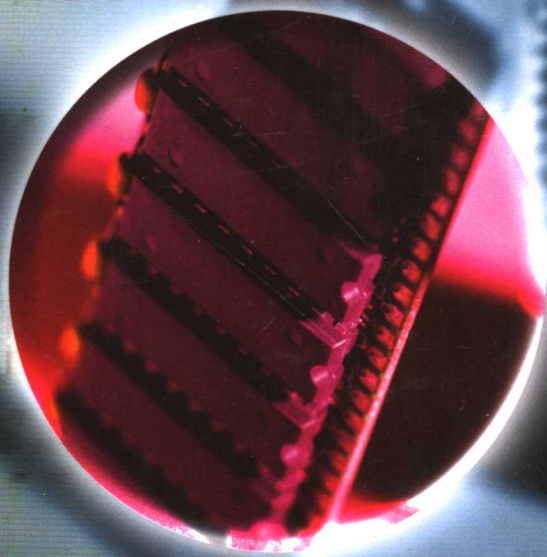


Technology
实用技术

实用电子技术

元器件使用与检测·设备维护与检修

[印] R.S.Khandpur 著
李大寨 译



 科学出版社
www.sciencep.com

图字: 01-2007-4274 号

内 容 简 介

本书系统介绍了电子设备故障诊断和维修方面的有关技术。本书所介绍内容涵盖电子设备中从分离元件、集成电路芯片到电子系统的基础知识、故障诊断、故障维修和设备维护的各个方面。内容涉及电子设备可靠性的基本概念,电子电路的基础知识,在故障诊断和维修中使用的各种测试仪器和维修工具,各种常用电子器件的封装形式及其焊接技术,数字器件和模拟器件的基本概念和维修技术,预防性维护和设备维护管理等。书中提供大量照片、示意图和表格。本书内容由浅入深,叙述翔实,图文并茂,易于理解。

本书对从事电子设备维护/维修、电子技术开发及自动化的技术人员有很高的参考价值。本书也可以作为电子类和自动化类等相关专业的高校师生参考用书。同时,对那些想尝试维修各种电子设备和家用电器的电子爱好者,在维修之前阅读本书是一个不错的选择。

图书在版编目(CIP)数据

实用电子技术/(印)R. S. Khandpur 著;李大寨译. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-021097-5

I. 实… II. ①R…②李… III. 电子技术 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 020497 号

责任编辑:岳亚东 刘晓融 / 责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:李 祥

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年4月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008年4月第一次印刷 印张: 19

印数: 1—4 000 字数: 385 000

定 价: 39.90 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前言

很高兴能在这里把我的新书展示给大家。

近些年来,电子工业经历了一场洗心革面的运动,电子技术改变了电子产品从设计、生产到维修的方式,这使得技术人员的技术和维护平台都必须要与这些发展同步。我们需要一本能将技术的发展趋势深植于大脑中的书,同时,它还应该能使我们认识到不断更新维修技术的重要性。

传统观念上,从事维修对于多数优秀的学生而言并非理想的职业,他们往往觉得设计和销售类的工作更具挑战性。这也是通常所认为的前者需要面对更多知识性上的挑战,而后者在竞争激烈的市场上,要求具备人际关系方面的相关技能。但是,随着经济自由化和全球化,维护工程领域也迅速发展起来。我们已经看到,最近,系统的可靠性对于经营收益率和工厂、医院或服务性组织的效率所产生的影响比以往任何时候都更直接和及时。因此,今天的维护工程为维修技师所提供的机会与其他人们理想的专业领域中的机会一样,具有很强的挑战性。

技术永远都在进步。硬件和软件的持续发展使工业产品面貌一新,性能也得到改进。然而,这些发展对工厂的工程/维修部门的要求也随之提高。这就是为什么那个仅仅依靠示波器、万用表和对硬件的模糊概念等对一个设备进行故障诊断和排除的时代一去不复返的原因。现在,如果没有非常详细的服务和维护手册以及适当类型的测试仪器,在设备的故障诊断和排除过程中,你很可能一无所获。那些 20 世纪 80 年代的测试仪器现在已经成了历史的纪念品。

当然,如果肯付出足够的时间和努力,多数设备问题仍然可以用万用表和示波器查找到,不过,因为这样做所需要的时间、金钱和人力上的消耗比较多,所以很少有管理人员愿意采取这种方法。对于那些必须使用由现代技术制造的设备工作的人来说,适当的测试仪器就成为不可或缺的东西。

最近几年,发生了两个基础性的变化。其一,现在的设备包含着一些非常小的元件。有时候,它们的引脚、导线和在印制电路板上的连接线是无法用肉眼看到的,因为这些元件被压缩在一个很小的电路区域内。这种紧缩的元件封装形式使印制线路板的修理变得困难重重。其二,在现代数字电路中,信号流程是不连续的。所以,电路无法被很便捷地跟踪到。在复杂的数字电路中,各种电路模块是互相连接在一起的,这种内部互连的电路使精细到元件层次的修理根本不可能实现。现在的设备是电力和机械两方面极其复杂的结合体。这种硬件上的混合将设备维护引领进了一个新纪元——那就是用替换来修理。因此,现在的维护专业人员必须通过系统途径对硬件进行故障诊断和排除。

“用替换来修理”并不意味着对技师的能力要求可以降低。由于科技驱使着设备的设计不断进步,维修的困难也将随之不断增加。这些问题可以通过更好的技术培训得以解决。毫无疑问,全面广泛的培训可以防止设备发生那些影响生产率、员工士气和经济利润的故障。

维护工程的目的,是确保硬件的每一个细微环节都能高质量地工作,这个目标不是仅仅依靠这些环节自身所能达到的,需要通过建立和实施一个良好的维护管理体系来实现。基于这一点,我们将一个独立的章节“设备维护管理”纳入了本书。

对诸如移动电话、便携式摄像机和电子日志之类的电子设备进行维护时,首先必须了解表面封装技术的有关内容。基于印制电路板的表面封装器件的修理和维护,也是本书的内容之一。

预防性的维护是一个好的维护管理体系所应具有的基本内容,也是保障设备可靠性的基本条件,因此,需要给予应有的重视。设备的每一个环节都要求有一个专门的预防性维护工作计划。遵循制造商的维护建议也是我们对用户的忠告。预防性维护的基本原则在本书中专门安排了一章内容,以个人计算机的预防性维护步骤为例进行了说明。

希望这本书能使维护人员更加高效地工作,也希望广大高校学生能从本书的实际例子中受益,进而对维护工程产生兴趣,将它作为一个有价值的职业去追求。

R. S. Khandpur

作者简介

R. S. Khandpur 先生现在是印度旁遮普邦卡泼沙拉镇 Pushpa Gujral 科学城的负责人。

此前,他是印度电子学设计和技术中心(CEDTI)主任,该中心是印度政府通信和信息技术部下属的一个独立自治的科学社团。Khandpur 先生也是印度信息技术部第一个通过 ISO-9002 认定的组织——“印度电子学设计和技术中心,莫哈里”的创始人。

1989 年独立日之际,由于在电子工业作出了杰出贡献,Khandpur 先生获得了由国际研究和发展公司以及 IETE(电子和电信工程师研究院)联合颁发的奖励。他是旁遮普技术大学理事会成员;旁遮普电子公司理事会理事;全印度技术教育理事会会员和特等客座教授。同时,他还是由旁遮普邦政府建立的信息技术展望小组成员。

Khandpur 先生曾经作为一名科学家在昌迪加尔中央科学仪表机构服务了 24 年,这是科学和工业研究理事会(CSIR)的一个子实验室,他是医疗器械部门(1975—1989)和电子设备部门(1986—1989)的负责人。他也是印度第一个用于肿瘤治疗的医用线性加速器项目的研究人员之一,该仪器 1989 年安装在昌迪加尔的 PGI。

Khandpur 先生还是美国 IEEE(电子学和电机工程师协会)会员,IETE(电子学和电信工程师协会)特别会员以及美国医学和生物学工程协会会员。

他有 37 年多的技术研究开发,技术转化,教育培训以及国内国际各种层次的咨询和管理经验。

Khandpur 先生拥有 6 项创新设计专利,7 部专著,发表过 60 多篇论文。

目 录

第 1 章 电子产品的可靠性	1
1.1 电子技术的现状	1
1.2 电子产品的可靠性	3
1.3 可靠性预测	5
1.4 可靠性的快速评估	9
1.5 实际可靠性考虑因素	11
第 2 章 故障检修基础	12
2.1 电子产品的制造	12
2.2 读电路图和绘制电路图	15
2.3 产品失效	18
2.4 产品失效的原因	19
2.5 失效类型	19
2.6 维修技术	20
2.7 电子产品内部	21
2.8 检修流程	22
2.9 寻找故障帮助	24
2.10 检修技术	25
2.11 元器件测试方法	30
2.12 电子设备的接地系统	32
2.13 对温度敏感的断续故障	33
2.14 修理过程	34
2.15 什么情况下不应该维修	35
2.16 通用准则	36
第 3 章 电子测量装置	37
3.1 万用表	37
3.2 示波器	44
3.3 数字示波器	51
3.4 逻辑分析仪	55
3.5 信号分析仪	57
3.6 信号发生器	58

3.7 全桥电路	60
3.8 电 源	61
3.9 光纤测试装置	62
第4章 维修/维护工具和辅助器具	65
4.1 手工工具	65
4.2 “软工具”(化学制品)	72
第5章 焊接技术	76
5.1 什么叫焊接	76
5.2 焊接工具	76
5.3 焊接材料	80
5.4 焊接程序	81
5.5 焊接技术	84
5.6 元件的更换	85
5.7 处理 MOS 设备的注意事项	87
5.8 无引脚电容器的焊接	88
5.9 焊接接头的优劣	89
5.10 解焊技术	90
5.11 安全措施	92
第6章 机械与机电元件	93
6.1 保险管与保险管插座	93
6.2 开 关	96
6.3 导线与电缆	99
6.4 连接件	100
6.5 电路板	103
6.6 变压器	104
6.7 电动机	107
6.8 电磁继电器	107
6.9 电池与电池充电器	108
第7章 无源元件及其测试	111
7.1 无源元件	111
7.2 可调控制	111
7.3 电 阻	112
7.4 电容器	120
7.5 电感器	129

第 8 章 半导体器件的测试	131
8.1 半导体器件的种类	131
8.2 半导体器件的故障原因	131
8.3 故障的种类	132
8.4 半导体器件的测试程序	132
第 9 章 线性集成电路	154
9.1 线性集成电路	154
9.2 运算放大器	154
9.3 运算放大器的特点	157
9.4 典型运算放大器电路	157
9.5 如何参考运算放大器的数据手册	164
9.6 运算放大器电路的故障诊断	166
第 10 章 数字电路故障检修	169
10.1 为何需要数字电路	169
10.2 2 进制系统	169
10.3 真值表	170
10.4 逻辑电路	170
10.5 集成电路逻辑门的特性	176
10.6 逻辑电路系列	178
10.7 CMOS 数字集成电路	179
10.8 基于封装密度的集成电路分类	181
10.9 数字 IC 封装	181
10.10 识别集成电路	182
10.11 IC 引脚	184
10.12 操作 IC	186
10.13 数字电路故障检修	187
10.14 数字 IC 故障检测器	191
10.15 数字电路故障诊断中需要考虑的几个特殊方面	199
10.16 避免静电损坏器件时要注意的事项	199
10.17 触发器、计数器、寄存器的功能与测试	200
第 11 章 微处理器系统的故障维修	211
11.1 微处理器	211
11.2 半导体存储器	217
11.3 微控制器	221
11.4 微处理器系统	221
11.5 检修技术	222

11.6	数据转换器	224
11.7	数据采集系统	225
11.8	检修基于 LSI 系统的特殊方法	226
第 12 章	表面封装电路的维修	229
12.1	表面封装技术	229
12.2	表面封装器件	230
12.3	表面封装半导体元件封装	232
12.4	无源元件的表面封装	237
12.5	表面封装 PCB 的维修	237
12.6	维修站	241
第 13 章	故障检修的典型实例	244
13.1	电源电路	244
13.2	示波器	255
13.3	心电图仪 (ECG)	257
13.4	无绳电话	262
第 14 章	预防性维护	270
14.1	预防性维护	270
14.2	预防性维护工作的说明	270
14.3	电子电路的预防性维护	271
14.4	机械系统的预防性维护	272
14.5	清洗和润滑的指导方法	272
14.6	典型例子——个人计算机的预防性维护	273
第 15 章	设备维护管理	276
15.1	维护管理的目标	276
15.2	维护方针	276
15.3	设备维护选择	277
15.4	维修机构	278
15.5	良好的设备管理程序的重要性	280
15.6	安装过程	282
15.7	实验室维护与保养	283
15.8	文 档	284
15.9	专业素质和工作习惯	287
译者跋		289

第 1 章

电子产品的可靠性

1.1 电子技术的现状

电子产品现在已经渗透到我们生活的各个角落。目前,人类的大部分活动都受电子技术的神秘力量支配,不受其影响的领域很少。以前,我们通过彩色电视机分享了宇航员登上月球这种人类探索外层宇宙空间激动人心的场面;今天我们有机会用电子计算机工作,电子计算机以神奇的速度解决复杂的问题。电子仪器和电子产品现在广泛应用于疾病诊断、监测和治疗等方面,如果没有电子仪器和电子产品,现代医学就会缺胳膊少腿,像残疾人一样。最近几年出现了很多非入侵式医学图像系统,像超声扫描仪、计算机辅助的轴向 X 射线摄影仪及核磁共振系统等,这些图像系统都依赖于计算机来处理大量数据,进行图像重建。

无论是现代战争还是实验室的研究,无论是农业还是气象学,无论是工业过程控制还是无线通信,贯穿这些技术的核心还是电子技术。现代人类生活如果脱离了电子技术将是难以想象的。

最近 10 年电子技术已经发展到很高的水平,特别是在微电子领域,在 1948 年以前,电子管还是所有电子仪器的关键部件(图 1.1),然而这种情形随着晶体管的发明而突然发生变化(图 1.2),晶体管是由威廉·肖克利等三位科学家共同发明的。晶体管代替电子管是因为晶体管体积更小而且效率更高。尽管如此,晶体管在大功率电气处理方面仍然具有局限性,特别是在高频大功率放大领域,真空电子管仍有优势。

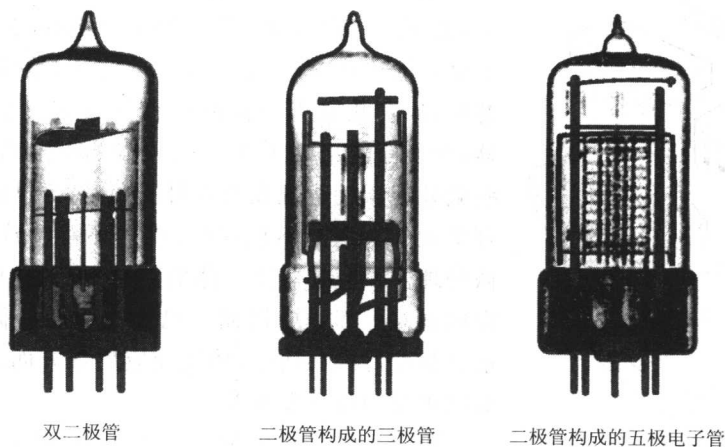


图 1.1 真空电子管

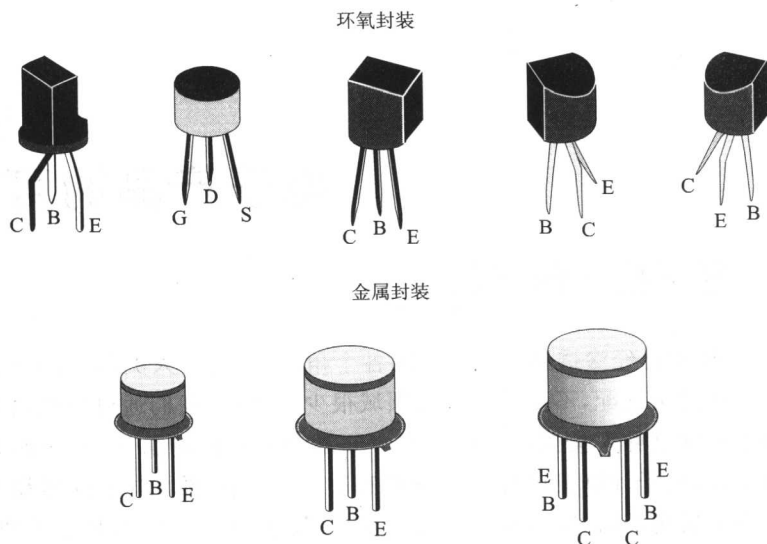


图 1.2 各种各样的晶体管

集成电路技术起源于 20 世纪 50 年代末期,这种技术把大量的电子部件集成在一块单芯片上(图 1.3),集成电路的出现为电子技术的发展提供了巨大的潜力,与之相关的用途和后续开发以惊人的速度发展起来。集成在一块硅片上的晶体管数量以每年增长一倍的速度递增,同时半导体制造商也以高产量制造出高密度芯片。现在已经能把 1 亿 7 千万个晶体管集成在一个芯片上,而芯片面积仅 400mm^2 。

电子技术发展中最激动人心的时刻出现在 1971 年,美国的一家半导体器件制造商 Intel 公司,开发出了世界上第一片微处理器——一个 4 位的微处理器芯片,接着几家半导体制造商开发出 8 位的微处理器,今天已经出现了 16 位、32 位、64 位的处理器,这些微处理器就是现在个人计算机(PC)里面的中央处理单元(CPU)。不仅如此,现在还有单片机,即集成微处理器和存储器于一体的芯片,集成在单片机内的存储器对大部分应用而言已经足够了。微处理器目前在数量、技术、功率、功能和应用等方面以一种令人难以想象的速度发展着。

由于半导体技术的迅速发展,现代仪器设备中,或多或少都涉及半导体器件或半导体技术,而半导体

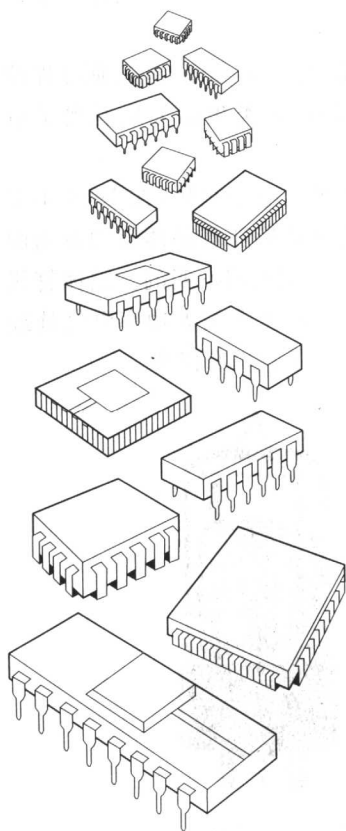


图 1.3 典型的集成电路

器件的使用有一定的技巧,需要专门训练,因此精于现代仪器设备故障维修的人员必须在电路和系统方面有很强的专业知识,这一点对那些产品维修、维护的技术人员来说是有很大的难度的。所以设备管理者为了让设备流畅地在各种场合下可靠运行,就会遇到如何维护仪器设备的难题,因此,制定一套仪器设备的维护基本规范就很有必要。

1.2 电子产品的可靠性

可靠性定义为“在某段时间内,在给定的条件下某种产品完成(没有故障)所要求功能的能力”。例如,我们说 200h 内,温度在 25℃ 时,计算机的可靠性是 98%,这就意味着在 200h 内计算机不会出故障的概率是 98%。

为了完整地描述某种产品的可靠性,这种产品可能是某些器件、设备或系统,必须对这种产品的工作环境有详细的描述,这些环境包括温度及其温度的变化,气候条件如湿度、空气的清洁度、是否有冰雪,还有机械条件如振动的振幅和频率,以及电气和电磁条件。产品工作的可靠性不能超出所给定的工作条件范围。

产品的可靠性大部分依赖于它应用于哪个领域。例如,卫星上使用的通信设备的可靠性必须特别高,因为卫星在运行时,设备出了故障无法修理;另一方面,尽管有些情况下设备故障是可以维修的,但对可靠性的要求也很高,例如飞机上的电子设备、医疗电子仪器、生命保证系统和在工厂运行的过程控制设备,如果这些设备或仪器出了故障,那么产生的损失将会特别大。

小型固态电子器件,特别是 LSI(大规模集成电路)和 VLSI(超大规模集成电路),它们在发展过程中可靠性得到很大的提高,这是因为集成电路的所有器件都集成在一个芯片内,与影响它们可靠性的环境如湿度、温度和振动完全隔离,并且也没有焊接点和接插件。这种技术也使别的分立元件、机械部件和印制电路板的可靠性得到很大改善。尽管如此,器件故障仍然时有发生,影响产品的性能。

产品或系统的故障可能来源于其内部某一器件的失效,对器件的失效机制和故障现象已经有了大量研究,研究者和操作人员通过大量的失效数据和经验,得出了器件的失效率,如图 1.4 和 1.5 所示。

传统的可靠性浴缸曲线(图 1.4)表明部件寿命分三个阶段。第一阶段,失效率以一个很高的概率开始,随着时间的推移快速下降,这个阶段称为早期失效阶段(IFR),这个时期有一个快速下降的失效斜率(DFR)。早期失效率阶段后面就是稳定状态阶段,这个阶段通常很长,也称为偶发失效阶段,这个阶段贯穿设备的使用周期,稳定状态阶段是我们对器件寿命最感兴趣的一段时间,称之为正常工作周期。借助这个概率理论,可以预测在这个周期的可靠性几率。最后,这个曲线的末端是第三阶段,超出了器件的使用期限,这个阶段可以观察到一个上升的失效曲线,这是一个使用年限到期磨损过度故障率高发的时期,叫损耗阶段。传统的浴缸曲线通常在热阴极电子管和机械部件等的寿命周期中都能看到。

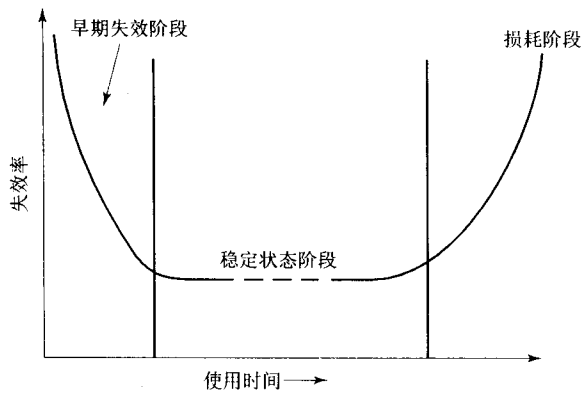


图 1.4 传统的可靠性浴缸曲线

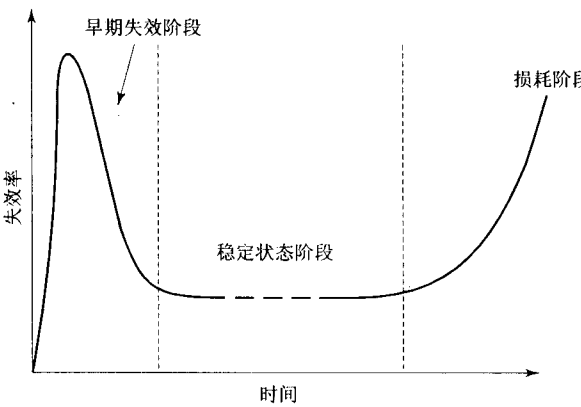


图 1.5 改良可靠性浴缸曲线

在许多系统中,有类似失效曲线的部件到达它可靠性的最后阶段的时间是可以预先估计的,因此可以提前分辨和替换快要失效的部件,这样做的话,设备的使用寿命可以延长很多。显而易见,损耗阶段与一个固定状态的设备没有关系。

与现代微电子器件更接近的可靠性曲线是对传统浴缸曲线的进行改进的曲线,也称为改良可靠性浴缸曲线(图 1.5)。这条曲线包含了 4 段阶段曲线,最后两个阶段与传统浴缸曲线类似。第一个阶段包含一个早期失效阶段,刚开始时失效率快速上升,然后到达一个最高点,接着就是一个失效率迅速下降的阶段,也就是第二阶段。不管是传统浴缸曲线还是改良浴缸曲线,在性能稳定期之前的早期失效阶段包括了所有故障现象。因此,对有高可靠性要求的产品而言,把它们交给用户之前,这些产品必须运行一个短时期,确保在这段时间内出现的故障能马上排除,以免在产品工作期间出问题。

大多数产品在早期失效阶段出现故障是因为产品在装配过程中的质量问题,而产品在用户使用过程中出现问题一般是产品中的某个器件出现了故障。

电子器件大部分是硅集成电路,在使用时有一个特点,或者能长时间可靠运行,或者刚开始运行时就出现故障。为了提高产品可靠性,必须在把产品提供给用户之前筛选出不合格的器件,方法就是在一个压缩了的时间和空间内,模拟器件或系统运

行的电气或热环境,进行加速老化运行,然后通过一个短时期的评估,可以预测器件在装配和使用后的损耗阶段在什么时候开始。

通常,器件的老化条件可以任意选择。例如,电子器件的老化条件一般在 125°C 的温度下运行 168h(一周),这个老化时间相当于大部分电子器件在正常温度下运行一年的时间。器件老化技术使器件通过了早期失效阶段,老化运行后出现故障的器件在交给用户之前就被挑选出来了,减少了产品的失效率和生产成本,从而减少了产品的维修成本,这样有助于提升产品形象,并且利于产品的重复性生产。另外,在极端环境的应用场合和不可维修设备上器件的老化是一项必须要做的工作。

1.3 可靠性预测

在现代充满竞争的市场上,用户希望生产商提供值得信赖的产品,如果产品出现故障,也希望能迅速维修。用户对产品的信任度取决于产品的“可靠性”特征,而产品能迅速维修取决于产品的“可维护性”特征。虽然可靠性和可维护性技术传统意义上集中于产品寿命周期的前后两个阶段,但这些技术也可以用于正在使用的产品或系统上,这样可以避免或减少在主要设备方面的昂贵重复投资。

为了预测组装的电子产品的工作寿命和故障间的间隔时间,必须把产品内的每种电子组件的稳定状态阶段和损耗阶段都测试出来,从这些测试可以得出每种电子器件的失效概率,从而可以计算出整个组装产品的工作寿命,当然前提是器件必须是那些经过了筛选和老化的器件。

偶发故障出现于器件的状态稳定阶段,这个稳定阶段位于浴缸曲线的底部,是一条平坦的直线。因为器件的偶发故障与时间没有关系,所以可以对这个阶段做大量的测试实验,对得到的实验数据进行预测统计分析。假设有 N 个器件通过了早期失效阶段的测试,测试持续时间为 T ,出现故障次数 F ,那么每个器件的“故障平均时间”(MTTF)是:

$$\text{MTTF} = (NT)/F \quad \text{小时}$$

每个器件的平均故障率(K_c)是 MTTF 的倒数:

$$K_c = F/(NT) \quad \text{每小时}$$

如果一个组装后的产品或系统中有 N 个器件,那么该产品或系统的失效率(K_s)是:

$$K_s = NK_c$$

这意味着系统的平均故障时间仅是每个器件平均故障时间的 $1/N$ 。

出现故障的概率 f ,等于它们在整个使用寿命期间出现的故障次数除以测试器件的总数。对于一块集成有 N 个器件和接插件的电路板而言,在使用寿命期限内失效概率是 fN ,因此,如果一块电路板集成了大量的器件和接插件,而这个器件和接插件的失效率是已知的,那么超过使用期限后预测 N 个器件的失效率是可能的,电路板失效的百分率可能是没有故障、1 个故障或 2 个故障等等。

性能稳定阶段出现的故障不依赖于使用了多长时间,而产品损耗阶段的故障与

使用时间关系密切。因此,大多数测试损耗阶段的方法是一直测试这个器件直到它损坏为止。对大多数器件而言,损耗阶段大约是10~20年。显然,前面的测试方法既不实际也不可行。实际上,一个符合浴缸曲线器件的可靠性测试一般采用加速老化的测试方法,这种方法以一种人工控制的方法进行,时间可以大大压缩。人工控制基于一种加速测试机理,例如增加测试的温度、湿度、电气参数或各种参数的组合。

1.3.1 失效率

对任何产品或系统的可靠性进行预测,就必须了解构成这种产品或系统的各个器件的可靠性数据,前面已经解释了器件的浴缸失效曲线,失效率定义为器件在其使用寿命期间内出现故障的数量。

器件的失效率可以使用大量的器件在某段时间内出现的失效总和计算出来,例如,假设用1000只晶体管测试,在1000h内有25个出现故障,那么它的失效率就是:

$$\begin{aligned}\text{失效率} &= 25 \text{ 个}/1000\text{h} \\ &= 2.5 \times 10^{-5} \text{ 个}/\text{h}\end{aligned}$$

通常失效率用百分比表达,如下面所示:

$$\begin{aligned}\text{失效率} &= 25/1000 \times 100\% \\ &= 2.5\%\end{aligned}$$

1.3.2 平均故障时间

用失效率数据,可以计算出“平均故障时间”(MTTF)。如果系统中有一只使用的晶体管,则

$$\begin{aligned}\text{MTTF} &= 1/2.5 \times 10^{-5} \\ &= 40000\text{h} = 1666\text{d}\end{aligned}$$

如果在一个系统使用大量的晶体管,那么出现故障的机会是很大的。MTTF也可以基于器件的寿命测试结果来计算。例如,如果拿5只晶体管进行测试,它们损坏的时间分别是400h、500h、750h、300h和600h,那么总的测试时间是2550h,MTTF可以用下面的等式算出:

$$\text{MTTF} = 2550/5 = 510\text{h}$$

MTTF这个指标通常应用在那些不能修理或坏了就扔掉的器件中,这种器件如电阻、电容器、热阴极电子管、二极管和晶体管等。

1.3.3 平均故障间隔时间

一台设备或系统出现故障前的平均运行时间预测由“平均故障间隔时间”(MTBF)指标给出,设备的MTBF的测试依靠下面两个参数:测试时间 T ,出现的故障数 M 。每次出现故障后进行修理,然后再进行测试,总测试时间不包括修理时间,很明显,MTBF由下面的公式给出:

$$\text{MTBF} = T/M$$

这个测试到的值并不是实际的MTBF,因为设备通常仅在它的寿命周期中的一个短时段进行测试,测试值可能有随机采样误差,测试数据容许这种采样误差。

对大多数电子设备而言,其失效率在使用期间基本恒定,在这种情况下,MTBF

可以从下面的公式得到:

$$MTBF = 1/\text{失效率}$$

可以用前面举例用过的晶体管来说明这个概念,假设一个产品包含 100 只晶体管,每只晶体管的失效概率是 $2.5 \times 10^{-5}/h$,那么这个产品的失效概率就是 $(2.5 \times 10^{-5} \times 100)/h$,即 $2.5 \times 10^{-3}/h$,因此

$$MTBF = 1/2.5 \times 10^{-3} = 400h$$

MTBF 概念可以应用到任何产品中,产品故障可以通过更换损坏了的器件进行修理,显然,具有高 MTBF 值的产品更加可靠,用户也更愿意使用。因此,MTBF 提供了一个方便的可靠性参考数据。

估计产品的 MTBF 首先要确定产品内每个器件的失效率,把各个部件的失效率加起来计算出产品失效率的总和。如果一个简单电路使用了 4 个器件,那么电路的失效率由下面公式计算:

$$\text{电路失效率} = FR_1 + FR_2 + FR_3 + FR_4$$

$$\text{电路 MTBF} = 1/\text{电路失效率}$$

器件的失效率通常从器件生产商那里获得,器件失效率主要依赖于器件的生产方法和使用环境,表 1.1 列出了通常使用的电子器件的典型失效率。

表 1.1 常用电子器件的典型失效率

器 件	类 型	失效率($10^{-6}/h$)
电 阻	碳合成	0.05
	碳膜	0.2
	金属膜	0.03
	线绕	0.1
	可变电阻	3
电 容 器	纸质	1
	聚酯	0.1
	陶瓷	0.1
	钽(固态)	0.5
	电解(铝箔)	1.5
半 导 体(硅)	单向二极管	0.05
	整流器	0.5
	晶体管(1W)	0.08
	功率晶体管(1W)	0.8
	线性 IC(塑料 DIL)	0.3
	数字 IC(塑料 DIL)	0.2
开 关	接触	0.1
灯	LED	0.1
	灯丝型	5
阀	热电子型	5
线绕器件	变压器(每圈绕组)	0.4
	RF 线圈	0.8
连接件	固定接头	0.01
	插拔件	0.05
	弯曲接头	0.02

1.3.4 可用性

大多数人都关心一个产品能维持其操作的时间,即产品的可用时间(u)。如果产品非工作时间为 D ,那么产品的可用性定义为

$$\text{可用性} = u / (u + D)$$

$$\text{不可用性} = D / (u + D)$$

产品可用性涉及很多后勤保障条件,包括:

- (1) 运行和储存环境(温度、湿度、振动等)。
- (2) 维护程序(周期性、预防性)。
- (3) 产品配置和布局。
- (4) 备件的可性。

1.3.5 维修性

维修性是指经过专业训练的维修人员,按指定的维修程序和维修工具使产品恢复到一种规定状态能力的度量。

换一句话说,维修性是在规定条件下,使用的产品在规定时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到能完成规定功能的能力。

维修工程师的责任是让产品的维修时间最短化,维修性和维修的区别是:维修性是设计产品时附加在产品中的一种特性,而维修是指产品在使用过程中出现故障时使其恢复正常功能的一种操作。

1.3.6 平均修复时间(MTTR)

实际上,产品可能具有很高的可靠性(在使用时出现故障的机会很少),但当出现故障时,如果停工时间和维修时间太长,这种产品的可用性就不高。因此,在某些情况下,例如即使在维修上花几个小时也证明代价很高,那么平均维修时间(MTTR)就是一个选择产品的重要指标。按照定义,MTTR 是产品出现故障不能工作到恢复正常功能的平均时间,因此 MTTR 严格依赖于产品的设计。进一步假设维修人员和维修备件准备充分,后勤保障也没问题,那么 MTTR 仅仅包括故障诊断、故障定位和修理的时间。MTTR 也可以用 MCMT(平均校正时间)代替。

MTTR 可以用在产品或系统的可靠性预测方面,用这个指标可以计算产品的可用性。可用性是产品在任何时候可以正常运行的概率,由 MTTR 和 MTBF 决定,通过下面的等式表达:

$$\text{可用性} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

MTTR 由几个因素决定,这些因素需要在产品的设计过程中仔细考虑,产品中的各种电路板和装配件必须很容易接近和拆卸。直接影响 MTTR 并减少这个时间的一些因素分类如下:

- (1) 理解用户手册中电路器件图、器件表列、拆卸步骤、电压和电压波形的测试点、故障定位树等。
- (2) 了解产品的正确结构特性,如电路板、仪表板等组装件如何正确安装和拆卸,