

万用表 检测技术(下)

沙占友 著



世纪新版

万用表实用技术丛书③

万用表检测技术 (下)

沙占友 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为《万用表实用技术丛书》的第三册。本书共 18 章,从实用角度出发,深入阐述了利用指针万用表测量特种电阻器、热敏元件、过电压、过电流及过热保护元件、电容器、电感器、变压器和互感器、继电器、电动机、磁性元器件、特种开关、电声器件、电真空器件、照明灯具、表头、集成运算放大器及数字集成电路、电池及判定交流电源火线、线性集成稳压器、开关式集成稳压器、开关电源集成电路、电源模块及特种电源集成电路的原理、方法及注意事项,共计 150 个典型实例。

本书题材新颖,内容丰富,深入浅出,实用性强,可供电子与电工技术人员、家电维修人员和电子爱好者阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

万用表检测技术. 下 / 沙占友著. —北京: 电子工业出版社, 2005.4

(世纪新版万用表实用技术丛书: 3)

ISBN 7-121-01084-4

I. 万… II. 沙 III. 复用电表—测量方法 IV. TM938.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 028252 号

责任编辑: 魏永昌

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×980 1/16 印张: 17 字数: 435 千字

印 次: 2005 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 6 000 册 定价: 25.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

指针式（亦称模拟式）万用表简称万用表，目前已有近百年的发展历史。当今时代，尽管各种电子测量仪器、仪表日新月异，发展迅速，但就单台整机所具有的测试功能、使用灵活性及广泛性而言，非指针万用表莫属。指针万用表的功能齐全、操作简单、携带方便、价格低廉、容易维修，长期以来成为电子测量及维修工作的必备仪表。近年来虽有数字万用表与之竞争，但指针万用表目前仍是国内最普及、最常见的电测仪表。

万用表测量技术是电子测量的基础，也是电子工作者应具备的基本技能。目前国内外专门介绍指针万用表实用技术（包括测试功能扩展与使用技巧）的书很少，而这正是广大电子界读者所期盼的。为此，作者曾于1984年撰写了《万用表妙用100例》一书，该书出版后深受广大读者欢迎。经过10次印刷，总发行量达50万册，1994年荣获“全国优秀畅销书（科技类）”奖。1992年作者还撰写了《万用表测量技巧》一书，受到国内专家和广大读者的好评，该书累计发行量超过4万册，被评为电子版优秀图书。1994年作者还荣获“电子版图书优秀著作（译）者二等奖”。

《万用表妙用100例》一书出版已经整整20年了，而《万用表测量技巧》一书也已出版12年了。进入21世纪以来，随着电子工业的迅猛发展和电子产品的日益普及，对万用表测量技术也提出了更高的要求。鉴于原书早已绝版且难以适应现代科技的发展，为了推广万用表科研及应用领域的新技术，以满足广大读者的需要，我们在原著的基础上做了大量修改并补充了许多新内容，撰写成《万用表实用技术丛书》献给广大读者。该丛书共三册，第一册为《万用表功能扩展与应用》，第二册为《万用表检测技术（上）》，第三册为《万用表检测技术（下）》。

本书具有以下特点：第一，内容丰富，系统性强。深入阐述了利用指针万用表测量特种电阻器、热敏元件、过电压、过电流及过热保护元件、电容器、电感器、变压器和互感器、继电器、电动机、磁性元器件、特种开关、电声器件、电真空器件、照明灯具、表头、集成运算放大器及数字集成电路、电池及判定交流电源火线、线性集成稳压器、开关式集成稳压器、开关电源集成电路、电源模块及特种电源集成电路的原理、方法及注意事项。所介绍的测量原理及检修方法均经过本书作者的实践验证，能为从事电子、电工、仪器仪表和家电维修工作的人员提供帮助，也便于读者举一反三，触类旁通，灵活运用；第三，内容深入浅出，通俗易懂；第四，各章节保持相对独立，读者既可阅读全书，亦可选读某一章节。

本书由沙占友教授撰写。

沙江、沙莎、韩振廷、李学芝、魏跃平、张文清、宋怀文、王志刚、刘立新、张启明、刘东明、赵伟刚、宋廉波、刘建民、李志清、郑国辉、林志强同志为本书做了不少工作，仅表感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，欢迎广大读者指正。

作 者

目 录

第 1 章 检测特种电阻器	(1)
1.1 检测数字电位器的方法	(1)
1.1.1 数字电位器的主要特点及产品分类	(1)
1.1.2 数字电位器的工作原理与典型应用	(2)
1.1.3 数字电位器的误差分析及检测方法	(5)
1.2 检测网络电阻的方法	(6)
1.3 检测湿敏电阻的方法	(7)
1.3.1 湿敏电阻的特点	(7)
1.3.2 基于湿敏电阻的相对湿度测量仪	(8)
1.3.3 检测湿敏电阻的方法	(12)
1.4 检测电阻应变片的方法	(13)
1.4.1 电阻应变片的性能特点及产品分类	(13)
1.4.2 电阻应变片的工作原理	(14)
1.4.3 检测电阻应变片的方法	(15)
1.5 检测压阻压力传感器的方法	(15)
1.5.1 压阻压力传感器的工作原理	(15)
1.5.2 检测压阻压力传感器的方法	(16)
第 2 章 检测热敏元件	(17)
2.1 检测 NTC 热敏电阻的方法	(17)
2.1.1 NTC 热敏电阻的性能特点	(17)
2.1.2 检测 NTC 热敏电阻的方法	(19)
2.2 检测微型热敏电阻式点温计的方法	(20)
2.2.1 微型热敏电阻式点温计的电路原理	(20)
2.2.2 检测微型热敏电阻温度系数的方法	(21)
2.3 检测软启动功率元件的方法	(22)
2.4 检测 PTC 热敏电阻的方法	(23)
2.4.1 PTC 热敏电阻的性能特点	(23)
2.4.2 检测 PTC 热敏电阻的方法	(25)
2.5 检测消磁电阻的方法	(26)
2.5.1 消磁电阻的性能特点	(26)
2.5.2 检测消磁电阻的方法	(26)

2.6	检测热电偶的方法	(27)
2.6.1	热电偶的测温原理	(27)
2.6.2	检测热电偶的方法	(29)
2.6.3	热电偶冷端温度补偿器	(30)
2.7	检测铂热电阻的方法	(31)
2.7.1	铂热电阻的性能特点	(31)
2.7.2	检测铂热电阻的方法	(32)
第3章	检测过电压、过电流及过热保护元件	(33)
3.1	检测压敏电阻器的方法	(33)
3.1.1	压敏电阻的性能特点及产品分类	(33)
3.1.2	检测压敏电阻的方法	(35)
3.2	检测瞬态电压抑制器的方法	(35)
3.2.1	瞬态电压抑制器的原理与应用	(36)
3.2.2	检测瞬态电压抑制器的方法	(38)
3.3	检测熔断电阻器的方法	(38)
3.4	检测自恢复保险丝的方法	(40)
3.4.1	自恢复保险丝的工作原理及典型应用	(40)
3.4.2	检测自恢复保险丝的方法	(43)
3.5	检测火花放电器及气体放电管的方法	(44)
3.5.1	检测火花放电器的方法	(44)
3.5.2	检测气体放电管的方法	(44)
3.6	检测温度保险管及温度保护器的方法	(45)
3.6.1	性能特点及产品分类	(45)
3.6.2	检测温度保险管及温度保护器的方法	(46)
3.7	表头保护电路	(46)
第4章	检测电容器	(49)
4.1	测量电容器容量的方法	(49)
4.1.1	测量电容量方法之一	(49)
4.1.2	测量电容量方法之二	(51)
4.1.3	测量电容量方法之三	(53)
4.1.4	测量电容量方法之四	(53)
4.1.5	测量电容量方法之五	(54)
4.2	利用 C_x-U_R 曲线速查被测电容量的方法	(55)
4.3	测量小电容器容量的方法	(56)
4.3.1	测量小电容量方法之一	(56)
4.3.2	测量小电容量方法之二	(59)

4.4	自制三量程线性电容表	(60)
4.5	自制五量程线性电容表	(61)
4.6	测量电容器绝缘电阻的方法	(62)
4.7	判定电解电容器正、负极的方法	(63)
4.8	判定组合式电解电容器极性的方法	(63)
4.9	测量电解电容器漏电流的方法	(64)
4.10	检查电解电容器容量的方法	(66)
4.11	快速检测电解电容器漏电阻的方法	(66)
4.12	测量电解电容器容量的方法	(67)
4.12.1	测量电解电容器的容量方法之一	(67)
4.12.2	测量电解电容器的容量方法之二	(69)
4.12.3	测量电解电容器的容量方法之三	(70)
4.12.4	测量电解电容器的容量方法之四	(70)
4.13	测量微型记忆电容器容量的方法	(71)
4.14	检测数字电容器的方法	(72)
4.14.1	X90100 型数字电容器的主要特点	(72)
4.14.2	X90100 型数字电容器的原理与应用	(73)
4.14.3	数字电容器的检测方法	(75)
第 5 章	检测电感器、变压器和互感器	(76)
5.1	测量电感量的方法	(76)
5.1.1	测量电感量方法之一	(76)
5.1.2	测量电感量方法之二	(77)
5.1.3	测量电感量方法之三	(79)
5.2	利用 L_x-U_R 曲线速查被测电感量的方法	(80)
5.3	判定变压器、互感器绕组极性的方法	(81)
5.4	测量变压器每伏匝数的方法	(82)
5.5	测量互感量的方法	(83)
5.6	测量变压器绝缘电阻的方法	(84)
5.7	测量高频变压器漏感的方法	(84)
5.7.1	单片开关电源的典型应用电路	(84)
5.7.2	测量高频变压器漏感的方法	(85)
5.7.3	测量高频变压器其他参数的方法	(86)
第 6 章	检测继电器、电动机	(87)
6.1	检测灵敏电磁继电器的方法	(87)
6.1.1	灵敏继电器的性能特点	(87)
6.1.2	检测灵敏继电器的方法	(87)

6.2	检测固态继电器的方法	(88)
6.2.1	固态继电器的工作原理	(89)
6.2.2	检测交流固态继电器的方法之一	(91)
6.2.3	检测交流固态继电器的方法之二	(91)
6.3	检测固态继电器模块的方法	(92)
6.4	检测温度继电器的方法	(93)
6.4.1	温度继电器的工作原理	(93)
6.4.2	检测温度继电器的方法	(94)
6.5	检测极化继电器的方法	(94)
6.6	检测干簧管的方法	(95)
6.6.1	干簧管的工作原理	(95)
6.6.2	指针万用表泄漏磁场的特性	(96)
6.6.3	检测干簧管的方法	(96)
6.7	判定电动机定子绕组始端、末端的方法	(97)
6.8	检测电动机绝缘强度的方法	(98)
6.8.1	检查电动机的绝缘强度方法之一	(98)
6.8.2	检查电动机的绝缘强度方法之二	(99)
6.9	测量电动机转速的方法	(99)
第7章	检测磁性元器件	(101)
7.1	检测软磁铁氧体磁心的方法	(101)
7.1.1	软磁铁氧体磁心的特性	(101)
7.1.2	检测软磁铁氧体磁心的方法	(102)
7.2	检测磁珠的方法	(102)
7.2.1	磁珠的基本工作原理	(102)
7.2.2	用万用表检测磁珠的方法	(104)
7.3	检测霍尔元件的方法	(104)
7.3.1	霍尔元件的基本原理	(104)
7.3.2	检测霍尔元件的方法	(105)
7.4	检测集成霍尔开关的方法	(106)
7.4.1	集成霍尔开关的工作原理	(106)
7.4.2	检测集成霍尔开关的方法	(108)
7.5	检测磁饱和交流稳压器的方法	(108)
7.5.1	磁饱和交流稳压器的原理	(109)
7.5.2	检测磁饱和交流稳压器的方法	(110)
第8章	检测特种开关	(112)
8.1	检测指轮开关的方法	(112)

8.1.1	指轮开关的构造原理及应用	(112)
8.1.2	检测指轮开关的方法	(114)
8.2	检测薄膜开关的方法	(115)
8.2.1	薄膜开关的性能特点	(115)
8.2.2	检测薄膜开关的方法	(117)
8.3	检测薄膜面板的方法	(117)
8.4	检测模拟开关的方法	(119)
8.4.1	由分立元件构成的模拟开关	(119)
8.4.2	CMOS 模拟开关的工作原理	(120)
8.4.3	检测模拟开关的方法	(121)
第 9 章	检测电声器件	(123)
9.1	判定扬声器极性的方法	(123)
9.1.1	判定扬声器极性方法之一	(123)
9.1.2	判定扬声器极性方法之二	(124)
9.2	检测压电陶瓷片的方法	(124)
9.2.1	压电陶瓷片的性能特点	(124)
9.2.2	检查压电陶瓷片方法之一	(125)
9.2.3	检查压电陶瓷片方法之二	(125)
9.2.4	检查压电陶瓷片方法之三	(126)
9.3	检测驻极体话筒的方法	(127)
9.4	检测电子蜂鸣器及电磁讯响器的方法	(128)
9.4.1	检测电子蜂鸣器的方法	(128)
9.4.2	检查微型电磁讯响器的方法	(128)
9.5	检测石英晶体的方法	(129)
9.5.1	石英晶体的工作原理	(130)
9.5.2	检查石英晶体的方法	(130)
9.6	检测功率音乐 IC 的方法	(131)
第 10 章	检测电真空器件	(133)
10.1	检测电子管阴极发射能力的方法	(133)
10.2	测量电子管跨导的方法	(134)
10.3	检测示波管阴极发射能力的方法	(136)
10.4	检测显像管阴极发射能力的方法	(137)
10.4.1	检查黑白显像管阴极发射能力的方法	(137)
10.4.2	检查彩色显像管阴极发射能力的方法	(137)
10.5	测量示波管、显像管高压的方法	(138)
10.6	检测频闪管、闸流管触发能力的方法	(139)

10.6.1	频闪管的工作原理	(139)
10.6.2	检测频闪管的方法	(140)
10.7	测量充气稳压管稳定电压的方法	(140)
10.8	测量氖管、氖气辉光灯着火电压、熄灭电压的方法	(141)
10.8.1	氖管和氖气辉光灯的工作原理	(141)
10.8.2	检测氖管和氖气辉光灯的方法	(142)
10.9	电子管的修复方法	(143)
10.9.1	已衰老的电子管修复方法	(143)
10.9.2	电子管常见故障的修复方法	(144)
第 11 章	检测照明灯具	(146)
11.1	检测日光灯管及黑光灯起辉情况的方法	(146)
11.1.1	检测日光灯管起辉情况的方法	(146)
11.1.2	检测经济日光灯的方法	(147)
11.1.3	检测环形日光灯管及黑光灯管的方法	(147)
11.2	检测日光灯启辉器及镇流器的方法	(148)
11.2.1	检测日光灯启辉器的方法	(148)
11.2.2	检测日光灯镇流器的方法	(149)
11.3	检测高压汞灯、碘钨灯、钠灯起辉情况的方法	(150)
11.4	检测超高压球形汞灯起辉情况的方法	(151)
11.5	检测霓虹灯起辉情况的方法	(153)
第 12 章	检测表头	(154)
12.1	判定表头好坏的方法	(154)
12.2	估测表头灵敏度和内阻的方法	(154)
12.3	测量表头灵敏度的方法	(155)
12.4	测量表头内阻的方法	(156)
12.4.1	测量表头内阻方法之一	(156)
12.4.2	测量表头内阻方法之二	(157)
第 13 章	检测运算放大器及数字集成电路	(158)
13.1	估测集成运算放大器放大能力的方法	(158)
13.1.1	集成运算放大器的分类	(158)
13.1.2	估测集成运算放大器的放大能力	(158)
13.2	检测 ICL7650 型斩波自稳零式精密运放的方法	(160)
13.3	检测 TL062 型低功耗双运放的方法	(161)
13.4	检测 LM324 系列低功耗四运放的方法	(162)
13.5	检测 LM339 系列低功耗低失调四电压比较器的方法	(163)
13.6	测量放大器输入、输出阻抗的方法	(163)

13.6.1	测量放大器输入阻抗与输出阻抗方法之一	(163)
13.6.2	测量放大器输入阻抗与输出阻抗方法之二	(164)
13.6.3	测量放大器输入阻抗与输出阻抗方法之三	(165)
13.7	区分 CMOS 电路与 TTL 电路	(166)
13.7.1	CMOS 数字集成电路的特点	(166)
13.7.2	TTL 数字集成电路的特点	(167)
13.7.3	区分 CMOS、TTL 数字集成电路的方法	(167)
13.8	区分 CMOS 电路与高速 CMOS 电路	(168)
第 14 章	检测电池及判定交流电源的火线	(169)
14.1	干电池负载电压测试法	(169)
14.2	氧化银钮扣电池充电测试法	(170)
14.3	镍镉蓄电池的充电测试法	(171)
14.3.1	镍镉电池的构造原理	(171)
14.3.2	镍镉电池的充电测试法	(172)
14.4	鉴别锂离子电池的方法	(174)
14.4.1	锂离子电池的性能特点	(174)
14.4.2	鉴别锂离子电池的方法	(176)
14.5	检测硅光电池的方法	(176)
14.5.1	硅光电池的性能特点	(176)
14.5.2	检测硅光电池的方法	(177)
14.6	判定交流电源火线的方法	(178)
14.6.1	用测量法判定交流电源的火线	(178)
14.6.2	用感应法判定交流电源的火线	(178)
14.6.3	用接触法判定交流电源火线的方法	(179)
14.7	确定电源线断芯位置的方法	(181)
第 15 章	检测线性集成稳压器	(182)
15.1	线性集成稳压器的分类	(182)
15.2	检测三端集成稳压器的方法	(183)
15.2.1	7800 系列三端稳压器的原理与应用	(183)
15.2.2	检测 7800 系列三端稳压器的方法	(185)
15.3	检测 7900 系列三端集成稳压器的方法	(186)
15.3.1	7900 系列三端稳压器的原理与应用	(186)
15.3.2	检测 7900 系列三端稳压器的方法	(188)
15.4	检测低压差三端集成稳压器的方法	(188)
15.4.1	低压差集成稳压器的性能特点	(188)
15.4.2	低压差集成稳压器的典型应用	(189)

15.4.3	检测低压差集成稳压器的方法	(190)
15.5	检测 LM317 系列三端可调式集成稳压器的方法	(191)
15.5.1	三端可调式集成稳压器的产品分类	(191)
15.5.2	LM317 型三端可调式集成稳压器的原理与应用	(192)
15.5.3	检测 LM317 的方法	(193)
15.6	检测 LM350、LM338 系列三端可调式集成稳压器的方法	(194)
15.6.1	检测 LM350 系列三端可调式集成稳压器	(194)
15.6.2	检测 LM338 系列三端可调式集成稳压器	(194)
第 16 章	检测开关式集成稳压器	(196)
16.1	开关式集成稳压器的特点及分类	(196)
16.2	检测 L4960、L4962 型开关式集成稳压器的方法	(197)
16.2.1	L4960/4962 的原理与应用	(197)
16.2.2	检测 L4960/4962 的方法	(201)
16.3	检测 L296 型开关式集成稳压器的方法	(201)
16.3.1	L296 的原理与应用	(201)
16.3.2	检测 L296 的方法	(203)
16.4	检测 L4970A 型开关式集成稳压器的方法	(204)
16.4.1	L4970A 的原理与应用	(204)
16.4.2	检测 L4970A 的方法	(206)
16.5	检测 TH5002、SI-80506Z 型开关式集成稳压器的方法	(206)
16.5.1	检测 TH5002 型大电流开关式集成稳压器	(206)
16.5.2	检测 SI-80506Z 型大电流固定输出开关式集成稳压器	(208)
第 17 章	检测开关电源集成电路及电源模块	(210)
17.1	检测 UC3842 系列脉宽调制器的方法	(210)
17.1.1	脉宽调制器的产品分类	(210)
17.1.2	由 UC3842 构成的开关电源	(211)
17.1.3	检测 UC3842 的方法	(213)
17.2	检修 PC 机开关电源的方法	(214)
17.2.1	微型计算机开关电源的电路原理	(214)
17.2.2	检修 PC 机开关电源的检修方法	(216)
17.3	检测三端单片开关电源集成电路的方法	(218)
17.3.1	TOPSwitch-II 系列单片开关电源的原理与应用	(218)
17.3.2	检测 TOPSwitch-II 系列单片开关电源的方法	(220)
17.4	检测四端微型单片开关电源集成电路的方法	(221)
17.4.1	TinySwitch 系列单片开关电源的原理与应用	(221)
17.4.2	检测 TinySwitch 的方法	(223)

17.5	检测五端单片开关电源集成电路的方法	(224)
17.5.1	TOPSwitch—FX 系列产品的原理与应用	(224)
17.5.2	检测 TOPSwitch—FX 的方法	(227)
17.6	检测六端单片开关电源集成电路的方法	(227)
17.6.1	TOPSwitch—GX 系列单片开关电源的原理与应用	(227)
17.6.2	检测 TOPSwitch—GX 的方法	(231)
17.7	检测手机电池充电器的方法	(231)
17.7.1	手机电池充电器的电路原理	(232)
17.7.2	手机电池充电器的性能测试	(233)
17.8	检测逆变器模块的方法	(234)
17.9	检测电源噪声滤波器的方法	(236)
17.9.1	电磁干扰滤波器的构造原理及应用	(236)
17.9.2	电磁干扰滤波器的技术参数及测试方法	(237)
第 18 章	检测特种电源集成电路	(240)
18.1	检测 MC1403 型带隙基准电压源	(240)
18.1.1	带隙基准电压源的产品分类	(240)
18.1.2	带隙基准电压源的基本原理	(241)
18.2.3	检测 MC1403 型基准电压源的方法	(242)
18.2	检测 TL431 型可调式精密并联稳压器的方法	(243)
18.2.1	TL431 的原理与应用	(243)
18.2.2	检测 TL431 的方法	(244)
18.3	检测 ICL7660 型极性反转式 DC/DC 电源变换器	(245)
18.3.1	单片 DC/DC 电源变换器的产品分类	(245)
18.3.2	ICL7660 型 DC/DC 电源变换器的原理与应用	(245)
18.3.3	检测 ICL7660 型 DC/DC 电源变换器的方法	(247)
18.4	检测 MAX 600 型 AC/DC 电源变换器	(247)
18.4.1	MAX610 系列单片 AC/DC 电源变换器原理与应用	(247)
18.4.2	检测 MAX610 的方法	(248)
附录 A	本丛书主要符号表	(250)
参考文献	(255)

第 1 章 检测特种电阻器

特种电阻器的种类很多，例如电阻应变片，湿敏电阻，磁敏电阻，网络电阻。此外，还有近年来问世的数字电位器等。本章介绍利用万用表检测几种常用特种电阻器的方法。

1.1 检测数字电位器的方法

传统的机械电位器属于模拟式分立元件，其特点是在标称电阻值范围内，用户通过改变滑动端的位置可获得所需要的任意电阻值。机械电位器的缺点是噪声大、易污损、抗震性能差、体积较大、需要手动调节、使用寿命较短。近年来问世的数字电位器（Digital Potentiometer）可圆满地解决上述问题。数字电位器亦称数控可编程电阻器，它是采用 CMOS 工艺制成的数字、模拟混合信号处理集成电路，能在数字信号的控制下自动改变滑动端位置，从而获得所需要的电阻值。下面介绍数字电位器的原理、应用及检测方法。

1.1.1 数字电位器的主要特点及产品分类

1. 数字电位器的主要特点

(1) 数字电位器的输入为数字量，输出为模拟量，是一种特殊的数 / 模转换器（DAC）。因其输出量为电阻值或电阻比率，故称之为电阻式数 / 模转换器。

(2) 调节精度高，可编程，抗震动，不易污损，体积小，寿命长，在许多领域可取代传统的机械电位器。

(3) 适配微处理器（ μP ）或单片机（ μC ）。 μP 通过串行总线来控制滑动端的位置，对电位器的电阻值进行自动调整。

(4) 内部有非易失性存储器 E^2PROM ，用户可对其进行读、写操作。掉电后能长期保存原有控制数据及滑动端位置不变。

(5) 使用灵活，用途广泛。允许将几个数字电位器进行串联、并联或者混联，亦可组成同轴电位器。不仅可用作可变电阻器、精密电阻分压器，还能构成可编程增益放大器（PGA）、频率补偿网络、自动量程转换电路、自动音调 / 音量控制电路等。

(6) 低电压、低功耗、超小型化。

数字电位器与机械电位器典型产品的外形比较如图 1.1.1 所示。机械电位器（含精密多圈电位器）要用小螺丝刀来调节，数字电位器则用数字信号自动调节。

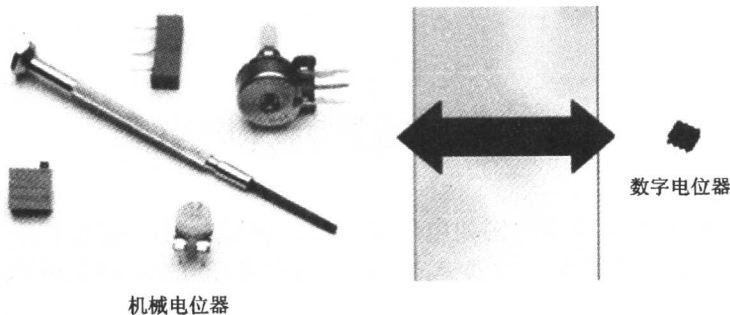


图 1.1.1 数字电位器与机械电位器典型产品的外形比较

2. 数字电位器的产品分类

数字电位器的种类繁多，功能各异。按照芯片内部所包含数字电位器的个数来划分，有单路、双路、四路、六路等。按电阻值变化特性来划分，有线性、非线性（如对数型、指数型）两种。按串行接口总线来划分，有 I²C 总线、SPI 总线等。常见的数字电位器内部抽头的数量有 6 种：32, 64, 128, 256, 512, 1024。抽头数量愈多，调节精度愈高，输出电阻的误差愈小。此外，有些数字电位器中还带温度补偿电路及基准电压源。对于同一型号的数字电位器也分多种规格，例如 X9313 型数字电位器就有 4 种规格：X9313Z（总电阻值为 1k Ω ），X9313W（10k Ω ），X9313U（50k Ω ），X9313T（100k Ω ）。

1.1.2 数字电位器的工作原理与典型应用

1. 数字电位器的工作原理

目前，国外生产数字电位器的主要厂家有美国 Xicor 公司、CATALYST 公司、MAXIM 公司（包括 DALLAS 公司）和 ADI 公司。下面介绍一种典型产品的工作原理。

X9313 是 Xicor 公司生产的带温度补偿的单路 32 抽头线性数字电位器，其引脚排列如图 1.1.2 所示。U_{CC}、GND 分别接电源和地。U_H、U_L 分别为数字电位器的高端和低端，允许外部电压最高为 +5V，最低为 -5V。U_W 为滑动端。 $\overline{\text{INC}}$ 为计数脉冲输入端，靠下降沿触发。U/ $\overline{\text{D}}$ 为加 / 减计数控制端，接高电平时做加计数，接低电平时做减计数。 $\overline{\text{CS}}$ 为片选端。X9313 采用 +3~5.5V 电源，最大工作电流为 3mA，待机电流为 500 μA 。滑动端的最大电流为 $\pm 1\text{mA}$ ，噪声系数为 $-120\text{dB}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。滑动端的位置数据被存储在 E²PROM，上电时可重新调用，数据可保存 100 年。

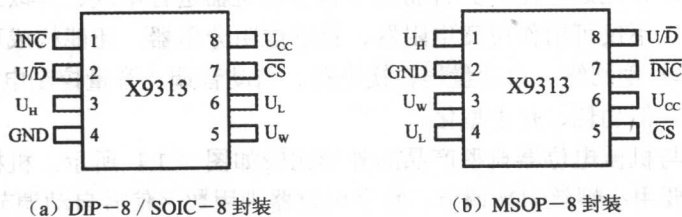
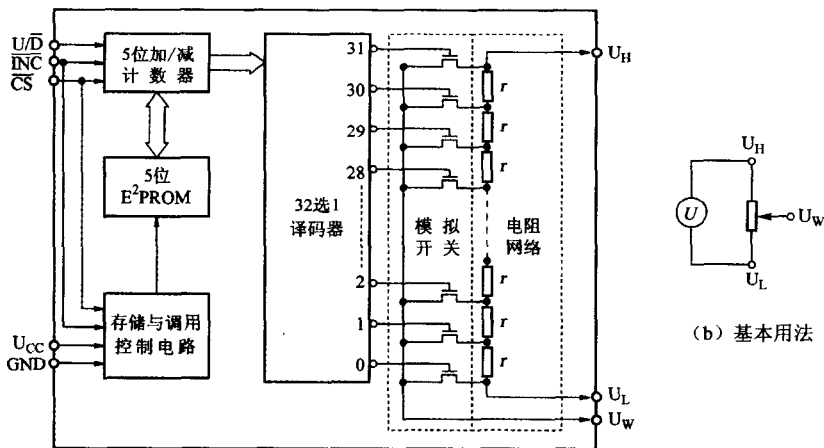


图 1.1.2 X9313 的引脚排列

X9313 的内部框图及基本用法分别如图 1.1.3 (a)、(b) 所示。主要包括以下 6 部分：①5 位加 / 减计数器；②5 位 E²PROM 存储器；③存储与调用控制电路；④32 选 1 译码器；⑤由 MOS 场效应管构成的 32 路模拟开关；⑥电阻网络。X9313Z 的总电阻值 $R=1k\Omega$ ，由 31 个电阻单元 (r) 串联而成， $r=R/31=32.258\Omega$ 。分辨率为 $(1/31)\times 100\% \approx 3\%$ 。比例温度系数为 $\pm 20\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，线性度可达 $\pm 0.2\%$ 。它经过三线接口 ($\overline{\text{INC}}$ 、 $\text{U}/\overline{\text{D}}$ 和 $\overline{\text{CS}}$) 与微处理器相连。X9313 的基本工作原理是当 $\overline{\text{CS}}$ 接低电平 (即选中该芯片)、 $\text{U}/\overline{\text{D}}$ 接高电平时， $\overline{\text{INC}}$ 端每输入一个脉冲，计数器就自动加 1，所得到的计数值经过译码后，就接通相应的模拟开关，这相当于滑动端移动一次位置，输出电阻值亦随之改变。当 $\text{U}/\overline{\text{D}}$ 接高电平时滑动端向上移位，使 $U_w \sim U_L$ 之间的电阻值 R_w 增大；当 $\text{U}/\overline{\text{D}}$ 接低电平时向下移位， R_w 减小。



(a) 内部框图

(b) 基本用法

图 1.1.3 内部框图及基本用法

X9313 有多种工作模式可供选择，详见表 1.1。表中的“0”代表低电平，“1”代表高电平，“×”表示任意状态，“/”表示上升沿，“\”表示下降沿。

表 1.1 工作模式的选择

$\overline{\text{CS}}$	$\overline{\text{INC}}$	$\text{U}/\overline{\text{D}}$	工作模式
0	\	1	滑动端向上移位
0	\	0	滑动端向下移位
/	1	×	存储当前滑动端的位置
1	×	×	待机模式
/	0	×	不存储，退回到待机模式

2. 数字电位器的典型应用

X9214 与 80C31 单片机的接口电路如图 1.1.4 所示。80C31 作为主机，X9241 作为从

机。80C31 的 P1.0、P1.1 口线依次接 X9241 的 SCL、SDA 端。 R_1 和 R_2 均为上拉电阻。

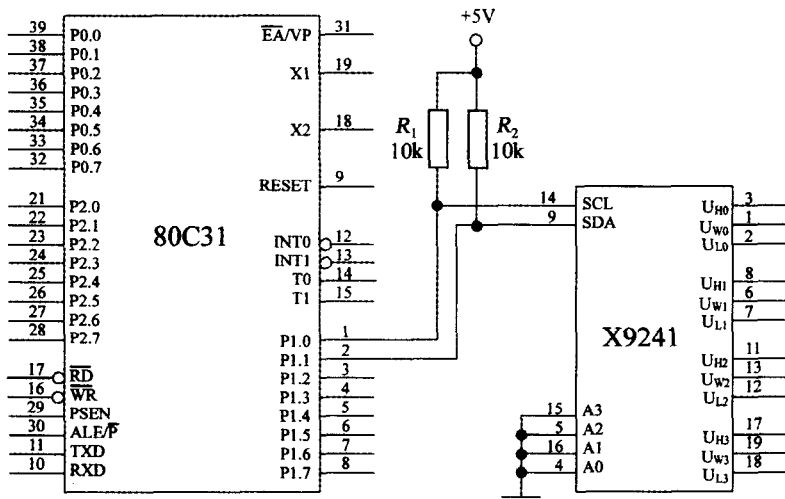


图 1.1.4 X9241 与 80C31 单片机的接口电路

由 X9313W 构成可编程增益放大器的电路如图 1.1.5 所示，电压增益由下式确定：

$$A_v = \frac{R_w}{R_1} + 1 \quad (1.1.1)$$

由单片机给 X9313W 发出控制信号，即可改变输出电阻值，进而调节放大器的增益，增益调节范围是 $(-1 \sim -11)$ 倍。

根据实际需要，还可扩展数字电位器的输出电流或输出电压，电路分别如图 1.1.6 (a)、(b) 所示。(a) 图中外接缓冲器 A，(b) 图中则通过

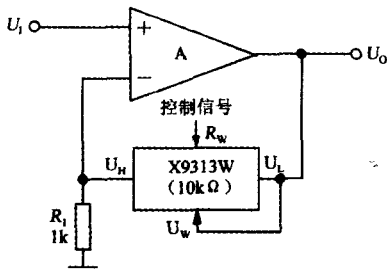


图 1.1.5 可编程增益放大器的电路

一级电压放大器来提高输出电压。

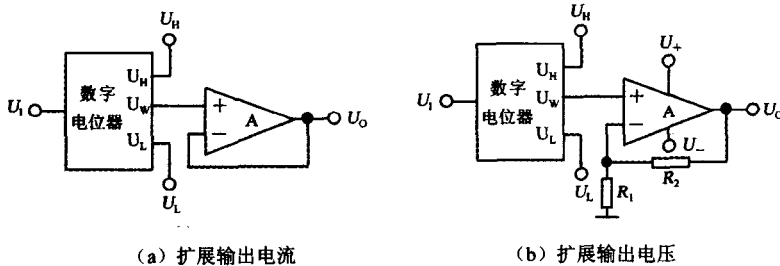


图 1.1.6 扩展输出的方法