

ELECTRONIC TESTING AND TROUBLESHOOTING

电子测试与 故障诊断

〔美〕 G.洛弗特 R.S.齐德奇 著

江庚和 毛乾刚 译
归瑤琼 张礼平



07

华中工学院出版社

内 容 提 要

本书是有关电子工程技术的实践性教科书,它提供了很多在其它书本中少有的实践性知识。书中关于数字和线性集成器件、电源及其控制电路、常用控制系统的33个实验练习,可使读者获得电子测试和故障诊断的有用经验。书末也给出了这些实验练习的习题答案。本书可作自动控制、无线电、电机、电力网、计算机等电类专业的教科书,对研究所、设计院、实验室和工矿部门从事电类专业的技术人员和维修电工也是一本有用的参考书。参加本书编译的有江庚和、毛乾刚、归瑶琼、张礼平等同志,全书由华中工学院工业电子学教研室主任江庚和副教授组织翻译并审定。

电子测试与故障诊断

[美]G. 洛弗特 R.S.齐德奇 著

江庚和 毛乾刚 归瑶琼 张礼平 译

江庚和 审校

责任编辑 知 平

华中工学院出版社出版

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所发行

华中工学院出版社沔阳印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.25 字数: 310,000

1986年2月第一版 1986年2月第一次印刷

印数: 1—12,000

统一书号: 15255-028 定价: 2.90元

英文版前言

《电子测试与故障诊断》是一本有关电子技术工程的实践性教科书。它既适用于学校也适用于工矿部门，可作为二年制或四年制学校教学计划中电子测试和故障分析方面的主要教科书。本书提供了很多在其它书本中不常包括的实践性知识，所以也可同电子线路的其它基本课程用书一起使用。由于本书包括了一些新型器件（特别是数字和线性集成器件）的基本资料，对于从事实际工作的技术员和工程师，本书可以作为培训教材或参考手册。

书中33个实验练习可供读者对某种故障形式下的实际电路进行安装、测试和评价，以取得有价值的经验。书末给出了所有实验练习的答案。

本书共包括技术规范、可靠性、电子组件、数字逻辑电路、线性集成电路、电源和电源控制电路、系统、维修和调试等章。本教材中的术语“故障诊断”，意指对新装置发现并排除故障，或者对旧装置按情况进行调整的一个过程。

希望本教程能为学生，同样也为实际工作者提供有用的知识。

R.S.齐德奇

目 录

第一章 技术规范	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 如何制订技术规范	(1)
1.3 限额值	(3)
1.4 标准技术规范	(3)
1.5 元件技术规范	(4)
1.6 设备的性能技术规范	(9)
1.7 测试技术规范的准备	(12)
1.8 有关测试技术规范的工作	(15)
1.9 小结	(15)
第二章 可靠性	(17)
2.1 引言和定义	(17)
2.2 影响设备可靠性的因素	(18)
2.3 可靠性的价值	(20)
2.4 故障率、MTTF、MTBF	(21)
2.5 可靠性的幂指数法则	(26)
2.6 环境对可靠性的影响	(28)
2.7 利用率	(30)
2.8 质量和可靠性的相互关系	(31)
2.9 小结	(31)
第三章 电子元件	(34)
3.1 引言	(34)
3.2 固定电阻器	(34)
3.3 固定电阻器的故障	(38)
3.4 可变电阻器 (电位计)	(40)
3.5 可变电阻器的故障	(42)
3.6 电容器	(42)
3.7 电容器结构	(46)
3.8 电容器的故障	(49)
3.9 电感器	(50)
3.10 半导体器件	(50)
3.11 半导体器件的故障	(57)
3.12 元件装配、测试与使用注意事项	(58)
3.13 元件测试电路	(60)
第四章 数字逻辑电路	(69)

4.1	引言	(69)
4.2	逻辑门的一般特性	(74)
4.3	常用逻辑门的运行原理	(77)
4.4	双稳态电路、计数器和寄存器	(84)
4.5	数字逻辑电路的故障诊断	(90)
4.6	练习: 未扣汽车座位皮带的告警装置	(93)
4.7	练习: 触点抖动消除装置	(95)
4.8	练习: 使用GMOS逻辑的告警装置	(96)
4.9	练习: 电话音响发生器	(97)
4.10	练习: 带有译码器和显示器的单个十进制计数器	(98)
4.11	练习: 两相时钟脉冲发生器	(100)
4.12	练习: 数字斜坡信号发生器	(102)
4.13	练习: 可编程分频器	(104)
第五章	线性集成电路	(106)
5.1	引言	(106)
5.2	运算放大器的基本原理	(107)
5.3	运算放大器电路的调试	(111)
5.4	定时器 IC 组件	(113)
5.5	其它线性 IC 组件	(117)
5.6	练习: 使用741运算放大器的音频放大器	(118)
5.7	练习: 使用741运算放大器的方波发生器	(120)
5.8	练习: 使用555的定时器单元	(122)
5.9	练习: 文氏电桥振荡器	(123)
5.10	练习: 带有音频输出的 1.5小时定时器	(124)
5.11	练习: 低频函数发生器	(125)
5.12	练习: 使用555的脉冲发生器	(127)
5.13	练习: 温度测量电路	(129)
5.14	练习: 带有零位指示器的桥路	(130)
5.15	练习: 有源滤波器	(132)
第六章	电源和电源控制电路	(134)
6.1	引言和定义	(134)
6.2	整流电路和非可调直流电源	(137)
6.3	线性调整器	(140)
6.4	开关式电源	(145)
6.5	高压直流电源	(146)
6.6	晶闸管和三端双向晶闸管开关	(148)
6.7	练习: 简单的直流电源	(151)
6.8	练习: 分立元件的线性调整器	(152)
6.9	练习: 运算放大器的电源	(153)
6.10	练习: 转换器	(154)
6.11	练习: 使用 $\mu A723$ 调整器的通用实验室电源	(155)
6.12	练习: 高压电源	(157)
6.13	练习: 带有过压保护的遥控5V逻辑电源	(159)

6.14 练习: 利用VMOS功率场效应管(FET)的灯光亮度控制.....	(161)
6.15 练习: 全波交流电源控制器	(163)
第七章 系统维护和故障诊断	(165)
7.1 引言	(165)
7.2 系统故障的诊断	(166)
7.3 系统故障诊断的资料和设备	(171)
7.4 练习: 光控闪烁器	(174)
7.5 练习: 过热报警系统	(176)
7.6 练习: 脉冲发生器.....	(178)
7.7 练习: 函数发生器	(182)
7.8 练习: 数字温度测量系统	(184)
7.9 练习: 直流电动机速度控制系统.....	(187)
附: 习题答案.....	(189)

第一章 技术规范

1.1 引言

在使用仪器作某种测量或为某种用途选用元件以前，必须知道仪器或元件的重要特性。什么是需要知道的呢？技术规范的数据表可以告诉使用者，仪器和元件应具备哪些特性，以及在什么环境条件下其特性是有保证的。技术规范的定义是“一个装置、设备、系统、产品或工艺过程所需特性的详细说明”。

例如，假设一个一般实验室用的信号发生器，必需的特性可能如下：

- (1) 频率范围：0.1Hz到1MHz连续可调
- (2) 输出波形：正弦波或矩形波
- (3) 正弦波失真：总谐波失真小于0.5%
- (4) 准确度：小于2.5%标度读数
- (5) 频率稳定度：每24小时小于 $\pm 0.2\%$ （在23°C时）
- (6) 频率温度系数：每°C 0.01%
- (7) 最大输出电压：10V（峰峰值）
- (8) 输出阻抗：60 Ω
- (9) 输出方波的上升和下降时间：小于100nS
- (10) 额定电源：120V，60Hz。

这些基本数字将包括在工厂销售指南和使用手册的性能技术规范（performance specification）项中。

对于特定用途的设备，使用者必须明确所需要的特性，随后核查工厂的技术规范能否符合要求。由于大部分工厂希望保持信誉，他们不希望为产品随便付出索赔，所以将尽力保证生产的仪器或元件符合技术规范。要做到这点，必须按标准测试每一台仪器，保证达到（或者在大多数情况下）甚至超过他们规定的特性指标。因此，在工厂内部要发布测试技术规范（test specification），并在校验仪器或元件特性的所有方面用它来作指导。

性能技术规范，可被设备的潜在买主用来比较和对照由一些工厂提供出售的各种仪器或系统。在此情况下，使用者可以选择在技术和经济条件方面最合适的产品。

测试的主要目的之一是保证制造的产品和仪器符合规定的技术规范。

1.2 如何制订技术规范

技术规范是制造工艺规程中一个必要的部分。在电子工业内部，特别是在设备研制工厂（original equipment manufacturer）内部，有很多书写和商定性能技术规范的方法。在图1.1中给出了一个电子仪器公司的机构的方框图，这可用来说明如何制订技术规范。

对特定仪器的要求可通过下述方面来得到：

- (1) 顾客对专门销售部门的要求，

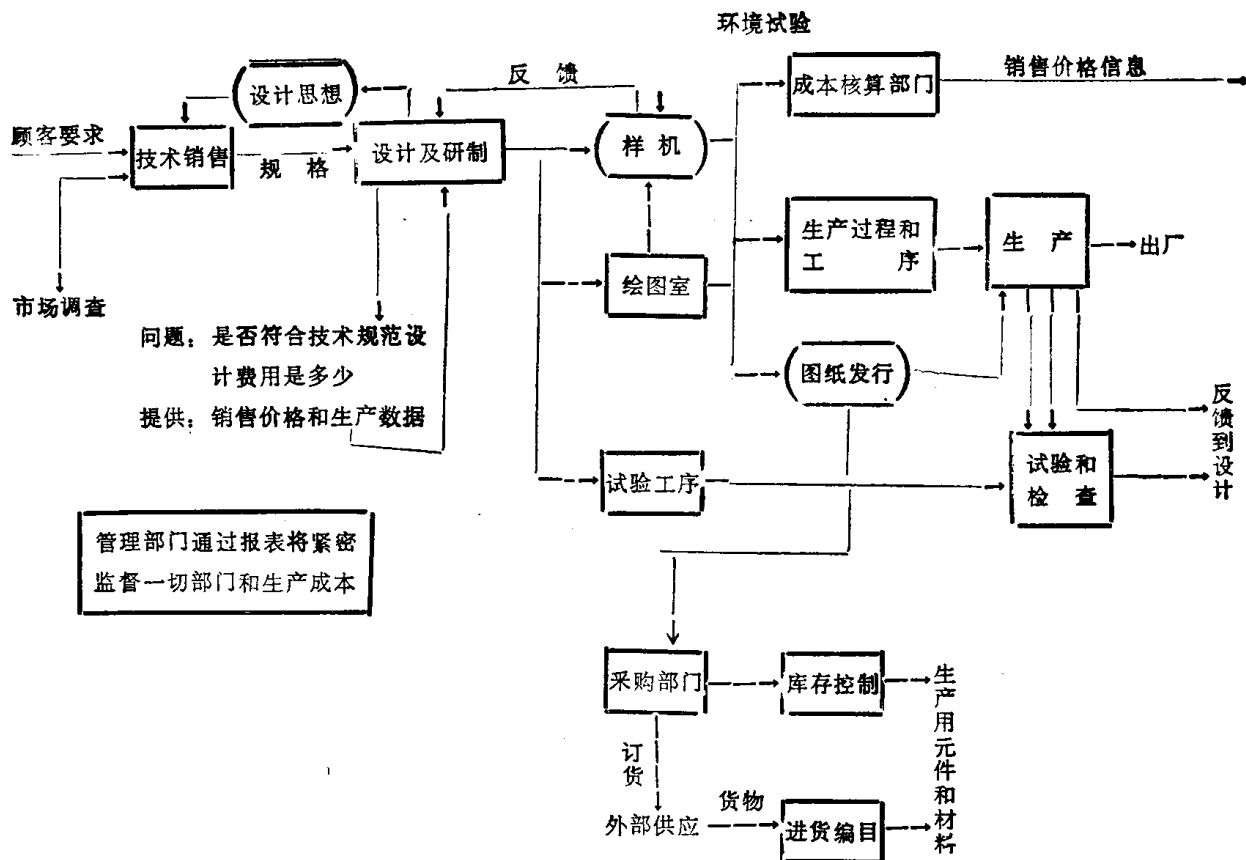


图 1.1 电子仪器公司的典型结构

(2)由销售部门提供的市场调查；

(3)来自设计部门的革新建议。

对可能成为主顾的人，亦即存在的潜在市场，则管理部门应该邀约来进行设计评价，并分配资金给设计部门进行设计。设计部门对生产符合所需技术规范的仪器进行可行性调查和评价，最后提供一分报告和生产一台可能的样机模型。报告必须回答下述基本问题：

(1)能否实现所提出的技术规范？

(2)总的设计费用将是多少？

(3)总生产成本将是多少（以及恰当的销售价格）？

(4)多长时间能开始生产？

如果这些问题的回答是令人满意的，管理部门将指示进行正式的设计。设计部门就继续进行电路和版面设计的定稿、绘制生产工程图、发布零件明细表以及检定样机模型，并且在样机上完成环境试验，即在预期的温度、湿度和压力的环境条件下测试样机性能。还可能要对样机做振动试验和机械冲击试验，以便在投入生产以前根据测试结果来改善设计和提高可靠性。

提出测试技术规范也是设计工程师的任务。在安排生产以前，测试技术规范要发布到测试部门。测试工程师利用这个技术规范为用户提供测试指导（test instruction）文件，或者带有一些附加注解的全部测试技术规范的复制本。

某些部门（例如测试或生产部门）将信息迅速地回输到设计部门的反馈循环是很重要的。这样，可使提高性能和可靠性的工作可以尽早进行。对一个已经在生产中的设备进行改

进，有时是必要的和不可避免的，但这样做代价经常是昂贵的。如果设备的零件需要“后设计”，代价则更高。

1.3 限额值

在任何技术规范的编制中，作者必须经常记住每一个参数或特性的最大值和最小值。例如在电子线路中的振荡器频率必须测量和记录，所需的频率是400Hz时，其限额值是该值的 $\pm 10\%$ 。这些限额值可以写成：

400Hz $\pm 10\%$;

400Hz ± 40 Hz;

最小360Hz，额定值400Hz，最大440Hz;

不小于360Hz和不大于440Hz;

在360Hz和440Hz之间;

小于440Hz并大于360Hz。

注意，所有这些都是规定400Hz频率的同一个限额值，其中有些意义较明确并易于领会。但是完成百分数的限额值就需要人们把百分数转换成实际数字，即转换为 ± 40 Hz。当百分数是10时，转换比较容易，但假使限额值是 $+12\%$ 和 -2.5% ，则写成400Hz $+12\% - 2.5\%$ 可能导致计算错误。改进的措施是写成400Hz $+48$ Hz -10 Hz，更好的是写成不小于390Hz和不大于448Hz的形式。最后一种表示方法能最清楚地指出限额值。

利用数学符号，例如用 $\nlessgtr$ 代替“不大于”来缩短注释的要求会受到抵制，因为使用这一符号会引起读者头脑中技术规范的混乱。

在任何特定机构内，经常用一种标准形式来书写技术规范和限额值，可减少由于解释错误而出现的误差。使用限额值的例子将在本章的后面部分给出。

1.4 标准技术规范

顾客和制造厂对于仪器和元件的性能使用同一术语是重要的。同样，他们参考某些外界测量标准和特性也是重要的。在美国，为此目的服务的是美国国家标准学会(American National Standards Institute) ANSI。

下述ANSI标准适用于电气和电子图表：(1)电气和电子图表的图示符号（包括标准的规定种类、规定字母），称做文本号ANSI Y32.2-1975或电气和电子工程师学会(Institute of Electrical and Electronic Engineers) IEEE Std 315-1975；(2)逻辑图表的图示符号（双态器件），称做文本号ANSI Y32.14-1973或IEEE Std 91-1973。这两种标准曾被美国国防部采纳，并被国际电气技术委员会(International Electrotechnical Commission) IEC批准推荐。第一个文件（电气和电子图表的图示符号）也曾被加拿大标准协会(Canadian Standards Association) CSA批准为文件号CSA299-1975。

美国国家标准可作为制造厂、用户和全体民众的指南。可以打电话或寄信给美国国家标准学会(American National Standards Institute, 1430 Broadway, New York, N.Y. 10018.)索取资料。

在以下各章中经常使用的图示符号和规定字母是由ANSI批准的。电子工业协会(EIA (Electronics Industries Association))也出版了名为联合电子设备工程委员会(Joint Electron Devise Engineering Council) JEDEC的文件。该文件介绍半导体器件数据表和技术规范的字母符号、缩写、术语

和定义。出版物号为No.77B。该出版物提供的数据可简化JEDEC注册的数据格式的使用。带有前缀1N、2N、3N或4N的半导体器件都是JEDEC注册的器件。一般，用于本教材的是带有JEDEC注册的器件，当涉及半导体字母符号时可用EIA刊物No.77B的规定。

1.5 元件技术规范

完善的工程设计要求设计者为某一特定用途使用最有效的和低价格的元件。例如需要一个3A的整流器时，就不要使用10A的整流器。不必要地提高可靠性或质量要求会导致增加成本。

对用户来说，满足要求的元件参数的重要性是不言而喻的。因为它允许同其它相似元件比较性能，并表示如何使用该器件和在确定条件下器件特性的详细说明。在着眼于实际技术规范以前，首先要考虑用于电子工业的各种不同元件。这些元件分以下凡组：

- (1)机械零件：金属底架和托座、导线、印刷电路板、连接件、插头和插座；
- (2)无源器件：固定和可调电阻、固定和可调电容、电感；
- (3)有源器件：晶体管、二极管、晶闸管、场效应管和集成电路。

这些元件的结构将在第三章中论述。这里所关心的是那些对使用者来说是重要的参数和特性，以及这些特性需要在什么范围内。设计者必须使用技术规范为某一应用选择最合适的器件。选择是由价格、可得性和标准化要求决定的。后面一点是十分重要的，因为在一个大机构内，当设计者要求能完全自由地选择元件时，则在一些生产不同类型的电阻、电容和半导体的工厂中将导致产品品种的迅速扩大。这将增加购买、贮存和生产中的费用。因此，除少数特殊元件外，大部分制造厂对于一般的元件坚持按标准化生产，即固定电阻的值域、电容的值域以及通用半导体器件可选择值域的系列。

在同类元件中经常有几种类型。例如在固定电阻种类中，设计者可以选用下述电阻类型中的任一种：

- 碳合成物电阻；
- 碳膜电阻；
- 金属氧化物电阻；
- 金属膜电阻；
- 金属瓷釉电阻；
- 线绕电阻。

固定电容的类型有：

镀银云母电容	}	相对地低电容阻；
陶瓷电容		
纸和金属化纸电容；		
聚酯电容；		
聚苯乙烯电容；		
钽箔电容	}	高电容值。
铝电解质电容		

数据表必须写成清楚简要的形式。一个元件技术规范 (component specification) 的

典型格式包括下述内容:

- (1) 器件、类型和系列;
- (2) 器件选择和应用范围的简要叙述;
- (3) 表示机械尺寸和连接的外形图;
- (4) 主要电气特性和电压、电流和功率的最大额定值的简要说明;
- (5) 全部电气数据, 包括数字、必要的图表和特性曲线;
- (6) 生产检验方法的说明;
- (7) 可靠性数字或故障率。

制造厂数据表的例子示于表1.1和表1.2中。技术规范用来说明应用范围、最大额定值以及其它重要电气数据的极限值。所选的两个例子描述了通常的格式。要完全了解元件的技术规范, 最好去查阅制造厂的数据手册。

表 1.1 制 造 厂 的 数 据 表

单圈密封线、绕电位器

小型通用密封线圈, 带有防潮结构的仪表板控制电位器, 酚醛塑料模压体, 镀铜触点, 镀镍黄铜芯轴和轴套

CLR 1232

1/2瓦, 在70°C时容差为 $\pm 10\%$, 阻值为100 Ω , 10k Ω , 100 Ω , 500 Ω , 1k Ω , 2.5k Ω , 5k Ω , 10k Ω 。

技术数据

线性度	一般为1%, 最大为2%
触头电阻	最大为0.2 Ω 和标称电阻值的0.01%中较大的一个
元件电压极限值	250V直流或交流有效值
绝缘电压	360V交流峰值
绝缘电阻	在100V直流时最小为1000M Ω
转动噪声	最大为100E.N.R.
转动角度	机械角度 $290^\circ \pm 10^\circ$ 电气角度 $265^\circ \pm 15^\circ$

芯轴长度规则		
CLR	1232/268	5/8"开槽长度
CLR	1232/11S	3/4"开槽长度

问题之一是如何去理解数据, 以便正确选择器件。要做到这一点, 理解器件工作的方式和被应用器件具有最重要特性是很重要的。例如, 最通常使用的元件之一是固定值电阻。除价格外, 还必须考虑下述所有方面(不是按重要性的次序排列):

- (1) 实际尺寸长度、直径、引线形状和大小;
- (2) 电阻限额值(最大和最小欧姆值);
- (3) 选择容差 电阻器的最大和最小选择值, 即 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 或 $\pm 20\%$ (优先选用值见第三章);
- (4) 额定功率 耗散的最大功率瓦数, 经常指的是在温度70°C(民用的), 125°C(军用的)时;

(5)温度系数 电阻随温度的变化,指的是每度百万分之几(ppm)。由于“系数”意味着是线性函数,最好是用“温度特性”这一术语。

(6)电压系数 电阻随所加电压的变化(有时是负的),指的是每伏百万分之几(ppm);

(7)最大工作电压 可加在电阻器两端的最大电压;

(8)击穿电压 可加到电阻器本身和接触到的外部导体之间的最大电压,即电阻器外层绝缘的击穿电压;

(9)绝缘电阻 外层绝缘的电阻值;

(10)负载寿命稳定性 在开始满负载(70°C时)工作一段时间后电阻值的变化。工作时间经常取1000小时;

(11)搁置稳定性 在贮存期间电阻值的变化,经常指的是一年贮存时间;

(12)工作温度范围 最小和最大的环境温度允许值;

(13)最大表面温度 电阻器本身温度的最大允许值,有时称做热部位温度;

(14)噪声 电阻器受所加电压引起的噪声,以 $\mu V/V$ 表示

(15)湿度级别 标准的高温和低温循环试验后电阻值的变化,其变化必须在限定的范围内;

(16)焊接影响 标准焊接试验后电阻值的任何变化。

注意必须考虑示于表1.1中的各种参数,在比较尺寸相近的各式电阻器时是十分有用的。在大部分情况下(除某些最大值以外)给出的数字是典型值。通过对表格的研究,专业人员常采用的将是金属氧化物或金属陶瓷电阻器,因为这种电阻器有广阔的阻值范围、好的稳定性和低温度系数。

表 1.2 制造厂的数据表

5082- 4420	高可靠性应用 的发光二极管												
特性 ·预定为高可靠性场合 ·密封的 ·使用寿命长 ·在广阔视域角度上有高明亮度, ·集成电路兼容低功耗													
说明 5082-4420为高可靠性应用 设计的高性能发光二极管 最大额定值(25°C) <table><tr><td>直流功耗.....</td><td>80mW</td></tr><tr><td>直流正向电流.....</td><td>85mA</td></tr><tr><td>峰值正向电流.....</td><td>1A</td></tr></table> (1μS脉冲宽度,每秒300次) <table><tr><td>绝缘电阻(在引线 and 外壳之间)</td><td>500V</td></tr><tr><td>工作和贮存温度范围.....</td><td>-55°C到+100°C</td></tr><tr><td>引线焊接温度</td><td>230°C 7秒时间</td></tr></table> 电气特性(25°C)		直流功耗.....	80mW	直流正向电流.....	85mA	峰值正向电流.....	1A	绝缘电阻(在引线 and 外壳之间)	500V	工作和贮存温度范围.....	-55°C到+100°C	引线焊接温度	230°C 7秒时间
直流功耗.....	80mW												
直流正向电流.....	85mA												
峰值正向电流.....	1A												
绝缘电阻(在引线 and 外壳之间)	500V												
工作和贮存温度范围.....	-55°C到+100°C												
引线焊接温度	230°C 7秒时间												
HEWLETT PACKARD 5082													

(续表1.2)

符 号	参 数	5082-4420			单 位	试 验 条 件
		最 小	典 型 值	最 大		
I	流明强度	500		3000	μcd	$I_F = 20\text{mA}$
λ	波长		500		nm	在峰值时测量
τ_s	响应速度		10		nS	$V = 0, f = 1\text{MHz}$
C	电容器		200	300	pF	
V_F	正向电压		1.6	2.0	V	$I_F = 20\text{mA}$
Bv_R	反向击穿电压	4	5		V	$I_R = 10\mu\text{A}$

对于特别的应用,设计者必须更细心地从元件的特殊类型中寻找,表中的简略形式数据有很明显的优点,因为这可帮助加快对特殊元件的检索。例如普通的晶体管有几千种类型,通过使用简略形式数据能更容易地找到所需要的晶体管。表1.4给出了晶体管的一般参数。

对三种类似的npn晶体管,利用表1.5可以更快地发现性能中的任何细小差别。

25°C环境(大气)温度时,表1.5中三种晶体管的额定功率 P_T 、最大平均电流 I_C (平均)、最大发射极-基极击穿电压 $V_{(BR)EBO}$ 都是相同的。因而,对于需要高集电极-基极击穿电压的地方,选择2N2243看来是正确的。随后,设计者查阅全部数据以全面校核元件的适用性。

表1.3 各种通用电阻类型的比较

电阻类型	碳合成物	碳膜	金属氧化物	金属瓷釉	通用线绕
限额值	10 Ω 到22M Ω	10 Ω 到2M Ω	10 Ω 到1M Ω	10 Ω 到1M Ω *	0.25 Ω 到10k Ω
选择容差	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	$\pm 2\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$
额定功率	250mW	250mW	500mW	500mW	2.5W
负载稳定度	10%	2%	1%	0.5%	1%
最大电压	150V	200V	350V	250V	200V
绝缘电阻	10 ⁹ Ω	10 ¹⁰ Ω	10 ¹⁰ Ω	10 ¹⁰ Ω	10 ¹⁰ Ω
击穿电压	500V	500V	1kV	500V	500V
电压系数	2000ppm/V	100ppm/V**	10ppm/V	10ppm/V	1ppm/V
环境温度范围	-40°C到+105°C	-40°C到+125°C	-55°C到+150°C	-55°C到+150°C	-55°C到+185°C
温度系数	$\pm 1200\text{ppm}/^\circ\text{C}$	$-1200\text{ppm}/^\circ\text{C}$	$\pm 250\text{ppm}/^\circ\text{C}$	$\pm 100\text{ppm}/^\circ\text{C}$	$\pm 200\text{ppm}/^\circ\text{C}$
噪声	1k Ω 2 $\mu\text{V}/\text{V}$ 10M Ω 6 $\mu\text{V}/\text{V}$	1 $\mu\text{V}/\text{V}$	0.1 $\mu\text{V}/\text{V}$	0.1 $\mu\text{V}/\text{V}$	0.01 $\mu\text{V}/\text{V}$
焊接影响	2%	0.5%	0.15%	0.15%	0.05%
搁置稳定性一年	5%最大	2%最大	0.1%最大	0.1%最大	0.1%最大
热阻尼	15%最大	4%最大	1%最大	1%最大	0.1最大
95%相对湿度					

* 现可得到高达68M的值

** $100\text{ppm} = 100 \times 10^{-6} \Omega/\Omega/\text{V}$, 即 $100 \times 10^{-6} \times 100\% = 0.01\%$.

表1.4 晶体管的一般参数

参 数		给定条件
h_{FE}	大信号共发射极电流增益 I_C/I_B	I_C, V_{CE}
h_{fe}	小信号共发射极电流增益	
$V_{(BR)CBO}$	集电极-基极击穿电位 (发射极开路)	I_C
$V_{(BR)CEO}$	集电极-发射极击穿电压 (基极开路)	I_E
I_{CM}	峰值集电极电流	
I_C (平均)	最大集电极平均电流	
I_{CBO}	集电极-基极漏电流	$V_{CB}(I_E=0)$
V_{CE} (饱和)	共发射极的集电极-发射极 饱和电压	$I_C: I_B$ 是10: 1
V_{BE} (饱和)	共发射极的基极-发射极 饱和电压	$I_C: I_B$ 是10: 1
f_T	增益带宽积 在此频率时 $h_{FE}=1$	I_C, V_{CE}
P_T	最大总功耗	环境温度或机箱温度

表 1.5

器 件	外 形	25°C时 P_T	$V_{(BR)CBO}$	$V_{(BR)CEO}$	$V_{(BR)EBO}$	I_C (平均)	10mA时 h_{EF}	f_T
2N2243	TO-5	800mW	120V	80V	7V	1A	30	50MHz
2N2869	TO-5	800mW	60V	40V	7V	1A	30	50MHz
2N2939	TO-5	800mW	75V	60V	7V	1A	240在150mA时	150MHz

这里不详细叙述元件的所有类型的技术规范。因为在大部分元件制造厂的数据手册中已给出了很有价值的数据和资料。在正确选择元件时，应遵循下列步骤。

(1)确定用途

例如：在可调电源中作电压调节的调整电位器

(2)列出要求

机械尺寸和调节方法（单圈）；

安装方法（印刷电路板或面板安装）；

阻值（500Ω）；

允许偏差（±20%）；

最大功耗（100mW）；

温度特性（优于±250ppm/°C）；

环境条件（温度范围-10°C到+40°C、可能碰到的机械冲击和振动程度、湿度等级）；

可靠性（所用元件类型的预测损坏率数字）。

括号中的数字是说明在应用中所需的可能值。

(3)为选择合适的元件类型校核简略参数

用金属陶瓷或线绕电位器，不能用碳合成物的，因为碳合成物的温度系数不符合要求。

(4)注意其它可能的条件限制

价格；

可得到性（有较好的第二来源）；

在机构内部形成标准化；

有第二（或多）来源的元件可在一个长期间内继续采用。

(5)校核元件的全部技术规范

必须利用全部数据来研究元件使用的各个方面。其中包括降低定额的作用。使器件工作在电压、电流和功率的最大额定值以下是一种改善可靠性的方法。

(6)评价

取得样品供检验，并随后在电路中予以测试。

虽然这种过程看来是冗长的，但可以确保选择正确的元件，并在生产中避免费用大的更改和降低工作的可靠性。

1.6 设备的性能技术规范

对一个完整的电子仪器或系统，必须清楚地给出技术规范，提供必要的资料，在讨论技术规范以前，先把要考虑的通用电子设备概括地分类如下

(1)电子测量仪器

模拟万用表

数字万用表

频率计、计数器、定时器

示波器

图示记录仪

XY绘图仪

噪音表

频谱分析仪

电桥

(2)信号发生器

音频（1Hz到1MHz）正弦波/方波发生器

射频发生器

脉冲发生器

电压和电流定标器

(3)电源

低压和高压可调直流电源

恒定电压电源（线性或开关式类型）

转换器

倒相器

电池充电器

可调交流电源

(4)通讯设备

无线电、电视和电话系统

遥测装置

雷达

超声（声纳）设备

(5)数据处理设备

计算机

打印机

计算器

微计算机

存贮系统

(6)家用电子设备

声频设备

电子音乐仪器

磁带和盒式录音器

TV游戏机

声-光设备

(7)控制系统

机械工具控制器

自动过程控制器

这分类不是完整的，且在类别之间显然有一些重迭，这仅表示所制造设备的多样性。所有这些设备都必须具有下述标准格式的性能技术规范：

(1) 说明和类别号

简要地注释所设计的仪器是干什么的，以及预计它的用途。

(2) 电气数据 (主要特性和功率要求)

输出量，电压等级，频率，阻抗，量程，准确度，失真度，温度特性。

交流三相 (或单相) 120V (或240V) 交流电源，频率 50Hz到60Hz，功率 200VA。

(3) 环境数据

工作温度范围 }
 湿度等级 } 对通用仪器不必经常提供。
 振动试验 }
 故障平均时间 }

(4) 机械数据

尺寸大小，重量。

性能技术规范的例子示于表1.6。它除说明了规范以外，还示出了低频信号发生器的 重要参数。使用者可针对所要求的特性校核技术规范数据。当然，预先假定使用者已确切知道什么是所要求的以及各种术语所指的是什么。例如方波上升时间表示输出从方波幅度满度的 10%变化到90%的时间小于100nS (图1.2) 。

也应该注意，在技术规范中，校准准确度是以所选的满刻度量程的 $\pm 3\%$ 表示 的。这意味着频率刻度盘位置的精度在每一量程的低端处相当不好。例如在30Hz的调整位 置处，其误差可能是100Hz的 $\pm 3\%$ (即 $\pm 3\text{Hz}$)，这是刻度盘调整位置表示值的10%。当然，这对 大部分应用可能是不重要的，但对某些应用却十分重要。在考虑购买仪器或系统以前，列出 全部要求的表格是考虑周到的习惯。

表1.6 文氏AMF TSA 625 宽带振荡器的性能技术规范

TSA 625 是多用信号源，提供低失真正弦输出或具有快速上升时间的方波。

频率范围

输出频率通过五个量程按钮开关和一个调节刻度盘来选择整个10Hz到1MHz的量程。整个频率量程的有效刻度长度超过3英尺。输出信号幅度从0到25V连续可调（在四个开关量程中）。

正弦或方波输出

TSA 625 使用一个维氏电桥可变频率振荡器作为信号源。当输出是正弦波时，信号源后面接一个反向放大器，当输出为方波时，信号源后面接一个斯密特触发电路。所选波形和频率的信号加到互补发射极跟随器输出级，并通过一个衰减器传送到输出端。

可再充电的电源

镍镉再充电电池和交流充电设备具有电池的所有优点（包括轻便和作为实验台振荡器长期使用时，可解脱与交流电源一起工作的输出嗡嗡声）。一个按钮开关用作电池的测试，在电池组再充电的时候，该设备工作于交流电源。

技术规范

频率量程

10Hz-1Mz带有细调控制的五级量程

调节精度

所选满刻度量程的 $\pm 3\%$

输出幅度

2.5V有效值最大正弦波和方波

输出量程

0-2.5mV, 0-25mV, 0-0.25V

0-2.5V

正弦波失真

超过100kHz时一般小于2%

方波上升时间

<100ns（典型为50ns）

输出阻抗

在2.5mV, 25mV和0.25V量程时为600 Ω 。在最大输出时典型值为100 Ω 。

工作温度

0°C到45°C

电源输入

带有交流充电器的再充电NiCd电源

(230V 50Hz)

尺寸和重量	高	130mm	5英寸
	宽	210mm	8英寸
	厚	130mm	5英寸
	重量	2.3kg	5磅

除低频信号发生器外，其它通用的电子仪器还有可调直流电源、数字万用表和中等带宽示波器。随同仪器的一些典型值一起，列出其重要特性和参数是很有用的。在查看表 1.7 以前，可对每一台仪器按你自己的要求列出表格，随后再与表 1.7 相比较。

表中给出的数字规定为通用仪器的典型数字，不一定是能得到的最好数字。例如，十分高性能的电源可能要求具有小于 100μV 峰峰值的输出纹波、0.005% 的负载调节和每 °C ±100ppm 的温度系数。习惯的做法是对若干类似的仪器校验其数据，并比较它们的性能数字。

明确理解用于技术规范中的术语和表达式也是很重要的。在购买非系列的新仪器时这特别重要。如果对技术规范的某些部分的确切含义有怀疑，一般可询问制造厂或查阅标准技术规范（或参考手册）来澄清。忽视部分技术规范或暂不理解是没有关系的，因为没有一个人能在每个领域中都是专家。但制订技术规范的工程师一定能为你解释每个难点，并能指出对应用的影响。

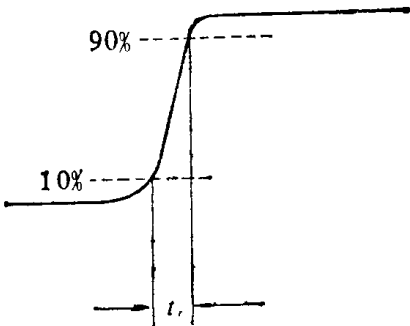


图1.2 方波上升时间

表1.7 通用测试仪器的典型要求

(1) 可调直流电源		实验台型号	触发灵敏度	内部 外部	1 刻度 1 V
参数或功能	典型值		(3) 数字万用表		3 1/2 数字位
输出电压	0到50V		参数或功能	典型值	
输出电流	最大为1A		量程		
负载调节	零到满载的0.02%		直流和交流电压	220mV到1kV	
线性调节	交流变化10%时为0.01%		直流和交流电流	200μA到1 A	
纹波和噪声	5mV峰峰值		电阻	200Ω到20MΩ	
输出阻抗	1kHz时为10mΩ		准确度		
温度系数	每 °C ±0.01%		直流	读数的±3 %， ±1 数字位	
电流限额	满载的110 %		交流	读数的±0.5 %， ±1 数字位	
(2) 通用示波器		(单线)	电阻	读数的±0.2 %， ±1 数字位	
参数或功能	典型值		响应时间		
显示阴极射线管	8cm × 10cm		直流	0.5秒	
荧光物质	P31		交流	3 秒	
垂直偏转(Y)			温度系数	±300ppm/°C	
带宽	直流到10MHz		输入阻抗	10MΩ和100pF	
灵敏度	5mV/刻度到20V/刻度		(V)	并联	
准确度	±5 %		共模抑制比		
输入阻抗	1MΩ和25pF		直流	120 dB	
最大输入	500V峰值		交流	60 dB	
水平偏转(X)			读出速率	每秒3次	
定时	0.1秒/刻度到 0.1微秒/刻度		最大输入电压	1.2kV	
准确度	±3 %				