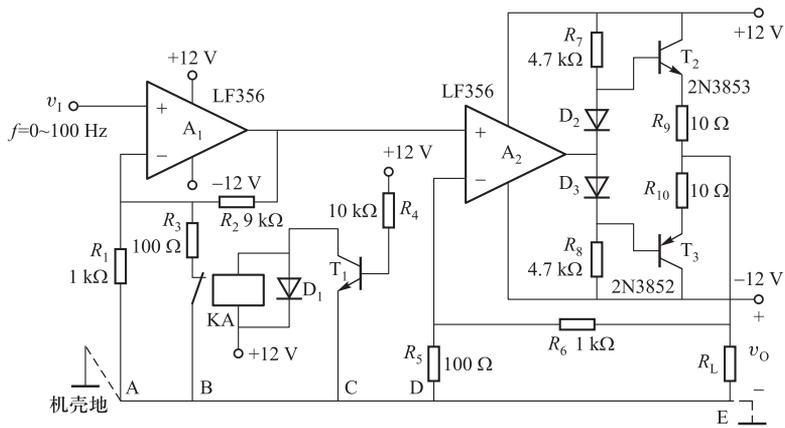
以图 3.3.1 所示的两级放大器为例,电路有 A、B、C、D、E 5 个串联接地点。考虑到通常宽 1 mm、长 10 mm 的印制导线的直流电阻约为 0.05Ω (如果信号频率较高,则还应考虑分布电感和电容的影响),则相邻两个接地点间就存在等效阻抗 Z_{FA} 、 Z_{AB} 、 Z_{BC} 、 Z_{CD} 、 Z_{DE} ,如图 3.3.1(b) 所示。

若由 A 点接系统地,当三极管 T_1 截止(即继电器 KA 未动作)时,前级和后级放大器的增益均为 20 dB。假设 v_1 为 $f=0\sim 100$ Hz 的 10 mV 信号电压,则负载 R_L 上的电压为 1 V,电流为 10 mA,此电流将通过 $E\rightarrow D\rightarrow C\rightarrow B\rightarrow A\rightarrow$ 地,返回电源。此时各点地电位都不相同。

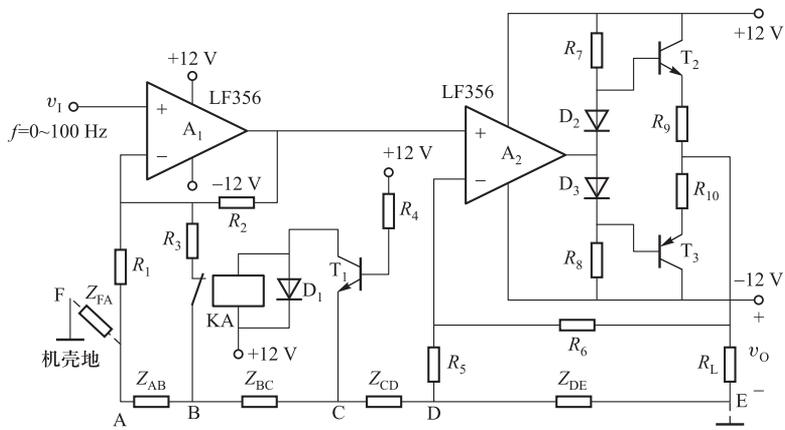
假设 E 点到机壳地的地线总长为 10 cm,各接地点间距离相等(即 $ED=DC=CB=BA=AE$),则相邻两个接地点间有 $100 \mu\text{V}$ 的电位差,A 点与机壳地以及 A 点与 D 点间的电位差将导致信号放大输出电压出现误差。而当继电器 KA 接通时,前级放大器增益上升到 40 dB,继电器 KA 的驱动电流由 C 到 A 将产生更大的误差。解决问题的方法之一是尽量减少公共阻抗。

公共阻抗除了上面讨论的地回路电阻外,还有安装时的引线电阻,以及电源和信号源内阻抗。一个放大电路,特别是多级放大电路,其各级的输出电压往往会通过公共地线、电源线、电源内阻、分布电容和结电容等耦合到前级,在某些特定频率形成正反馈,使电路产生自激振荡,也称为寄生振荡。

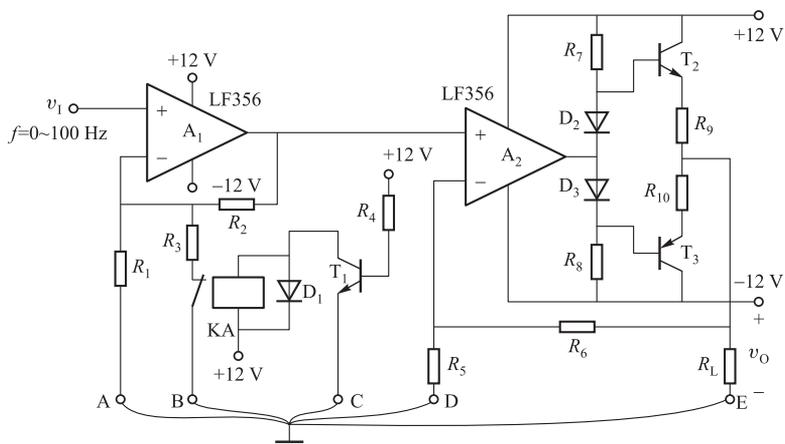
寄生振荡可用改变布线方式、加中和电容等办法加以消除;另外,用适当降低增益的办法也常有明显的效果。



(a)



(b)



(c)

图 3.3.1 两级放大电路的公共阻抗及接地方法

(a) 电路; (b) 在电路中形成的多个公共阻抗; (c) 一点接地

寄生振荡的频率一般都比较高。对于一般放大电路,可以采用滞后补偿(图 3.3.2)或超前-滞后补偿(图 3.3.3)的办法来消振。对于三级或三级以上的负反馈放大电路,由于负反馈程度深,很可能引起自激振荡,一般要加消振电路。

低频振荡主要是通过电源内阻抗引起的,消除的方法是,如图 3.3.4 所示(图中电源内阻抗未画出)采用 RC 去耦电路。应当注意, R 一般在 $100\ \Omega$ 左右,大了既会降低电源供电电压,在直接耦合放大电路中,又有可能形成超低频振荡。

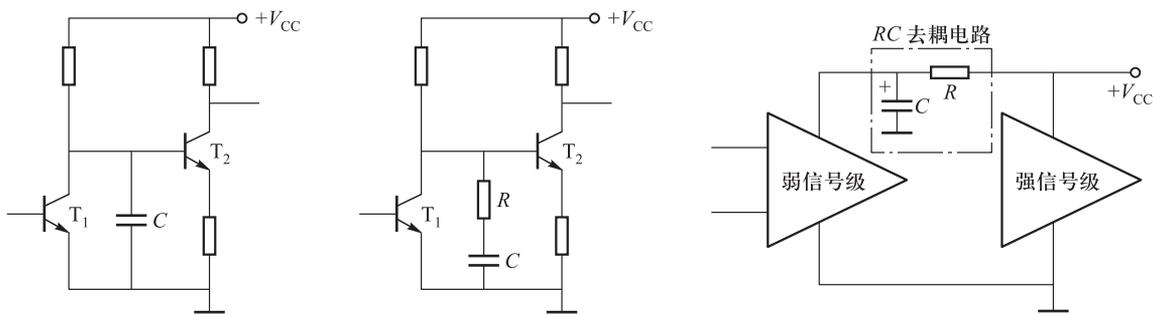


图 3.3.2 滞后补偿原理电路

图 3.3.3 超前-滞后补偿原理电路

图 3.3.4 RC 去耦电路

⑥ 低频信号采用一点接地。

前已指出,图 3.3.1 中采用 A 点接地不可取。若由 E 点接系统地,通过 R_L 的负载电流从 E 点直接入地,对 A~D 各点地电位无影响,但当继电器动作时,其驱动电流仍会造成各点地电位的差异,没有太大改善。

若将图 3.3.1 中的 A 点、E 点同时接地,可能引起地环路电流干扰,这种接地方式更不可取。

正确的接地方法是各点各自直接连到系统地,如图 3.3.1(c) 所示,即采用一点接地法。这种方法的缺点是:加长了接地引线,高频时其阻抗增大,容易受高频干扰。

宽带运算放大器可采用平面接地方式^①,此时,印制电路板正面设计为地线平面,反面为信号用的印制导线,能保证较低的接地阻抗,地电流造成的干扰可以忽略。

⑦ 数字器件的输入端子不可悬空,必须结合电路的实际情况和条件妥善处理。例如,与非门多余输入端可以通过电阻上接电源,或者将端子合并使用等。

2. 外部干扰抑制

对电子设备外部干扰源,应该根据干扰的性质采用不同的有效措施,削弱(或消除)干扰。

① 电子设备应当远离高压电网、电台、电视台、电机、交流接触器等干扰源。

② 对于以电场或磁场形式进入放大电路的干扰,可利用屏蔽将电子电路放在金属罩(用导电性好的材料做成罩并接地,必要时加上高导磁材料屏蔽)里,使干扰削弱。

③ 对于通过电子电路输入线引入的干扰可通过加入不同的滤波器来削弱。例如,如果信号频率较低,可在输入端加低通滤波器。如果干扰源的频率基本不变(例如 $50\ \text{Hz}$ 干扰),可加带阻滤波器等。

④ 对于通过电源(包括整流电路)引入的干扰的抑制措施是:

① 见张松春、竺子芳、杨世宗编著:《电子控制设备抗干扰技术及其应用》,北京,机械工业出版社,1989 年。

③ 在交流电源的进线端接入由电感、电容组成的电源滤波器。

④ 稳压电源的输入、输出端和运放的电源引脚上加接电解电容或独石电容($0.01 \sim 0.1 \mu\text{F}$)进行滤波。

⑤ 变压器一、二次侧加屏蔽。

由于变压器一、二次绕组间的分布电容较大,电网上交流电源的高频噪声就会通过它耦合到直流电源侧,进入电子设备内部造成干扰。抑制来自电网的高频干扰信号的方法,一是在交流电源的输入端和变压器一次绕组输入端间加上低通滤波器,二是在变压器的一、二次绕组间加屏蔽层,减少一、二次绕组间的分布电容。加屏蔽层的方法是,在一次绕组绕完之后加一层铜箔,并在铜箔处焊一接地线。但为了防止铜箔成为短路环,必须在交接处垫上绝缘层,如图 3.3.5 所示。

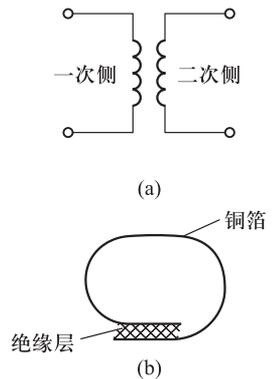


图 3.3.5 变压器一、二次侧的屏蔽
(a) 变压器;(b) 屏蔽层

3.3.3 有关接地的几点基本知识

1. 接地目的

(1) 安全接地

一般实验室中安全接地有三种方法。第一种是把三孔插座的地与电源线的中性线直接连接,这种接法不是绝对安全的;第二种是把地连到一座大楼的钢骨架上;第三种即最理想的是在实验室的地下深埋一块面积较大的金属板,用与金属板焊接的粗铜线接到实验室作为信号地线。第一种地线可能会引入较大的 50 Hz 交流信号干扰;第二种用大楼钢骨架作为地线的方法,由于它的电阻大,接地不好,可能感应各种干扰电压(含 50 Hz 交流信号);只有第三种地线上的干扰信号才是最小的。

当机壳与大地相连后,如果电子设备漏电或机壳不慎碰到高压电源线时,即使人体触摸到机壳,由于机壳电阻小,短路电流经过机壳直接流入大地,可避免人身触电危险。另外,机壳接地还可屏蔽雷击闪电的干扰。因而保护了人、机的安全。

接大地的符号如图 3.3.6 所示。

(2) 工作接地

电子设备在工作和测量时,要求有公共的电位参考点。这个参考点一般是把直流电源的某一端作为公共点,称为工作接地点。工作接地点一般是指接机壳或底板,并不一定要与大地相连。

在 3.3.2 节中已指出,合理地设计接地点是抑制干扰的重要措施之一。

工作接地的符号如图 3.3.7 所示。

2. 接地方法^①

(1) 信号地

信号地是指信号电路、逻辑电路、控制电路的地。设计接地点要尽可能减少各支路电流流过公共地阻抗产生的耦合干扰。信号地的连接方法主要有三种:

① 一点接地。见 3.3.2 节和图 3.3.1(c)。

^① 见清华大学电子学教研组孙梅生、李美莺、徐振英编:《电子技术基础课程设计》,北京,高等教育出版社,1989年。



图 3.3.6 接大地符号



图 3.3.7 接机壳或底板符号

② 串联接地。串联接地的示意图如图 3.3.8 所示。从防止干扰和噪声的角度来看,这种接法不合理,但其接法简单,在许多地方仍被采用。特别是在设计印制电路板上应用比较方便。

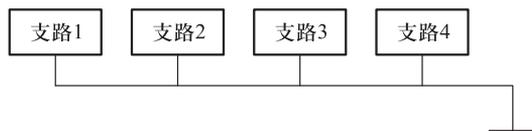


图 3.3.8 串联接地

③ 平面接地。见 3.3.2 节。这种接地方式适用于高频电路和数字电路。

(2) 系统接地

一般把信号电路地、功率电路地和机械地都称为系统地。为了避免大功率电路流过地线回路的电流对小信号电路产生影响,通常功率地线和机械地线必须自成一體,接到各自的地线上,然后一起连到机壳地上,如图 3.3.9 所示。

系统接地的另一种方法是:把信号电路地和功率地接到直流电源地线上,而机壳单独安全接地(接大地)。这种接法称为系统浮地(如图 3.3.10 所示)。系统浮地同样能起到抑制干扰和噪声的作用。

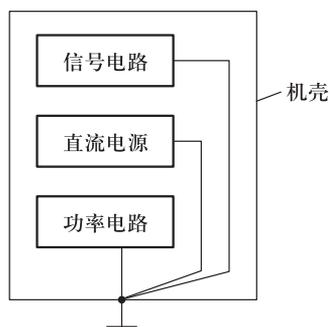


图 3.3.9 系统接地

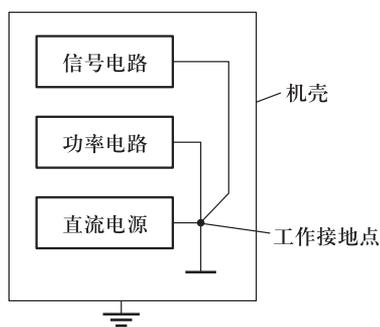


图 3.3.10 系统浮地