



天津市科协自然科学专著基金资助出版

电子设备系统 可靠性设计与 试验技术指南

卢昆祥 等 编著



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

电子设备系统 可靠性设计与试验技术指南

卢昆祥等 编著



内容简介

《电子设备系统可靠性设计与试验技术指南》(简称《指南》)是设备系统可靠性设计与试验技术专著。《指南》全面介绍了设备系统可靠性设计的方法与程序,可靠性试验的理论和方法。《指南》包括4篇24章,内容有可靠性工程介绍与设备的可靠性指标的种类和计算方法;设备系统的总体可靠性设计,如指标论证与确定、可靠性预计、分配方法等;可靠性设计各项设计技术,如降额、冗余、耐环境、电磁兼容、FMECA、FTA等设计技术;设备系统可靠性试验,包括基本理论、统计试验方案、一般要求、试验条件的选择和试验周期的设计,现场可靠性试验,可靠性增长试验,试验技术与管理等。本《指南》含有大量的实例和实践资料,融合了编著者从事可靠性工作20多年的经验和体会,内容全面,系统性强,理论联系实际,概念清楚,深入浅出,操作性强,通俗易懂。本《指南》的读者对象是从事设备可靠性设计、试验的工程技术人员、管理干部和使用方代表。可靠性设计的基本理论和方法,也可作为电子元器件研制生产单位的设计人员和管理干部参考使用,还可供大专院校师生作为参考书,同时对其他与可靠性技术有关的科技工作者,也将有所裨益。

图书在版编目(CIP)数据

电子设备系统可靠性设计与试验技术指南/卢昆祥
等编著. —天津:天津大学出版社,2011.6
ISBN 978-7-5618-3944-7

I. ①电… II. ①卢… III. ①电子设备—可靠性—设计—指南 ②电子设备—可靠性试验—指南 IV. ①TN06—62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第085477号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm×260mm
印 张 21.5
字 数 537千
版 次 2011年6月第1版
印 次 2011年6月第1次
定 价 58.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

随着现代科学技术的飞速发展和新技术革命的兴起,电子设备越来越被广泛地应用于各个领域,设备本身越来越复杂,使用条件也越来越严格,因此,对设备的可靠性要求也越来越高。要提高设备的可靠性,首先要抓设备的优生,开展可靠性设计是实现产品优生最重要最有效的手段之一。某个产品已经设计生产出来了,若要知道它的可靠性实际水平,开展可靠性试验又是掌握产品实际可靠性水平的最重要最有效的手段之一。由此可见,可靠性设计技术和可靠性试验技术是整个可靠性工程中保证实现产品可靠性的两项最基本最重要的技术手段。培养可靠性设计和试验技术人员,使其掌握和运用可靠性设计和试验技术,一般的可靠性基础理论和入门的书籍,只能使其增加对可靠性的认识,还不能解决工程实践的需要。《电子设备系统可靠性设计与试验技术指南》给读者全面掌握和运用可靠性设计技术和试验技术提供重要条件。

本《指南》是设备系统可靠性设计和可靠性试验的专著,它全面系统地介绍了可靠性基础理论、各种可靠性设计技术与试验技术的方法、程序和要求。全书共分4篇24章。第1篇介绍了可靠性工程知识、可靠性常用的概率分布函数及设备可靠性数量特征(指标)的类别与计算方法。第2篇总体设计部分,介绍了设备系统的总体可靠性设计技术,如指标的论证与确定,可靠性预计和分配等。第3篇详细地介绍了各种可靠性设计技术的理论、方法和程序,如降额、冗余、电磁兼容、耐环境设计等。第4篇是设备系统的可靠性试验技术,内容包括基础知识、统计试验方案、一般要求、试验条件的选择和试验周期的设计、失效的分析与处理、对相关失效数的确定等并提出了25条建议,还介绍了现场试验、可靠性增长试验、试验技术与管理等。所以本《指南》内容非常丰富,理论结合实际,实用性强。《指南》中融合了编著者从事可靠性工作20多年的经验和体会,是广大从事可靠性设计人员、试验人员及可靠性管理人员、使用方代表日常工作中不可缺少的工具。

《指南》中人机工程设计、维修性设计等章节,是参考国内外资料编写的,是可靠性设计的重要内容。但是,根据我国目前的情况,要定量地分析,由于缺乏经验和数据,做起来是有困难的,但是通过定性分析,采取相应的设计措施,以提高产品的可靠性还是办得到的,所以,《指南》也为今后开展这些工作需要积累哪些资料、怎样积累这些数据资料提供了指导。

本《指南》的编著与编著者的工作实践是分不开的。编著者先后担任了航空电台、移动战术电台、单边带电台、铁道电台、导航设备等多类几十个产品的可靠性设计负责人,参加过全国电工电子可靠性维修性标准化技术委员会的工作,主持编制了有关设备可靠性试验的国家标准和部标准,是多类产品第一个可靠性试

验方案的制定者和试验实施的组织者。并在全中国有关省市、原电子工业部机关、部队机关、有关厂所举办的可靠性学习班上讲课 30 多次,使本《指南》的内容经受了严格的审查与考验,得到了充实和提高。编著者在从事可靠性工作的实践中,受到了原电子工业部,天津通信广播公司,天津广播器材公司以及有关厂、所的领导和有关同志的支持,还有国内很多同行专家、学者都给予了很大的关怀、支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。本《指南》的主要内容曾经过原中国电子学会电子产品可靠性与质量管理学会委员、原机械工业部仪表局可靠性顾问组组长、天津市仪器仪表学会理事、天津市电子学会可靠性专业委员会副主任、天津大学林青教授的技术审查,在此表示衷心感谢。同时向为本《指南》编著提供各类宝贵资料的同志,参考文献的作者、译者表示谢意。向为《指南》出版发行做了大量工作的天津大学出版社有关领导和同志,向给予了大力支持和帮助的天津市老科技工作者协会表示衷心的感谢。特向给予本书资助出版的天津市科学技术协会的领导及有关专家致以衷心的感谢。《指南》中如有错误和不妥之处,欢迎读者批评指正。

参加本书编写的有天津职业大学何雯副教授。

编著者

2010 年 7 月于天津

目 录

第 1 篇 可靠性工程与设备的可靠性指标

第 1 章 可靠性工程介绍	(2)
1.1 什么是可靠性工程	(2)
1.2 可靠性工程包括的内容	(2)
1.3 什么是电子设备的可靠性	(3)
1.4 固有可靠性和使用可靠性	(5)
1.5 可靠性增长	(6)
1.6 可靠性设计的主要任务和基本原则	(7)
第 2 章 可靠性的概率分布函数与可靠性的数量特征(指标)	(8)
2.1 随机变量、分布函数、分布的参数	(8)
2.2 可靠性常用的概率分布函数	(9)
2.3 排列和组合	(16)
2.4 规定产品可靠性数量特征(指标)的意义	(17)
2.5 可靠性的主要数量特征(指标)及计算方法	(18)

第 2 篇 设备系统的总体可靠性设计

第 3 章 可靠性指标的论证与确定	(36)
3.1 可靠性指标的论证	(36)
3.2 确定设备系统可靠性指标的原则与方法	(38)
第 4 章 可靠性结构模型与数学模型	(39)
4.1 建立可靠性模型的条件与原则	(39)
4.2 可靠性结构模型的建立	(41)
4.3 可靠性结构模型与数学模型	(45)
第 5 章 可靠性预计	(59)
5.1 可靠性预计的作用	(59)
5.2 可靠性预计的方法和程序	(60)
5.3 详细的元器件应力分析预计法举例	(69)
第 6 章 可靠性指标的分配	(73)
6.1 可靠性指标分配的作用	(73)
6.2 可靠性分配的基本原则和注意事项	(74)
6.3 可靠性分配方法和程序	(75)
第 7 章 系统的维修性和安全性设计	(88)
7.1 系统的维修性设计	(88)
7.2 安全性设计的要求和措施	(97)

第 8 章 可靠性设计与人的关系	(101)
8.1 引言	(101)
8.2 设计与生产	(102)
8.3 人的因素理论与人机工程	(102)
8.4 人的因素与可靠性之间的关系	(104)
8.5 人-机分配与可靠性	(104)
8.6 人的差错率的研究与预测方法	(106)
8.7 人-机工程设计的一般要求	(107)

第 3 篇 保证设备系统可靠性的设计技术

第 9 章 元器件工程与降额设计	(112)
9.1 设备系统实施元器件工程的重要性与主要工作内容	(112)
9.2 降额设计	(114)
9.3 降额设计的原则	(125)
9.4 元器件选用准则及在工程中的应用	(126)
第 10 章 冗余设计	(134)
10.1 概述	(134)
10.2 冗余设计技术的分类及功能	(135)
10.3 冗余设计技术介绍	(137)
10.4 冗余系统的选择	(142)
10.5 使用冗余系统应考虑的因素	(144)
第 11 章 环境影响及耐环境设计	(147)
11.1 环境条件对设备可靠性的影响	(147)
11.2 热设计技术	(151)
11.3 防冲击和振动设计	(161)
第 12 章 电磁兼容设计	(168)
12.1 电磁兼容概述	(168)
12.2 电磁干扰源及干扰引入方式	(169)
12.3 电磁兼容设计的一般要求	(176)
12.4 抑制电磁干扰的一些方法	(177)
12.5 电磁兼容性设计技术	(177)
第 13 章 其他可靠性设计技术	(178)
13.1 简化电路设计及减少元器件品种和数量	(178)
13.2 集成化设计	(178)
13.3 采用成熟的新技术	(179)
第 14 章 可靠性分析技术	(181)
14.1 失效模式、影响及危害度分析	(181)
14.2 失效树分析法	(191)
第 15 章 可靠性设计评审	(199)

15.1	设计评审的作用和目的	(199)
15.2	设计评审的准备及评审的内容范围	(199)
15.3	设计评审的组织及成员职责	(204)
15.4	设计评审的程序与结论	(204)

第 4 篇 设备系统的可靠性试验

第 16 章	可靠性试验的基础知识	(210)
16.1	影响产品可靠性的因素	(210)
16.2	可靠性试验的定义与原理	(211)
16.3	可靠性试验的种类及其目的	(213)
16.4	正确评定设备的可靠性	(215)
第 17 章	统计试验方案	(218)
17.1	试验参数的定义	(218)
17.2	怎样正确选择试验参数	(219)
17.3	试验方案的种类及选择试验方案的原则	(221)
17.4	标准型试验方案及其判决标准	(223)
17.5	试验样品数量和试验时间的确定	(234)
17.6	恒定失效率有效性检验	(236)
17.7	用试验观察数据估计设备的平均无故障工作时间(MTBF)	(239)
第 18 章	可靠性试验的一般要求	(248)
18.1	试验类型的选择	(248)
18.2	可靠性试验的设计	(248)
18.3	可靠性鉴定试验前应具备的条件	(249)
18.4	试验样品的要求	(252)
18.5	试验设备、仪器仪表的要求	(253)
18.6	试验实施的要求	(254)
18.7	受试设备的检测要求	(254)
18.8	受试设备接收与否的判决	(255)
18.9	纠正措施	(256)
18.10	预防性维护	(256)
18.11	受试设备的复原	(257)
18.12	对可靠性试验的检查与监督	(258)
第 19 章	试验条件选择及试验周期设计	(259)
19.1	设备的分类	(259)
19.2	试验条件的分类	(260)
19.3	试验条件的选择	(266)
19.4	对基本环境试验方法的要求	(272)
19.5	试验中的工作条件	(272)
19.6	试验周期(循环)与试验程序的设计	(274)

19.7	推荐的试验周期	(275)
19.8	编制可靠性试验程序的实例与说明	(277)
第 20 章	失效的分类、分析与处理	(289)
20.1	失效的定义与分类	(289)
20.2	失效时间的判定	(291)
20.3	失效的处理方法	(292)
20.4	失效的分析方法与要求	(292)
20.5	失效的检测方法与要求	(293)
20.6	失效的最后分类与相关失效数的确定	(294)
20.7	制定纠正措施方案	(298)
第 21 章	试验的记录与报告	(299)
21.1	可靠性试验报告	(299)
21.2	可靠性试验测试记录	(300)
21.3	可靠性试验失效综合报告表	(301)
21.4	可靠性试验分析与修理报告表	(302)
第 22 章	现场可靠性试验	(304)
22.1	试验的目的	(304)
22.2	试验的一般要求	(305)
22.3	试验条件	(305)
22.4	受试设备性能和相关试验时间	(306)
22.5	数据收集	(306)
22.6	正确评定与比较现场可靠性试验与试验室模拟可靠性试验数据	(306)
第 23 章	可靠性试验技术与管理	(308)
23.1	可靠性试验技术	(308)
23.2	关于大中型电子设备的可靠性评定	(309)
23.3	可靠性试验的管理	(310)
第 24 章	可靠性增长试验方法	(313)
24.1	概述	(313)
24.2	术语	(314)
24.3	一般要求	(314)
24.4	详细要求	(317)
24.5	杜安可靠性增长模型的说明和 MTBF 移动平均值法的探讨	(321)
24.6	AMSAA 模型增长分析	(326)
参考文献		(333)

第 1 篇

可靠性工程与设备 的可靠性指标

第1章 可靠性工程介绍

1.1 什么是可靠性工程

一般说来,设备质量的好坏,主要包括技术性能指标、可靠性指标、经济指标等,设备的可靠性是其质量的一部分。第二次世界大战期间,电子设备失效频繁,美国人从无数次失败和血的教训中认识到可靠性问题特别重要,单靠质量管理不能完全解决电子产品的可靠性问题,必须将可靠性作为重大课题进行专门的研究,进而发展成为可靠性工程学。可靠性工程学就是研究基础设计中保证可靠性等级的诸因素的科学。可靠性工程学包括可靠性技术和可靠性管理。可靠性工程是贯穿在设备的研制、生产、使用全过程中的研究设备在规定功能下的可靠度与使用条件和使用时间的函数关系的一门科学,即

$$R(t) = f(G, T)$$

式中: G 为使用条件; T 为使用时间。

可见,研究可靠性工程的目的是为了提高设备在规定条件下、规定时间内、完成规定功能的能力。或者说,是研究在规定条件下,如何才能使设备完成规定功能的时间加长。为达到此目的,可靠性工程的任务是:①尽可能降低设备的复杂性;②提高设备中元器件的使用可靠性;③有效地实施各种可靠性技术;④规定合理的维护修理程序等。

1.2 可靠性工程包括的内容

影响产品可靠性的因素很多,既有主观因素,也有客观因素;既有原材料和元器件方面的因素,也有设备以及系统工程方面的因素;既与工程技术人员和技术工人的技术水平有关,也与各级领导干部对质量与可靠性的认识水平及管理水平有关。提高产品的可靠性,需要研制、生产、使用单位的密切协作,需要领导干部、工程技术人员和技术工人的共同努力,需要整机系统单位与各元器件、原材料的生产与供应单位的密切合作。因此,可靠性工作具有牵涉面广、战线长、内容多的特点。它贯穿在产品的科研、设计、制造、贮存、包装运输与使用的全过程中。它涉及数学、物理学、化学、环境工程学、人类工程学、机械工程学、故障物理学等多种学科。它不仅有科学研究、工程应用的性质,而且有统筹安排、相互协调、计划管理、质量管理等科学管理性质。所以,可靠性工作是一个庞大而复杂的系统工程,因而,称之为“可靠性工程”。具体说,可靠性工程的内容包括以下方面。

(1)在可靠性基础理论方面:①可靠性数学与故障物理学;②系统工程与人类工程学;③统计方法与可靠性数学模型;④环境应力分析与试验基础理论等。

(2)在可靠性设计方面:①可靠性总体方案的论证及可靠性与可维修性指标的确定;②建立可靠性实施程序与拟制可靠性设计任务书;③可靠性、可维修性指标的预计与分配;④为保证产品可靠性而实施各项可靠性设计技术,如热设计、冗余设计、降额设计、耐环境设计等等;⑤安全性、维修性设计及体积、重量、性能与经济性的最佳平衡设计;⑥失效模式、影响及危害度分析(FMECA)、失效树分析(FTA)、设计评审等。

(3)在制造过程中的可靠性保证方面:①抓住制造过程中影响质量和可靠性的人、机器、材料、方法、环境五大因素,广泛开展质量与可靠性管理活动;②零部件制造工艺及组装互连可靠性工艺的研究与实施;③产品环境适应性工艺与特种可靠性工艺的研究与实施;④新工艺引进与可靠性新工艺研究;⑤拟定制造工艺程序与设计新工艺等。

(4)在元器件的可靠性方面:①元器件制造厂加强元器件的设计、制造工艺、环境净化的研究与实施;②设备对元器件和原材料的质量与可靠性要求;③元器件失效分析与元器件可靠性评价;④元器件及原材料的合理选择与应用;⑤元器件及原材料的可靠性贮存与保护;⑥元器件原材料的质量检验与元器件的老炼预筛选;⑦元器件现场使用情况的调查与反馈;⑧元器件的质量认定等。

(5)在可靠性管理方面:①建立可靠性管理机构与可靠性研究机构;②制定可靠性实施程序与可靠性管理计划;③制定可靠性设计与可靠性制造规范;④检查可靠性措施实施与可靠性增长情况;⑤建立可靠性数据收集、反馈与交换制度;⑥推广与实行质量与可靠性管理;⑦制定各种可靠性管理文件与报告等。

(6)在可靠性试验方面:①元器件实施可靠性(失效率)试验;②设备实施可靠性增长试验、鉴定试验、验收试验等;③元器件及设备的老炼预筛选试验;④元器件的质量认证与质量认定试验等。

(7)在使用可靠性与维修方面:①合理使用与保养方法的拟定;②操作与维修人员的培训和教育;③随机文件的准确性与齐套性;④维修工具的配套与可用性;⑤电危险与机械危险的防护措施;⑥预防性维护与事后维护规范的拟定;⑦失效数据的收集、分析、整理与情报反馈;⑧备件准备与保管的正确性;⑨使用环境及其对产品质量与可靠性影响的调查与分析等。

(8)在可靠性教育方面:①举办各种可靠性学习班与讲座;②开展可靠性技术交流与新技术推广;③组织内外考察与培训;④举办可靠性研究成果报告会与出版可靠性情报资料;⑤出版可靠性学术论文选与可靠性书籍等。

(9)在可靠性标准化方面:①元器件可靠性试验与管理的标准化;②设备系统可靠性试验标准化;③设备系统可靠性设计与可靠性管理的标准化等。

(10)在可靠性情报方面:①现场数据的收集与可靠性情报反馈;②可靠性试验数据整理与交流;③元器件失效率汇集与交流;④国内外可靠性新理论、新技术情报的收集与推广;⑤用户调查与失效产品的分析与研究;⑥备件可靠性技术资料汇集与整理等。

1.3 什么是电子设备的可靠性

可靠性是对一部设备投入使用时无故障工作能力的度量。可靠性有各种各样的定义,我国国家标准规定的定义是:产品在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的能力。对电子设备而言,那就是电子设备在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的能力,称为电子设备的

可靠性。

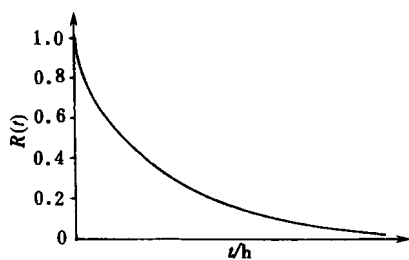


图 1.1-1 指数分布的可靠度函数

根据可靠性的定义不难看出,设备可靠性高低是表示设备在规定条件下,规定时间内,完成规定功能的可能性的。在数学上则定量地以概率来表示。某个设备究竟什么时候失去完成规定功能的能力而失效是不能确知的,只能借助于数理统计的方法加以估计。为了使可靠性定义中的“能力”这一抽象的概念不致含糊不清,需要用概率论和数理统计的数学工具对可靠性进行定量的研究。定量地表示设备可靠性的数学特征量有可靠度、累积失效概率、失效概率密度、失效率、有效度等,但通常采用可靠度或平均无故障工作时间(MTBF)来表示。所谓可靠度,就是设备在规定条件下,规定时间内,完成规定功能的概率。可靠度用图 1.1-1 中的 $R(t)$ 表示。所谓平均无故障工作时间,就是设备无故障工作时间的平均值。

应该特别指出,某个产品的固有可靠性是随着设计的修改、使用条件的不同以及工作过程中的性能退化而不断变化的。因此,是无法确知的,只能从确定是否符合使用条件的可靠性预计值或试验验证值中得到估计。所以,可靠性可以说是对事物认识的水准而不是事物的本来状态。还应指出,可靠性不是指一个产品而言的,而是对一批或多批相同产品而言的。对于一个产品,谈不上可靠性,因为个别现象不是发生,就是不发生,针对个别现象谈概率是没有任何意义的,所以,可靠性不能用来预计单个事件,只能预计概率和平均数。可靠性不能预计一个设备能工作多长时间就失效,但是,可以借助于统计的方法,预计一个设备在规定时间内工作的概率或者在某一时间内将发生故障的平均数或平均无故障工作时间(MTBF)。因此,研究可靠性时,应建立统计概率的观点。同时,还应认识到可靠性所具有的统计特性。

设备可靠性与“规定的条件”是分不开的。任何设备研制的时候都是根据规定的使用条件进行的。这个使用条件包括工作条件(如功能模式、操作方式、负载条件、工作能源、维护条件等)和环境条件(如温度、湿度、气压、振动等)。同一种设备在不同的工作条件 and 环境条件下,可靠性是完全不同的。因此,在评价一种设备可靠性时,必须明确其所处的工作条件 and 环境条件。

设备可靠性与“规定的时间”有密切关系。规定时间的长短又随着设备服务对象的不同与使用目的的不同而异。设备的可靠性是时间的函数,是随着时间的推移而不断变化的。设备使用一小时的可靠性与使用一万小时的可靠性水平是不一样的。即使元器件经过筛选和设备经过老炼和维修,设备在偶然失效区工作的情况下,这一段时间内的失效率是一个常数,但是,设备可靠度随时间的分布规律仍符合图 1.1-1 所示,即使用的时间越长,可靠度越低。因此,在研究设备可靠性问题时,要充分认识到可靠性的这种时间特性。在评价一种设备的可靠性时,必须指明多长时间内的可靠性,也称任务时间内的可靠性。离开时间谈可靠性是无意义的。

设备可靠性与“规定的功能”有密切关系。所谓“功能”,就是设备的主要性能指标和技术要求。这是设备完成规定任务和作用的保证。设备所谓不可靠,所谓失效,就是针对设备是否满足规定的性能指标和技术要求而言的。设备的性能指标和技术要求越高,允许变化的范围越小,设备要完成“规定功能”的可能性就越小,这种设备的可靠性水平就越低。反之,设备的

设备可靠性与“规定的功能”有密切关系。所谓“功能”,就是设备的主要性能指标和技术要求。这是设备完成规定任务和作用的保证。设备所谓不可靠,所谓失效,就是针对设备是否满足规定的性能指标和技术要求而言的。设备的性能指标和技术要求越高,允许变化的范围越小,设备要完成“规定功能”的可能性就越小,这种设备的可靠性水平就越低。反之,设备的

性能指标和技术要求越低,允许变化的范围越宽,设备能够完成“规定功能”的可能性就越大,因而设备的可靠性水平就越高。因此,评价一种设备的可靠性,离不开设备的规定功能。

研究设备可靠性时,还应认识到可靠性工程是一种综合技术。可靠性技术与管理贯穿在产品规划、设计、生产和使用的全寿命周期中,而且可靠性技术涉及很广的技术领域,如:可靠性数学、失效物理学、试验技术与试验分析技术、元器件工程、可靠性标准及可靠性管理等,同时又与上至国家机关,下至各工业企业部门,直至每个用户都有关系。可靠性具有强烈的社会性,某个国家产品的可靠性水平就反映了这个国家的工业基础和科学技术水平。回顾电子产品的可靠性理论及技术上的发展,就是在第一次和第二次世界大战中萌芽和发展起来的。至今,可靠性技术依然是军备竞赛以及市场竞争的热门话题。可靠性已经被人们认为是与国家安全、企业存亡密切相关的一门科学。因此,可靠性技术与管理,从它孕育诞生及成长都带有强烈的社会性,都为各国领导集团及社会各个部门所重视。可靠性工程具有可靠性技术与管理的双重性特点。可靠性工程学怎么发展起来的呢?是因为通过第一次和第二次世界大战的实践,首先使美国军方认识到单靠一般的质量管理不能保证设备的可靠性,必须加强可靠性基础理论及工程技术的研究和应用,再加上管理科学的发展,才使可靠性发展成为一门新兴的专门学科——可靠性工程学。可靠性工程 = 可靠性技术 + 可靠性管理。要提高产品的可靠性,必须实施可靠性技术,但是光有技术还不行,还必须用可靠性管理方法将研究、设计、生产和使用各个阶段有机地结合起来,才能保证将可靠性技术“制作”到产品中去。

综上所述,在研究设备的可靠性问题时,我们必须牢牢掌握可靠性的三大要素,即时间、条件和功能。建立一个基本观点,即统计概率的观点,并且充分认识到可靠性所具有五个特性,即时间性、统计性、综合性、强烈的社会性、技术与管理的双重性。

1.4 固有可靠性和使用可靠性

设备在用户手中实际使用(运转)时所显示出的可靠性,称为工作可靠性(operational reliability),用 R_o 表示。 R_o 由固有可靠性 R_i (inherent reliability) 和使用可靠性 R_u (use reliability) 所构成。

固有可靠性 R_i 是生产厂在研制和生产过程中制造者确立的可靠性。它是从对系统(硬件、软件、人为因素)或产品确立可靠性的规划阶段开始,经与其他各种性能指标综合平衡而确定的可靠性指标。因此,它与材料和零部件的选择、设计、制造、直到生产出产品为止的各个阶段都有密切关系。固有可靠性是产品内在的可靠性,是生产厂在模拟实际使用条件下经过检测并予以保证的可靠性。

从另一方面说,可靠性还与产品的使用有关。生产厂制造出来的具有可靠性的产品在转给用户的过程中,要经过包装、运输和贮存等几个环节。在实际使用过程中,还要受到环境、操作状况和维修(维修方式和维修技术)等因素的影响。在实际使用时,人为因素对产品可靠性的影响也很大。因此,人们把这种关于产品在使用上的可靠性称为使用可靠性,用 R_u 表示。

工作可靠性 R_o 、固有可靠性 R_i 和使用可靠性 R_u 之间有下列近似关系:

$$R_u \approx R_o / R_i$$

即
$$R_o \approx R_i \cdot R_u$$

此式很不精确。一般说来,在实际使用时,使得固有可靠性 R_i 降低的因素很多。但是,如

果产品在较好的环境中使用,并加强维修与保养,又可以大大提高产品的工作可靠性 R_0 。

总之,要提高产品的工作可靠性,生产厂必须保证产品的固有可靠性。要保证产品的固有可靠性,必须从企业规划、签订合同开始,直到预研、设计、生产、试验、检验、评审等所有环节都要进行周密的计划和组织,并把整个过程有机地结合起来。同时生产厂还要将产品的使用方法教给用户。而用户也应采取适当的措施加强对设备的管理,加强对设备使用人员的技术培训等,以便提高设备的使用可靠性。

1.5 可靠性增长

可靠性增长是可靠性工程中的一个很重要的概念。因为任何一种产品初期的可靠性都不可能达到预期的可靠性水平,都要通过采取各种纠正措施的增长过程。所以,可靠性增长是研制期间或在以后的制造或工作期间促使设备达到它预期可靠性的综合措施。在早期研制阶段,一个新制造的产品或一台初样样机所达到的可靠性,大大低于所预计的可靠性,这是因为存在着初期设计缺陷、工程缺陷及制造上的各种缺陷。拟制可靠性增长程序,并规定作为工程守则使用之后,可供管理部门用于执行质量控制、财力开支以及用于控制在全面投产或现场使用之前为制造成熟的系统所进行的各种活动。

可靠性增长程序的基本概念及其在新产品制造上的应用,涉及对产品进行试验、失效、纠正、再试验等各种活动的考虑。具体地说,可靠性增长就是重复试验—失效—纠正整个过程。可靠性增长的3个主要因素是:①产品失效的检测和分析;②产品有问题部分的信息反馈和分析;③执行纠正措施并重新试验。

产品可靠性增长的速率取决于完成这3个步骤的速度。尤其是取决于纠正措施解决暴露出的问题的完善程度。在早期研制阶段和试验过程中,所达到的可靠性(或MTBF)远远低于设计分析及由分析预计出的预期值。从工业部门获得的数据表明,生产厂最初出厂的产品的MTBF为按零件性能(失效率)预计的固有可靠性水平的10%。随着研制和试验过程的进展以及对有问题的部分的改进,所测得的可靠性就接近于固有(设计的)可靠性值了。图1.1-2描述了这个过程。

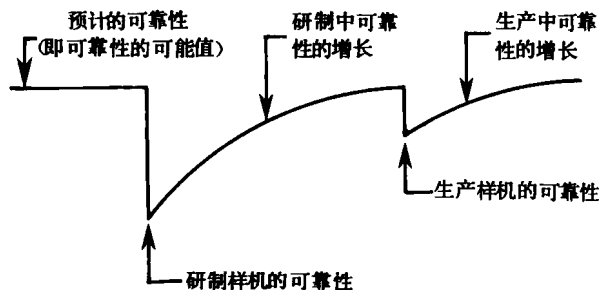


图 1.1-2 设计和研制阶段可靠性增长过程

从图1.1-2可以看出,可靠性的降低都出现在生产初期。这主要是由于对工艺不熟悉,加工过程的偏差和对质量的疏忽等工艺失误所致。这些工艺失误会使产品的可靠性低于预期值。随着生产的进展和技术水平的提高,所测得的可靠性会重新开始接近于固有可靠性。当然,应该特别指出,由于失效的改正措施并不都是正确的,不是每个失效的原因都能发现和都能采取措施消除的,加上失效不是发生在同一时刻,消除每次失效的措施和周期不一定相同等原因,所以设备使用时的实际可靠性水平达到预计的可靠性水平的程度以及可靠性增长的增长率(增长指数 m),都受到一定的限制。根据国外经验及有关资料介绍,实际可以达到的可靠性增长

指数 m 一般约为 0.6 左右。

1.6 可靠性设计的主要任务和基本原则

(1) 可靠性设计的主要任务:①拟定整机系统的可靠性设计方案;②论证和确定设备的可靠性指标,制定可靠性设计规范;③适当选择和使用元器件,提高元器件的使用可靠性;④采取相应的设计措施,提高设备的环境适应能力;⑤实施各种可靠性设计技术,提高整机系统的可靠性水平;⑥提高设备的安全性、维修性;⑦进行费用设计,在保证设备功能、性能、可靠性的基础上,尽量降低成本。

(2) 可靠性设计的基本原则:①在保证整机系统功能和性能的前提下,电路设计、结构设计均应从简,越简单越可靠;②尽量采用成熟的标准结构和典型电路;③尽量采用成熟的工艺规程和操作方法;④采用新的设计技术要慎重,切忌只顾求新而降低产品的稳定性;⑤根据整机的可靠性要求,选择适当失效率等级的元器件;⑥尽量降低设计成本。

复 习 题

1. 什么是可靠性工程? 可靠性工程包括哪些内容?
2. 什么是电子设备的可靠性? 可靠度的含义是什么?
3. 可靠性的三大要素是什么?
4. 研究可靠性问题时要建立一个什么观点?
5. 可靠性具有哪五大特性?
6. 固有可靠性、使用可靠性、工作可靠性的概念分别是什么?
7. 可靠性工程的特点、目的、任务是什么?
8. 可靠性设计的主要任务和基本原则是什么?

第2章 可靠性的概率分布函数与可靠性的数量特征(指标)

2.1 随机变量、分布函数、分布的参数

2.1.1 随机变量

随机变量是经常遇到的一种概念。顾名思义,随机变量就是人们在进行某种反复的观察、实验或其他活动中所得到的结果不是固定不变的量值,而是随机变化的量值。例如,从10 000只晶体管中抽出100只进行检查和测试,有缺陷或不合格的产品数就是一个随机变量。又如,从一大批电灯泡中每次抽出5个来进行寿命试验,那么每组灯泡的寿命平均值也是一个随机变量。

因此,人们在实践中(如观察、实验或其他活动)所取得的某一个数值,该数值在一定程度上代表“实践”的结果。不管怎样设法使其一致,但是,由于受到各种不定因素或无法控制的某种因素的影响,每次“实践”所得的结果都是不同的数值,在概率论中,这样的数值就称为随机变量。例如,有100台电视机同时投入使用,但是各台电视机的首次失效时间是不一样的。那么,这个首次失效时间 t 就是一个随机变量。

2.1.2 分布函数

随机变量的分布函数(或概率)规律地给出了完成一次“反复实践”时该随机变量取一个指定值的概率。通俗地说,根据大量的统计,随机变量的变化相互之间也有一定的规律,这种相互关系(或规律性)用一个数学式来表示,这个数学式就称为分布函数。例如,设备在偶然失效区工作,失效率是一个常数,那么,设备可靠度与使用时间的关系有 $R(t) = e^{-\lambda t}$,符合指数分布规律,就称为可靠度的指数分布函数。

2.1.3 分布的参数

为了准确地表征分布,在分布函数中必须用几个参数(变量)来描述,以便确定各变量之间的相互关系。那么,分布函数中用的几个参数就称为分布的参数。例如,有3个变量的威布尔密度函数为

$$f(t) = \frac{m(t-\gamma)^{m-1}}{t_0} e^{-\frac{(t-\gamma)^m}{t_0}}$$

式中: m 称为形状参数; γ 称为位置参数; t_0 称为尺度参数。这3个参数就称为威布尔密度函