

第5章

电子电路设计与装配

电子工程技术工作中最重要和最值得注意的是电路的创新工作,而不只是限于分析研究前人已设计出来的电路。本章主要介绍电子电路设计的基本知识和基本方法,以提高学生在电子技术方面的实践技能,培养学生初步掌握工程设计的方法和科学作风,使他们学会运用所学理论知识分析和解决实际问题,真正达到增长知识与增强能力的统一。

5.1 电子电路设计基础

5.1.1 电子电路设计的指导思想

任何一个设计者都想使自己的设计成为一个好的设计,但不是每一个设计都是好的设计,即使一个较好的设计也常存在许多不足。这除了各种技术原因外,很多时候都是设计者的指导思想存在某些问题所致。指导思想不单纯是一个技术问题,它影响整个设计的好坏或成败,设计者不可不重视正确的设计指导思想。设计指导思想的内容很多,现仅将几个要点提出来,供设计时参考:

(1) 设计具有明确目的性。设计者要根据设计的指标要求,认真调查研究,实事求是地制定可行的设计方案。

(2) 设计具有先进性。设计者要敢于打破常规,积极采用新技术,但又要根据实际情况的可能性,考虑技术上的继承性,争取时间,完成设计。

(3) 设计贯彻少花钱、多办事、办好事的原则,在保证技术指标条件下力求降低成本。也就是说,设计必须在技术上是先进的,在经济上又是合理的,在生产上也是可行的。真正做到技术指标和经济指标的统一,先进性和可能性的统一。

(4) 设计必须树立全局的观点。进行设计时要从全局出发,根据其应用场合,分清主次矛盾,合理分配指标。要处理好电路设计和结构设计之间的关系:既要结构紧凑、体积小、重量轻,又要方便调试和维修。

(5) 设计注意标准化、系列化、通用化。选择元器件时要尽可能压缩品种,扩大通用性,减少重复,形成系列。

(6) 设计者树立质量第一的思想。在电路设计、材料和元器件的选用、结构布局和加工工艺等方面下功夫,努力提高设计的稳定性和可靠性。

5.1.2 电子电路设计的一般方法

在电子电路(无论是模拟电路、数字电路,还是模数混合电路)设计时,首先必须明确设计任务,根据设计任务按图 5-1 所示的一般电子电路设计步骤示意图进行设计。但电子电路的种类很多,器件选择的灵活性很大。因此,设计方法和步骤也会因不同情况而有所区别。有些步骤需要交叉进行,甚至反复多次,设计者应根据具体情况,灵活掌握。下面就设计步骤的一些环节作具体说明。

1. 整体方案的选择

1) 选择整体方案的一般过程

设计原理电路的第一步是选择整体方案。整体方案是指针对所提出的任务、要求和条件,从全局着眼,用具有一定功能的若干单元电路构成一个整体,来实现各项性能。显然,符合要求的整体方案通常不止一个,应当针对任务、要求和条件,查阅有关资料,广开思路,提出若干种不同的方案,然后逐一分析每个方案的可行性和优缺点,再加以比较,择优选用。上述过程如图 5-2 所示。此外,在选择过程中,常用框图表示各方案的基本原理。框图一般不必画得太详细,只要能说明方案的基本原理即可。但关系到方案是否可行的关键部分一定要画清楚,必要时画出具体电路。

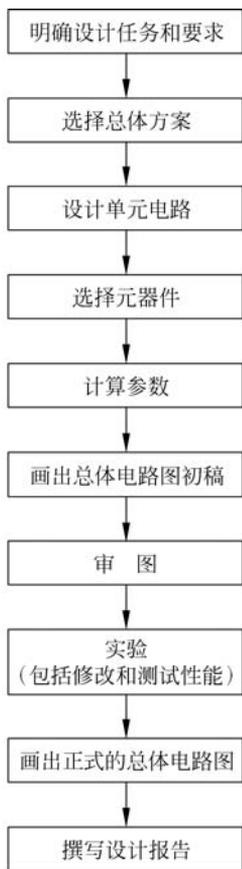


图 5-1 电子电路设计步骤

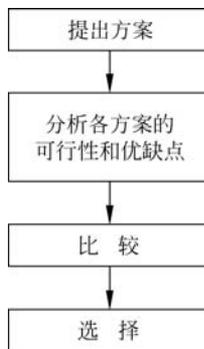


图 5-2 选择整体方案的一般过程示意图

2) 选择整体方案的注意事项

选择整体方案时,有以下几点值得注意:

(1) 应当针对关系到电路全局的主要问题,多提些不同方案,进行深入分析和比较,以便做出合理的选择。

(2) 既要考虑数字电路,也要考虑模拟电路,不要盲目地热衷于数字化方案。数字电路确实有不少优点,但对于一台输入和输出都是模拟量的小型装置,如果采用数字化方案,则需要先用 A/D 转换器将模拟输入量转换成数字量,经过数字电路处理后,再在输出级用 D/A 转换器将数字量转换成模拟量,这样难免出现成本高和电路复杂等缺点。因此,不经仔细分析而一概认定数字化方案比模拟电路方案好的观点是不明智的。反过来也是如此。一般说来,要设计能处理具有多个输入量、范围很宽的电量的电路,用数字电路实现较好。远距离传输时,数字电路比较可靠,而且可以达到较高的精度。在只有模拟输入、输出的简单系统中采用数字电路会使设计复杂化。因此,设计人员要根据设计任务要求,选择合适的电路形式,使所设计的电路性能满足要求,且成本较低。

(3) 既要考虑方案是否可行,还要考虑怎样保证性能可靠,降低成本,减少功耗和减小体积等实际问题。

(4) 提出和选择一个令人满意的方案并不容易,常需在分析论证和设计过程中不断改进和完善,出现一些反复也是难免的。例如,最初提出的方案可能有缺陷或者后来想出了更好的新方案。但应当尽量避免方案上的大反复,以免浪费经费和精力。

2. 单元电路的设计

在选定整体方案后,便可画出详细框图,设计单元电路。

设计单元电路的一般方法和步骤如下:

(1) 根据设计要求和已选定的整体方案的原理框图,明确对各单元电路的要求,必要时应详细拟定出主要单元电路的性能指标。虽然不一定都要写成正规的文字形式,但一定要心中有数,并用简略的文字标出主要技术指标,关键问题要做必要的文字说明。此外,要特别注意各单元电路之间的相互配合,尽量少用或不用电平转换之类的接口电路,以免造成电路复杂或成本高等缺点。

(2) 拟定出对各单元电路的要求后,应全面检查一遍,确认无误后方可按照一定的顺序分别设计各单元电路的结构形式,选择元器件和计算参数等。下面先着重说明如何设计单元电路结构形式,选择元器件和计算参数将在元器件的选择和参数计算中说明。

应当选择哪种形式的电路作为所要设计的单元电路呢?最简单的办法是从过去学过的和所了解的各种电路中选择一个合适的电路,这也许能找到一个在性能上完全满足要求的电路,但不要轻易满足于此。在条件许可时,应去查阅各种资料,这样既可以丰富知识,开阔眼界,又可能会找到更好的电路(如电路更简单,成本更低等)。但也会遇到这样的情况,即花了很多时间,仍然没有找到满意的电路,如某些性能不能满足要求或电路太复杂等。这时可在与设计要求比较接近的某电路基础上适当改进,或进行创造性设计。

3. 整体电路图的画法

设计好各单元电路后,应画出整体电路图。整体电路图不仅是进行实验和印制电路板等工艺设计的主要依据,而且在生产调试和维修时也离不开它,因此整体电路图具有重要作用。

整体电路图画得好,不仅自己看起来方便,而且别人容易看懂,也便于进行技术交流。画好总体电路图应注意以下几点:

(1) 画图时应注意信号的流向,通常从输入端或信号源画起,由左至右由上至下按信号的流向依次画出各单元电路。但一般不要把电路图画成很长的窄条,必要时可以按信号流向的主通道依次把各单元电路排成类似字母“U”的形状,它的开口可以朝左,也可以朝其他方向。

(2) 尽量把总体电路图画在同一张图纸上。如果电路比较复杂,一张图纸画不下,应把主电路画在同一张图纸上,而把一些比较独立或次要的部分(如直流稳压电源)画在另一张或几张图纸上。应当用恰当的方式,说明各图纸上电路连线的来龙去脉。

(3) 电路图中所有的连线都要表示清楚,各元器件之间的绝大多数连线应在图上直接画出。连线通常画成水平线或竖线,一般不画斜线。互相连通的交叉线,应在交叉处用圆点标出。还应当注意尽量使连线短些,少拐弯。“七拐八弯、东拉西扯”的连线多了,使人眼花缭乱,不易看懂。因此,在图上把各元器件的每一根连线都画出来,效果不一定好。有的可用符号表示,例如地线常用“ \perp ”表示,集成电路器件的电源一般只要标出电源电压的数值(如 $+5\text{V}$ 、 $+15\text{V}$ 和 -15V)就可以了。有的可采用简便画法。总之,以“清晰明了,容易看懂”为原则。但也要注意电路图的紧凑和协调,疏密恰当,避免出现有的地方画得很密,有的地方却很疏。

(4) 电路图的中大规模集成电路器件通常用方框表示,在方框中标出其型号,在方框的边线两侧标出每根连线的功能名称和引脚号。除中大规模器件外,其余元器件的符号应当标准化。

(5) 如果电路比较复杂,设计者经验不足,有些问题在画出整体电路之前难以解决。遇到这种情况,可先画出整体电路草图。其目的主要是解决以下问题:

① 有些单元电路的形式,从单元电路局部考虑它是最好的,但从整个电路的全局考虑不一定是最好的。显然,应当从全局着眼选择合适的元器件,并把它们组合得最好。这类问题,有时只有画出整体电路的草图才能解决。

② 各单元电路之间的相互连线和配合等,有时需要画出整体电路草图,才能知道有无问题。

③ 整体电路图中各单元电路分别画在什么位置最好,有时需要通过画整体电路草图,经过比较,才能确定。

为了解决以上问题,有时需要画出若干不同的整体电路草图,以便进行比较。

(6) 可利用专用的印制板设计软件(如 Altium Designer)绘制电路图。

以上所述只是整体电路图的一般画法,实际情况千差万别,应根据具体情况灵活掌握。

4. 元器件的选择

1) 元器件选择的一般原则

元器件的品种规格繁多,性能、价格和体积各异,而且新产品不断涌现,这就需要我

们经常关心元器件信息和新动向,多查阅器件手册和有关的科技资料,尤其要熟悉一些常用的元器件型号、性能和价格,这对单元电路和整体电路设计极为有利。选择什么样的元器件最合适,需要进行分析比较。毫无疑问,首先应考虑满足单元电路对元器件性能指标的要求,其次是考虑价格、货源和元器件体积等方面的要求。元器件的选择不仅在单元电路设计中十分重要,而且在总体方案设计与选择中是要考虑的问题。

当然,作为实验教学,实验室不可能配备多种多样的元器件,只能配备一些常用的、品种规格有限的元器件。因此,应当尽量选用实验室已有的元器件,除非必要才到市场上去购买。

2) 集成电路与分立元件电路的选择问题

随着微电子技术的飞速发展,各种集成电路大量涌现,集成电路的应用越来越广泛,优先选用集成电路已是大家一致的认识。一块集成电路就是一个具有一定功能的单元电路,它的性能、体积、成本、安装调试和维修等方面都优于由分立元件构成的单元电路。因此,单元电路的设计就如同“点菜谱”那样(尤其是数字系统),再也没有必要花大量的时间和精力去设计由分立元件构成的单元电路。这将大大简化单元电路的设计,大大提高电子电路设计的效率。例如,设计与制作一个直流稳压电路,采用分立元件电路至少得花几天时间,而采用集成三端稳压器就是轻而易举的事,而且后者的性能、体积、成本均比前者优越。

优先选用集成电路不等于什么场合都一定要用集成电路。在某些特殊情况下,如在高频、宽频带、高电压、大电流等场合,往往只需一只三极管或一只二极管就能解决问题,就不必选用集成电路,因为采用集成电路反而使电路复杂化,而且导致成本增加。

(1) 集成电路产品。集成电路的品种很多,总的可分为模拟集成电路、数字集成电路和模数混合集成电路三大类。关于集成电路的内容在 3.5 节已有相关介绍。在设计过程中采用哪一种,由单元电路所要求的性能指标决定。

(2) 如何选择集成电路。选择的原則是在满足性能指标的前提下,考虑价格等其他因素。一般可按图 5-3 所示程序从粗到细地进行。

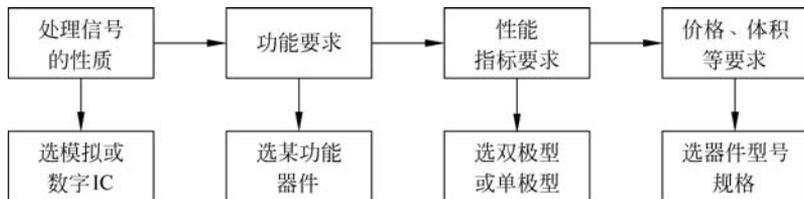


图 5-3 集成电路选择的程序

例如,要求设计一个十进制计数器,其工作频率为 2000Hz,希望其输出高、低电平值一致性好、功耗低。

显然,应选数字集成电路,功能为十进制计数器。根据性能指标要求,工作频率低,功耗小,高、低电平值一致性好,故选 CMOS 计数器,如 CC4510 或是 CC4518,但从价格看,CC4510 比 CC4518 便宜,因此选 CC4510。

以下几点值得注意:

① 上述集成电路选择的程序并非一成不变,有时需要交叉反复进行,尤其是图 5-3 的第三和第四步更是如此。

② 如果没有特殊情况,集成运放应尽量选择通用型,数字集成电路应尽量选用最常用的器件,这既可降低成本又易保证货源。

③ 不要盲目地追求高性能指标,只要满足设计要求即可。因为有些性能指标之间是矛盾的(如低功耗往往速度慢),而且追求高指标会造成成本的急剧上升且货源困难。

(3) 模拟集成电路的选择。设计中选择模拟集成电路的方法一般是先粗后细:首先根据总体设计方案考虑选用什么类型的集成电路(如运算放大器有通用型、低漂移型、高阻型、高速型等);然后进一步考虑它的性能指标与主要参数(如运算放大器的差模和共模输入电压范围、输出失调参数、开环差模电压增益、共模抑制比、开环带宽、转换速率等),这些参数值是选择集成运算放大器的主要参考依据;最后综合考虑价格等其他因素决定选用什么型号的器件。

(4) 数字集成电路的选择。数字集成电路的发展速度非常快,经过几十年的更新换代,到目前为止已形成多种系列化产品同时并存的局面,各系列品种的功能配套齐全,可供用户自由选择。

数字集成电路有双极型的 TTL、ECL 和 IIL 等,以及单极型的 CMOS、NMOS 和动态 MOS 等。最常用的是 TTL 和 CMOS 集成电路。

TTL 和 CMOS 数字集成电路产品的品种系列繁多,但国际上已形成主流的品种系列有 13 个,其中,TTL 有 8 个,CMOS 有 5 个。8 个 TTL 品种系列是标准 TTL、高速 TTL(HTTTL)、低功耗 TTL(LTTL)、肖特基 TTL(STTL)、低功耗肖特基 TTL(LSTTL)、先进肖特基 TTL(ASTTL)、先进低功耗肖特基 TTL(ALSTTL)和快速肖特基 TTL(FASTTL)。5 个 CMOS 品种系列是 CMOS4000、高速 CMOS(HC 和 HCT)、先进 CMOS(AC 和 ACT)。

上述 13 个品种系列又有军品与民品之分,并以国际通用系列代号 54 和 74 分别表示军品与民品两大系列。军品工作温度为 $-55\sim 125^{\circ}\text{C}$,民品为 $0\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。值得指出的是,CMOS 产品有点特殊,它的 5 个品种系列中,只有高速 CMOS(HC 和 HCT)和先进 CMOS(AC 和 ACT)有军品与民品之分,而 CMOS4000 系列无军民之分。因此,CMOS 产品有 54/74 $\begin{cases} \text{HC、HCT} \\ \text{AC、ACT} \end{cases}$ 和 4000 三大系列。

在如此繁多的集成电路产品中,大量使用的是 74LS 系列和 4000 系列。

一个集成电路的品种代号只代表一种功能的集成电路,因此,不论集成电路是上述 13 个品种系列的哪个系列,只要它们的品种代号相同,其集成电路的功能和引脚均完全相同。例如,CT54/7412、CT54/74LS12、CT54/74ALS12 三个型号的集成电路,其品种代号均为 12,因此它们的功能与引脚均完全相同,且为三 3 输入与非门(OC)。显然,只谈及集成电路的功能,而不涉及其他问题时,只用集成电路品种代号就行了,因而可简化集成电路型号的书写。

ECL 电路速度最快,但功耗较大,而 CMOS 电路速度慢,功耗很低,TTL 电路的性能介于 ECL 和 CMOS 集成电路之间,应该说,各类数字集成电路都各具特点,都在发展,也都存在着应用的局限性。在各种应用场合中,应该综合考虑各类数字集成电路的性能,以求得到最佳的应用归宿。

3) 半导体三极管的选择

半导体三极管是应用较广的分立器件,它对电路的性能指标影响很大。其次是二极管和稳压管。选择半导体三极管应考虑以下几方面:

(1) 从满足电路所要求的功能(如放大作用、开关作用等)出发,选择合适的类型,如大功率管、小功率管、高频管、低频管、开关管等。

(2) 根据电路要求,选择 β 值。一般情况下, β 值越大,温度稳定性越差,通常 β 取 50~100。

(3) 根据放大器通频带的要求,选择三极管适当的共基截止频率 f_{α} 或特征频率 f_T 。

(4) 根据已知条件选择三极管的极限参数。一般要求:最大集电极电流 $I_{CM} > 2I_C$; 击穿电压 $V_{(BR)CEO} > 2V_{CC}$; 最大允许管耗 $P_{CM} > (1.5 \sim 2)P_{Cmax}$ 。

4) 阻容元件的选择

电阻器和电容器是两种常用的分立元件,它们的种类很多,性能各异。阻值相同、品种不同的两种电阻器或容量相同、品种不同的两种电容器用在同一个电路中的同一个位置,可能效果大不一样。此外,价格和体积也可能相差很大。如图 5-4 所示的反相放大器电路,当它的输入信号频率为 100kHz 时,如果 R_1 和 R_f 采用两只 0.1% 的线绕电阻器,其效果不如用两只 0.1% 的金属膜电阻器的效果好,这是因为线绕电阻器

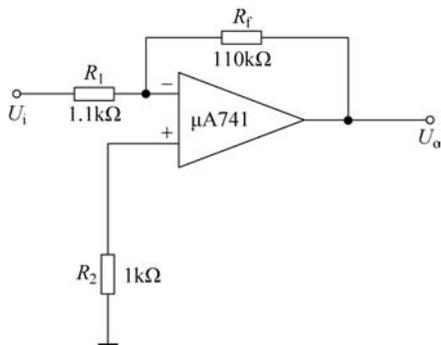


图 5-4 反相放大器电路

一般电感效应较大,而且价格贵。设计者应当熟悉各种常用电阻器和电容器的主要性能特点,以便设计时根据电路对它们的要求做出正确选择。

5. 参数计算

在电子电路的设计过程中常需计算某些参数,例如,设计振荡器电路是根据要求的振荡频率计算电阻、电容值的大小,设计放大电路是根据放大倍数、带宽、转换速率等要求计算所需三极管、运算放大器或阻容元件的参数。只有深刻地理解电路工作原理,正确地运用计算公式和计算图表,才能获得满意的计算结果。在计算时常会出现理论上满足要求的参数值不是唯一的,设计者应综合考虑价格、体积、货源等因素后确定最佳方案。也就是说,设计中的计算参数包括“选择”和“计算”两个方面。计算参数时还必须考虑所选元器件的精度等级。

例 5.1 某单元电路如图 5-5 所示,要求直流输入电压 $U_i = 0.5V$ 时,输出电压 $U_o = 5V$,试计算图中各电阻值。

解：电压放大倍数为

$$A_v = \frac{5}{0.5} = 10$$

R_f 应等于 $9R_1$, R_2 应等于 $R_1 // R_f$ 。因此从理论上讲, R_1 、 R_f 和 R_2 可以取很多不同的阻值, 例如: $R_1 = 2\text{k}\Omega$, $R_f = 18\text{k}\Omega$, $R_2 = 1.8\text{k}\Omega$; $R_1 = 2\Omega$, $R_f = 18\Omega$, $R_2 = 1.8\Omega$; $R_1 = 3\text{M}\Omega$, $R_f = 27\text{M}\Omega$, $R_2 = 2.7\text{M}\Omega$ 。

但是, 实际上不能取上面的第 2 组电阻值。

其原因是当 $U_i = 0.5\text{V}$ 时, $U_o = 5\text{V}$, 则流过 R_f 的电流为

$$I_{R_f} = \frac{U_{R_f}}{R_f} = \frac{U_o - U_i}{R_f} = \frac{5 - 0.5}{18} = 0.25(\text{A}) = 250(\text{mA})$$

这个电流值超过集成运放 $\mu\text{A}741$ 的最大输出电流(通常为几毫安), 放大电路不能正常工作。

如果选用第 3 组电阻值, 显然不会造成运放输出负载过重, 但存在以下问题:

(1) 阻值高达 $27\text{M}\Omega$ 的电阻器不仅不易生产、价格较高, 而且噪声大、稳定性差、精度低。

(2) 当 $U_i = 0.5\text{V}$ 时, 流过反馈电阻 R_f 的电流为

$$I_{R_f} = I_{R_1} = \frac{U_i}{R_1} = \frac{0.5\text{V}}{3\text{M}\Omega} \approx 167\text{nA}$$

将这个反馈电流与运放 $\mu\text{A}741$ 的输入失调电流(典型值为 20nA , 最大值为 200nA)相比较可知, 选用上述第 3 组电阻值是不合适的。那么是否可以取第 1 组电阻值呢? 可以从以下两方面分析:

(1) 当 $U_i = 0.5\text{V}$, $U_o = 5\text{V}$ 时, 流过 R_f 的电流为

$$I_{R_f} = I_{R_1} = \frac{U_i}{R_1} = \frac{0.5\text{V}}{2\text{k}\Omega} \approx 250\mu\text{A}$$

它比集成运放 $\mu\text{A}741$ 的最大输出电流小得多, 而又大于输入失调电流的 1000 倍。因此, 这组电阻值能使电路正常工作。

(2) R_1 、 R_2 和 R_f 的阻值分别为 $2\text{k}\Omega$ 、 $1.8\text{k}\Omega$ 和 $18\text{k}\Omega$, 都在常用标称电阻值系列之内, 且阻值适中。

计算参数应注意以下几个问题:

(1) 各元器件的工作电流、电压、频率和功耗等应在允许的范围内, 并留有适当余量, 以保证电路在规定的条件下能正常工作, 达到所要求的性能指标, 并有一定的余量。

(2) 对于环境温度、交流电网电压等工作条件, 计算参数时应按最不利的情况考虑。

(3) 涉及元器件的极限参数(如整流桥堆的耐压)时, 必须留有足够的余量, 一般按 1.5 倍左右考虑。例如, 如果实际电路中三极管 V_{CE} 的最大值为 20V , 挑选三极管时按 $V_{(\text{BR})\text{CEO}} > 30\text{V}$ 考虑。

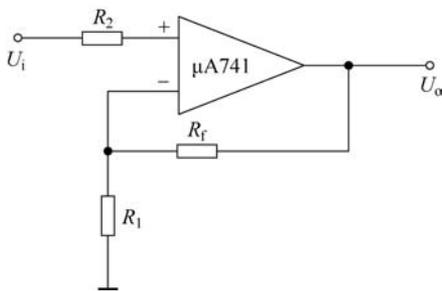


图 5-5 同相放大器电路

(4) 电阻值尽可能选在 $1\text{M}\Omega$ 范围内,最大一般不应超过 $10\text{M}\Omega$,其数值应在常用电阻器标称值系列之内,并应根据具体情况正确选用电阻器的品种。

(5) 非电解电容尽可能在 $100\text{pF}\sim 0.1\mu\text{F}$ 范围内选择,其数值应在常用电容器标称值系列之内,并应根据具体情况正确选择电容器的品种。

(6) 在保证电路的性能前提下,尽可能设法降低成本,减少元器件的品种,减少元器件的功耗和体积,并为安装调试创造有利条件。

6. 审图

在画出整体电路图,并计算出全部参数值以后,至少应进行一次全面审查。这是因为在设计过程中各种计算难免错误,有些问题难免考虑不周到。也许有人会说,有点问题没关系,反正还要做实验。这种想法是不对的,下面具体说明。

(1) 原理电路中存在的某些问题如果不在实验前解决,可能会导致实验时损坏元器件。例如,如果按照图 5-6 所示电路接线做实验,那么只要接通电源,图中右边 CMOS 计数器的时钟脉冲输入端的保护二极管就会损坏。其原因是,图中左边的集成运放接成电压比较器的形式,它的输出高电平高于 $+10\text{V}$,它的输出低电平低于 -10V ,超过右边 CMOS 计数器的电源电压范围($V_{\text{DD}} = +5\text{V}, V_{\text{SS}} = 0$)。像这样的问题应当通过审图解决。可把图 5-6 改成图 5-7 或采取其他措施。

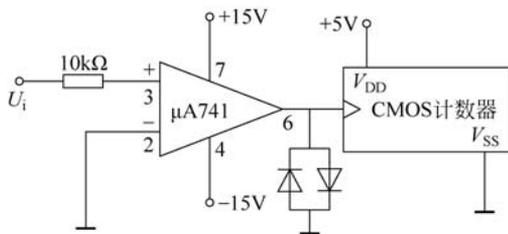


图 5-6 会造成器件损坏的电路示意图

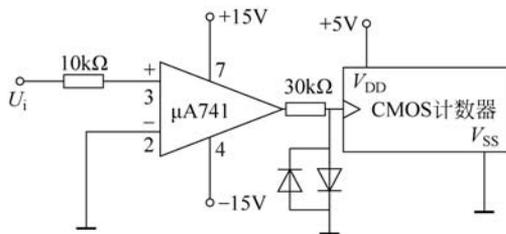


图 5-7 加保护措施后的示意图

(2) 有些设计不合理的电路,即使做实验也可能发现不了存在的问题,甚至有可能达到所要求的性能指标。例如,有人在课程设计总结报告中画出了一个经过实验验证了的三角波发生器,如图 5-8 所示。然而,这个电路只能在特定条件下正常工作,即运放 A1 的最大输出电压 U_{omax1} 必须小于运放 A2 的最大输出电压 U_{omax2} 。但是,如果 $U_{\text{omax1}} = \pm 13\text{V}$, A2 的 $U_{\text{omax2}} = \pm 11\text{V}$,那么这个电路将不能正常工作,除非 R_2 的实际阻值小到一定程度。这种问题应当通过审图解决,即图中 R_2 的阻值应比 R_3 小一些,例如,将 R_2 改为 $12\text{k}\Omega$ (为了满足对称平衡条件, R_1 应改为 $7.5\text{k}\Omega$)。

下面看另一个例子。有人设计了一个简单的 D/A 转换电路,如图 5-9 所示。如果按照这个电路图接线做实验,调节图中的各电阻值,可以使输出电压 U_o 的数值与输入数据满足所要求的关系。但是,同一种型号不同个体的 TTL 器件的输出电平相差比较大。例如,某一片 74LS75 输出端 Q_4 的高电平可能是 4V ,低电平可能是 0.1V ;而另一片 74LS75 输出端 Q_4 的高电平可能是 3V ,低电平可能是 0.2V 。这意味着换一片 74LS75,

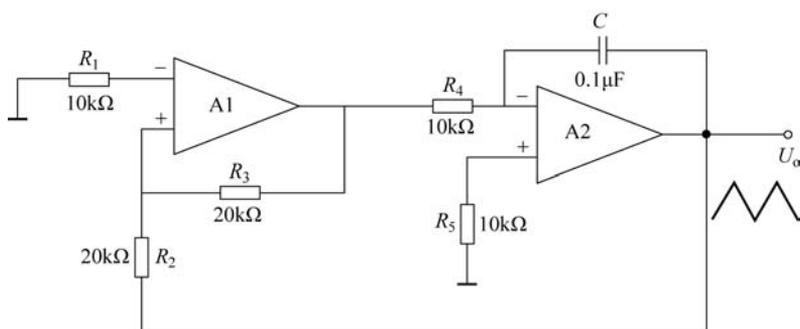


图 5-8 电阻值不合适的三角波发生器

可能就要调一次电阻值,才能保持之前所确定的输入与输出关系不变。显然,这是不合适的。采用 CMOS 器件不存在这种问题。CMOS 器件的低电平不超过 $0.05V$ (设 $V_{SS} = 0$), 高电平与电源电压之差也不超过 $0.05V$, 即在电源电压不变的条件下, 同型号不同个体的 CMOS 器件的高电平或低电平相差不到 $0.05V$ 。因此, 应该把图中的 74LS75 换成相应的 CMOS 器件, 或者在 74LS75 输出端与加权电阻之间加 CMOS 缓冲器, 如 CC4010, 如图 5-10 所示。从这两个例子可以看出, 想通过做一次实验发现所有的问题, 有时是不切实际的。

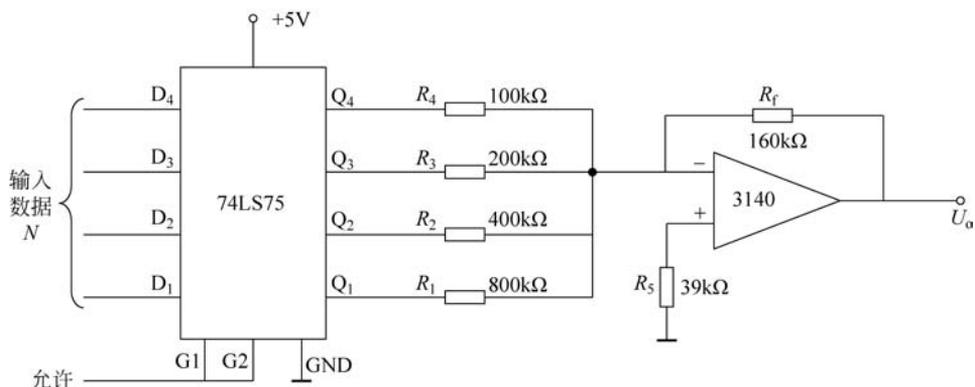


图 5-9 有问题的 D/A 转换电路

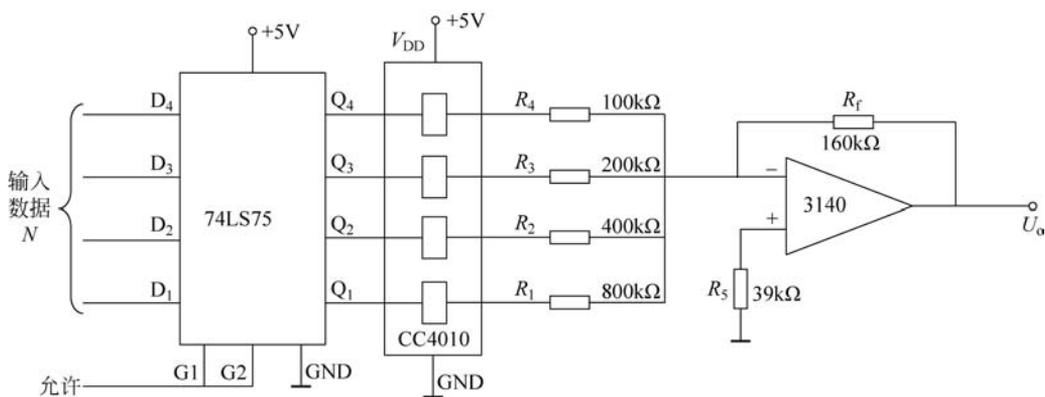


图 5-10 调整后的 D/A 转换电路

(3) 自己设计的原理电路存在一些问题难免的。经过审图也不能保证可以发现和解决所有的问题,但是经过仔细审查,可以发现和解决一部分或大部分问题,为实验打下较好的基础。如果不审图便进行实验,即使不损坏元器件,也可能会出现较多的问题和困难,甚至会感到不知所措、令人懊丧,以致信心不足等。

总之,实验前把自己设计的原理电路全面审查一遍是明智的。如果电路比较复杂,应多审查一两遍。必要时可请经验丰富的同行审查。至于如何审图,有以下几点值得注意:

(1) 从全局出发,检查总体方案是否合适,有无问题,再审查各单元电路的原理是否正确,电路形式是否合适。

(2) 检查各单元电路之间的电平、时序等配合有无问题。

(3) 检查电路图中有无烦琐之处,是否可以化简。

(4) 根据图中标出的各元器件的型号、参数值等,验算能否达到性能指标,有无恰当的容量。

(5) 要特别注意检查电路图中各元器件工作是否安全(尤其是 CMOS 器件),以免实验时损坏。

(6) 解决所发现的全部问题,若改动较多,应当复查一遍。

7. 实验

设计一个解决实际问题的具体电路,需要解决的问题比较多,既要考虑方案以及用哪些单元电路,各单元电路之间怎样连接、如何配合,还要考虑用哪些元器件,它们的性能、货源、价格、体积、功耗怎样等。而电子元器件品种繁多,性能各异……总之,设计时要考虑的因素和问题相当多,加之经验不足以及一些新的集成电路功能较多,内部电路复杂,如果没有实际用过,单凭看资料很难掌握它的各种用法和一些具体细节。因此,设计时难免考虑不周,出一些差错。实践证明,对于比较复杂的电子电路,单凭纸上谈兵,要想使自己设计的原理电路正确无误和完善往往是不现实的,所以常需要进行实验。通过实验可以发现问题,遇到问题时应善于理论联系实际,深入思考,分析原因,找出解决问题的办法和途径。经测试,电路性能全部达到要求后,再画出正式的电路图。

值得指出的是,有的电路相当复杂,如果全部做实验,要用很多元器件,费用和工作量相当大。在这种情况下,一般先只实验其中关键部分或采用新技术、新电路、新器件的部分,而那些很有把握或很成熟的部分可以不做实验。实验成功后再考虑制作样机。

5.1.3 电子电路设计注意事项

1. 电气性能相互匹配问题

关于单元电路之间电气性能相互匹配的问题主要有阻抗匹配、线性范围匹配、负载

能力匹配、高低电平匹配等,前两个问题是模拟单元电路之间的匹配问题,最后一个问题是数字单元电路之间的匹配问题,而第三个问题(负载能力匹配)是两种电路都必须考虑的问题。

从提高电压放大倍数和负载能力考虑,希望后一级的输入电阻要大,前一级的输出电阻要小,但从改善频率响应角度考虑,则要求后一级的输入电阻要小。

对于线性范围匹配问题,这涉及前后级单元电路中信号的动态范围。显然,为保证信号不失真地放大,则要求后一级单元电路的动态范围大于前级。

负载能力的匹配实际上是前一级单元电路能否正常驱动后一级的问题。这在各级之间均有,但特别突出的是在最后一级单元电路中,因为末级电路往往需要驱动执行机构。如果驱动能力不够,则应增加一级功率驱动单元。在模拟电路中,若对驱动能力要求不高,可采用由运放构成的电压跟随器;否则,需采用功率集成电路或互补对称输出电路。在数字电路中,采用达林顿驱动器、单管射极跟随器或单管反相器。当然,并非一定要增加一级驱动电路,在负载不是很大的场合,往往改变电路参数就可满足要求。总之,应视负载大小而定。

电平匹配问题在数字电路中经常遇到。若高低电平不匹配,则不能保证正常的逻辑功能,所以必须要增加电平转换电路。尤其是 CMOS 集成电路与 TTL 集成电路之间的连接,当两者的工作电源不同时(如 CMOS 为+15V, TTL 为+5V),两者之间必须加电平转换电路。

2. 电源的选择

有的设计任务已规定了电源电压,当然应按规定选取。这时,电路元器件也得按照该电源要求来选择。

有的设计应用了集成电路,集成电路对电源限制比较严格,应根据集成电路的要求选择电源。

TTL 集成电路的电源电压为+5V,上限电压不得超过+5.5V,下限电压不能低于+4.5V。CMOS 集成电路的电源电压为+3~+18V。

有的设计未给出电源要求,但规定的性能指标对电源有一定要求,应根据这些要求来选择电源。对有动态范围要求的分立元件放大电路,其电源电压应满足

$$E_c \geq (1.2 \sim 1.5)(U_{opp} + U_{ces}) + U_e \quad (5-1)$$

式中: U_{ces} 为晶体管的饱和压降,小功率管的 $U_{ces} = 0.1 \sim 1V$; U_e 为发射极电阻 R_e 上的压降,通常可按下式选取,即

$$U_e = (5 \sim 10)U_{be} \begin{cases} 3 \sim 5V(\text{硅管}) \\ 1 \sim 3V(\text{锗管}) \end{cases} \quad (5-2)$$

在计算出 E_c 值后,应选用标准电源系列值,如 1.5V、3V、4.5V、6V、9V、12V、15V、24V、30V 等。

3. 耦合方式的选择

电路之间的耦合方式主要有直接耦合、阻容耦合、变压器耦合和光电耦合,四种耦合方式各有优缺点,要根据具体情况进行选择。

直接耦合是上一级单元电路的输出直接(或通过电阻)与下一级单元电路的输入相连接。这种耦合方式最简单,它可把上一级输出的任何波形的信号(正弦信号和非正弦信号)送到下一级单元电路,它易于实现集成,频率特性较好,能放大缓慢变化的信号,但工作点不稳定,并且各级工作点易造成相互影响。当然在传输直流信号的电路之间必须采用直接耦合。但在交流电路中,只在比较简单的情况下采用直接耦合。

阻容耦合比直接耦合复杂。由于增加了隔直电容,静态工作点相互独立,互不影响,所以在低频电路中得到了广泛应用。阻容耦合电路中的电容的选择是根据电路工作的最低频率和等效电路阻抗来进行选择的。它是通过电容把上一级的输出信号耦合到下一级去,这种耦合方式的特点是“隔直传交”,即阻止上一级输出的直流成分送到下一级,仅把交变成分送到下一级。

阻容耦合方式用于传送脉冲信号时,应视阻容时间常数 $\tau=RC$ 与脉冲宽度 T_p 之间的相对大小,来决定是传送脉冲的跳变沿,还是不失真地传送整个脉冲信号。当 $\tau \ll T_p$ 时,称为微分电路,它只传送跳变沿;当 $\tau \gg T_p$ 时,称为耦合电路,它传送整个脉冲。

设计中耦合电容常按下列经验数据选取: $C=4.7\sim 47\mu\text{F}$ 。

变压器耦合方式是通过变压器的一次绕组和二次绕组,把上级信号耦合到下一级。由于变压器二次侧电压中只反映变化的信号,故它的作用也是“隔直传交”。

变压器耦合的最大优点是可以通过改变匝比与同名端,实现阻抗匹配和改变传送到下一级信号的大小与极性以及实现级间的电气隔离。但它的最大缺点是制造困难,不能集成化,频率特性差,体积大,效率低。但通过选择变压器的匝比 n ,可实现阻抗的匹配,以便提高电路的工作效率。当频率较高时,电路效率也较高。变压器耦合的电路效率可达 50%,直接耦合为 25%,阻容耦合约为 10%。变压器耦合可以实现对称输出。

光电耦合方式是通过光电器件把信号传送到下一级,上一级输出信号通过光电耦合器件中的发光二极管,使其产生光,光作用于光敏三极管基极,使三极管导通,从而把上级信号传送到下一级。它既可传送模拟信号,也可传送数字信号。但目前传送模拟信号的线性光电耦合器件比较贵,故多数场合中是用来传送数字信号。

光电耦合方式的最大特点是实现上、下级之间的电气隔离,加之光电耦合器件体积小、重量轻、开关速度快。因此,在数字电子电路的输入、输出接口中常常采用光电耦合器件进行电气隔离,以防止干扰侵入。

在以上四种耦合方式中,变压器耦合方式应尽量少用;光电耦合方式通常只在需要电气隔离的场合中采用;直接耦合和阻容耦合是最常用的耦合方式,至于两者之间如何选择,主要取决于下一级单元电路对上一级输出信号的要求。若只要求传送上一级输出信号的交变成分,不传送直流成分,则采用阻容耦合,否则采用直接耦合。

4. 选用 TTL 类与 CMOS 类器件

在选用 TTL 类或 CMOS 类数字器件时,需要考虑以下几方面:

1) 工作电压

TTL 类型,标准工作电压为+5V,其他逻辑器件的工作电源电压大都有较宽的允许范围,尤其是 CMOS 器件,工作电压一般为 3~18V。

2) 工作频率

在各类数字集成电路中,普通 CMOS 器件(CD4000 系列)的工作频率最低,一般用于 1MHz 甚至 100kHz 以下;在 5MHz 以下,多使用 74LS 系列;在 5~50MHz 时,多使用 74HC、74ALS 系列;在 50~100MHz 时,多使用 74AS 系列。

3) 功耗

LS-TTL 与 CMOS 器件相比,CMOS 的功耗小。但值得强调的是,CMOS 的低功耗,只有在工作频率很低时才有实际意义。随着频率的升高,CMOS 的动态功耗将增大。当工作频率达到 50MHz 左右时,HC-MOS 的功耗将要超过 LS-TTL 的功耗,相反 LS-TTL 的功耗较为稳定,随工作频率变化不大。

5. CMOS 集成电路的正确使用

1) 输入电路的静电保护

MOSFET 栅极绝缘电阻可高达 $10^{12}\Omega$,很容易受静电感应积累静电荷而形成高压。这种静电电压加到 CMOS 电路的输入端时,极易损坏电路。为此,可采取以下静电保护措施:

- (1) 组装、调试时,烙铁、仪表、工作台面应良好接地。
- (2) 所有不同的输入端不应悬空,应按工作功能接“1”或接“0”电平。
- (3) 不要在带电情况下插入、拔出或焊接器件。

2) 输入保护电路的过流保护

由于 CMOS 输入保护电路中的钳位二极管电流容量有限,一般为 1mA,所以在可能出现较大输入电流的场合都必须对输入保护电路采取过流保护措施。例如,输入端接低内阻的信号源、接长引线、接大电容等情况,均应在 CMOS 输入端与信号源(或长引线,或电容)之间串进限流保护电阻,保证导通电流不超过 1mA。

3) 对输入电压和电源电压的要求

- (1) 输入电压 U_i 不应超出电源电压范围,即应满足条件 $V_{SS} < U_i < V_{DD}$ 。
- (2) 在电源输入端需加去耦电路,以防止 V_{DD} 出现瞬态过电压。
- (3) 当系统由几个电源分别供电时,各电源的开关顺序必须合理。启动时,应先接通 CMOS 电路的电源,再接入信号和负载电路。关机时,顺序恰好相反。

4) 输出驱动电路

CMOS 电路不可能有很大的驱动电流,不能直接驱动继电器、步进电机、晶闸管等大

电流器件,必须通过半导体管电流放大才能驱动。

6. 时序配合

单元电路之间信号作用的时序在数字系统中是非常重要的,哪个信号作用在前、哪个信号作用在后以及作用的时间长短等,都是根据系统正常工作的要求而决定的。换句话说,一个数字系统有一个固定的时序。时序配合错乱将导致系统工作的失常。

时序配合是一个十分复杂的问题,为确定每个系统所需的时序,必须对该系统中各单元电路的信号关系进行分析,画出各信号的波形关系图——时序图,确定保证系统正常工作时的信号时序,然后提出实现该时序的措施。

单纯的模拟电路不存在时序问题,但在模拟与数字混合组成的系统中也存在时序问题。

5.1.4 设计文件的编写

电子电路设计过程的最后一步是编写设计文件,这也是相当重要的一步工作。因为设计文件是设计全过程的综述,是进行技术交流、技术存档和交付生产部门实施产品生产的重要依据。它是科技文件的重要组成部分之一。

编写好一份设计文件,重要的是注意积累设计过程中的资料、测试过程中的数据和情况(现象)记录。设计文件按国家有关科技文件编写的格式和要求进行编写。设计的主要文件有方案报告、研究报告、设计报告、实验报告、总结报告、鉴定报告等。这些文件所涉及的内容相当广泛,在此不再展开讨论。初学者主要完成下列文件的编写和整理:

(1) 任务书。它是上级下达设计任务的依据性技术文件,内容包括技术指标、任务来源、用途、完成时间等。

(2) 方案论证报告。它是方案论证工作总结性的技术文件,也是开展研究和技术设计工作的依据,内容包括论证的依据和过程、对方案的理论分析及实现方案可能性的探讨等。

(3) 设计报告。它是设计工作的技术小结,内容包括设计目的与要求、计算过程和数据、必要的方框图、原理图、结构图及元件明细表等。

(4) 实验报告。它是实验工作的实际记录和技术总结性文件,内容包括实验目的、依据、内容、数据的分析、实验中出现的問題及说明等。

(5) 工艺审查报告。它是指结构的构思和布局,结构的工艺审查情况,工艺文件(装接程序及工艺卡片等)。

(6) 成本核算报告。不同的报告叙述的重点各异,其共同要求是:任务的来源要有依据;论证层次要清楚,有说服力;结论要经过论证,符合实际;存在的问题要实事求是,简明扼要。

5.2 电子电路故障检测

5.2.1 电子电路故障检测的一般程序

检修电子电路故障是一项理论性与实践性要求较高的技术工作。从事故障修理的人员既不能单凭经验,也不能纸上谈兵,更不能瞎摸乱碰以图侥幸成功。否则,不但排除不了故障,反而会使故障越来越复杂。因此,要搞好电子电路的检修工作,必须具备一定的电子电路的理论知识,懂得常用测试仪器的正确使用与操作方法,了解检查电子电路故障产生原因的基本方法,并在此基础上遵循科学的工作程序,以使检修工作事半功倍,少走弯路。

通常可将电子电路故障排除的程序归纳为下列9条:

1. 了解故障现象

在检修电子电路故障之前,要切实了解发生故障的经过情况以及已发现的故障现象,是否修过,修过哪些部件等,根据询问用户或目击者提供的情况,可基本掌握故障现象,从而为分析故障产生的原因、确定重点的观察部位提供一定的依据。

2. 观察故障现象

检修电子电路故障必须从故障现象入手。对待查的设备进行定性测试,进一步观察与记录故障的确切现象及轻重程度,对于判断故障的性质和发生故障的部位很有帮助。进行实际观察或测试时,要遵循以下原则:先外部后内部,先静态后动态,先电源后其他,先分析后动手,先整机后部件,先元件后器件。这样可避免走弯路,提高检修速度。但必须指出,对于烧保险丝、跳火、焦味等故障现象,必须采用逐步加压(指交流电源电压)的方法进行观察,以免扩大电路故障。

3. 表面初步检查

为了加快查找故障产生原因的速度,通常是先初步检查待修设备面板上的开关、旋钮、度盘、插头、插座、接线柱、探测器等是否有松脱、滑位、断线、卡阻和接触不良等问题。或者打开盖板,检查内部电路的电阻、电容、电感、电子管、晶体管、保险丝、变压器等是否有烧焦、漏液、击穿、霉烂、松脱、破裂和接触不良等问题,一经发现应予以更新、修整。

4. 研究工作原理

如果初步表面检查没有发现问题,或者对已发现的故障进行整修后仍存在原来的故障现象,甚至又有别的器件损坏,就必须进一步认真研究待修设备说明书中提供的有关技术资料,并联系故障现象进行思维推理,以便分析可能产生故障的原因,确定需要检测的电路部件。

5. 拟定测试方案

根据电子电路的故障现象以及对待修设备工作原理的研究,拟定出检查故障原因的方法、步骤和所需测试仪表的方案,以便做到心中有数,这是进行电路故障检修工作的重要程序,进行具体测试时也应遵循先静态后动态的测试原则。

6. 分析测试结果

根据测试所得到的结果——数据、波形、异常现象等,进一步分析产生故障的原因和部位。通过再测试、再分析,肯定好的部分,确定故障的范围,直至查出损坏、变值、虚焊的元器件为止。对故障原因的正确认识,只有在不断地分析测试结果的过程中,才能由片面到全面,由个别到系统,由现象到本质,这是检修电子电路的整个程序中最关键、最费时的环节。

7. 查出故障并整修

电子电路的故障无非是由个别元器件损坏、变值、松脱、虚焊等引起,或者是因个别接点开路、短路、虚焊、接触不良等造成,通过检测查出故障后,就可进行必要的选配、更新、清洗、重焊、调整、复制等整修工作,使电子电路恢复正常功能。

8. 修后性能检定

对修复后的电子电路要进行性能测试,粗略地检定其主要功能是否正常。如果整修更新的元器件会影响设备的主要性能,在修复后还应进行定量测试,以便进行必要的调整与校正,使用户满意。

9. 记录总结提高

为了能在理论和实践上提高电子电路检修水平,必须认真填写检修记录,以便存档。同时要总结,使认识更深化、技能更提高。

5.2.2 电子电路故障检测的常用方法

1. 观察法

观察法分为静态观察法和动态观察法两种。

1) 静态观察法

静态观察法又称为不通电观察法。在电子电路通电前主要通过目视检查找出某些故障。实践证明,占电子电路故障相当比例的焊点失效、导线接头断开、电容器漏液或炸裂、接插件松脱、电接点生锈等故障,完全可以通过观察发现,没有必要对整个电路做大的改动,导致故障升级。

“静态”强调静心凝神,仔细观察。其过程是先外后内,循序渐进。打开机壳前先检查电器外表有无碰伤,按键、插口、电线、电缆有无损坏,保险是否烧断等。打开机壳后,先看机内各种装置和元器件有无相碰、断线、烧坏等现象,然后用手或工具拨动一些元器件、导线等进一步检查。对于试验电路或样机,要对照原理图检查接线有无错误,元器件是否符合设计要求,集成电路引脚有无插错方向或折弯,有无漏焊、桥接等故障。

当静态观察法未发现异常时,可进一步用动态观察法。

2) 动态观察法

动态观察法又称为通电观察法,即给电路通电后,运用人的视、嗅、听、触觉检查电路故障。

通电后,眼看电路内有无打火、冒烟等现象;耳听电路内有无异常声音;鼻闻电器内有无烧焦、烧糊的异味;手触摸一些管子、集成电路等是否发烫(注意:高压、大电流电路应防触电、防烫伤),发现异常立即断电。

通电观察,有时可以确定故障原因,但大部分情况下并不能确定故障确切部位及原因。例如,一片集成电路发热,可能是周边电路故障,也可能是供电电压有误,或可能是负载过重,或可能是电路自激等,当然也不排除集成电路本身损坏,必须配合其他检测方法,分析判断,找出故障所在。特别注意,对较大设备通电时应尽可能采用隔离变压器和调压器逐渐加电,防止故障扩大。一般情况下,还应使用仪表,如电流表、电压表等监视电路状态。

2. 测量法

测量法是故障检测中使用最广泛、最有效的方法,分为电阻法、电压法、电流法和波形法。

1) 电阻法

电阻是各种电子元件和电路的基本特征,利用万用表测量电子元件或电路各点之间电阻值来判断故障的方法称为电阻法。

测量电阻值,有“在线”和“离线”两种基本方式,“在线”测量需要考虑被测元件受其他并联支路的影响,测量结果应对照原理图分析判断;“离线”测量需要将被测元件或电路从整个电路或印制板上脱焊下来,操作较麻烦但结果准确可靠。

用电阻法测量集成电路,通常先将一个表笔接地,用另一个表笔测各个引脚对地电阻值,然后交换表笔再测一次,将测量值与正常值(有些维修资料给出,或自己积累)进行比较,相差较大者往往是故障所在(不一定是集成电路坏)。

电阻法对确定开关、接插件、导线、印制板导电性的通断及电阻器的变质,电容器短路,电感线圈断路等故障非常有效而且快捷。对晶体管、集成电路以及电路单元来说,一般不能直接判定故障,需要对比分析或兼用其他方法,但由于电阻法不用给电路通电,可将检测风险降到最小,一般检测首先采用。

使用电阻法时注意以下事项:

(1) 使用电阻法时应在电路断电、大电容放电的情况下进行,否则结果不准确,还可

能损坏万用表。

(2) 在检测低电压($\leq 5\text{V}$)供电的集成电路时,避免用指针式万用表的 $\times 100\text{K}$ 挡。

(3) 在线测量时应将万用表笔交替测试,对比分析。

2) 电压法

电子电路正常工作时,电路各点都有一个确定的工作电压,通过测量电压来判断故障的方法称为电压法。

电压法是通电检测手段中最基本、最常用的方法。根据电源性质可分为交流和直流两种电压测量。

(1) 交流电压测量。一般电子电路中交流回路较为简单,对 $50/60\text{Hz}$ 市电升压或降压后的电压只需使用普通万用表选择合适 AC 量程即可,测高压时要注意安全并养成用单手操作的习惯。

对非 $50/60\text{Hz}$ 的电源,例如,变频器输出电压的测量就要考虑所用电压表的频率特性,一般指针式万用表的频率范围为 $45\sim 1500\text{Hz}$,数字式万用表为 $45\text{Hz}\sim 50\text{kHz}$,超过范围或非正弦波测量结果都不正确。

(2) 直流电压测量。直流电压测量一般分三步:

① 测量稳压电路输出端是否正常。

② 各单元电路及电路的关键“点”(如放大电路输出点)、外接部件、电源端等处电压是否正常。

③ 电路主要元器件如晶体管、集成电路各引脚电压是否正常,对集成电路首先要测电源端。

部分产品说明书中给出了电路各点正常工作电压,有些维修资料中还提供了集成电路各引脚的工作电压。另外,也可对比正常工作的同种电路测得各点电压。偏离正常工作较多的部位或元器件,往往就是故障所在部位。

3) 电流法

电子电路正常工作时,各部分工作电流是稳定的,偏离正常值较大的部位往往是故障所在。这就是用电流法检测电路故障的原理。

电流法有直接测量和间接测量两种方法。

(1) 直接测量。直接测量就是将电流表直接串接在欲检测的支路中测得电流值的方法。这种方法直观、准确,但往往需要对电路做“手术”,如断开导线,焊开元器件引脚等,因此不太方便。对于整机总电流的测量,一般可通过将电流表串接在电源开关上得到,

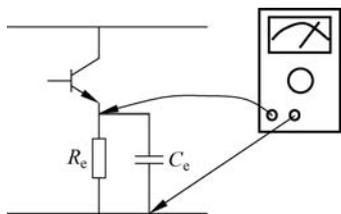


图 5-11 间接法测电流

对使用交流 220V 的电路必须注意安全。

(2) 间接测量。间接测量实际上是通过测电压的方法,换算成电流值。这种方法快捷方便,但如果所选测量点的元器件有故障,则不容易准确判断。如图 5-11 所示,欲通过测 R_c 的电压降确定三极管工作电流是否正常,若 R_c 本身阻值偏差较大或 C_c 漏电,都可引起误判。

采用电流法检测故障,应对被测电路正常工作电流

值事先心中有数。一方面大部分电路说明书或元器件手册中都给出正常工作电流值或功耗值；另一方面通过实践积累的经验，可辅助判断各种电路和常用元器件工作电流范围，例如一般运算放大器、TTL 电路静态工作电流为几毫安，CMOS 电路在毫安级以下等。

4) 波形法

对交变信号产生和处理电路来说，采用示波器观察信号通路各点的波形是最直观、最有效的故障检测方法。

波形法应用于以下三种情况：

(1) 波形的有无和形状。在电子电路中，电路各点的波形有无和形状一般是确定的，例如标准的电视机原理图中就给出各点波形的形状及幅值，如图 5-12 所示。如果测得该点没有波形或形状相差较大，则故障发生于该电路的可能性较大。

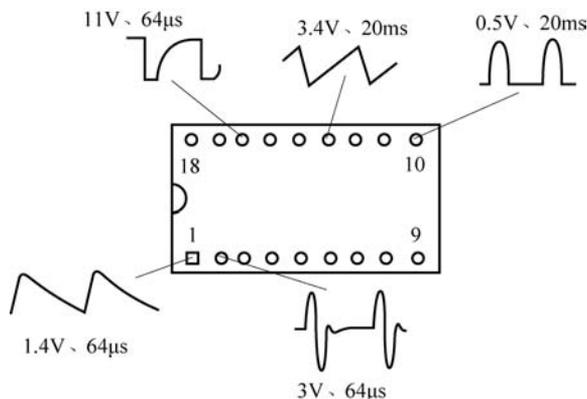


图 5-12 某电视机局部电路波形图

当观察到不应出现的自激振荡或调制波形时，虽不能确定故障部位，但从频率、幅值大小分析故障原因。

(2) 波形失真。在放大或缓冲电路中，若电路参数失配或元器件选择不当或损坏都会引起波形失真，通过观测波形和分析电路可以找出故障原因。

(3) 波形参数。利用示波器测量波形的各种参数，如幅值、周期、前后沿相位等，与正常工作时的波形参数对照，找出故障原因。

采用波形法时的注意事项：

(1) 对电路高电压和大幅度脉冲部位注意不能超过示波器的允许电压范围。必要时采用高压探头或对电路观测点采取分压或取样等措施。

(2) 示波器接入电路时本身输入阻抗对电路有一定影响，特别测量脉冲电路时，要采用有补偿作用的 10 : 1 探头，否则观测的波形与实际不符。

3. 跟踪法

根据电路的种类，跟踪法又可分为信号寻迹法和信号注入法。

1) 信号寻迹法

信号寻迹法是针对信号产生和处理电路的信号流向寻找信号踪迹的检测方法,具体检测时又分为正向寻迹(由输入到输出顺序查找)、反向寻迹(由输出到输入顺序查找)和等分寻迹三种方法。

正向寻迹是常用的检测方法,可以借助测试仪器(示波器、频率计、电子电压表等)逐级定性、定量检测信号,从而确定故障部位。图 5-13 为交流毫伏表的电路框图及检测示意图。可用一个固定的正弦信号加到毫伏表输入端,从衰减器电路开始逐级检测各级电路,根据该电路功能及性能可以判断各级信号是否正常,逐级观测,直到查出故障。

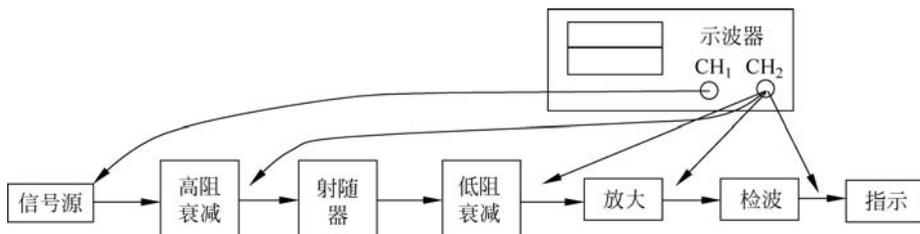


图 5-13 用示波器检测毫伏表的示意图

反向寻迹仅仅是检测顺序不同。

等分寻迹主要应用于单元电路较多的电路检测。例如,对于有 10 多级的基波信号产生电路,无论从正向还是反向都可能由于方向选择错误而浪费时间,采用等分寻迹从中间某级开始检测,可大大提高检测效率。

2) 信号注入法

对于本身不带信号产生电路或信号产生电路有故障的信号处理电路采用信号注入法有效的检测方法。信号注入是在信号处理电路的各级输入端输入已知的外加测试信号,通过终端指示器(如指示仪表、扬声器、显示器等)或检测仪表来判断电路工作状态,从而找出电路故障。

采用信号注入法检测时要注意以下几点:

- (1) 信号注入顺序根据具体电路可采用正向、反向和中间注入的顺序。
- (2) 注入信号的性质和幅度要根据电路和注入点对信号的要求而定。
- (3) 注入信号时要选择合适接地点,防止信号源和被测电路相互影响。一般情况下可选择靠近注入点的接地点。
- (4) 信号与被测电路要选择合适的耦合方式,例如交流信号应串接合适电容,直流信号串接适当电阻,使信号与被测电路阻抗匹配。
- (5) 信号注入有时可采用简单易行的方式,如收音机检测时就可用人体感应信号作为注入信号(用导电体碰触相应电路部分)进行判断。同理,有时也必须注意感应信号对外加信号检测的影响。

4. 替换法

替换法是用规格性能相同的正常元器件、电路或部件,代替电路中被怀疑的相应部

分,从而判断故障所在的一种检测方法,也是电路调试、检修中最常用、最有效的方法之一。

实际应用中,按替换的对象不同,可有三种方法。

1) 元器件替换

元器件替换除某些电路结构较为方便外(如带插接件的集成电路、开关、继电器等),一般需拆焊,操作比较麻烦且容易损坏周边电路或印制板,因此元器件替换一般只作为其他检测方法均难判别时才采用的方法,并且尽量避免对电路板做“大手术”。例如:怀疑某元器件开路,可直接焊上一个新元件试验之;怀疑某个电容容量减小可再并上一只电容试验之。

2) 单元电路替换

当怀疑某一单元电路有故障时,另用一台同样型号或类型的正常电路替换待查机器的相应单元电路,可判定此单元电路是否正常。有些电路有相同的电路若干,例如立体声电路的左右声道完全相同,可用于交叉替换试验。

当电子设备采用单元电路多板结构时替换试验比较方便。因此对现场维修要求较高的设备,尽可能采用方便替换的结构,使设备维修性良好。

3) 部件替换

随着集成电路和安装技术的发展,电子产品迅速朝集成度更高、功能更强、体积更小的方向发展,不仅元器件级的替换试验困难,单元电路替换也越来越不方便,过去十几块甚至几十块电路的功能现在用一块集成电路即可完成,在单位面积的印制板上可以容纳更多的电路单元。电路的检测、维修逐渐朝板卡级甚至整体方向发展。特别是较为复杂的由若干独立功能件组成的系统,检测时主要采用的是部件替换方法。

部件替换试验要遵循以下三点:

(1) 用于替换的部件与原部件必须型号、规格一致,或者是主要性能、功能兼容的,并且能正常工作的部件。

(2) 要替换的部件接口工作正常,至少电源及输入、输出口正常,不会使替换部件损坏。这要求在替换前分析故障现象并对接口电源做必要检测。

(3) 替换要单独试验,不要一次换多个部件。

最后需要强调的是替换法虽是一种常用检测方法,但不是最佳方法,更不是首选方法,它只是在用其他方法检测的基础上对某一部分有怀疑时才选用的方法。

对于采用微处理器的系统还应注意先排除软件故障,然后才进行硬件检测和替换。

5. 比较法

1) 整机比较法

整机比较法是将故障机与同一类型正常工作的机器进行比较,查找故障的方法。这种方法对缺乏资料而本身较复杂的设备(如以微处理器为基础的产品)尤为适用。

整机比较法是以检测法为基础,对可能存在故障的电路部分进行工作点测定和波形观察,或者信号监测,比较好坏设备的差别,往往会发现问题。当然由于每台设备不可能

完全一致,检测结果还要分析判断,这些常识性问题需要基本理论基础和日常工作的积累。

2) 调整比较法

调整比较法是通过整机设备可调元件或改变某些现状,比较调整前后电路的变化来确定故障的一种检测方法。这种方法特别适用于放置时间较长,或经过搬运、跌落等外部条件变化引起故障的设备。

正常情况下,检测设备时不应随便变动可调部件。但由于设备受外界力作用有可能改变出厂的整定而引发故障,因而检测时在事先做好复位标记的前提下可改变某些可调电容、电阻、电感等元件,并注意比较调整前后设备的工作状况。有时还需要触动元器件引脚、导线、接插件或者将插件拔出重新插接,或者将怀疑印制板部位重新焊接等,注意观察和记录状态变化前后设备的工作状况,发现故障和排除故障。

运用调整比较法时最忌讳乱调乱动,而又不做标记。调整和改变现状应一步一步改变,随时比较变化前后的状态,发现调整无效或向坏的方向变化应及时恢复。

3) 旁路比较法

旁路比较法是用适当容量和耐压的电容对被检测设备电路的某些部位进行旁路的比较检查方法,适用于电源干扰、寄生振荡等故障。

因为旁路比较法是一种交流短路试验,所以一般情况下先选用一种容量较小的电容,临时跨接在有疑问的电路部位和“地”之间,观察比较故障现象的变化。如果电路朝好的方向变化,可适当加大电容容量再试,直到消除故障,根据旁路的部位可以判定故障的部位。

4) 排除比较法

有些组合整机或组合系统中往往有若干相同功能和结构的组件,调试中发现系统功能不正常时,不能确定引起故障的组件,这种情况下采用排除比较法容易确认故障所在。方法是逐一插入组件,同时监视整机或系统,如果系统正常工作,就可排除该组件的嫌疑,再插入另一块组件试验,直到找出故障。

采用该方法时每次插入或拔出单元组件都要关断电源,防止带电插拔造成系统损坏。

5.3 电子装配技术

5.3.1 安装技术基础

不同的产品,不同的生产规模对安装要求是各不相同的,但基本要求是有章可循的。

1. 保证安全使用

电子产品安装,安全是首要大事。不良的装配不仅影响产品性能,而且造成安全隐患。例如,用螺钉固定电源线,由于螺钉连接设备外壳,电线在螺钉紧固力作用下变形,

经过一段时间后电源线绝缘层破坏造成“漏电”事故。

2. 不损伤产品零部件

安装时操作不当不仅可能损坏所安装的零件,而且会殃及相邻零部件。例如:安装瓷质波段开关时,紧固力过大造成开关变形失效;面板上装螺钉时,螺丝刀滑出擦伤面板;装集成电路折断引脚等。

通常电子零部件都考虑了安装操作的因素,合理的安装完全可以避免损伤产品。

3. 保证电性能

电气连接的导通与绝缘,接触电阻和绝缘电阻都和产品质量紧密相关。图 5-14 为某设备电源输出线,安装者未按规定将导线绞合镀锡而直接装上,从而导致一部分芯线散出,通电检验和初期工作都正常,但由于局部电阻大而发热,工作一段时间后,导线及螺钉氧化,进而接触电阻增大,结果造成设备不能正常工作。

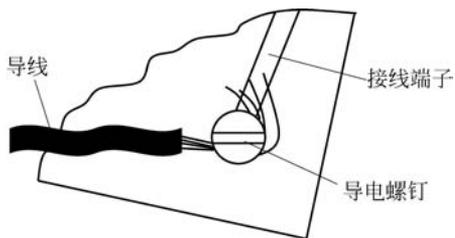


图 5-14 不良接线示例

4. 保证机械强度

产品安装中要考虑到有些零部件在运输、搬动中受机械振动作用而受损的情况。例如,安装在印制板上的带散热片的三极管,显然仅靠印制板上焊点难以支持较大重量散热片的作用力;又如,变压器靠自攻螺钉固定在塑料壳上也难保证机械强度。

5. 保证传热、电磁屏蔽要求

某些零部件安装时必须考虑传热或电磁屏蔽的问题。例如,大功率晶体三极管如与散热器贴合不良,影响散热。又如,金属屏蔽盒安装时,在接缝处衬上导电垫,保证屏蔽性能。

5.3.2 电子元器件的布局

电子设备的组装过程就是按照工艺图纸把所有元器件接起来的过程。电子设备中元器件的布局是否合理,将直接影响组装工艺和设备的技术性能。

1. 布局的原则

电子设备中元器件布局应遵循下列原则:

1) 保证电路性能指标的实现

电路性能一般指电路的频率特性、波形参数、电路增益和工作稳定性等有关指标,具

体指标随电路的不同而异。例如,对于高频电路,在元器件布局时,解决的主要问题是减小分布参数的影响。布局不当,将会使分布电容、接线电感、接地电阻等分布参数增大,直接改变高频电路的参数,从而影响电路基本指标的实现。

在高增益放大电路中,尤其是多级放大器,元器件布局不合理就可能引起输出对输入或后级对前级的寄生反馈,容易造成信号失真,电路工作不稳定,甚至产生自激,破坏电路的正常工作状态。

在脉冲电路中,传输、放大的信号是陡峭的窄脉冲,其上升沿或下降沿的时间很短,谐波成分比较丰富,如果元器件布局不当,就会使脉冲信号在传输中产生小型畸变,前后沿变坏,电路达不到规定的要求。

不论什么电路,使用的元器件,特别是半导体元器件,对温度非常敏感,元器件布局应采取有利机内散热和防热措施,以保证电路性能指标不受温度的影响。

此外,元器件的布局应使电磁场的影响减小到最低限度,采取措施避免电路之间形成干扰,以及防止外来的干扰,保证电路正常稳定地工作。

2) 有利于布线

元器件布设的位置决定着连线长度和敷设路径,布线长度和走线方向不合理会增加分布参数和产生寄生耦合,而且不合理的走线会给装接工艺带来麻烦。

3) 满足结构工艺的要求

电子设备的组装不论是整机还是分机都有结构紧凑、外观性好、重量平衡、防震等要求,因此元器件布局时要考虑重量大的元器件及部件的位置应分布合理,使整机重心降低,机内重量分布均衡。对耐冲击振动能力差或工作性能受冲击振动影响较大的元器件及部件,在布局时应充分考虑采取防震的措施。

元器件布局时,应考虑排列的美观性。尽管导线纵横交叉、长短不一,但外观要力求平直、整齐、对称,使电路层次分明。信号的进出、电源的供给、主要元器件和回路的安排顺序妥当,使众多的元器件排列繁而不乱,杂而有章。

4) 有利于设备的装配、调试与维修

现代电子设备由于功能齐全、结构复杂,往往将整机分为若干功能单元(分机),每个单元在安装、调试方面都是独立的,因此元器件的布局要有利于生产时装调的方便和使用维修时的方便。

2. 典型电路元器件布局举例

1) 稳压电源

多数电子设备中都有稳压电源,是设备的直流电源供给部分,其主要特点是:重量大,工作温度高,容易产生电网频率干扰,有高压输出时对绝缘要求较高,输出低压大电流时,对导线及接点有一定要求。因此,在元器件布局时,应考虑的主要问题如下:

(1) 电源中的主要元器件(如电源变压器、调整管、滤波电容器、泄放电阻等)体积和重量都大,布局时应放置在金属水平底座上,使整机重心平衡,机械紧固要牢。底座一般用涂覆的钢质材料,除保证机械强度外,还常用作公共地线。

(2) 电源中发热元件较多(如大功率整流器件、大功率变压器、大功率调整管等),布局时,应考虑通风散热,一般安置在底座的后面或两侧空气流通较好的地方。调整管及整流元件应装在散热器上,并远离其他发热元件(最好装在箱后板外侧)。其他怕热元件(如电解电容,因为电容器内的电解质是糊状体,在高温下容易干涸,产生漏电)应远离发热体。小的元器件通常放在印制电路板上,印制电路板不要放在发热元件附近,应放在便于观察的地方,以便调整和维修。

(3) 电源内有电网频率(50Hz)的泄漏磁场,易与放大器某些部分发生交连而产生交流声,因此,电源部分应与低频放大部分隔开,或者进行屏蔽。

(4) 当电源内有高压时,注意将高压端和高压导线与机架外壳绝缘,并远离地电位的连线及结构件。控制面板上要安装高低压开关和指示灯,各种控制器和整流器的外壳都要妥善接地。

(5) 大电流电路上所用的转接装置应选用端套焊片压接式焊点,便于粗导线的可靠连接,也便于维修时的拆卸和装接。

2) 低频放大器

低频放大电路是电子设备中常用的一种电路,主要特点是工作频率低,一般增益较高,易受干扰,或由寄生反馈引起自激。因此,在元件布局时应考虑以下几个方面:

(1) 元件排列应整齐、美观,并便于调整与检修,在同一级里,元件应布设在晶体管或集成电路周围,地电位最好连接在一点,级间耦合电容应直接连在输入电路的基板上,以防干扰信号窜入。

(2) 对于前置放大级,在布局时应把第一级电路的位置远离输出级和电源部分,在连线时应注意信号线要屏蔽,其他引线不要靠近或通过该级。输入变压器也应进行屏蔽。这是因为该级输入电平最低,增益较高,微小的干扰就能产生明显的干扰声,微小的正反馈就可能形成自激。

(3) 由于各种电感器件(如输入/输出变压器、耦合变压器、低频扼流圈等)的应用在布局时应采取措施,防止电磁耦合造成的干扰。例如,变压器之间、变压器与其他元器件之间、变压器与底板之间等,在排列时都要相互垂直,变压器与钢质底座之间应留有一定的空间,两变压器之间无法拉开距离时,可分别放在金属底板上下两面,对个别变压器或特别敏感的元件实行单独屏蔽等。

(4) 要抑制电源的影响,每级电路的集电极回路与电源之间应加去耦电路,消除通过电源内阻和馈线产生的级间耦合。汽船声就是一种通过电源内阻反馈产生的频率很低的振荡。对有交流电流通过的导线,最好不要靠近放大器,如果不能避免,则必须做成绞线,但仍要注意远离前置级,以免产生干扰。

(5) 扬声器的接地引线应该接在印制电路板功放级的接地点上,切勿任意接地。

3) 中频放大器

这里以收音机的中频放大器为例,其特点是:工作频率为固定中频(465kHz),一般为2~3级,中放级增益高(可达60dB或更高)。如果有微小的输出信号窜入输入端就会产生自激哨叫。若收听电台的频率(如930kHz或1395kHz等)刚好等于中频的2倍或3

倍,则中频的二次或三次谐波很容易被接收而产生哨叫,这时若有电台信号就会产生差拍声。因此,在元器件布局时应注意以下几点:

(1) 中频变压器(中周)和中放管应按次序排列,中放级集电极输出要紧靠中频变压器,并注意中放管之间的距离和中频变压器之间的距离要适当拉开,以免相互影响。

(2) 检波级的元件应相对集中布置,接地线要尽量短,而且要汇集在一起,不要穿过其他级。检波晶体管应远离磁棒,以拉开信号输入与输出的距离,即使有少量辐射也应不到天线回路中。第二中放管也要远离磁棒和双联可变电容器,因为第二中放管的集电极中频信号很强,也可能辐射中频信号及其谐波而产生自激。

(3) 各级发射极电阻和旁路电容接地点与基极偏置电阻和退耦电容的接地点应靠近,最好接在一起。如果拉开一段距离,就相当于基极与发射极之间存在一个小电阻,如图 5-15(a)所示,其他级电路的信号将在这小电阻上产生电压降,从而带来影响。若接地点靠得很近或接在一点上,就没有其他级的影响,如图 5-15(b)所示。这一点对调频接收机更重要,因为调频中频高,产生的干扰也就更大。

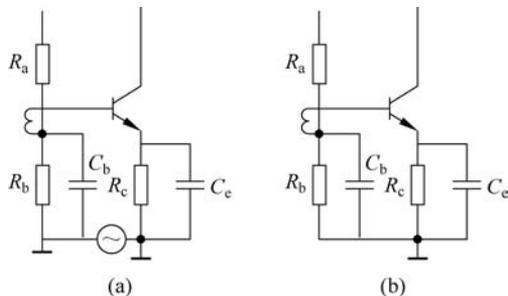


图 5-15 一点接地示意图

4) 高频放大器

高频放大器也是电子设备中常见的电路,其主要特点是:工作频率较高(一般为几兆赫至几十兆赫),若增益也比较大时,则电路工作稳定性很容易受到影响,主要是电路元件的分布参数(如引线电感、寄生电容、接地电阻等)使电路原来的参数发生变化,导致电路不能正常工作。因此,在元器件布局时应注意以下几点:

(1) 元器件布局应尽量紧凑,要有利于连接并且是最短连线,元件之间不要有交叉,连接线尽量不要平行放置。去耦电阻、旁路电容等都直接跨接在器件引线附近,高频转换开关的布设与有关电路必须靠近,避免连线过长和接线的交叉。必要时可将元件直接组装在开关上,形成波段转换组装件。

(2) 关于高频电路中的安装件(包括机械固定或绝缘保护所需要的)的布置,要考虑它们与高频回路元件之间的位置、距离及带来的影响。若距离很近,相对接触面积较大时会不同程度地改变回路的分布参数,影响电路的性能。金属零件对未屏蔽的回路线圈的电感量和品质因数有较大的影响,能改变回路的频率和增益。绝缘零件高频回路的电磁场中,由于高频介质损耗,也能降低回路的品质因数。工作频率越高,绝缘材料质量越差,这种影响越大。如果接地的金属零件紧靠元件和导线,就会增大它们之间的分布电

容使寄生耦合增强,故常将流过高频电流的导线和元件架空,离开底座。另外,每一件安装件都要保证牢固可靠。如遇振动冲击,不允许发生相对位移,以避免分布参数的改变给电路带来的不良影响。

(3) 高频电路的接地十分重要。首先是接地点的正确选择。一是元件就近接地,能缩短接地引线,使引线电感和分布电容变小,对抑制各种寄生耦合也是有益的,频率越高,此优点越显著。二是尽量做到一点接地,将每级电路中的高频回路元件以及其他有关的元件集中在一点接地,可以有效地限制本级电流只在本级范围内流通,大大减小高频电流流入底座(或大面积铜箔地线)的分量,同时有利于抑制底座上大的地电流对电路的不良影响。当这种接法有矛盾时,可根据具体情况灵活运用,以试验效果来确定。三是接地性能必须良好,若接地不良,接地电阻增大,地电流在其上的压降增大,这种干扰电压很容易被耦合到放大器中,形成不可忽视的干扰。

5.3.3 整机总装

电子整机的总装就是将组成整机的各部分装配件经检验合格后连接合成完整的电子设备的过程。

1. 总装的一般顺序

电子整机总装的一般顺序是先轻后重、先铆后装、先里后外,上道工序不得影响下道工序。

2. 整机总装的基本要求

(1) 未经检验合格的装配件(零、部、整件)不得安装,已检验合格的装配件必须保持清洁。

(2) 应认真阅读安装工艺文件 and 设计文件,严格遵守工艺规程。总装完成后的整机应符合图纸和工艺文件的要求。

(3) 严格遵守总装的一般顺序,防止前后顺序颠倒,注意前后工序的衔接。

(4) 总装过程中不要损伤元器件,避免碰坏机箱及元器件上的涂敷层,以免损害绝缘性能。

(5) 应熟练掌握操作技能,保证质量,严格执行“三检”(自检、互检、专职检验)制度。

3. 整机总装的工艺过程

(1) 准备。装配前对所有装配件、紧固件等从数量的配套和质量的合格两个方面进行检查和准备,同时要做好整机装配及调试的准备工作。

(2) 装联。装联包括各部件的安装、焊接等内容。前面介绍的各种连接工艺,都应在装联环节中加以实施应用。

(3) 调试。整机调试包括调整和测试两部分工作,即对整机内可调部分(如可调元器

件及机械传动部分)进行调整,并对整机的电气性能进行测试。各类电子整机在总装完成后,一般在最后都要经过调试才能达到规定的技术指标要求。

(4) 检验。整机检验应遵照产品标准(或技术条件)规定的内容进行。通常有下列三类试验,即生产过程中生产车间的交收试验、新产品的定型试验及定型产品的定期试验(又称例行试验)。例行试验的目的主要是考核产品质量和性能是否稳定正常。

(5) 包装。包装是电子整机产品总装过程中保护和美化产品及促进销售的环节。电子整机产品的包装通常着重于方便运输和储存两个方面。

(6) 入库或出厂。合格的电子整机产品经过合格的包装,就可以入库储存或直接出厂运往需求部门,从而完成整个总装过程。

5.4 电子焊接技术

电子焊接(简称焊接)在电子产品装配中是一项重要的技术。它在电子产品实验、调试、生产中,应用非常广泛,而且工作量相当大,焊接质量的好坏将直接影响着产品的质量。

电子产品的故障除元器件的原因外,大多数是焊接质量不佳而造成的,因此,掌握熟练的电子焊接操作技能非常必要。

电子焊接的种类很多,本节主要阐述应用广泛的手工锡焊焊接。

5.4.1 焊接工具

1. 电烙铁的种类

1) 外热式电烙铁

外热式电烙铁由烙铁头、烙铁芯、外壳、木柄、电源线、插头等部分组成,如图 5-16 所示。由于烙铁头安装在烙铁芯里面故称为外热式电烙铁。

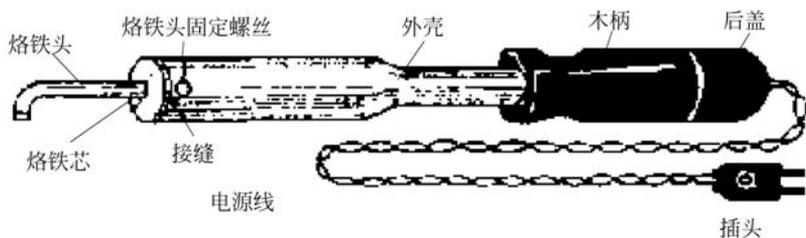


图 5-16 外热式电烙铁结构

外热式电烙铁的规格很多,常用的有 25W、45W、75W、100W 等。功率越大,烙铁头的温度就越高。

烙铁芯的功率规格不同,其内阻也不同,25W 烙铁的阻值约为 $2\text{k}\Omega$,45W 烙铁的阻值约为 $1\text{k}\Omega$,75W 烙铁的阻值约为 $0.6\text{k}\Omega$,100W 烙铁的阻值约为 $0.5\text{k}\Omega$ 。当不知所用的

电烙铁为多大功率时,便可测量其内阻值,按已给的参考阻值加以判断。

2) 内热式电烙铁

内热式电烙铁由手柄、连接杆、弹簧夹、烙铁芯、烙铁头组成,如图 5-17 所示。由于烙铁芯安装在烙铁头里面因而称为内热式电烙铁。内热式电烙铁发热快、效率高。

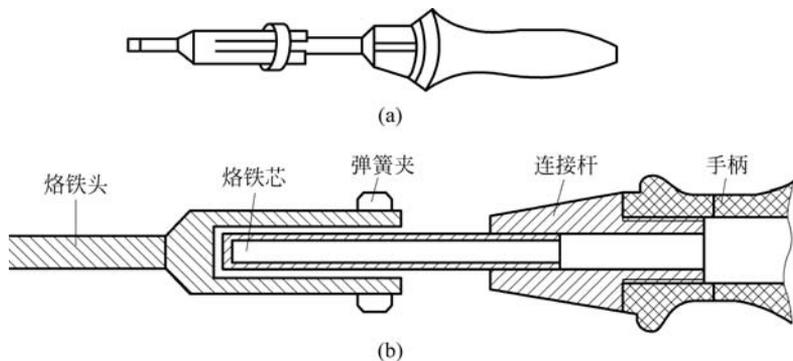


图 5-17 内热式电烙铁的外形与结构

内热式电烙铁的常用规格为 20W、35W、50W 等几种。由于它的热效率高,20W 内热式电烙铁就相当于 45W 左右的外热式电烙铁。

内热式电烙铁头的后端是空心的,用于套接在连接杆上,并且用弹簧夹固定,当需要更换烙铁头时,必须先将弹簧夹退出,同时用镊子夹在烙铁头的前端慢慢地拔出,不能用力过猛,以免损坏连接杆。

内热式电烙铁的烙铁芯是用比较细的镍箔电阻丝绕在瓷管上制成的,其电阻约为 $2.5\text{k}\Omega$ (20W),烙铁的温度一般为 350°C 左右。由于内热式电烙铁有升温快、重量轻、耗电省、体积小、热效率高的特点,因而得到了普遍的应用。

3) 恒温电烙铁

由于在焊接集成电路、晶体管等元器件时,温度不能太高(温度过高造成元器件的损坏),焊接时间不能过长,因而对电烙铁的温度要予以限制。而恒温电烙铁就可以达到这一要求,这是由于恒温电烙铁头内,装有带磁铁式的温度控制器,控制通电时间而实现温控,即给电烙铁通电时,烙铁的温度上升,当达到预定的温度时,因强磁体传感器达到了居里温度而磁性消失,从而使磁芯触点断开,这时便停止向电烙铁供电;当温度低于强磁体传感器的居里温度时,强磁体便恢复磁性,并吸动磁芯开关中的永久磁铁,使控制开关的触点接通,继续向电烙铁供电。如此循环往复,便达到了控制温度的目的。恒温电烙铁的内部结构如图 5-18 所示。

4) 吸锡电烙铁

吸锡电烙铁是将活塞式吸锡器与电烙铁融为一体的拆焊工具。它具有使用方便、灵活、适用范围宽等特点。这种吸锡电烙铁的不足之处是每次只能对一个焊点进行拆焊。活塞式吸锡器的内部结构如图 5-19 所示。

吸锡电烙铁的使用方法:接通电源预热 3~5min,然后将活塞柄(按钮 1)推下并卡

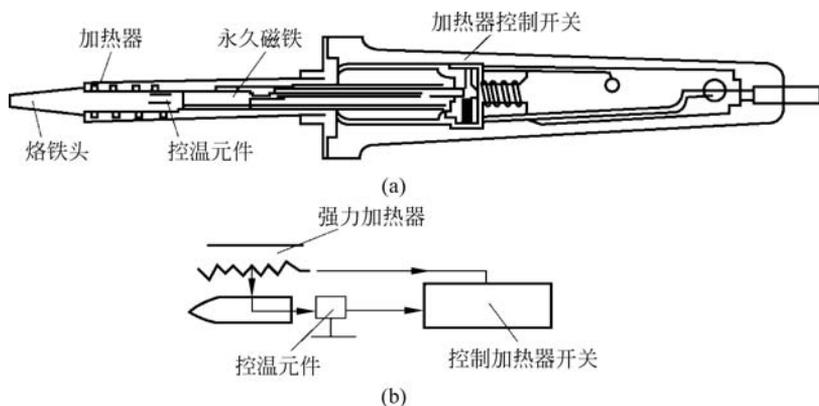


图 5-18 恒温电烙铁的内部结构

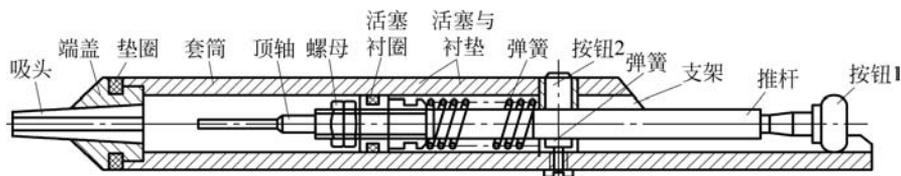


图 5-19 活塞式吸锡器的内部结构

住,把吸锡电烙铁的吸头前端对准欲拆焊的焊点,待焊锡熔化后,按下按钮 2,活塞便迅速上升,焊锡即被吸进气筒内。另外,吸锡器配有两个以上直径不同的吸头,可根据元器件引线的粗细进行选用。每次使用完毕后,要推动活塞三四次,以清除吸管内残留的焊锡,使吸头与吸管畅通,以便下次使用。

2. 电烙铁的选用

由前述可知,电烙铁的种类及规格有很多种,而且被焊工件的大小又有所不同,因而合理地选用电烙铁的功率及种类,对提高焊接质量和效率有直接的关系。如果被焊件较大,使用的电烙铁功率较小,则焊接温度过低,焊料熔化较慢,焊剂不能挥发,焊点不光滑、不牢固,这样势必造成焊接强度以及质量的不合格,甚至焊料不能熔化,使焊接无法进行。如果电烙铁的功率太大,则使过多的热量传递到被焊工件上面,使元器件的焊点过热,造成元器件的损坏,致使印制电路板的铜箔脱落,焊料在焊接面上流动过快,并无法控制。

选用电烙铁时,可以从以下几方面进行考虑:

- (1) 焊接集成电路、晶体管及受热易损元器件时,应选用 20W 内热式或 25W 外热式电烙铁。
- (2) 焊接导线及同轴电缆时,应选用 45~75W 外热式电烙铁,或 50W 内热式电烙铁。
- (3) 焊接较大的元器件时,如行输出变压器的引线脚、大电解电容器的引线脚、金属

底盘接地焊片等,应选用 100W 以上的电烙铁。

3. 电烙铁的使用方法

(1) 电烙铁的握法。为了能使被焊件焊接牢靠,又不烫伤被焊件周围的元器件及导线,视被焊件的位置、大小及电烙铁的规格大小,适当地选择电烙铁的握法是很重要的。

电烙铁的握法可分为三种,如图 5-20 所示。图 5-20(a)为反握法,就是用五指把电烙铁的柄握在掌内。此法适用于大功率电烙铁,焊接散热量较大的被焊件。图 5-20(b)为正握法,此法使用的电烙铁也比较大,且多为弯形烙铁头。图 5-20(c)为握笔法,此法适用于小功率的电烙铁,焊接散热量小的被焊件,如焊接收音机、电视机的印制电路板及其维修等。

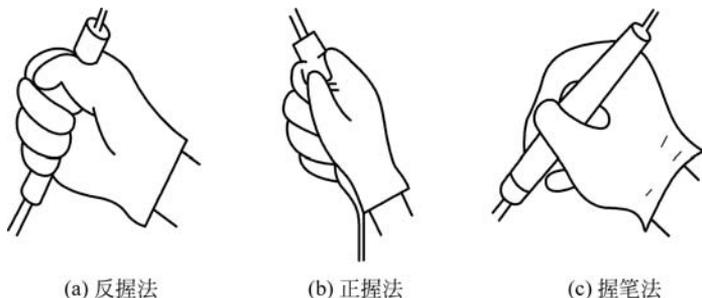


图 5-20 电烙铁的握法

(2) 新烙铁在使用前的处理。新烙铁不能拿来就用,必须先对烙铁头进行处理后才能正常使用,使用前先给烙铁头镀上一层焊锡。具体方法:首先用锉把烙铁头按需要锉成一定的形状,然后接上电源,当烙铁头温度升至能熔锡时,将松香涂在烙铁头上,等松香冒烟后再涂上一层焊锡,如此进行 2~3 次,使烙铁头的刃面部挂上一层锡便可使用了。

当烙铁使用一段时间后,烙铁头的刃面及其周围就会产生一层氧化层,这样便产生吃锡困难的现象,此时可锉去氧化层,重新镀上焊锡。

(3) 烙铁头长度的调整。选择适当功率的电烙铁后,已基本满足焊接温度的需要,但是仍不能完全适应印制电路板中所装元器件的需求。如焊接集成电路与晶体管时,烙铁头的温度就不能太高,且时间不能过长,此时便可将烙铁头插在烙铁芯上的长度进行适当的调整,进而控制烙铁头的温度。

(4) 烙铁头有直头和弯头两种。直烙铁头的电烙铁采用握笔法时使用比较灵活,适合在元器件较多的电路中进行焊接。弯烙铁头的电烙铁用正握法比较合适,多用于电路板垂直桌面情况下的焊接。

(5) 电烙铁不易长时间通电而不使用,因为这样容易使电烙铁芯加速氧化而烧断,同时也将使烙铁头长时间加热而氧化,甚至被烧“死”不再“吃锡”。

(6) 更换烙铁芯时要注意引线不要接错,电烙铁有三个接线柱,一个是接地的,另外两个是接烙铁芯两根引线的(这两个接线将通过电源线,直接与 220V 交流电源相接)。

如果将 220V 交流电源线错接到地线的接线柱上,则电烙铁外壳就会带电,被焊件也会带电,这样就会发生触电事故。

(7) 电烙铁在焊接时,最好选用松香焊剂,以保护烙铁头不被腐蚀。氯化锌为酸性焊油,对烙铁头的腐蚀性较大,使烙铁头的寿命缩短,因而不宜采用。烙铁放在烙铁架上,应轻拿轻放,不要将烙铁头上的锡乱抛。

4. 电烙铁的常见故障及其维护

电烙铁在使用过程中常见故障有电烙铁通电后不热、烙铁头不吃锡、烙铁带电等。下面以内热式 20W 电烙铁为例加以说明。

(1) 电烙铁通电后不热。遇到电烙铁通电后不热故障时,可以用万用表的欧姆挡测量插头的两端,如果表针不动,说明有断路故障。当插头本身没有断路故障时,即可卸下胶木柄,再用万用表测量烙铁芯的两根引线,如果表针仍不动,说明烙铁芯损坏,应更换新的烙铁芯。如果测量烙铁芯两根引线电阻值约为 $2.5\text{k}\Omega$,说明烙铁芯是好的,故障出现在电源引线及插头上,多数故障为引线断路,插头中的接点断开。可进一步用万用表的 $R\times 1$ 挡测量引线的电阻值,便可发现问题。

更换烙铁芯的方法:将固定烙铁芯引线螺丝松开,将引线卸下,把烙铁芯从连接杆中取出,然后将新的同规格烙铁芯插入连接杆,将引线固定在螺丝上,并注意将烙铁芯多余引线头剪掉,以防止两根引线短路。

当测量插头的两端时,如果万用表的表针指示接近零欧,说明有短路故障,故障点多为插头内短路,或者是防止电源引线转动的压线螺丝脱落,致使接在烙铁芯引线柱上的电源线断开而发生短路。当发现短路故障时,应及时处理,不能再次通电,以免烧坏保险丝。

(2) 烙铁头带电。烙铁头带电除前边所述的电源线错接在接地线的接线柱上的原因外,还有当电源线从烙铁芯接线螺丝上脱落后,又碰到了接地线的螺丝上,造成烙铁头带电。这种故障最容易造成触电事故,并损坏元器件,因此,要随时检查压线螺丝是否松动、丢失。如有丢失、损坏应及时配好。

(3) 烙铁头不“吃锡”。烙铁头经长时间使用后会氧化而不沾锡,这就是“烧死”现象,也称作不“吃锡”。当出现不“吃锡”的情况时,可用粗砂纸或锉刀将烙铁头重新打磨或锉出新茬,然后重新镀上焊锡就可继续使用。

(4) 烙铁头出现凹坑。当电烙铁使用一段时间后,烙铁头就会出现凹坑,或氧化腐蚀层,使烙铁头的刃面形状发生了变化。遇到此种情况时,可用锉刀将氧化层及凹坑锉掉,恢复成原来的形状,然后镀上锡,就可以重新使用。

(5) 为延长烙铁头的使用寿命,必须注意以下几点:

① 经常用湿布、浸水海绵擦拭烙铁头,以保持烙铁头良好的挂锡,并可防止残留助焊剂对烙铁头的腐蚀。

② 进行焊接时,应采用松香或弱酸性助焊剂。

③ 焊接完毕时,烙铁头上的残留焊锡应该继续保留,以防止再次加热时出现氧化层。

5. 其他常用工具

(1) 尖嘴钳：头部较细，适用于夹小型金属零件或弯曲元器件引线，不宜用于敲打物体或夹持螺母。

(2) 平嘴钳：钳口平直，可用于夹弯曲元器件引脚与导线。因为其钳口无纹路，所以对导线拉直、整形比尖嘴钳适用。但钳口较薄，不易夹持螺母或需施力较大部位。

(3) 斜嘴钳：用于剪焊后的线头，也可与尖嘴钳配合剥导线的绝缘皮。

(4) 剥线钳：专用于剥有包皮的导线。使用时注意将需剥皮的导线放入合适的槽口，剥皮时不能剪断导线。剪口的槽并拢后应为圆形。

(5) 平头钳(克丝钳)：头部较平宽，适用于螺母、紧固件的装配操作。一般适用紧固螺母，但不能代替锤子敲打零件。

(6) 镊子：有尖嘴镊子和圆嘴镊子两种。尖嘴镊子用于夹较细的导线，以便于装配焊接。圆嘴镊子用于弯曲元器件引线和支撑元器件焊接等，用镊子夹持元器件焊接还起散热作用。

(7) 螺丝刀：又称起子、改锥，有“一”字和“十”字两种，专用于拧螺钉，可选用不同规格的螺丝刀。但在拧时，不要用力太猛，以免螺钉滑口。

另外，钢板尺、盒尺、卡尺、扳手、小刀等也是经常用到的工具。

5.4.2 焊接材料

1. 焊料的种类

焊料是指易熔的金属及其合金。它的作用是将被焊物连接在一起。焊料的熔点比被焊物的熔点低，而且要易于与被焊物连为一体。

焊料按组分可分为锡铅焊料、银焊料和铜焊料。

按照使用的环境温度又分为高温焊料(在高温环境下使用的焊料)和低温焊料(在低温环境下使用的焊料)。锡铅焊料中，熔点在 450°C 以上的称硬焊料，熔点在 450°C 以下的称为软焊料。

抗氧化焊锡是在工业生产中自动化生产线上使用的焊料，如波峰焊等。这种液体焊料暴露在大气中时，焊料极易氧化，这样将产生虚焊，影响焊接质量。为此，在锡铅焊料中加入少量的活性金属，形成覆盖层保护焊料，不再氧化，从而提高焊接质量。

2. 电子产品焊料的选用

为能使焊接质量得到保障，视被焊物的不同，选用不同的焊料是很重要的。在电子产品装配中，一般选用锡铅系列焊料，也称焊锡。其有如下的优点：

(1) 熔点低。它在 180°C 时便可熔化，使用 25W 外热式或 20W 内热式电烙铁便可进行焊接。

(2) 具有一定的机械强度。因锡铅合金的强度比纯锡、纯铅的强度要高,本身重量较轻,对焊点强度要求不是很高,故能满足其焊点的强度要求。

(3) 具有良好的导电性。因锡铅焊料为良导体,故它的电阻很小。

(4) 抗腐蚀性能好。焊接好的印制电路板不必涂抹任何保护层就能抵抗大气的腐蚀,从而减少了工艺流程,降低了成本。

(5) 对元器件引线和其他导线的附着力强,不易脱落。

因为锡铅焊料具有以上的优点,所以在焊接技术中得到了极其广泛的应用。

焊料的形状有圈状、球状、焊锡丝等几种。常用的是焊锡丝,在其内部夹有固体焊剂松香。焊锡丝的直径种类很多,常用的有 4mm、3mm、2mm、1.5mm 等。

3. 助焊剂

1) 助焊剂的作用

在进行焊接时,为能使被焊物与焊料焊接牢靠,必须要求金属表面无氧化物和杂质,只有这样才能保证焊锡与被焊物的金属表面固体结晶组织之间发生合金反应,即原子状态的相互扩散。因此,在焊接开始之前必须采取各种有效措施将氧化物和杂质除去。

除去氧化物与杂质通常有两种方法,即机械方法和化学方法。机械方法是用砂纸和刀子将其除掉。化学方法是用焊剂清除,用焊剂清除的方法具有不损坏被焊物及效率高等特点,因此一般焊接时均采用此方法。

助焊剂除上述所述的去氧化物的功能外,还具有加热时防止氧化的作用。由于焊接时必须把被焊金属加热到使焊料发生润湿并产生扩散的温度,但是随着温度的升高,金属表面的氧化就会加速,而助焊剂此时就在整个金属表面上形成一层薄膜,包住金属使其同空气隔绝,从而起到了加热过程中防止氧化的作用。

另外,助焊剂还有帮助焊料流动,减少表面张力的作用。当焊料熔化后,将贴附于金属表面,但由于焊料本身表面张力的作用,力图变成球状,从而减少了焊料的附着力,而焊剂则有减少表面张力,增加流动的功能,故使焊料附着力增强,使焊接质量得到提高。

焊剂的另一个重要作用是把热量从烙铁头传递到焊料和被焊物表面。因为在焊接中烙铁头的表面及被焊物的表面之间存在有许多间隙,在间隙中充有空气,空气又为隔热体,这样必然使被焊物的预热速度减慢。而焊剂的熔点比焊料和被焊物的熔点都低,故先熔化,并填满间隙和润湿焊点,使烙铁的热量通过它很快地传递到被焊物上,使预热的速度加快。

2) 助焊剂的种类

(1) 无机系列助焊剂: 主要成分是氯化锌或氯化铵及它们的混合物。这种助焊剂最大的优点是具有很好的助焊作用,但是具有强烈的腐蚀性。因此,多数用在可清洗的金属制品焊接中。如果对残留焊剂清洗不干净,就会造成被焊物的损坏。如果用于印制电路板的焊接,将破坏印制板的绝缘性能。市场上出售的各种焊油多数属于这类。

(2) 有机系列助焊剂: 主要由有机酸卤化物组成。这种助焊剂的特点是助焊性能好、可焊性高。不足之处是有一定的腐蚀性,且热稳定性差,即一经加热,便迅速分解,然

后留下无活性残留物。

(3) 树脂活性系列焊剂：最常用的是在松香焊剂中加入活性剂。松香是一种天然产物，其成分与产地有关。用作焊剂的松香是从各种松树分泌出来的汁液中提取的，是采用蒸馏法加工得到固态松香。

松香酒精焊剂是指用无水乙醇溶解纯松香配制成25%~30%的乙醇溶液。这种焊剂的优点是没有腐蚀性、高绝缘性能和长期的稳定性及耐湿性。焊接后清洗容易，并形成膜层覆盖焊点，使焊点不被氧化腐蚀。

3) 助焊剂的选用

(1) 电子电路的焊接通常采用松香、松香酒精焊剂，这样可以保证电路元件不被腐蚀，电路板的绝缘性能不至于下降。

由于纯松香焊剂活性较弱，只有在被焊的金属表面是清洁的、无氧化层时，可焊性好的。但有时为清除焊接点的锈渍，保证焊点的质量也可用少量的氯化铵焊剂，但焊接后一定要用酒精将焊接处清洗干净，以防残留焊剂对电路的腐蚀。

为了改善松香焊剂的活性，在松香焊剂中加入活性剂，就构成了活性焊剂，它在焊接过程中能去除金属氧化物及氢氧化物，使被焊金属与焊料相互扩散，生成合金。

另外，电子元器件的引线多数是镀了锡的，但也有的镀了金、银或镍，这些金属的焊接情况各有不同，可按金属的不同选用不同的焊剂。

(2) 对于铂、金、铜、银、锡等金属，可选用松香焊剂，因这些金属都比较容易焊接。

(3) 对于铅、黄铜、青铜、镍等金属可选用有机焊剂中的中性焊剂，因这些金属比上述金属焊接性能差，如用松香焊剂将影响焊接质量。

(4) 对于锌、铁、锡镍合金等，因焊接较困难，可选用酸性焊剂。当焊接完毕后，必须对残留焊剂进行清洗。

5.4.3 焊接工艺

1. 对焊接的要求

电子产品组装的主要任务是在印制电路板上对电子元器件进行锡焊。焊点的个数从几十个到成千上万个，如果有一个焊点达不到要求，就会影响整机的质量。因此，在锡焊时，必须做到以下几点：

(1) 焊点的机械强度要足够。为保证被焊件在受到振动或冲击时不至于脱落、松动，要求焊点要有足够的机械强度。为使焊点有足够的机械强度，一般采用把被焊元器件的引线端子打弯后再焊接的方法，但不能用过量的焊料堆积，这样容易造成虚焊、焊点与焊点的短路。

(2) 焊接可靠保证导电性能。为使焊点有良好的导电性能，必须防止虚焊。虚焊是指焊料与被焊物表面没有形成合金结构，只是简单地依附在被焊金属的表面上，如图5-21所示。



视频

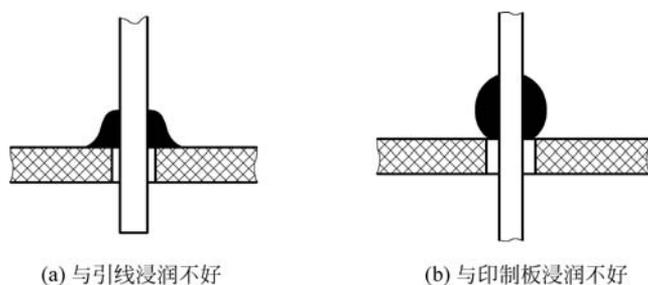


图 5-21 虚焊现象

在锡焊时,如果只有一部分形成合金,而其余部分没有形成合金,这种焊点在短期内也能通过电流,用仪表测量也很难发现问题。但随着时间的推移,没有形成合金的表面就要被氧化,此时便会出现时通时断的现象,这势必造成产品的质量问題。

(3) 焊点表面要光滑、清洁。为使焊点美观、光滑、整齐,不但要有熟练的焊接技能,而且要选择合适的焊料和助焊剂,否则将出现焊点表面粗糙、拉尖、棱角等现象。

2. 焊接前的准备

1) 元器件引线加工成型

元器件在印制板上的排列和安装方式有立式和卧式两种。元器件引线弯成的形状是根据焊盘孔的距离及装配上的不同而加工成型。引线的跨距应根据尺寸优选 2.5 的倍数。加工时,注意不要将引线齐根弯折,并用工具保护引线的根部,以免损坏元器件。

成型后的元器件,在焊接时,尽量保持其排列整齐,同类元件要保持高度一致。各元器件的符号标志向上(卧式)或向外(立式),以便于检查。图 5-22 是几种成型图例。

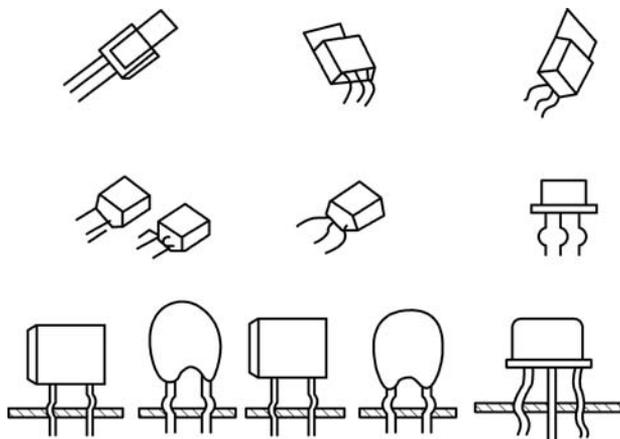


图 5-22 元器件成型图例

2) 镀锡

元器件引线一般镀有一层薄的焊料,但时间一长,引线表面产生一层氧化膜,影响焊接。所以,除少数有良好银、金镀层的引线外,大部分元器件在焊接前都要重新镀锡。

镀锡,实际上就是锡焊的核心——液态焊锡对被焊金属表面浸润,形成一层既不同于被焊金属又不同于焊锡的结合层。这一结合层将焊锡同待焊金属这两种性能、成分都不相同的材料牢固连接起来,如图 5-23 所示。而实际的焊接工作只不过是焊锡浸润待焊零件的结合处,熔化焊锡并重新凝结的过程,不良的镀层,未形成结合层,只是焊件表面“粘”了一层焊锡,这种镀层很容易脱落。

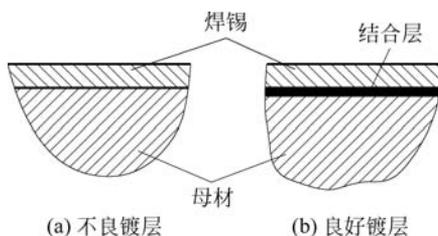


图 5-23 镀锡机理

(1) 镀锡要点。

① 待镀面应清洁。有人以为锡焊时要用焊剂,不注意表面清洁。实际上,待焊元器件、焊片、导线等都可能在加工、储存的过程中带有不同的污物,轻的可用酒精或丙酮擦洗,重的腐蚀性污点只有用机械办法去除,包括刀刮或砂纸打磨,直到露出光亮的金属为止。

② 加热温度要足够。要使焊锡浸润良好,被焊金属表面温度应接近熔化时的焊锡温度才能形成良好的结合层。因此,应该根据焊件大小供给它足够的热量。但由于考虑到元器件承受温度不能太高,因此必须掌握好加热时间。

③ 要使用有效的焊剂。松香是广泛应用的焊剂,但松香经反复加热后就会失效,发黑的松香实际已不起作用,应及时更换。

(2) 小批量生产的镀锡。在小批量生产中,镀锡可用如图 5-24 中所示的锡锅,也可以采用感应加热的办法做成专用锡锅。使用中锡的温度不能太低,但也不能太高,否则锡表面氧化较快。电炉电源可用调压器供电,以调节锡锅的最佳温度。使用过程中,要不断用铁片刮去锡表面的氧化层和杂质。

操作过程如图 5-24 所示,如果表面污物太多,要预先用机械办法除去。如果镀后立即使用,最后一步蘸松香水可免去。良好的镀层均匀发亮,没有颗粒及凹凸。

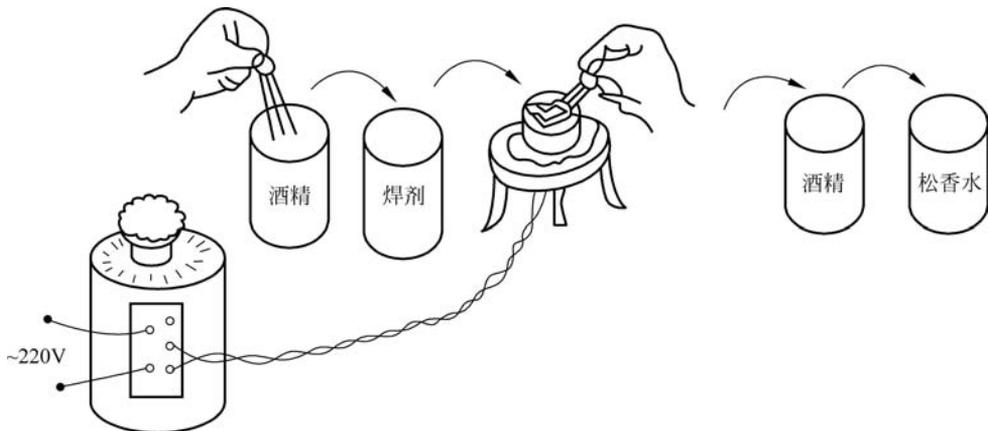


图 5-24 锡锅镀锡操作示意图

在大规模生产中,从元器件清洗到镀锡,这些工序都由自动生产线完成。中等规模的生产也可使用搪锡机给元器件镀锡,还有一种用化学制剂去除氧化膜的办法,也是很有发展前途的措施。

(3) 多股导线镀锡。

① 剥导线头的绝缘皮时不要伤线。剥导线头的绝缘皮最好用剥皮钳,根据导线直径选择合适的槽口,防止导线在钳口处损伤或有少数导线断掉,要保持多股导线内所有铜线完好无损。用其他工具(剪刀、斜嘴钳、自制工具等)剥绝缘皮时,更应注意上述问题。

② 多股导线一定要很好地绞合在一起。剥好的导线一定要将其绞合在一起,否则在镀锡时就会散乱,容易造成电气故障。

为了保持导线清洁及焊锡容易浸润,绞合时最好是手不要直接接触及导线。可捏紧已剥断而没有剥落的绝缘皮进行绞合,绞合时旋转角一般在 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$,旋转方向应与原线芯旋转方向一致,绞合完成后再将绝缘皮剥掉。

③ 涂焊剂镀锡要留有余地。通常镀锡前要将导线蘸松香水,有时也将导线放在有松香的木板上用烙铁给导线上一层焊剂,同时也镀上焊锡,注意不要让锡浸入到绝缘皮中,最好在绝缘皮前留 $1\sim 3\text{mm}$ 间隔使之没有锡。这样对穿套管是很有利的。同时也便于检查导线有无断股,以及保证绝缘皮端部整齐。

3. 手工焊接要点

焊接材料、焊接工具、焊接方式方法和操作者俗称焊接四要素。这四要素中最重要的是操作者。没有相当时间的焊接实践和用心领会,不断总结,即使是长时间从事焊接工作者也难保证每个焊点的质量。下面讲述一些具体方法和注意点,这些方法和注意点都是实践经验的总结。

1) 焊接操作与卫生

焊接加热挥发出来的化学物质对人体是有害的,如果操作时鼻子距离烙铁头太近,则很容易将有害气体吸入,一般烙铁与鼻子的距离应不小于 20cm ,通常以 30cm 为宜。

焊锡丝一般有两种拿法,如图 5-25 所示。

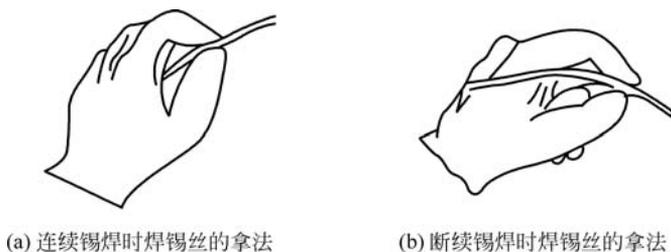


图 5-25 焊锡丝拿法

由于焊丝成分中铅占一定比例,众所周知铅是对人体有害的重金属,因此操作时应戴上手套或操作后洗手,避免食入。电烙铁用后一定要稳妥放于烙铁架上,并注意导线等物不要碰烙铁。

2) 焊接操作的基本步骤

焊锡五步操作法,如图 5-26 所示。

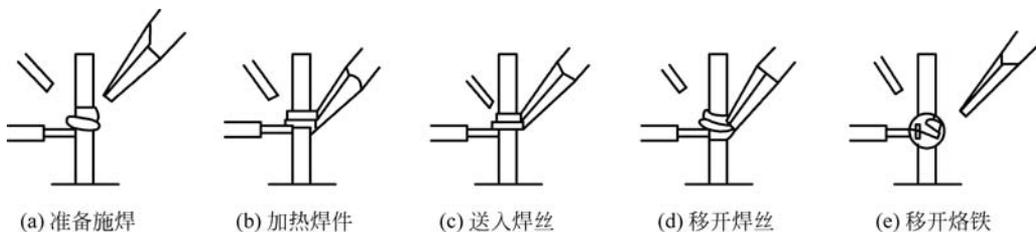


图 5-26 焊锡五步操作法

(1) 准备施焊: 右手拿烙铁(烙铁头部保持干净,并吃上锡),处于随时可施焊状态,如图 5-26(a)所示。

(2) 加热焊件: 应注意加热整个焊件,如导线和接线都要均匀受热,如图 5-26(b)所示。

(3) 送入焊丝: 加热焊件达到一定温度后,焊丝从烙铁对面接触焊件(而不是烙铁),如图 5-26(c)所示。

(4) 移开焊丝: 当焊丝熔化一定量后,立即移开焊丝,如图 5-26(d)所示。

(5) 移开烙铁: 焊锡浸润焊盘或焊件的施焊部位后,移开烙铁,如图 5-26(e)所示。

对于热容量小的焊件,如印制板与较细导线的连接,可简化为三步操作:

(1) 准备: 同五步操作法的步骤(1)。

(2) 加热与送丝: 烙铁头放在焊件上后即送入焊丝。

(3) 去丝移烙铁: 焊锡在焊接面上扩散达到预期范围后,立即拿开焊丝并移开烙铁,注意移开焊丝时间不得滞后于移开烙铁的时间。

对于小热容量焊件而言,上述整个过程 2~4s,各步时间的控制、时序的准确掌握、动作的协调熟练都是应该通过实践用心体会解决的问题。有人总结出了五步操作法,用数数的办法控制时间,即烙铁接触焊点后数一、二(约 2s),送入焊丝后数三、四即移开烙铁,焊丝熔化量要靠观察决定,这个办法可以参考。但显然由于烙铁功率、焊点热容量的差别等因素,实际把握焊接火候,绝无定章可循,必须具体条件具体对待。

4. 焊接温度与加热时间

适当的温度对形成良好的焊点是必不可少的,这个温度究竟如何掌握,图 5-27 中所示的曲线可供参考。

1) 焊接的三个重要温度

图 5-27 中三条水平线代表焊接的三个重要温度,由上而下第一条水平阴影区代表烙铁头的标准温度;第二条水平阴影区表示为了焊料充分浸润生成合金,焊件应达到的最佳焊接温度;第三条水平线是焊丝熔化温度,也就是焊件达到此温度时应送入焊丝。

两条曲线分别代表烙铁头和焊件温度变化过程,金属 A 和 B 表示焊件两个部分(如

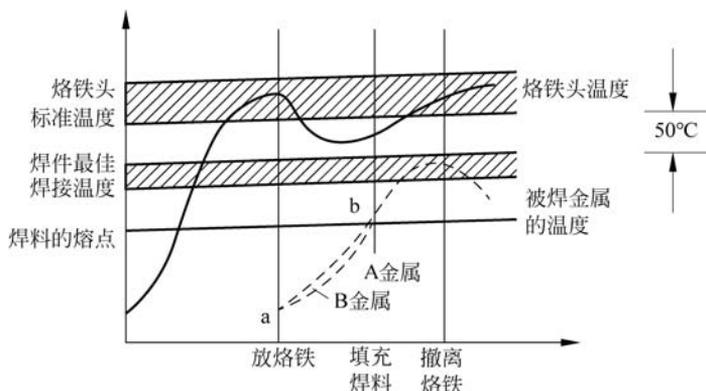


图 5-27 焊接的三个重要温度

铜箔与导线、焊片与导线等)。三条竖直线实际表示的就是五步操作法的时序关系。

准确、熟练地将以上几条曲线关系应用到实际中,是掌握焊接技术的关键。

2) 焊接温度与加热时间

由焊接温度曲线可看出,烙铁头在焊件上的停留时间与焊件温度的升高是正比关系,即曲线 a~b 段反映焊接温度与加热时间的关系。同样的烙铁,加热不同热容量的焊件时,要想达到同样的焊接温度,显然可以用控制加热时间实现。其他因素的变化同理可推断。但是,在实际工作中又不能仅仅以此关系决定加热时间。例如,用一个小功率电焊铁加热较大的焊件时,无论停留时间多长,焊件温度也上不去,因为有烙铁供热容量和焊件、烙铁在空气中散热的问题。此外,有些元器件也不允许长期加热。

3) 加热时间对焊件和焊点的影响

加热时间对焊锡、焊件的浸润性、结合层形成的影响已经有所了解,现在还必须进一步了解加热时间对整个焊接过程的影响及其外部特征。

加热时间不足造成焊料不能充分浸润焊件,形成夹渣(松香)、虚焊是容易观察和理解的。

过量加热除可能造成元器件损坏外,还有如下危害和外部特征:

(1) 焊点外观变差。如果焊锡已浸润焊件后还继续加热,造成溶态焊锡过热,烙铁撤离时容易造成拉尖,同时出现焊点表面粗糙颗粒、失去光泽,焊点发白。

(2) 焊接时所加松香焊剂在温度较高时容易分解碳化(松香一般从 210℃ 开始分解),失去助焊剂作用,而且夹到焊点中造成焊接缺陷。如果发现松香已加热到发黑,肯定是加热时间过长所致。

(3) 印制板上的铜箔是采用黏合剂固定在基板上的。过多的受热会破坏黏合层,导致印制板上铜箔剥落。因此,准确掌握火候是优质焊接的关键。

5. 焊接操作手法

具体操作手法,在达到优质焊点的目标下可因人而异,但长期实践经验的总结,对初学者的指导作用也不可忽略。

(1) 保持烙铁头的清洁。因为焊接时烙铁头长期处于高温状态,又接触焊剂等,其表面很容易氧化并沾上一层黑色杂质,这些杂质几乎形成隔热层,使烙铁头失去加热作用。因此,要随时在烙铁架上蹭去杂质。用一块湿布或湿海绵随时擦烙铁头,也是常用的方法。

(2) 采用正确的加热方法。要靠增加接触面积加快传热,而不要用烙铁对焊件加力。有人似乎为了焊得快一些,在加热时用烙铁头对焊件加压,这是徒劳无益而危害不小的。它不但加速了烙铁头的损耗,而且更严重的是对元器件造成损坏或不易觉察的隐患。正确的方法是应该根据焊件形状选用不同的烙铁头,或自己修整烙铁头,让烙铁头与焊件形成面接触而不是点或线接触,这样就能大大提高效率。

还要注意,加热时应让焊件上需要焊锡浸润的各部分均匀受热,而不是仅加热焊件的一部分,如图 5-28 所示。当然,对于热容量相差较多的两个部分焊件,加热应偏向需热较多的部分。

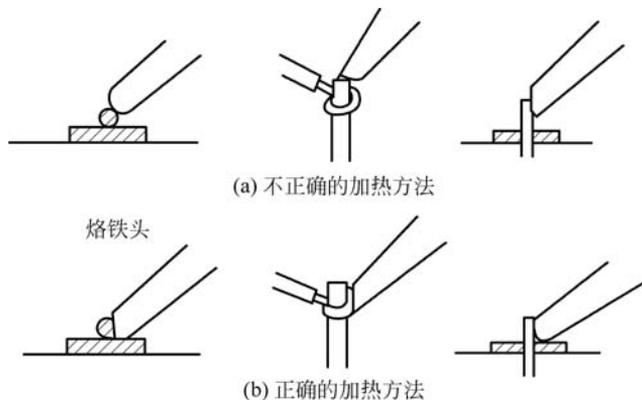


图 5-28 不正确和正确的加热方法

(3) 加热要靠焊锡桥。非流水线作业中,一次焊接的焊点形状是多种多样的,不可能不断更换烙铁头,要提高烙铁头加热的效率,需要形成热量传递的焊锡桥。焊锡桥就是靠烙铁上保留少量焊锡作为加热时烙铁头与焊件之间传热的桥梁。显然,由于金属液的导热效率远高于空气,而使焊件很快被加热到焊接温度。应注意,作为焊锡桥的锡保留量不可过多。

(4) 烙铁撤离有讲究。烙铁撤离要及时,而且撤离时的角度和方向对焊点形成有一定关系,图 5-29 为不同撤离方向对焊料的影响。还有的人总结出撤离烙铁时轻轻旋转一下,可保持焊点适当的焊料,这都是在实际操作中总结出来的办法。

(5) 在焊锡凝固之前不要使焊件移动或振动。用镊子夹住焊件时,一定要等焊锡凝固后再移去镊子。这是因为焊锡凝固过程是结晶过程,根据结晶理论,在结晶期受到外力(焊件移动)会改变结晶条件,形成大粒结晶,焊锡迅速凝固,造成“冷焊”。外观现象是表面光泽呈豆渣状。焊点内部结构疏松,容易有气隙和裂缝,造成焊点强度降低,导电性能差。因此,在焊锡凝固前一定要保持焊件静止。

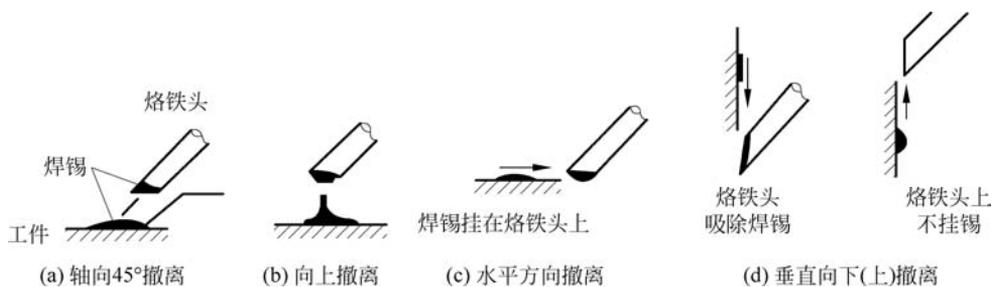


图 5-29 烙铁撤离方向和焊锡量的关系

(6) 焊锡量要合适。过量的焊锡不但毫无必要地消耗了较贵的锡,而且增加了焊接时间,相应降低了工作速度,更为严重的是在高密度的电路中过量的锡很容易造成不易觉察的短路。

但是,焊锡过少不能形成牢固的结合同样也是不允许的,特别是在板上焊导线时,焊锡不足往往造成导线脱落,如图 5-30 所示。

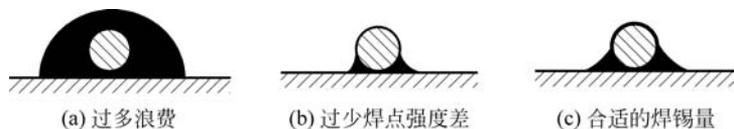


图 5-30 焊锡量的掌握

(7) 不要用过量的焊剂。适量的焊剂是非常有用的。不要认为越多越好,过量的松香不仅造成焊后清理焊点周围的工作量,而且延长了加热时间(松香熔化、挥发需要热量),降低工作效率,而当加热时间不足时,容易夹杂到焊锡中形成“夹渣”缺陷,对开关元件的焊接,过量的焊剂容易流到触点处,从而造成接触不良。

合适的焊剂量应该是松香水仅能浸湿将要形成的焊点,不要让松香水透过印制板流到元件面或插座孔里(如集成电路插座)。对使用松香芯的焊丝来说,基本不需要再涂松香水。

5.4.4 常用电子焊接技术介绍

1. 自动浸焊

浸焊是将插装好元器件的印制电路板在熔化的锡槽内浸锡,一次完成印制电路板众多焊接点的焊接方法,它不仅比手工焊接大大提高了生产效率,而且可消除漏焊现象。

图 5-31 是自动浸焊工艺流程。将插装好元器件的印制电路板用专用夹具安置在传送带上。印制板先经过泡沫助焊剂槽被喷上助焊剂,加热器将助焊剂烘干,然后经过熔化的锡槽进行浸焊,待锡冷却凝固后再送到切头机剪去过长的引脚。

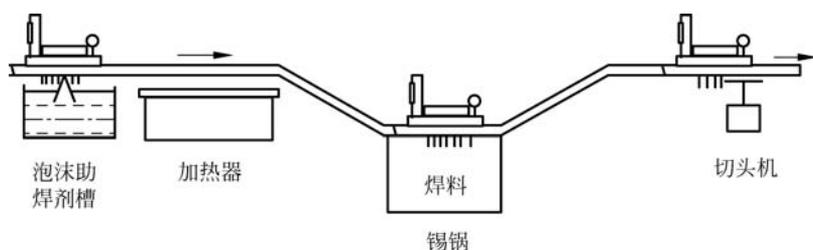


图 5-31 自动浸焊工艺流程

2. 波峰焊

波峰焊是目前应用最广泛的自动化焊接工艺。与自动浸焊相比,其最大的特点是锡槽内的锡不是静止的,熔化的焊锡在机械泵(或电磁泵)的作用下由喷嘴源源不断流出而形成波峰,波峰焊的名称由此而来。波峰即顶部的锡无丝毫氧化物和污染物,在传动机构移动过程中,印制电路板分段、局部与波峰接触焊接,避免了浸焊工艺存在的缺点,使焊接质量可以得到保证,焊接点的合格率为 99.97% 以上,在现代工厂企业中它已取代了大部分的传统焊接工艺。

图 5-32 为两种波峰焊工艺流程图。图 5-32(a) 的工序比较简单,只包含了必要的工序,因此其相应的造价也就较便宜。图 5-32(b) 的工序较复杂,几乎包含了所有的焊接工序,因而自动化程度高,设备结构庞大,造价也高。由于整个过程经过了浸焊和波峰焊的两次焊接,所以焊接质量高,但也容易造成印制电路板受热过度、阻焊剂脱落,对元器件也有一定影响,必须采取相应措施解决。

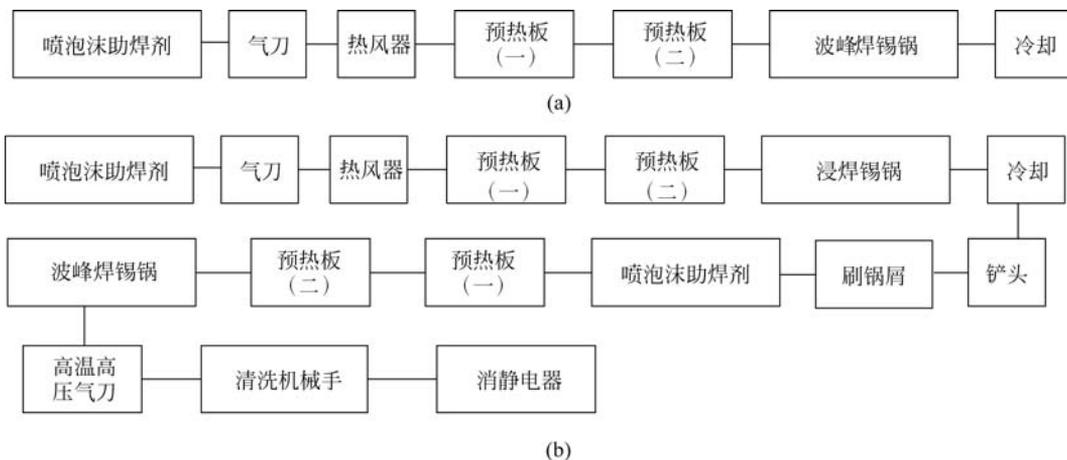


图 5-32 波峰焊工艺流程图

3. 组焊射流法

组焊射流法是一种更为先进的波峰焊接工艺,它主要是对锡槽中熔锡波峰的产生装

置进行了改进,其不仅可以焊接一般的单面印制电路板,也可以焊接双面和多层印制电路板,能够保证焊锡充满金属化孔内,使焊接点达到很高的可靠性和强度。

组焊射流法的基本工作原理:槽内充满锡液并有6个小室,在这些小室内部装有电磁铁的磁极,其绕组供以交流电。当电流通过线圈时,就在铁芯中产生一个磁通,这一个磁通包住了熔锡,而熔锡起到二次短路线匝的作用。当这一磁通随时间周期性(50Hz)变化时,它就在熔化的焊锡中感应出一个电动势。因为熔锡起二次短路线圈的作用,所以强大的感应电流通过熔锡,在短路的熔锡线圈中感应出的电流与电磁极的一次磁场相互作用,从磁场中得到一个能够将熔化了了的焊锡向上抛的力。在锡面上形成两个熔锡的波峰,它的高度可通过自耦变压器来调节。锡液温度是靠电子电位差计和镍铬铜热电偶自动控制的,也就是根据它们的反馈信号,接通或断开锡槽的加热器,使温度的控制实现自动调节。

4. 表面贴装技术

表面贴装技术(SMT)是伴随无引脚或引脚极短的片状(SMD)元器件的出现,而发展并已得到广泛应用的贴装焊接技术。它打破了在印制电路板上“通孔”贴装元器件,然后再焊接的传统工艺,直接将SMD元器件平卧在印制电路板表面进行贴装,如图5-33所示。

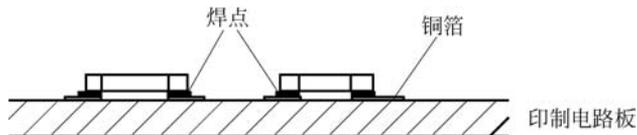


图 5-33 SMD 元器件的表面贴装

采用表面贴装技术有如下优点:

(1) 减少了焊接工序,提高了生产效率。无须在印制电路板上打孔,无须孔的金属化,元器件无须预成形。

(2) 减小了印制电路板的体积。一方面由于采用了SMD元器件,体积明显减小;另一方面由于无印制电路板带钻孔的焊盘,线条可以做得很细(可达0.1~0.25mm),线条之间的间隔也可减小(可达0.1mm),因而印制电路板上元器件的密度可以做得很高,还可将印制电路板多层化。

(3) 改善了电路的高频特性。由于元器件无引线或引线极短,减少了印制电路板的分布参数,改善了高频特性。

(4) 可以进行计算机控制,全自动安装。整个SMT程序都可以自动进行,生产效率高,而且安装可靠性大大提高,适合于大批量生产。

表面贴装技术工艺流程如图5-34所示。



图 5-34 表面贴装技术工艺流程图

5.4.5 电子焊接技术的发展

1. 焊件微型化

由于现代电子产品不断向微型化发展,促使微型焊件焊接技术的发展。

印制电路板:最小导线间距已小于0.1mm,最小线宽达0.06mm,最小孔径达0.08mm。

微电子器件:轴向尺寸最小达0.01mm,厚度为0.01mm。

显然,这种微型的焊件已很难用传统方法焊接。

2. 焊接方法多样化

(1) 锡焊:除了波峰焊向自动化、智能化发展;再流焊技术日臻完善,发展迅速;其他焊接方法也随着微组装技术不断涌现,目前已用于生产实践的有丝球焊、TAB焊、倒装焊、真空焊等。

(2) 特种焊接:锡焊以外的焊接方法,主要有高频焊、超声焊、电子束焊、激光焊、摩擦焊、爆炸焊、扩散焊等。

(3) 无铅焊接:由于铅是有害金属,人们已在探讨非铅焊料实现锡焊。目前已成功用于代替铅的有铟(In)、铋(Bi)等。

(4) 无加热焊接:用导电黏结剂将焊件黏结起来,如同普通黏合剂黏结物品一样。

3. 设计生产计算机化

现代计算机及相关工业技术的发展,使制造业中从对各个工序的自动控制发展到集中控制,即从设计、试验到制造,从原材料筛选、测试到整件装配检测,由计算机系统进行控制,组成计算机集成制造系统(CIMS)。焊接中的温度、焊剂浓度、印制板的倾斜及速度、冷却速度等均由计算机智能系统自动选择。

当然,这种高效率、高质量的制造业是以高投入、大规模为前提条件的。

4. 生产过程绿色化

绿色是环境保护的象征。目前,电子焊接中使用的焊剂、焊料及焊接过程、焊后清洗不可避免地影响环境和人们的健康。

绿色化进程主要在以下两个方面:

(1) 使用无铅焊料。尽管经济上的原因尚未达到产业化,但技术、材料的进步正在往此方向努力。

(2) 采用免清洗技术。使用免洗焊膏,焊接后不用清洗,避免污染环境。

5.4.6 印制电路板的制作

1. 敷铜板与印制电路板

当打开收音机、电视机等家用电器时,会发现晶体管、电阻器、电容器、集成电路等都安装在一块板子上,在板子上有一条一条的铜箔,这些铜箔将元器件的引线连接起来,这种板子就称为印制电路板。

1) 敷铜板的种类

(1) 根据标准厚度通常分为三种,即 1.0mm、1.5mm、2.0mm。一般常选用 1.5mm 和 2.0mm 的敷铜板。

(2) 根据敷铜板的基板(绝缘)材料可分为酚醛纸基敷铜板、环氧酚醛玻璃布敷铜板、环氧双氰胺玻璃布敷铜板、聚四氟乙烯敷铜板。酚醛纸基敷铜板又称纸质板,其优点是价格便宜,不足之处是机械强度低、耐高温性能差。环氧酚醛玻璃布敷铜板的优点是电绝缘性能好,耐高温性能好,受潮时不易变形。环氧双氰胺玻璃布敷铜板的优点是透明度好,有较好的机械加工性能和耐高温的特性。聚四氟乙烯敷铜板的最大特点是能耐高温,且有高绝缘性能。

(3) 根据敷铜面的不同又可分为单面印制电路板、双面印制电路板、多层印制电路板、平面印制电路板。单面印制电路板是指只在绝缘基板的一面印制导线的电路板。双面印制电路板是指在绝缘基板的两面都有印制导线的电路板。多层印制电路板是指多于两层印制导线的印制电路板,由极薄的单层印制电路板叠合加压而成,并且采用了金属化孔连接。平面印制电路板是指印制导线嵌在绝缘基板内,与基板表面齐平的电路板。

2) 敷铜板的选用

前面所述四种不同基板材料的敷铜板应根据不同设备的要求进行选用。环氧酚醛玻璃布敷铜板从外表看为青绿色并有透明感,这种敷铜板适用于高频、超高频电路,而且具有绝缘性能好、耐高温的特性。酚醛纸基敷铜板(简称酚醛板)一般为黑黄色或淡黄色,其机械强度、绝缘性能都不如环氧酚醛玻璃布敷铜板,而且高频损耗较大,但由于便宜而得到了广泛的应用,如收音机、电视机、业余小制作以及要求不高的仪器仪表等。在微波频段使用时,应选用聚四氟乙烯敷铜板。

2. 手工自制印制电路板

在产品研制阶段或科技及创作活动中往往需要制作少量印制电路板,进行产品性能分析试验或制作样机,为了赶时间和经济性需要自制印制电路板。以下介绍的几种方法都是简单易行的。

1) 贴图刀刻法

(1) 板的处理。将敷铜板裁成所需的形状和大小,用去污粉将板表面的油污等脏物

清洗干净,然后用细砂纸打磨,去掉铜箔表面的氧化层,再用清水冲洗干净并擦干或晾干。

(2) 复写印制电路图。将设计好的印制电路图用复写纸复印在敷铜板上。方法是先将复写纸放在敷铜板和印制电路图之间,再使印制电路图与敷铜板对齐,方向一致,检查无误后,将它们用胶带纸粘牢;然后用圆珠笔或铅笔描图,描完检查无误后,再揭开印制电路图和复写纸。

(3) 刀刻。将透明胶带覆盖在描好印制电路图的敷铜板上,用刻刀沿着绘好的线路将胶带划开,把需要腐蚀的部分上的胶带撕去。

(4) 打孔。在每一个穿孔处,根据印制电路板设计时确定的孔径选择合适的钻头打孔。如果是双面板,则应在描完一面后进行打孔,并在板和电路图之间打四个定位孔,且选择合适的钻头钻透,以利于另一面复写印制电路图。

(5) 腐蚀。用三氯化铁溶液腐蚀电路板,去掉没有被胶带覆盖的铜箔。按三氯化铁和水的重量比1:2配制溶液。溶液应盛于塑料、陶瓷或玻璃的平底容器中,将描好晾干的敷铜板放入容器中。若是单面板,则应将敷铜面朝上放置。天冷时可适当加温,加快腐蚀速度,但加温不要超过50℃;否则,易将胶带泡掉,引起线路损坏。在裸露的铜箔完全被腐蚀掉后,可以取出电路板。

(6) 清洗。将电路板用清水冲洗干净,把剩余胶带撕去,用砂纸打磨,再用清水冲洗干净,晾干,然后涂上一层松香水。

完成以上各步骤后,就可以在印制电路板上安装、焊接元器件。焊好元器件且调试、测试完毕后,认为电路不需要再改动,且希望能长期保有或使用,可以在印制电路板上涂敷一层透明保护漆来保护印制电路。

2) 描图蚀刻法

由于最初使用调和漆作为描绘图形的材料,所以也称漆图法。具体步骤如下:

(1) 下料。按板面的实际设计尺寸剪裁敷铜板,去掉四周毛刺。

(2) 拓图。用复写纸将已设计好的印制电路板布线草图拓印在敷铜板的铜箔面上。印制导线用单线、焊盘用小圆点表示。拓制双面板时,为保证两面定位准确,板与草图均应有3个以上不在一条直线上的、孔距尽量大的定位孔。

(3) 打孔。拓图后,对照草图检查敷铜板上画的焊盘与导线是否有遗漏;然后在板上打出样冲眼,按样冲眼的定位,用小型台式钻床打出焊盘上的通孔。打孔过程中,注意钻床应选高转速,钻头要锋利,进刀不宜太快,以免将铜箔挤出毛刺;并注意保持导线图形清晰,避免被弄模糊。不要用砂纸清除孔的毛刺。

(4) 描图。用稀稠适宜的调和漆将图形及焊盘描好。描图时应先描焊盘,方法可用适当的硬导线蘸点漆料,漆料要蘸得适中,可以用比焊盘外径稍细的硬导线或细木棍蘸漆点图,注意与钻好的孔同心,大小尽量均匀。焊盘描完后可描印制导线图形,可用鸭嘴笔、毛笔等配合直尺,注意直尺不要与板接触,可将直尺两端垫高架起,以免将未干的图形蹭坏。双面板应把两面图形描好。

(5) 修图。描好的图在漆未全干(不沾手)时及时进行修图,可使用直尺和小刀,沿导

线边沿修整,同时修补断线或缺损图形,保证图形质量。

(6) 腐蚀。腐蚀液一般使用浓度为 28%~42%三氯化铁水溶液。将描修好的板子全部浸没到腐蚀液中,把没有被漆膜覆盖的铜箔腐蚀掉。

为了加快腐蚀速度,可以用软毛排笔轻轻刷扫板面,但不可用力过猛,防止漆膜脱落。在冬季,也可以对腐蚀溶液适当加温,但温度不要超过 50℃,以防将漆膜泡掉。待完全腐蚀以后,取出板子用水清洗。

(7) 去漆膜。用热水浸泡后,可将板面的漆膜剥掉,未擦净处可用稀料清洗。

(8) 清洗。漆膜去除干净以后,用碎布蘸着去污粉在板面上反复擦拭,去掉铜箔的氧化膜,使线条及焊盘露出铜的光亮本色。注意应按某一固定方向擦拭,这样可使铜箔反光方向一致,看起来更加美观。擦拭后用清水冲洗,晾干。

(9) 涂助焊剂。把已经配好的松香酒精溶液立即涂在洗净晾干的印制电路板上,作为助焊剂。助焊剂可使板面受到保护,提高可焊性。

3) 热转印法

热转印法的关键是热转印纸和热转印机(图 5-35),它利用激光打印机先将图形打印到热转印纸上,再通过热转印机将图形“转印”到敷铜板上,形成由墨粉组成的抗腐蚀图形,再经蚀刻机(图 5-36)蚀刻后即可获得所需印制电路板图形。热转印纸是具有耐高温(180.5℃)不粘连特性的转印媒介,热转印机是实现“热转印”的设备。热转印工艺的关键是热转印温度,它是由机内的微机精确控制的。只要激光打印机性能保证,采用热转印法就可获得足够精度和接近专业品质的印制电路板。



图 5-35 热转印机



图 5-36 蚀刻机

热转印法制板工艺流程如图 5-37 所示。

4) 贴图法

在用漆图法自制印制电路板的过程中,图形靠描漆或其他抗蚀涂料描绘而成,虽然简单易行,但描绘质量很难保证,往往是焊盘大小不均、印制导线粗细不匀。近年来,电子器材商店已有一种薄膜图形出售,这种具有抗蚀能力的薄膜厚度只有几微米,图形有几十种,都是印制电路板上常见的图形,有各种焊盘、接插件、集成电路引线和各种符号等。

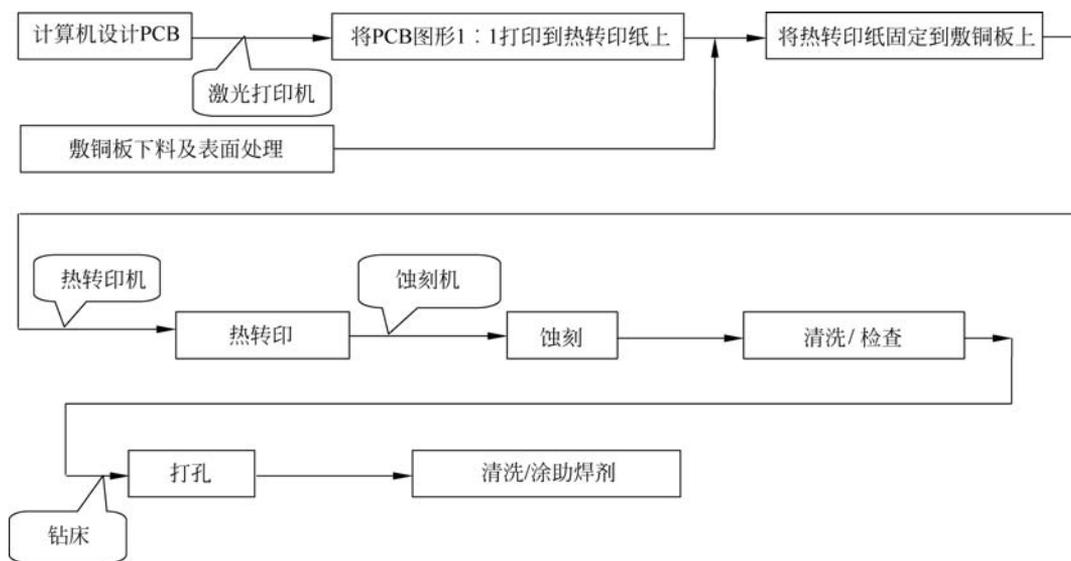


图 5-37 热转印法制板工艺流程

这些图形贴在一块透明的塑料软片上,使用时可用刀尖把图形从软片上挑下来,转贴在敷铜板上。焊盘和图形贴好后,再用各种宽度的抗蚀胶带连接焊盘,构成印制导线。整个图形贴好以后即可进行腐蚀。用这种方法制作的印制电路板效果极好,与照相制版所做的板子几乎没有质量的差别。这种图形贴膜为新产品的印制板制作开辟了新的途径。

5) 铜箔粘贴法

这是手工制作印制电路板最简捷的方法,既不需要描绘图形也不需要腐蚀,只要把各种所需的焊盘及一定宽度的导线粘贴在绝缘基板上,就可以得到一块印制电路板。具体方法与图形贴膜法很类似,只不过所用的贴膜不是抗蚀薄膜,而是用铜箔制成的各种电路图形。铜箔背面涂有压敏胶,使用时只要用力挤压,就可以把铜箔图形牢固地粘贴在绝缘板材上。目前,我国已有一些电子器件商店出售这种铜箔图形,但因价格较高,使用并不广泛。

6) 刀刻法

对于一些电路比较简单、线条较少的印制板,可以用刀刻法来制作。在进行布局排版设计时,要求导线形状尽量简单,一般把焊盘与导线合为一体,形成多块矩形。由于平行的矩形图形具有较大的分布电容,所以刀刻法制板不适合高频电路。

刻刀可以用废的钢锯条自己磨制,要求刀尖既硬且韧。制作时,按照拓好的图形,用刻刀沿钢尺划铜箔,使刀刻深度把铜箔划透;然后把不要保留的铜箔的边角用刀尖挑起,再用钳子夹住把它们撕下来。

3. 批量生产印刷电路板的过程

单面板、双面板和多层板的批量生产技术均不同,下面就单面板和双面板的生产过程予以说明。

1) 单面板制造过程

- (1) 清洗。去掉板上的油污等。
- (2) 光刻技术。在板上用光刻方法形成导电图形的保护层。
- (3) 蚀刻。用三氯化铁溶液将无保护膜铜箔腐蚀掉。
- (4) 清洗。将蚀刻完的印制电路板清洗干净,再用有机溶剂清洗掉保护层。
- (5) 线上覆膜。在导电层上覆盖一层保护膜,此层同时起到绝缘和阻焊作用。
- (6) 镀锡。在焊盘上镀上一层锡。
- (7) 打孔。

2) 双面板制造过程

(1) 打孔。根据印制电路板图中的打孔图,在相应的位置上打出合适孔径的孔。在计算机辅助设计中,元器件布局及布线完后,已形成了打孔图,可直接通过计算机控制数控钻床打孔。人工布板时,需要给数控钻床输入数据。

(2) 清洗。机械打孔时的热效应会使导体表面粘有粉末,清洗掉这些污物才能保证均匀镀孔。

(3) 线路的光刻设计。在板上用光刻技术形成线路图形。

(4) 引线孔金属化。用化学方法在孔壁沉积一层铜,使原来的非金属孔壁金属化,然后再电镀铜,最后镀锡。

(5) 通孔、焊盘的光刻设计。在通孔及焊盘上形成保护膜。

(6) 蚀刻。将印制板上裸露的铜箔蚀刻掉。

(7) 清洗。冲洗掉刻蚀用液体(如三氯化铁),去掉保护层。在要求高的印制电路板中,清洗液很重要,选择不当会使板上漏电流增大。

(8) 线上覆膜。

复习思考题

1. 进行电子电路设计时,通常应经历哪几个程序? 各个程序中重点解决什么问题?
2. 进行电子电路设计时,通常采用哪些耦合方式? 分别应用在什么场合?
3. 在阻容耦合晶体管放大电路中,影响放大器上限频率 f_H 和下限频率 f_L 的主要因素是什么?
4. TTL 和 CMOS 数字集成电路各有什么优、缺点? 在电路中如果二者混合使用,应该注意哪些问题?
5. 电子电路装配时,电子元器件的装配形式有哪几种? 各有什么优、缺点?
6. 检查电子电路故障的方法主要有哪些? 应用这些方法时应注意什么事项?
7. 使用加电观察法时应注意什么事项?
8. 什么是信号寻迹法? 如何应用其查寻电路故障?
9. 简述电子手工焊接的五步法。
10. 如何选择内热式电烙铁和外热式电烙铁?