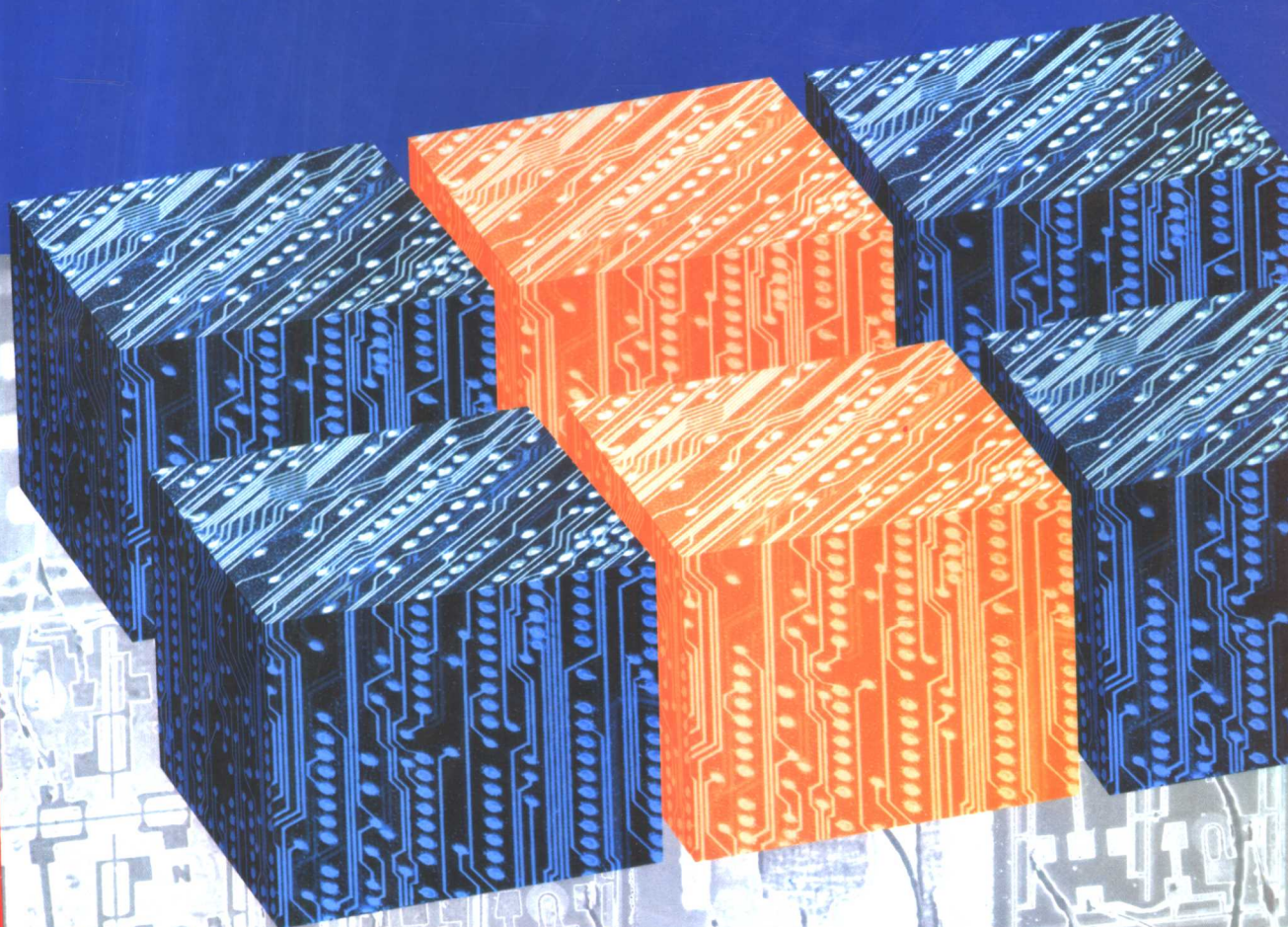


印制电路板的 可靠性设计

黄书伟 卢申林 钱毓清 编著



<http://www.ndip.cn>

國防工業出版社

印制电路板的可靠性设计

黄书伟 卢申林 钱毓清 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

印制电路板的可靠性设计/黄书伟等编著. —北京:
国防工业出版社, 2004.6

ISBN 7-118-03465-7

I. 印... II. 黄... III. 印刷电路板(材料) - 可靠性 - 设计 IV. TN41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 038921 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 286 千字

2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 24.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

序 言

产品的可靠性是产品的一个重要指标,以往可靠性被忽视。一部产品的可靠性发展史,就是产品不可靠的教训史。

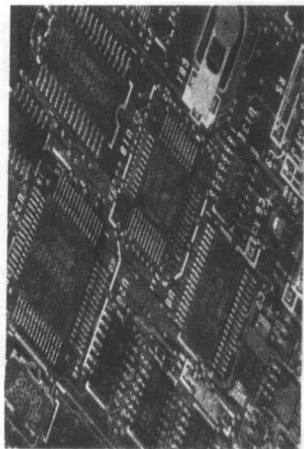
产品的可靠性直接影响到产品的使用价值,尤其是对于军用通信设备,更具有特别重要的意义,军用通信设备是战争的千里眼、顺风耳,一旦发生故障,指挥则会失灵,从而影响整个战局。

产品的可靠性不仅影响生产公司的前途,而且影响到使用者的安全。可靠性好的产品,不但可以减少公司的维修费用,而且可以很快就打出品牌,大幅度提升公司形象,增加公司收入;我们之所以选择知名品牌,最主要是因为它能在我们期望的时间可靠地工作(也就是不会坏)。提升产品的可靠性,是打出品牌的必经之路。

在我国,尤其是电子方面,很多工程师不重视或者忽视电路板的可靠性,在设计过程中,只注重原理和功能的设计,在设计好原理图后,认为布线只要布通就可以了,而不考虑电路板在一个产品中的重要性、电路板出故障或问题的概率、电路中信号的完整性、电路的 EMI 和 EMC 特性。随着产品的可靠性发展和越来越受到重视,在设计时不再是简单的导线连接,而是必须考虑电路中信号的完整性、电路的 EMI 和 EMC 特性。

印制电路板的可靠性是目前很多工程师需要注意的问题,电路的可靠性直接影响整个产品的性能,但是国内目前介绍可靠性方面的书籍非常少,尤其是电路方面可靠性的设计,只是在网站上有一些简单的、不成系统的、单一方面的介绍可靠性的文章。

为了能够提供给大家一个系统的、全面的印制电路板可靠性设计书籍,为大家设计电路提供强有力的帮助,本书作者根据自己多年的实践和理论经验以及与众电子工程师、印制电路板设计工程师、可靠性设计工程师、可靠性检测工程师的讨论和请教,取得了第一手的资料,在此向他们表示衷心的感谢。同时,也参考了网上部分资料的内容,在此也表示衷心的感谢。



本书通过精心筛选,力求在有限的篇幅里阐述更多更全面的可靠性设计的知识,力求叙述严谨、通俗精炼、言简意赅。同时,因为该书是一本实践性很强的工具书,所以在书中有些地方直接给出了最后的结论或者设计方法,目的是做到通俗易懂,减少理论的说教。该书适合作为广大电子工程师、印制电路板设计工程师、可靠性设计工程师、可靠性检测工程师以及高校在校学生的教科书和电路设计指导工具书。

本书由下列人员共同编写:钱毓清、黄书伟(第1章),黄书伟(第2章至第6章,并负责全书的统稿工作),卢申林(第7章、第9章),卢申林、钱毓清(第8章),钱毓清(第10章),张立(第11章)。

本书的出版得到了赵丹玲、何小斌、朱黎、胡秀兰等大力支持和帮助,他们提出了很多宝贵的意见和建议,写作了部分内容的初稿;全书由赵丹玲负责插图的排版,徐德强负责插图的设计。同时,对本书参考文献作者以及支持此书出版的人们致以最真挚的谢意!

本书根据科研成果和工程实践经验编著而成,由于编者水平有限,难免有疏漏或者错误之处,恳请读者批评指正。

编者

内 容 简 介

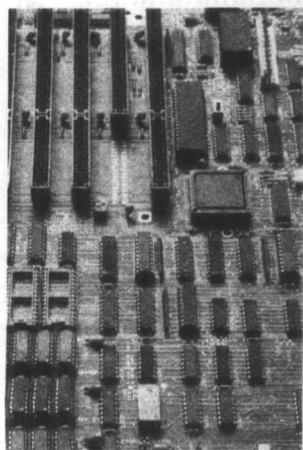
产品的可靠性是产品的重要指标,它直接影响到产品的使用价值。印制电路板的可靠性是目前广大电路工程师广泛关注的问题。为了提供一本系统、全面介绍 PCB 可靠性设计书籍,为设计电路提供强有力的帮助,本书作者根据多年的实践和理论经验以及与电路工程师的交流,在 firsthand 资料的基础上,编著了本书。

为了在有限的篇幅里阐述更多更全面的可靠性设计知识,本书内容通过精心筛选,力求叙述严谨、通俗精炼、言简意赅。同时,因为着重于实践,所以本书在有些地方直接给出结论或者设计方法,目的是做到通俗易懂,减少理论说教。

本书可以作为广大电子工程师、PCB 设计工程师、可靠性设计工程师、可靠性检测工程师以及高校学生的教科书或可靠性设计指导工具书。

目 录

第1章 可靠性概述	1
1.1 “可靠性”一词的来源	1
1.1.1 起源	1
1.1.2 开始进入工业界	1
1.2 可靠性的发展	2
1.3 可靠性的定义	3
1.3.1 可靠性定义的说明	3
1.4 可靠性的重要性	5
1.5 可靠性指标	6
1.5.1 可靠度	6
1.5.2 平均故障间隔时间	6
1.5.3 失效密度	7
1.6 可靠性设计	8
1.6.1 可靠性分析	8
1.6.1.1 串联系统	8
1.6.1.2 并联系统	9
1.6.2 可靠性预计	10
1.6.3 可靠性试验	11
1.6.3.1 环境测试	11
1.6.3.2 EMC测试	12
1.6.3.3 外观测试	12
1.6.3.4 寿命测试	13
1.6.3.5 软件测试	13
1.7 提高设备可靠性的技术措施	13
1.8 印制电路板的可靠性设计	15
第2章 PCB设计	16
2.1 PCB的几个基本概念	16
2.2 印制电路板设计步骤	19
2.2.1 电路原理图的设计	19
2.2.2 网络表的生成	20
2.2.3 印制电路板的设计	20
2.3 原理图设计	23



2.3.1	开启设计环境	23
2.3.2	设置原理图环境	27
2.3.3	加载元器件库	27
2.3.4	元器件放置	29
2.3.4.1	元器件选取放置	29
2.3.4.2	元器件属性设置	30
2.3.4.3	电源和地线连接	32
2.3.5	电气连接	33
2.3.5.1	放置导线	33
2.3.5.2	放置接点	34
2.3.5.3	绘制总线	34
2.3.6	ERC 检查	35
2.3.7	文件整理保存、打印输出	36
2.4	PCB 设计	37
2.4.1	印制板的层数添加	37
2.4.2	绘制自定义封装库	42
2.4.3	导入网络表	44
2.4.4	布局	44
2.4.5	布线	47
2.4.5.1	设置布线规则	47
2.4.5.2	布线	52
2.4.5.3	修改布线	55
2.4.6	DRC 检查	56
2.4.7	整理文档、制板	56
第 3 章	PCB 可靠性布局	59
3.1	规划 PCB 板的基本结构	59
3.2	元器件的合理布局	60
3.2.1	布局原则	60
3.2.2	元器件的布局	61
3.2.2.1	元器件放置	62
3.3	布局的检查	64
3.4	BGA 布局布线	65
3.4.1	BGA 封装	65
3.4.2	BGA 布局布线注意事项	66
3.4.3	BGA 焊接	68
3.4.3.1	BGA 器件焊接点检测中存在的问题	68
3.4.3.2	BGA 器件检测方式的探索	69
第 4 章	PCB 板叠层和阻抗设计	71
4.1	电路板的层叠	71

4.2 特性阻抗	73
4.2.1 特征阻抗	73
4.2.2 特性阻抗的计算	73
4.2.3 阻抗控制和阻抗控制	74
4.3 标准阻抗叠层设计模板	75
4.3.1 标准阻抗模板的说明	75
4.3.2 模标准阻抗板类型	76
第5章 高速信号布线的可靠性	92
5.1 高速信号的传输线效应	92
5.1.1 高速信号的确定	92
5.1.2 传输线效应	93
5.1.2.1 传输线的定义	93
5.1.2.2 传输线效应	94
5.1.3 传输线高频特性分析	97
5.1.4 避免传输线效应的方法	98
5.1.4.1 控制关键信号线的走线长度	99
5.1.4.2 合理叠层和特性阻抗	99
5.1.4.3 合理规划走线的拓扑结构	99
5.1.4.4 抑止电磁干扰的方法	100
5.1.4.5 其他可采用技术	100
5.2 高速信号布线技巧	100
5.3 蛇形走线	103
5.4 高速时钟信号布线	104
5.5 过孔	106
5.5.1 过孔的分类	106
5.5.2 过孔的分布参数	107
5.5.2.1 过孔的寄生电容	107
5.5.2.2 过孔的寄生电感	108
5.5.3 过孔模型的高频特性分析	108
5.5.4 过孔和树桩对单端阻抗的影响	110
5.5.5 高速 PCB 中的过孔设计	112
5.6 布局布线技术的发展方向	113
第6章 电源的可靠性设计	116
6.1 电源的可靠性设计	116
6.1.1 确定电源种类	116
6.1.2 估算电流,确定电源线宽	117
6.2 地线的可靠性设计	117
6.2.1 地的分类	117
6.2.2 接地方式	119

6.2.2.1 单点接地	119
6.2.2.2 多点接地	120
6.2.2.3 混合接地	121
6.2.2.4 悬浮接地	121
6.2.3 接地电阻	121
6.2.3.1 对接地电阻的要求	121
6.2.3.2 降低接地电阻的方法	122
6.3 去耦电容配置	123
6.3.1 去耦电容的分类	123
6.3.2 去耦电容的大小	123
6.3.3 合理布置去耦电容	124
6.3.3.1 电容的等效模型	124
6.3.3.2 电容引线的作用	124
6.3.3.3 温度对电容的影响	125
6.3.3.4 电压对电容的影响	126
6.3.4 合理的布置去耦电容	127
6.4 跨分割问题	128
6.4.1 跨分割问题	128
6.4.2 跨分割走线的危害	130
6.4.3 避免跨分割的办法	132
6.5 隔离技术	132
6.5.1 信号隔离	133
6.5.2 隔离信号布局布线	134
第7章 PCB 热设计	136
7.1 散热的基本知识	136
7.1.1 热传递	136
7.1.2 导热片	138
7.1.3 热管	139
7.2 热设计	140
7.2.1 散热	141
7.2.1.1 散热解决方案	141
7.2.1.2 风扇散热	141
7.2.2 热设计的一般准则	144
7.2.3 热设计的检验	145
7.2.3.1 热电偶	145
7.2.3.2 温升测试	146
7.3 PCB 热设计	146
第8章 环境因素影响	149
8.1 环境剖面	149

8.1.1	产品运输环境	149
8.1.2	产品存储环境	150
8.1.3	环境因素与失效的关系	150
8.2	环境应力筛选试验	154
8.2.1	环境应力筛选定义	154
8.2.2	环境应力筛选分类	155
8.2.3	项目与应力的确定	157
8.2.4	高效应力筛选	157
8.2.5	注意事项	159
第9章	温湿度设计	160
9.1	温度和湿度基本知识	160
9.1.1	温度	160
9.1.2	湿度	160
9.2	温湿度测试	162
9.2.1	温湿度试验	162
9.2.2	温湿度测试和失效	164
9.2.2.1	高温高湿操作	164
9.2.2.2	温湿度循环	164
9.2.2.3	高温储存	165
9.2.2.4	低温操作	165
9.2.2.5	热冲击	166
9.2.2.6	湿度	166
9.2.2.7	老化测试	168
9.3	具体案例分析	168
9.3.1	电阻失效	168
9.3.2	电路板焊锡破裂	169
9.3.3	PCB板非正常关机	170
9.3.4	PCB板工作不正常	171
9.3.5	PCB板漏电流增大	171
9.3.6	PIN脚焊锡断裂	173
9.3.7	PCB低温下不能开机工作	174
9.3.8	PCB高温后不能开机工作	176
第10章	振动与冲击	177
10.1	振动与冲击简介	177
10.2	振动与冲击的影响	177
10.3	振动与冲击的预防	178
10.3.1	抗振设计	179
10.3.2	振动与冲击试验	179
第11章	PCB的EMC设计	181

11.1 EMI 和 EMC	181
11.1.1 电磁干扰	181
11.1.2 电磁兼容	182
11.1.3 电磁兼容标准	183
11.1.4 电磁污染和危害	184
11.1.4.1 电磁污染	184
11.1.4.2 电磁干扰的危害	184
11.2 EMC 设计	186
11.2.1 EMC 设计金字塔	186
11.2.2 电磁屏蔽	187
11.2.3 滤波	187
11.2.4 电源、接地技术	188
11.3 PCB 的 EMC 设计	188

第 1 章 可靠性概述

1.1 “可靠性”一词的来源

1.1.1 起源

第二次世界大战中,美国自己认为其军工技术是高超的,但事实上却相反,在许多地方都暴露了它的缺陷。

例如,根据已公开的统计,在美军运到远东的武器中,60%的飞机不能使用,电子设备有50%在库存中就发生了故障,轰炸机的电子设备寿命仅有20h,海军用的电子设备70%是有故障的。而大部分故障都是发生在军用机器的心脏部分——电子设备。

据说这些事实使美国政府感到震惊,因而军方和民用企业共同努力,开展了可靠性的研究。这就是可靠性问题真正受到重视的开始。

开始时,可靠性问题是专门针对电子管的,并且是以军方的研究为主,并成立了一系列研究机构和组织。经过它们的研究,结果确定了高可靠度的规格,除电气特性之外,还提出了振动、冲击等环境因素。与此同时,振动和冲击的试验、测量等技术也进一步发展起来了。

20世纪50年代,可靠性研究的范围从电子管扩大到整套电子设备,走上了轨道。1950年,美国国防部成立了电子设备研究小组,陆海空三军中也分别开展了电子设备和元器件的可靠性研究工作。

1952年8月,美国国防部设立了著名的电子设备可靠性咨询小组(AGREE, Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment)。

电子设备可靠性咨询小组于1957年7月提出了报告。报告以生产、试制时的可靠性测量方法为主提出了许多建议,成为以后军用品生产的规格和相继而来的许多研究工作的基础。依据这份报告可以认为,到这个时期为止,可靠性问题的方向已具体地确立了。

1.1.2 开始进入工业界

对可靠性进行正式研究和可靠性概念的确立,是军方的迫切要求,但它的思想却广泛地影响了整个工业界。这个历程与质量管理的发展过程是很相似的,即与质量管理是以美国著名的战时标准Z1—1.2.3为基础扩展到整个工业界的情况完全相同。从另外一种角度来说,也可以认为从20世纪30年代开始慢慢发展起来,在20世纪50年代迅速渗透到美国工业界中去的质量管理,在质量的保证方面考虑得还有不够完善之处。

1954年,在纽约召开了美国第一次可靠性和质量管理专题讨论会。此后,每年由美国学术界联合召开国际会议。与军方签订了主要合同的公司大都成立了可靠性的专门机构,也有许多公司还与质量管理部门和企业管理部门并列地设置了可靠性的专业部门,在

急切要求质量管理技术人员的同时,也非常需要可靠性技术人员。

1.2 可靠性的发展

一部产品的可靠性发展史,就是产品不可靠的教训史。随着社会的发展,对产品的故障率要求更加严格。特别有些电子设备在使用的关键时刻出现故障,造成的经济损失就更大了。如美国 1957 年发射的“先锋号”卫星中,由于一个价值 2 美元的元器件出现故障,造成了直接价值 220 万美元的损失。1971 年,苏联 3 名航天员在“礼炮号”飞船中由于一个部件失灵而丧生。美国航天局在 1978 年、1979 年 3 次火箭发射失败,造成直接经济损失达 1.6 亿美元。苏联的“联盟 11 号”宇宙飞船返回时,因压力阀门提前打开而造成 3 名航天员全部死亡。1986 年 1 月 28 日,美国“挑战者号”航天飞机起飞 76s 后爆炸,其中 7 名航天员丧生,直接经济损失达 12 亿美元,这次事故的直接原因是因为一个密封圈不密封而引起的。

“千里之堤,溃于蚁穴”,成千上万工程技术人员的劳动成果,几千万甚至上亿元的资金和成本就因为工作中的一点疏漏,一个小小元器件、零部件的失效或一根导线的失效而毁于一旦。因此随着经验和教训的积累,在发达国家不断提高对产品可靠性的重视程度。

20 世纪 50 年代是发达国家可靠性兴起和形成年代,主要用在军方。为了解决军用电子设备和复杂导弹系统的可靠性问题,开展了可靠性技术研究,成立了军用电子设备可靠性咨询小组,开展了全面的可靠性发展计划,但可靠性管理还未提到议事日程,也没有用于民用产品。

20 世纪 60 年代是发达国家可靠性工程全面发展的阶段,也是发达国家武器系统研制全面贯彻可靠性大纲的年代。在这 10 年中,对重点武器装备系统开始了可靠性管理,形成了一套可靠性设计、试验和管理标准,如 MIL-HDBK-217、MIL-STD-781 和 MIL-STD-785 等。在工业界和各企业中,对重点工程和重点可靠性工作项目实施了管理。

20 世纪 70 年代是发达国家可靠性工程和理论步入成熟的阶段。主要特点是建立集中统一的可靠性管理机构,负责组织协调可靠性政策、标准、手册和重大研究课题等,成立可靠性数据网。各企业也纷纷成立可靠性管理组织机构,对产品可靠性指标分配、预计、可靠性设计、可靠性分析、可靠性试验、数据交换等进行可靠性设计、分析和测试。

20 世纪 80 年代以来,发达国家可靠性工程向着更深、更广的方向发展。在管理上,加强集中统一管理,强调可靠性及维修性管理制度化;在技术上,深入开展软件可靠性、机械可靠性,全面推广计算机辅助设计(CAD, Computer Aided Design)技术在可靠性工程中应用,积极采用模块化、综合化、容错设计、光导纤维和超高速集成电路等新技术来全面提高现代产品的可靠性。在发达国家产品的可靠性越来越受到重视,产品的设计和测试都必须有可靠性报告。

我国的可靠性工作起步较晚,20 世纪 70 年代才开始在电子工业和航空工业中初步形成可靠性研究体系,并将其应用于军工产品。其他行业可靠性工作起步更晚,差距更大,与先进国家相比落后 20 年~30 年,虽然国家已制订可靠性标准,但尚未引起所有企业的足够重视。为什么人们宁愿多花钱买进口汽车、进口设备呢?究其原因就在于国产的产品可靠性差。因此,可靠性问题必须引起政府和企业的高度重视,抓好可靠性工作。

随着市场经济的发展,竞争日趋激烈,人们不仅要求产品物美价廉,而且十分重视产品的可靠性和安全性。因为一台产品往往由于一个部件或零件的失效,而带来整机失效,甚至会带来人员伤亡事故。日本的汽车、家用电器等产品,虽然在性能、价格方面与我国彼此相仿,却能占领发达国家以及国际市场,主要的原因就是日本的产品可靠性胜过我国一筹。发达国家的康明斯、卡勃彼特柴油机,大修期为 12000h,而我国柴油机不过 1000h,有的甚至几十小时、几百小时就出现故障。我国生产的电梯,平均使用寿命(指两次大修期的间隔时期)为 3 年左右,而国外的电梯平均寿命在 10 年以上,是我们的约 3 倍;故障率,国外平均为 0.05 次,而我国为 1 次以上,高出约 20 倍。这样的产品怎么有竞争力呢!因此要想在竞争中立于不败之地,就要狠抓产品质量,特别是产品可靠性。没有可靠性就没有质量,企业就无法在激烈的竞争中生存和发展。

在我国,尤其是电子方面,很多工程师不重视或者忽视电路板的可靠性,在设计过程中,只注重原理和功能的设计,在设计好原理图后,认为布线只要布通就可以了,而不考虑电路板在一个产品中的重要性、电路板出故障或问题的概率、电路中信号的完整性、电路的 EMI(Electromagnetic Interference, 电磁干扰)和 EMC(Electromagnetic compatibility, 电磁兼容)特性。但是随着产品的可靠性发展和越来越受到重视,在设计时不再是简单的导线连接、而是必须考虑电路中信号的完整性、电路的 EMI 和 EMC 特性。

1.3 可靠性的定义

可靠性一词有狭义和广义两种解释。从广义上来说,可靠性是指消费者对产品满意的程度,或对企业信赖的程度。但是这些都是由主观上来判定的,如要对可靠性作出具体的定量判定,就有必要为可靠性作出更为客观的解释。这不是本书中要谈到的可靠性。狭义上的可靠性是有客观的科学定义的,现在工业界广泛地使用如下的定义:

所谓可靠性,就是在给定条件下和规定时间内,元器件、设备或者系统完成规定功能的概率。

1.3.1 可靠性定义的说明

可靠性定义是一个科学的概念,对这一定义有必要加以说明。

1. 可靠性具有定量性

所谓可靠性,并不是平常所说的那种可靠或不可靠,它不用“非常可靠”或“相当可靠”之类的方式来表达,而是要求用概率(Probability)来作定量的、客观的表示。特别是当强调定量表示时,可靠性有时被称为“可靠度”。

2. 问题的对象

“零件、器件、设备或系统”是可靠性问题的主要对象。就单一的零件例如电阻、电容器等来说,也有电阻值、电容值等量值本身及每种零件中的偏差问题。此外,还有随时间而变化的问题,这些当然也将成为可靠性研究的对象。

设备是由若干个器件装配而成的,它的可靠性比起单独一个器件来要复杂多了,这是因为设备组装的情况对可靠性有很大的影响。再将若干个设备组装起来,就成为系统。广义地说,系统一般也包括有关的人员。

系统是由某些彼此相互协调工作的零件、部件、子系统组成,以完成某一特定功能的综合体。组成系统并相对独立的机件,通称为单元。系统与单元的含义均为相对的概念,依研究对象而定。

系统按可修复与否分为不可修复系统和可修复系统两类。虽然绝大多数的设备是可修复系统,但不可修复系统的分析方法是研究可修复系统的基础。因此,对系统进行可靠性分析时,常常可简化为不可修复系统来处理。

3. 完成规定的功能

“完成规定的功能”是制造设备或者系统的目的。它与产品规格不一定一致。当不能完成功能时,就称其为“故障”(Failure)。故障的内容也不是单一的,主要有以下几种:

- (1) 不能工作。
- (2) 工作不稳定。
- (3) 功能退化,等等。

例如,电子管断丝属于(1),电视机图像显不出来时敲它几下就好了属于(2),显像管亮度逐渐降低的属于(3)。它们虽然都是故障,但内容却完全不同。因此,在研究可靠性时,首先要确定故障的内容。

4. 规定的时间

“规定的时间”是通过合同来决定的,长短不一,短的如导弹那样只有几分钟,长的也有如光缆之类达几十年之久的。规定的时间也称为任务时间(Mission Time),在可靠性问题上,这是一个极为重要的必要条件,它是可靠性区别于产品其他特性的重要特征,一般是指对象正常发挥功能的时间(工作期限)。

时间度量可以用一般时间(如秒、分钟、小时、天)来表示,也可以用工作次数(如开关)、重复次数(如事件数、齿轮的应力循环次数)、距离(如汽车的行车公里数)等来表示。规定时间的长短随产品种类、使用目的和费用允许条件的不同而不同。寿命是可靠性的基本概念,对不可修复的产品而言指失效前的工作时间,对可修复的产品而言指相邻两故障间的工作时间。

5. 规定的条件

“规定的条件”就是使用条件、环境条件等,它包括所有物理、化学及人一机工程学的因素,主要有:

- (1) 使用和维护条件,如动力、负载条件(包括提供的电压、输出的功率、载荷等),使用方法,使用频率(连续使用、间歇使用),操作人员的技术水平,维修方法等;
- (2) 环境条件,如气候环境(包括温度、湿度、空间辐射、气压等),生物和化学环境(包括霉菌、盐雾、臭氧和机械作用微粒等),机械环境(包括振动、冲击等),电磁环境(电场、磁场、电磁场等);
- (3) 贮存条件,包括运输、保管条件等。

这些条件对产品的寿命都可能发生影响。离开了具体条件,谈论可靠性是没有意义的。

由这一定义来说,就是不看机器个别故障的性质和故障产生的影响程度,而只考虑发生的次数。也就是说,只看重于机器的有效性受到阻碍的事实。从可靠性的观点来看,即使一个零件发生故障,也可能造成飞机失事或使火箭不能发射。所以对可靠性下这样的

定义也就没什么可奇怪的了。

可靠度不是表示在某个确定的瞬间机器的状态的,而是在规定的任务时间内完成功能的概率,因此是作为时间的函数的预计值。生产者在机器出厂后,或使用者开始使用机器以后,随着时间的推移,对机器前途的期待程度就是可靠度。实际上,可靠度可以利用任务时间内每单位时间的故障数(故障率)或平均故障间隔时间(MTBF, Mean Time Between Failure)、故障平均时间(MTTF, Mean Time To Failure)来求得。知道了可靠度,立即就可以求出故障率。同时,作为故障率的倒数还可求出 MTBF(仅对于服从指数分布的系统)。

从定义本身来说,它是产品的一种能力,这是一个很抽象的概念。我们可以用 100 名学生即将参加考试的例子来理解这个定义,可靠性就是指:100 名学生的平均考分是多少,对这个平均分的准确性有多大把握。分数越高,把握越大,可靠性就越高。对产品而言,可靠性越高就越好。可靠性高的产品,可以长时间正常工作(这正是所有消费者需要得到的);从专业术语上来说,就是产品的可靠性越高,产品可以无故障工作的时间就越长。

可靠性按产品所要经过的阶段可分为固有可靠性和使用可靠性;按产品本身的内在特性可分为结构可靠性和性能可靠性,产品的可靠性可近似看成是性能可靠性与结构可靠性的乘积。

可靠性也可以定义为:在规定的条件下和规定时间内所允许的故障数。数学表达式为平均故障间隔时间(MTBF)。在这个定义下,认为随机故障是不可避免的,也是可以接受的。这就导致由于设计原因引起的故障只要在允许故障次数之内,往往不能追溯到最终根源,一般也不严格地去追根溯源。由于制造过程导致的故障,只要仍低于许可的故障次数也就不被追究。但是随着社会的发展,对产品的可靠性要求也越来越高,原有的定义有时无法满足设计和应用的要求。为此,国际上在 1995 年对这传统的可靠性定义提出了质疑,欧洲一些国家开始用无维修使用期(MFOP)取代原来的 MTBF,并摒弃随机失效和随机故障无法避免的旧观念。因此,当前国际上兴起了在可靠工程中推行失效物理方法的新潮流,设计出不存在随机失效的产品并非没有可能。同时,从故障修理转换到计划预防维修。这就需要产品研发设计人员必须清楚产品将会怎样发生故障,一般何时发生故障,对产品和系统的可靠性有一个明确的认识,必须在设计中充分考虑。

1.4 可靠性的重要性

产品的可靠性是产品的一个重要指标,以往可靠性被忽视。随着社会科学技术和电子技术的发展,对产品的稳定性、可靠性,即产品的出故障率要求越来越严格。所以现在在发达国家产品的可靠性是产品检测的一个重要环节,也是设计时必须注意的一个内容。据调查结果显示(如某公司市场部 2001 年调查记录):“对可靠性的重视度,与地区的经济发达程度成正比。”例如,英国电信(BT)关于可靠性管理/指标要求有产品寿命、MTBF 报告、可靠性框图、失效树分析(FTA)、可靠性测试计划和测试报告等;泰国只有 MTBF 和 MTTR 的要求;而厄瓜多尔则未提到,只是提出环境适应性和安全性的要求。

产品的可靠性直接影响到产品的使用价值,尤其是对于军用通信设备,更具有特别重要的意义,军用通信设备是战争的千里眼、顺风耳,一旦发生故障,指挥则会失灵,从而影