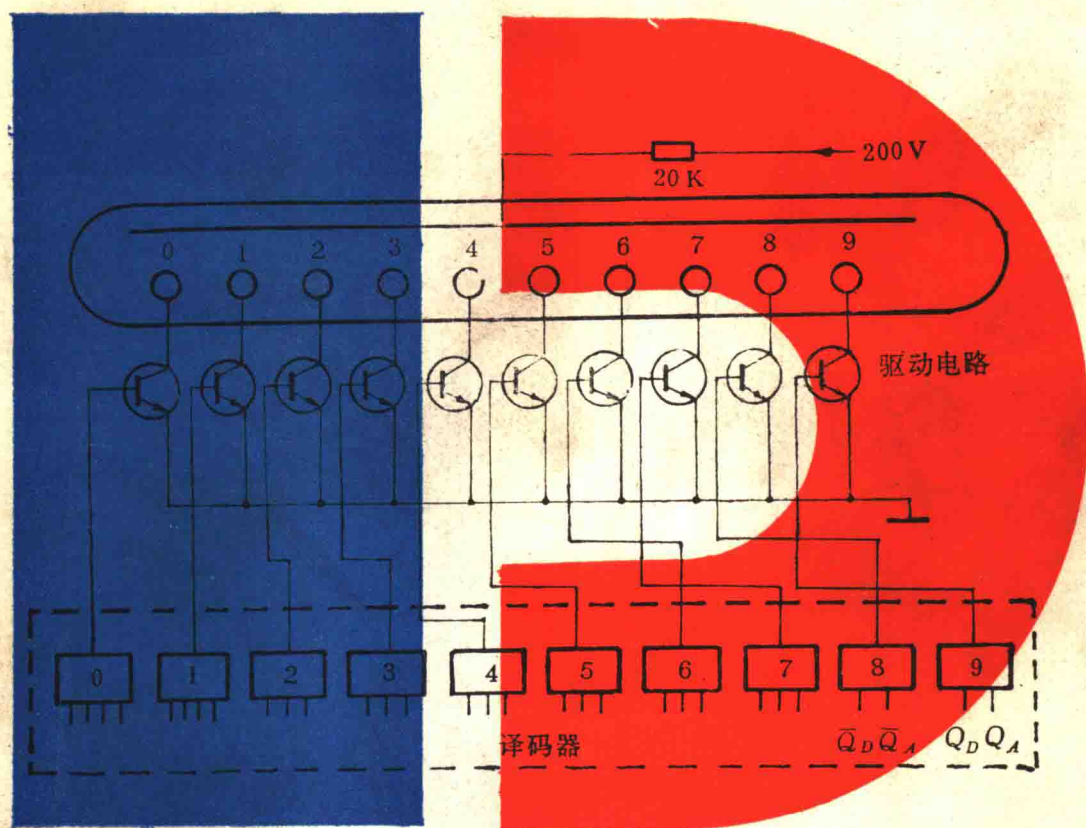




单承贻 夏忠余 编
张奠成 张松林 审

电子仪器及其故障诊断

湖南大学出版社

电子仪器及其故障诊断

单承赣 夏忠余 编

张奠成 张松林 审

湖南大学出版社

电子仪器及其故障诊断

单承贇 夏忠余 编

张奠成 张松林 审



湖南大学出版社出版发行

(长沙岳麓山)

湖南省新华书店经销 湘潭大学印刷厂印装



787×1092 16开 29印张 687千字

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数: 0001—5000册

ISBN 7-314-00195-2/TN·5

定价: 9.00元

前 言

根据1987年原机械工业委员会所属高等院校实验室工作会议精神,为适应高校实验室工作人员的培训需要,提高实验技能,加强实验教学与管理,决定编辑出版《电子仪器及其故障诊断》及《电子测试技术基础》两书,作为实验室工作人员培训和自学之用。

本书在编写过程中力求简明扼要,使读者在了解仪器技术性能、电路结构和工作原理的基础上,能正确使用仪器并在仪器出现故障时能正确分析、诊断。在内容选择上紧密联系我国的实际情况,同时兼顾当前科学技术的发展方向,以满足高等学校中不同层次实验室工作人员的需要。由于电子设备和仪器广泛应用于各个领域,因此本书可作为电类和非电类专业从事电子仪器应用和维护的工程技术人员自学教材,也可作为研究人员、教师的参考书。

全书共8章。第1章介绍了误差理论、计量及故障诊断的基本知识;第2~7章论述了常用电子仪器的原理、检定测试方法和常见故障的诊断程序;第8章介绍数字仪器并给出了一些数字电路的故障检修方法。

本书由合肥工业大学张奠成教授、张松林副教授审定。原机械委于新民、刘成旭、吉林工业大学李玉山、湖南大学冯建中、肖鸿猷、安徽工学院潘剑怀、沈阳工业大学葛德栋、合肥工业大学李峰等同志审定了编写大纲。

安徽省计量局汪安樾同志提供了宝贵的资料;彭克锦、夏英明等同志做了大量具体的工作,在此表示感谢。

限于水平,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1989年于合肥工业大学

目 录

第一章 基础知识	(1)
第一节 概述.....	(1)
一、测量及其与科学和生产的关	(1)
二、测量仪器和电子仪器.....	(2)
三、电子仪器的基本功能和基本性能.....	(3)
第二节 误差分析基础.....	(10)
一、测量误差的定义.....	(10)
二、系统误差、随机误差及差错.....	(11)
三、电子仪器的误差.....	(21)
第三节 计量常识.....	(27)
一、计量学及计量组织简介.....	(27)
二、国际单位制(SI).....	(28)
三、基准与标准.....	(30)
四、量值传递、检定与比对.....	(35)
第四节 维修基本方法.....	(43)
一、电子仪器的维护.....	(43)
二、故障诊断与检修常识.....	(47)
三、维修电子仪器的装备条件.....	(61)
第二章 稳压电源	(63)
第一节 电源的作用和性能.....	(63)
一、电源的作用.....	(63)
二、稳定电源系统的主要指标.....	(63)
第二节 交流电子稳压器.....	(65)
一、参数型交流稳压器.....	(65)
二、补偿法交流稳压器.....	(69)
三、交流稳压器的实例.....	(72)
第三节 直流电子稳压器.....	(75)
一、晶体管直流稳压器.....	(75)
二、集成电路稳压器.....	(90)
第四节 开关型稳压电源.....	(100)
一、概述.....	(100)
二、开关型稳压电源的工作原理.....	(102)
三、集成开关稳压电源.....	(106)
第五节 稳压电源的故障诊断与维修.....	(109)
一、交流电子稳压器的故障诊断.....	(109)
二、直流电子稳压器的故障诊断.....	(112)

第六节 不间断供电系统.....	(120)
一、概述.....	(120)
二、不间断供电系统的原理框图.....	(124)
三、逆变器主电路.....	(125)
四、逆变器主电路一般要求.....	(132)
五、静态开关.....	(136)
第三章 模拟式交流电子电压表.....	(143)
第一节 模拟电压表的类型及工作原理.....	(143)
一、模拟电压表的类型及基本原理.....	(143)
二、典型电压表.....	(151)
第二节 电压表的正确使用.....	(156)
一、正确选用电压表.....	(156)
二、电压表的使用.....	(156)
三、非正弦规则波形及失真正弦电压的测量.....	(157)
第三节 故障诊断与检定.....	(160)
一、电压表的检修程序.....	(160)
二、主要单元电路的故障诊断方法.....	(161)
三、电压表的常见故障.....	(170)
四、检定.....	(171)
第四章 电路参数测试仪.....	(175)
第一节 概述.....	(175)
一、电路参数的测量方法.....	(175)
二、典型测量仪器.....	(175)
第二节 阻抗电桥.....	(176)
一、交流电桥的基本原理.....	(176)
二、复用电桥.....	(177)
第三节 Q表.....	(179)
一、Q值的测量原理.....	(179)
二、QBG-3型高频Q表.....	(181)
第四节 器件的在线测量.....	(184)
一、电流在线测量.....	(184)
二、电阻的在线测量.....	(185)
三、晶体管在线测量.....	(185)
第五章 示波器.....	(186)
第一节 示波器的基本原理及主要技术指标.....	(186)
一、阳极射线示波管.....	(187)
二、通用示波器y通道.....	(193)
三、通用示波器的x通道.....	(209)
四、示波器的主要技术指标.....	(227)
第二节 示波器的使用.....	(230)
一、通用示波器使用注意事项.....	(230)
二、通用示波器开关、旋钮正确调节.....	(230)

三、示波器在测量中的基本应用	(232)
第三节 示波器的故障诊断	(241)
一、示波器故障诊断和校验中常用仪器	(241)
二、电子示波器常见故障的诊断	(242)
第六章 信号发生器	(253)
第一节 概述	(253)
一、信号发生器的用途与分类	(253)
二、信号发生器的主要技术性能	(253)
三、信号发生器的主要技术指标的检定	(255)
第二节 低频信号发生器	(259)
一、低频信号产生原理	(259)
二、低频信号发生器举例	(267)
第三节 高频信号发生器	(269)
一、概述	(269)
二、高频信号产生方法	(270)
三、高频信号发生器电路结构举例	(272)
第四节 脉冲信号发生器	(277)
一、xc-2c型脉冲信号发生器结构原理	(277)
二、脉冲信号源的使用方法及其校准	(285)
第五节 多波信号发生器	(288)
一、整机的电路结构	(288)
二、各部分电路工作原理	(289)
三、多波信号源的使用方法	(291)
第六节 信号发生器的故障诊断	(292)
一、概述	(292)
二、信号发生器故障诊断的基本程序	(293)
三、信号发生器故障诊断实例	(294)
第七章 频域测量仪器	(305)
第一节 扫频仪	(306)
一、扫频仪的工作原理	(306)
二、BT-3型扫频仪简介	(315)
三、扫频仪的校验与应用	(326)
四、扫频仪常见故障的诊断	(334)
第二节 频谱分析仪	(346)
一、时域和频域的关系	(346)
二、频谱仪的工作原理	(351)
三、频谱分析仪的主要工作特性	(354)
第八章 数字仪器	(356)
第一节 数字电路简介	(356)
一、基本逻辑功能电路	(356)
二、数字显示	(362)
第二节 通用计数器	(368)
一、通用计数器的工作原理	(368)

二、E312A型通用计数器(采用LSI)	(371)
三、通用计数器的正确使用	(382)
四、通用计数器的检修和调整	(386)
第三节 数字电压表	(400)
一、数字电压表的基本原理	(400)
二、DVM 工作特性和指标检测方法	(407)
三、典型的 DVM	(413)
四、数字电压表的维修	(429)
第四节 其它数字仪器	(430)
一、数字万用表(DMM)	(430)
二、数字相位计	(432)
三、阻抗的数字化测量仪器	(433)
第五节 数字集成电路故障检查	(435)
一、数字集成电路的故障及检查方法	(435)
二、逻辑测试仪	(436)
三、集成电路测试仪(APPLE II IC测试系统)	(440)
习题	(454)
主要参考资料	(443)

基础知识

第一节 概述

一、测量及其与科学和生产的关系

(一) 测量的定义

广义的说，测量是人们对自然界的客观事物取得数量观念的一种认识过程。这个数量观念的取得，是通过实验方法获得的。

就测量本身而言，它实际上是一种“比较”的过程，也就是将被测量对象和测量仪器的量化单位进行比较的过程。

设被测量为 x ，其测量结果的数值为 a_x ，量化单位为 a_0 ，则

$$x = a_x \cdot a_0 \quad (1-1)$$

上式可理解为被测量等于 a_x 个量化单位 (a_0)，反映了被测量与量化相比较的情况。

通常，测量的结果应包括量值和误差两部分。量值由数值（大小和符号）和相应的单位名称组成，它也可以通过曲线或图形等形式表现出来。误差说明了测量结果的量值的可信赖程度。

(二) 测量与科学技术的发展

在科学技术的发展过程中，测量结果不仅仅是验证理论的客观标准，而且常常是发现新问题、提出新理论的线索和依据。

这样的例子在科学发展史上是不胜枚举的。例如，电子显微镜的出现不仅可以观察物质的微观结构，而且可进行精确的测量，同时人们还意外地发现了一些致病的病毒，形成了生物科学的一次飞跃，此外，它还还为电子技术，材料科学等领域的发展作出了杰出的贡献。又如，在医学上，对人体的某些疾病目前尚无有效的治疗方法，尽管其原因

很多,但是,有关人体心理、生理、病理的测试手段的贫乏不能不说是重要的原因之一。

仅从上面两例,我们即可看出测量技术对于科学技术发展的重大作用。当今各门学科都在不断革新自己的检测手段,以加快自身的发展步伐。

我们也应看到,测量技术的前进与发展是和科学技术的发展紧密相关的。科学技术的发展也促进了测试技术的革新。例如,计算机技术的飞速发展,使得自动测试技术取得了长足的进步。

(三) 测量与生产的发展

现代化的生产离不开机械化、电气化和自动化,而这些过程中都必须依靠检测手段来获取它们工作是否正常的信息。因此,为了保证产品的质量,在生产过程中对每一工序的监测都是必不可少的。

在产品出厂时,其有关性能的测试结果,是其质量优劣的根据。

因此,先进的检测技术是高质量、低成本、大批量生产的重要保证之一。没有必备的检测手段,就不可能有合格的产品。

二、测量仪器和电子仪器

(一) 测量仪器

前面已说过,测量是一个将被测量对象与测量仪器的量化单位进行比较的过程。因此,就需要有体现量化单位的器具,这些器具称为量具。

量具中只有少数的(如尺子、量杯等)可以直接参与比较,大多数需要借助于专门的比较设备才能参与比较。例如,用标准电阻来测量一个未知电阻时,需要借助于电桥;利用标准电池来测量一个未知直流源的电压时,需要借助于电位差计等。这些用作比较的设备称为比较仪。

在实际工程测量中,很少使用量具,而是广泛地使用各种直读式仪器,这类仪器可以通过其读数机构直接得到测量结果。但是,它的测量精确度一般不如量具高。

测量仪器是泛指一切参与测量工作的设备。它包括各种比较仪、直读及非直读的仪器、为测量工作提供各种信号及电源的设备以及完成各种辅助任务(如变换、记录、运算等)的设备。

(二) 电子仪器

电子仪器泛指一切利用电工及电子学原理进行测量的仪器、仪表、装置、系统和辅助设备。其中常用的有万用表、电子电压表、电子示波器、频率特性测试仪、频谱仪、信号发生器、频率合成器、频率计、稳压电源等。

电子仪器具有功能多、量程广、频率测量范围宽、精度高、测量速度快及便于实现遥测遥控等优点。

在非电量电测技术中,可以利用传感器将非电量变换为电压、频率等电参量,通过对这些电量的测量,得到相应的非电量的量值。因此,电子仪器的使用范围已渗透到各个科学技术领域,成为各类实验室和生产单位不可缺少的测量工具。

随着微型计算机(MC)和微处理器(MP)在测量技术中越来越广泛的应用,电子仪器在自动测试、自动校准、故障自诊断、提高测量精确度等方面都取得了革命性的进展。智能仪器、自动测试系统、个人仪器系统相继出现,电子仪器的发展进入了一个

崭新的阶段。

三、电子仪器的基本功能和基本性能

(一) 基本功能

检出变换、标准量保存、运算比较和操作显示,是电子仪器所具有的四种基本功能。

1. 检出变换

将被测量 x 检出并变换为输出量 y 的功能称为检出变换功能。例如,在电子电压表中测量交流电压时是将被测交流电压变换成直流电流而使电表偏转来完成检测的。

输出量 y 和被测量 x 之间的函数关系 $y = f(x)$ 称为变换函数。如果考虑众多的影响量 $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$, 则实际的变换函数为

$$y = f(x, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) \quad (1-2)$$

对上式求全微分, 可得:

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x} dx + \frac{\partial y}{\partial \theta_1} d\theta_1 + \dots + \frac{\partial y}{\partial \theta_m} d\theta_m \quad (1-3)$$

式中, 第二项 $\left(\frac{\partial y}{\partial \theta_1} \cdot d\theta_1\right)$ 至第 $m+1$ 项 $\left(\frac{\partial y}{\partial \theta_m} d\theta_m\right)$ 为各影响量引入的误差, 其数值越小越好。

2. 标准量保存

电子仪器标准量的保存一般有两种形式。一种是保存在仪器的刻度盘上, 刻度盘上的分度值是由标准量传递下来的, 这种形式常见于模拟式仪器; 另一种是以稳定的脉冲或时间间隔作为标准量, 它常见于数字式仪器。

标准量保存的精度决定了该仪器的最高精度。例如, 数字式频率计中, 内部晶体振荡器的频率精度就决定了该频率计的最高精度。

3. 运算比较

已如上述, 测量过程就是一个比较过程, 因此, 在电子仪器中比较功能是必需的。例如, 在示波器中测量被测电压的幅值时, 就是将被测电压引起的偏转距离和标准电压引起的偏转距离相比较后得到测量结果的。

计算功能在现代仪器中尤为突出, 带有微处理器的测量仪器往往具有多功能多参数测量能力, 这种能力常是采用间接测量方法的结果, 因此计算功能是获得这种能力的必备手段。

4. 显示操作

电子仪器的显示能力是表征仪器性能、人机联系能力的重要指标。

电子仪器的显示方式大致可分为三类:

(1) 模拟式

通常以指针的角位移或线位移、记录笔记录的变化曲线来显示结果。

(2) 数字式

它以各种数码显示的数字、字符(如七段显示器等)及数字式的打印记录显示结果。

(3) 图形式

这种方式是显示功能发展到高级阶段的产物,它除了具有模拟、数字、字符显示的功能外,还能显示曲线、表格、图象、背景、变量场、物理量的动态变化过程外,且具有色彩配合、闪烁加强功能等。

在最新的仪器中,除了显示功能外,还采用自然语言输出。语言输出较之显示输出的最大优点是可以更进一步地解放操作者,使操作者可以兼做其它工作。随着语音合成器集成电路的普及,仪器的自然语言输出将会取得更大的进展。

(二) 基本性能

电子仪器品质评价的依据是其基本性能的优劣。一般,电子仪器的基本性能可从下面四个方面来衡量,即静态性能、动态性能、可靠性及经济性。

1. 静态性能

(1) 精确度

精确度是精密度和正确度两者含义之总和。

i) 精密度

电子仪器的精密度取决于仪器示值的有效位数及重复性。

所谓重复性是指在相同条件下,同一被测量值由同一测量者用同一仪器在相当短的时间内按同一方向连续重复测量多次,所得的一组数据的接近程度。它和仪器内部噪声和漂移有关。重复性好,是电子仪器精密度高的必要条件,但非充分条件。

重复性好应建立在电子仪器具有一定的示值有效位数上。这一点很显然,例如,四位数字电压表和七位数字电压表的重复性是不能等同的。

因此,示值有效位数多、重复性好(即随机误差小)的电子仪器其精密度才高。

ii) 正确度

正确度表示仪器示值有规律地偏离真值的程度,它反映了仪器系统误差的大小。

仪器示值越接近真值,那么仪器的系统误差就小,也就是正确度越高。

(2) 灵敏度

稳态下,仪器输出增量与输入增量之比称之为灵敏度,又称为增益或比例因子。灵敏度的倒数称为偏转因素或反向灵敏度。

若输出增量为 Δy , 输入增量为 Δx , 则灵敏度 S 为

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-4)$$

若函数 $y = f(x)$ 是直线,则灵敏度 S 为常数;若 $y = f(x)$ 不为直线,则灵敏度 S 随被测量的大小而变。

(3) 分辨率

仪器所能检测出的被测量的最小变化值称为仪器的分辨率。

一般模拟式仪器的分辨率规定为最小刻度分格值的一半;数字仪器的分辨率为最末一位的一个字。

(4) 线性度

线性度通常采用端基线性度来描述,即仪器实际静态特性曲线与连接特性曲线上、下限值的直线(称为端基直线)之间的最大偏差值与上限值(满度值)之比(见图 1-1)。

线性度的数学计算式为

$$E_e = \frac{\Delta y_{\max}}{y_{\max}} \quad (1-5)$$

式中: E_e 为端基线性度; $\Delta y_{\max}$ 为实际特性曲线与端基直线之间的最大偏差值; $y_{\max}$ 为满度值。

(5) 死区

仪器无响应的被测量的最大变化范围称为死区。

(6) 量程

测量上限值与下限值之差称为量程, 即量程 B 为

$$B = x_{\max} - x_{\min} \quad (1-6)$$

若下限值 $x_{\min} = 0$, 则量程 B 等于上限值 $x_{\max}$ 。

为对不同仪器进行比较, 也可利用量程比 D 作为量程的指标。它的定义是: 在满足某一设定相对误差 r 的条件下, 测量上限值 $x_{\max}$ 与测量下限值 $x_{\min}$ 之比, 即

$$D = \text{满足 } r \text{ 的测量上限值} / \text{满足 } r \text{ 的测量下限值} \quad (1-7)$$

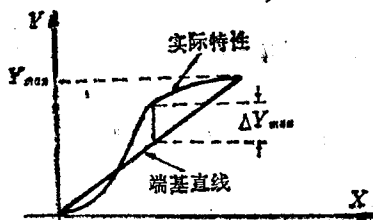


图 1-1 端基线性度

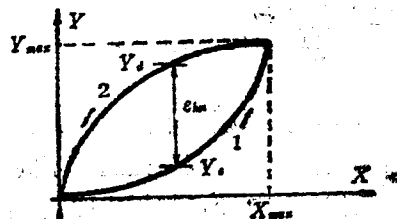


图 1-2 滞环

(7) 滞环

被测量增大的上升段和减小的下降段仪器所测得数据的不一致程度称为滞环, 如图 1-2 所示。

最大滞环误差由下式给出:

$$r_m = \frac{\varepsilon_{hm}}{y_{\max}} = \frac{|y_d - y_c|_m}{y_{\max}} \quad (1-8)$$

式中, ε_{hm} 为被测量 x 连续减小时的仪器示值 y_d 与被测量 x 连续增加时的仪器示值 y_c 之差的绝对值的最大值。

(8) 回差

仪器的回差是指当被测量上升和下降时, 同一被测量所引起的仪器示值不同的最大差值。

回差包括滞环和死区。

(9) 稳定性

仪器的稳定性是指在规定的工作条件保持恒定时, 仪器性能在规定时间内保持不变的能力。

稳定性一般用精密度的数值和观测时间共同表示。观测时间可为 15 分、1 小时、1

天、10天、1个月、3个月、半年、1年等。

(10) 工作条件的影响。

电子仪器常被规定了额定工作条件,如电源电压、温度、大气压力、相对湿度等的范围。如果仪器实际的工作条件超出了规定的范围,就会产生额外的测量误差。

(11) 负载效应和输入、输出阻抗

为减小对被测量的影响,仪器的负载效应应小,即应具有高的输入阻抗和低的输出阻抗。

场效应管有极高的输入阻抗,它们是电子仪器中常用的输入电路器件。跟随器电路具有高的输入阻抗和低的输出阻抗,仪用放大器电路具有高的输入阻抗和共模抑制能力,它们是电子仪器中常用的输入电路。

在测试技术上采用零示法原理,可以防止仪器从被测量中吸取能量,从而得到高的输入阻抗值。

2. 动态性能

(1) 时域响应

它主要指电子仪器对阶跃输入信号的响应时间,如上升时间、下降时间以及振铃、过冲等。

(3) 频域响应

电子仪器所能有效工作的频率范围称为工作带宽,它是电子仪器的一项重要技术指标。

同一电量,如果频率不同,那么它们的测试技术会有很大的差异。例如直流电压和高频电压的测量方法和仪器是迥然不同的。

在扫频信号作用下,扫频速度不同,仪器电路的响应也会有差异。这种动态性能,在使用扫频仪、频谱分析仪等类电子仪器时应予特别注意。

3. 可靠性

电子仪器是由电阻、电容、电感、电子管、晶体管、集成电路等器件连接成的各种电子线路以及相应的指示器、显示器、记录器等终端装置选配组合而成的测量仪器。它的电路复杂,器件数目多,一个器件出现故障,仪器便不能正常工作,因此,可靠性是电子仪器的一项重要指标。

仪器的可靠性是指仪器在规定的条件下,在规定的时间内完成所要求功能的概率。

(1) 平均无故障工作时间 (MTBF)

仪器的可靠性可以用平均无故障工作时间 MTBF (Mean Time Between Failures) 来估计。它是仪器连续运行时间与发生故障次数的比值。

仪器的故障规律通常可分为三个时期:早期故障期、偶然故障期和耗损故障期。故障率 $\lambda(t)$ 与时间的关系曲线示于图 1-3,该曲线俗称浴盆曲线。所谓故障率是指仪器工作到某时刻后单位时间内发生故障的概率。

图 1-3 的曲线说明:在仪器使用初期和后期,故障率高;而在偶然故障期,故障率低且几乎为一常数,

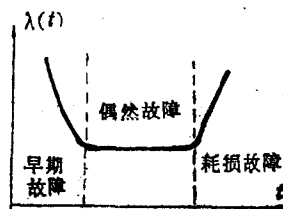


图 1-3 故障率 $\lambda(t)$ 曲线

是仪器最佳的工作阶段。

仪器的可靠性和故障率的关系可表示为

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (1-9)$$

式中, $R(t)$ 为仪器的可靠性。

在偶然故障期, $\lambda(t)$ 可视为一常数 λ , 则

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1-10)$$

上式说明, 在偶然故障期, 可靠性随仪器工作时间的增长按指数规律下降。若知道仪器此时的故障率 λ , 则可求出其 MTBF 为

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (1-11)$$

(2) MTBF 的估算

由于电子仪器是由众多的电子器件组成的, 因此可通过电子器件的故障率估算电子仪器的故障率, 并计算出 MTBF 值。

估算 MTBF 的步骤如下:

- i) 列出仪器中的各同类、同工作条件的器件;
- ii) 对每类器件列出基本故障率 λ_i (各类电子器件的故障率见表1—1);
- iii) 列出同类、同工作条件的器件个数 n_i ;

表1—1 电子器件的故障率

器件名称	类 型	故障率 λ (%/1000小时)
电 容 器	纸 介	0.05
	陶 瓷	0.025
	电 解	0.2
	钽 电 解	0.1
电 阻 器	合 成 式	0.005
	线 绕 式	0.03
	薄 膜	0.1
晶 体 管	硅	0.01
	锗	0.03
二 极 管	半 导 体	0.01
电 子 管	二 极 管	1.0
	三 极 管	1.8
	五 极 管	2.2
线 圈		0.05
连 结	焊 接 法	0.001
	绕 接 法	0.0001

iv) 列出相应于工作条件的加权系数 W_i (见表 1—2) ;

表 1—2 加权系数

器件名称	工作条件	加权系数 W_i
电 阻 器	工作于最大额定值的 0.1	1.0
	工作于最大额定值的 0.5	1.5
	工作于最大额定值	2.0
晶 体 管	工作电压的 0.1	1.0
电 容 器	工作电压的 0.5	3.0
	最大工作电压	6.0

v) 求出仪器故障率 λ

$$\lambda = \sum \lambda_n W_i \quad (1-12)$$

vi) 根据式 (1-11) 求出 MTBF

(3) 用寿命试验估计 MTBF

寿命试验是可靠性估计的实验方法, 是可靠性试验中的基本项目之一。它是将产品放在特定的试验条件下, 考察其失效随时间变化的规律。

对于电子仪器也是一样, 可以通过可靠性实验来估计它的 MTBF。由于电子仪器的故障出现时间一般较长, 要把一批试验仪器做到使其全部出现故障是难以实现的, 这样不得不考虑截尾寿命试验。

截尾试验方法有两种: 一种是定时截尾试验, 另一种是定数截尾试验。

定时截尾试验的方法是: 将参加试验的几台样品试验到事先规定的截尾时间 τ_0 时停止试验, 如截止前有 r 台仪器发生了故障, 它们出现故障的时间分别为 $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_r$, 则可根据上述数据估计出故障率。

定数截尾试验的方法是: 将参加试验的几台样品试验到事先规定的有 r 台仪器发生故障时停止试验, 根据 r 台仪器出现故障的时间 $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_r$ 来估计仪器的故障率。

如果按试验中出现故障的仪器是否用另一台相同仪器替换或修复后再行试验来分又可分为有替换试验和无替换试验。这样总合起来有四种试验方法。

下面以无替换定时截尾试验方法为例, 介绍估计 MTBF 的方法, 其步骤如下:

i) 从实验数据中求出被试仪器的总累计工作时间 T

$$T = \sum_{i=1}^r t_i + (n-r)\tau_0 \quad (1-13)$$

ii) 求出被试仪器的平均寿命估计值 $\hat{m}$

$$\hat{m} = T/r \quad (1-14)$$

iii) 根据表 1—3, 由总失效仪器台数 r 和置信度 p 查得定时截尾试验系数 C , 则得到仪器的 MTBF 值为

$$MTBF = C \hat{m}$$

由式 (1-15) 得到的 MTBF 的可信程度为 p 。

表1—3

定时截尾试验系数 C

总失台数 (r)	置 信 度 p		总失台数 (r)	置 信 度 p	
	80%	90%		80%	90%
1	0.334	0.257	16	0.787	0.713
2	0.467	0.376	17	0.793	0.720
3	0.544	0.449	18	0.799	0.727
4	0.595	0.500	19	0.804	0.734
5	0.632	0.534	20	0.809	0.740
6	0.661	0.570	25	0.829	0.764
7	0.684	0.595	30	0.844	0.783
8	0.703	0.616	40	0.865	0.810
9	0.719	0.634	50	0.879	0.829
10	0.733	0.649	60	0.889	0.843
11	0.744	0.663	70	0.898	0.854
12	0.755	0.675	80	0.904	0.863
13	0.764	0.686			
14	0.772	0.696			
15	0.780	0.704			

【例】有20台仪器进行3000小时的寿命试验，其中有12台发生故障，且发生故障的时间依次为270、420、500、920、1380、1510、1650、1760、2100、2320、2350、2650小时，服从指数规律分布，试求这批仪器的平均无故障工作时间MTBF。(S)

【解】：被试仪器的总累计工作时间 T 为

$$T = \sum_{i=1}^r t_i + (n-r)\tau_0 = 17830 + (20-12) \times 3000 = 41830 \text{ 小时}$$

平均寿命估值 $\hat{m}$ 为

$$\hat{m} = \frac{T}{r} = \frac{41830}{12} = 3490 \text{ 小时}$$

取置信度 $p = 0.90$ ，则由 $r = 12$ 查得 $C = 0.675$ ，故平均无故障工作时间 MTBF 为

$$\text{MTBF} = C \hat{m} = 0.675 \times 3490 = 2356 \text{ 小时}$$

它的可信赖程度为90%。

4. 经济性

电子仪器的经济性能用性能价格比来衡量。一般电子仪器的成本应包括制造成本、设计开发成本和维护修理成本。

仪器制造成本、设计开发成本和仪器的功能复杂程度及可靠性有关。一般用分立元件和 TTL 电路等小规模集成电路构成的电子仪器。当功能复杂程度和可靠性要求增加时，这两项成本增加很快。对于采用 ME 或 MC 的仪器，它有一个典型应用的基本成本，但随着功能的复杂，其成本的增加较为缓慢，且可靠性较高。

对于维护修理成本来说，可靠性高的仪器其维护修理成本低，而功能复杂的仪器，