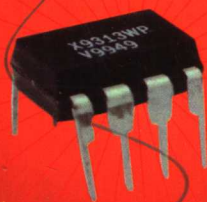


数字电位器 应用指南

沙占友 主编



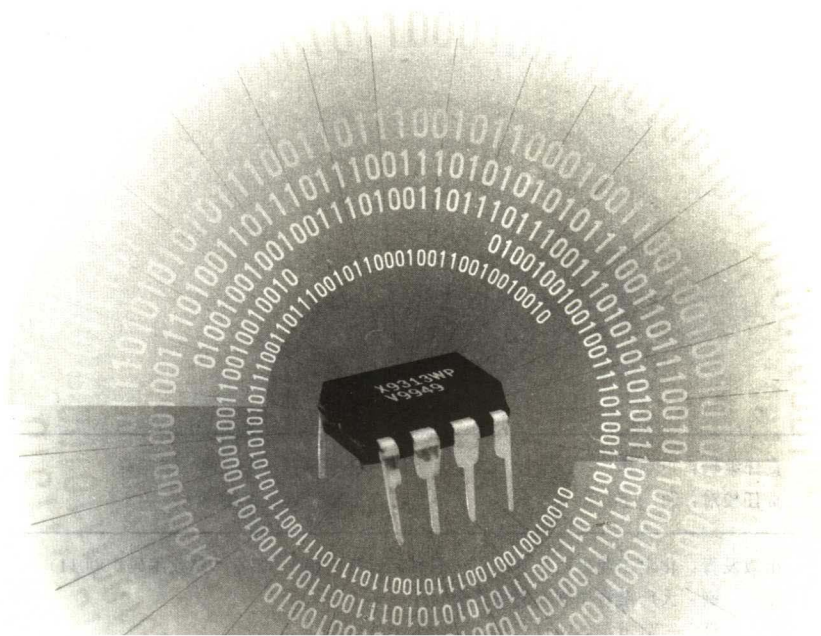
化学工业出版社

TM547/5

2008

数字电位器 应用指南

沙占友 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电位器应用指南/沙占友主编. —北京: 化学工业出版社, 2008.1

ISBN 978-7-122-01787-1

I. 数… II. 沙… III. 数字电位器-指南 IV. TM547-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 204228 号

责任编辑: 卢小林

文字编辑: 王 洋 李玉峰

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 11 字数 290 千字

2008 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

前 言

数字电位器是一种新型集成化的数字/模拟器件,具有使用灵活、调节精度高、无触点、低噪声、不易污损、抗振动、抗干扰、体积小、寿命长等显著优点,可在许多领域取代传统的机械式电位器。目前,数字电位器正在国内外获得迅速发展和推广应用。数字电位器能设计各种可编程模拟器件,由微处理器或单片机来控制系统中的模拟功能,被广泛用于智能仪器、电脑、手机、家用电器、现代办公设备、汽车类电子产品、工业控制、医疗保健等领域。数字电位器的问世,有力地推动了现代电子科技的发展,也为电子产品的更新换代创造了有利条件。

鉴于数字电位器的问世时间较短,国内尚未出版过专门介绍数字电位器应用技术的著作,而广大读者又非常需要掌握该领域的新技术,为此,作者在总结长期教学和科研工作经验的基础上,参考国外厂家提供的最新产品资料后撰写成此书,以满足广大读者的需求。

本书在内容组织及编写上具有以下特点:

第一,题材新颖,重点突出。本书侧重于硬件电路,全面系统、深入精辟地阐述了数字电位器的应用技术,所介绍的各种应用电路及工具软件均具有先进性、代表性。

第二,具有较高的实用性。本书详细介绍了数字电位器的扩展应用、各种应用技巧及测试方法,并给出了大量的实际应用电路。本书对利用数字电位器研发新型电子产品具有重要参考价值。

第三,知识介绍深入浅出,通俗易懂。首先介绍数字电位器的基本原理和使用注意事项,然后介绍数字电位器的接口电路和常用工具软件,再重点阐述了数字电位器的应用技巧,最后介绍数字电位器的典型应用实例。内容由浅入深,循序渐进,便于读者阅读。

第四，信息量大，知识面宽，便于读者触类旁通，举一反三，灵活应用。

沙占友教授任本书主编，张丽荣、王冀超和于鹏任副主编。沙占友撰写了第一至三章和第五章，王冀超撰写了第四章，张丽荣（河北经贸大学）、于鹏合撰了第六章。

李学芝、沙江、韩振廷、沙莎、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、王金和、赵仁明、李新华、陈继业、郑海秋、谭振民等同志为本书的编写提供了帮助。在本书撰写过程中，还得到了国外一些数字电位器生产厂家的大力支持，在此一并致谢。

由于作者水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者指正。

编著者

2008年1月于河北科技大学

目 录

第一章 数字电位器基本原理	1
第一节 数字电位器的主要特点.....	1
一、数字电位器的主要特点.....	1
二、数字电位器与机械电位器的性能比较.....	3
第二节 数字电位器的基本工作原理.....	5
一、数字电位器的基本工作原理.....	5
二、数字电位器的配置模式.....	8
第三节 数字电位器的基本应用.....	9
一、数字电位器的应用领域.....	9
二、数字电位器的串联、并联方法.....	10
三、数字电位器的基本应用电路.....	12
四、实现模拟功能计算机化的方法.....	13
第四节 数字电位器的产品分类.....	15
第五节 如何选择数字电位器.....	19
第六节 数字电位器的主要技术参数.....	22
第二章 数字电位器使用注意事项	26
第一节 数字电位器使用注意事项.....	26
第二节 数字电位器误差分析.....	31
一、基本误差分析.....	32
二、滑动端电阻对使用精度的影响.....	33
第三节 减小数字电位器误差的方法.....	35
一、减小温度误差的方法.....	35
二、按键式数字电位器的去抖动措施.....	39
三、抑制滑动端噪声的方法.....	47
四、抑制非零点噪声的方法.....	48

第四节 数字电位器保护电路的设计	49
一、人体静电放电 (ESD) 保护电路的设计	49
二、过电压保护电路的设计	54
三、过电流保护电路的设计	58
第三章 数字电位器的接口电路及典型应用	60
第一节 带按键接口的数字电位器	60
一、带按键接口的数字电位器基本原理	60
二、带按键接口的数字电位器工作原理与典型应用	61
三、带按键接口的数字电位器使用技巧	66
第二节 带单线接口的数字电位器	71
一、单线接口的基本原理	71
二、带单线接口的数字电位器工作原理	72
三、带单线接口的数字电位器典型应用	75
第三节 带 I ² C 总线接口的数字电位器	78
一、带 I ² C 总线接口的数字电位器基本原理	78
二、带 I ² C 总线接口的数字电位器工作原理	79
三、X9241 的接口电路	86
第四节 带三线加/减式串行接口的数字电位器	86
一、带三线加/减式串行接口的数字电位器基本原理	86
二、带三线加/减式串行接口的数字电位器工作原理	88
三、X931X、X9CXXX 系列的典型应用	91
四、带三线加/减式串行接口的数字电位器使用注意 事项	93
第五节 带二线加/减式串行接口的数字电位器	95
一、带二线加/减式串行接口的数字电位器基本原理	95
二、带二线加/减式串行接口的数字电位器工作原理	96
三、带二线加/减式串行接口的数字电位器典型应用	101
第六节 带 SPI 总线接口的数字电位器	104
一、带 SPI 总线接口的数字电位器基本原理	104
二、带 SPI 总线接口的数字电位器工作原理	105

三、带 SPI 总线接口的数字电位器典型应用	111
第七节 带 Microwire 总线接口的数字电位器	115
一、带 Microwire 总线接口的数字电位器基本原理	115
二、带 Microwire 总线接口的数字电位器工作原理与典型 应用	117
第八节 带二线并行接口的数字电位器	128
一、带二线并行接口的数字电位器基本原理	128
二、带二线并行接口的数字电位器的工作原理	129
三、带二线并行接口的数字电位器的典型应用	131
第四章 数字电位器常用工具软件及应用实例	133
第一节 数字电位器常用工具软件简介	133
一、数字电位器工具软件分类	133
二、数字电位器常用的 9 种工具软件	134
第二节 数字电位器计算器工具的应用	135
一、DigiPtMeter 计算器的应用	135
二、DigiPtMeter 计算器的设计原理	137
三、线性刻度-对数刻度互相转换的速查表	138
第三节 数字电位器电子数据表格的应用	140
一、利用 a273lin 检查线性输出特性	140
二、利用 a273log 实现“线性/伪对数”转换	144
三、利用 a273inv 实现“线性/反对数”转换	145
四、利用 DS3906 Resistor Table 实现“伪对数/线性” 转换	146
第四节 数字电位器评估板的应用	152
一、XICOR DCP X9XX 评估板的使用注意事项	152
二、XICOR DCP X9XX 软件的使用方法	154
第五节 实现数字电位器与 PC 通信的方法	161
一、利用高速反相器实现 PC 并行口与数字电位器的 通信	161
二、利用单片机实现 PC 串行口与数字电位器的通信	168

第六节 利用软件提高数字电位器分辨率的方法及程序设计	
实例	172
一、提高数字电位器分辨率的方法	173
二、程序设计实例	176
第五章 数字电位器应用技巧	182
第一节 数字电位器的扩展应用	182
一、扩展数字电位器端电压的方法	182
二、扩展数字电位器滑动端极限电流的方法	183
第二节 数字电位器在可编程增益放大器中的应用	185
一、同相可编程增益放大器	185
二、反相可编程增益放大器	188
三、实现增益线性化的两种方法	189
第三节 数字电位器在可编程 T 型网络中的应用	193
一、T 型网络的基本构成	193
二、利用可编程 T 型网络控制放大器的截止频率	194
三、利用可编程 T 型网络控制有源滤波器	196
四、利用 T 型网络构成可编程精密 I/U 转换器	198
第四节 数字电位器在可编程振荡器中的应用	199
一、可编程矩形波振荡器	199
二、可编程正弦波信号发生器	202
三、可编程函数波形发生器	204
四、可编程硅振荡器	205
第五节 数字电位器在可编程稳压器中的应用	210
一、可编程线性稳压器	210
二、可编程精密低压差稳压器	215
三、可编程开关稳压器	219
第六节 数字电位器在仪器仪表中的应用	222
一、可编程分压器	222
二、可编程放大器	223
三、可编程仪表放大器	224

四、双向可编程增益放大器·····	227
五、增益可编程绝对值放大器·····	229
六、可编程 I/U 转换器 ·····	230
七、可编程带通滤波器·····	231
第七节 数字电位器在测控系统中的应用·····	232
一、由数字电位器构成的传感器信号调理器·····	232
二、由数字电位器构成的压力测控系统·····	234
三、铂热电阻温度传感器的线性化·····	235
四、由数字电位器构成的温差自动测量系统·····	239
第八节 数字电位器在光学领域中的应用·····	241
一、可编程白光 LED 亮度控制电路 ·····	241
二、LCD 对比度控制电路 ·····	243
三、蓝屏 LCD 背光源控制系统 ·····	244
四、LCD 正向偏置电压控制电路 ·····	247
五、光电二极管可编程互阻抗放大器·····	248
六、SFP 激光驱动器电路 ·····	250
第九节 数字电位器在音响设备中的应用·····	251
一、音量控制器·····	252
二、音量均衡及调节电路·····	254
第十节 增加数字电位器带宽的方法·····	257
一、数字电位器的带宽·····	257
二、增加数字电位器带宽的三种方法·····	260
第十一节 提高数字电位器分辨力的方法·····	262
第十二节 数字电位器的测试方法·····	264
一、测试积分非线性误差和微分非线性误差·····	265
二、测试滑动端电阻的方法·····	266
三、测试滑动端电容的方法·····	267
第六章 数字电位器典型应用 86 例 ·····	270
应用一 利用按键控制三线加/减式接口数字电位器的简便 方法·····	270

应用二	带电压监视器的数字电位器手动控制电路.....	272
应用三	利用数字电位器在按键保持状态下调节反馈 电压.....	272
应用四	由数字电位器构成的 3 种运放失调电压调整 电路.....	273
应用五	由 MAX5477 构成的运放失调电压及增益调节 电路.....	274
应用六	由数字电位器 X9241A 构成的可编程失调电压及 增益调节电路.....	275
应用七	差分输入式可编程增益放大器.....	275
应用八	增益及带宽可编程高频放大器.....	276
应用九	双向线性可编程增益放大器.....	277
应用十	由数字电位器 X9241A 构成的 4 路可编程增益 放大器.....	278
应用十一	由数字电位器构成的可编程线性增益控制 电路.....	279
应用十二	由数字电位器构成的可编程伪对数增益控制 电路.....	279
应用十三	扩展数字电位器输出电压范围的电路.....	280
应用十四	由数字电位器构成的可编程电压微调电路.....	280
应用十五	由数字电位器 AD5252 构成的可编程电压微调 电路.....	281
应用十六	由数字电位器 X9110 构成可编程信号衰减器	282
应用十七	可编程函数波形发生器.....	283
应用十八	由数字电位器构成的可编程比较器.....	284
应用十九	由 X9455 构成的可编程窗口比较器	284
应用二十	由数字电位器构成具有滞后作用的可编程 比较器.....	285
应用二十一	可编程施密特触发器.....	285

应用二十二	能实现数字电位器双极性输出的电路·····	286
应用二十三	由 CAT5114 构成的可编程 I/U 转换器·····	287
应用二十四	由 MAX5450 构成的可编程 I/U 转换器·····	288
应用二十五	由数字电位器 X9455 构成的通用阻抗 变换器·····	288
应用二十六	由数字电位器 MAX5160 构成的电压/电阻 变换器·····	289
应用二十七	由数字电位器构成的可编程跨导放大器·····	290
应用二十八	由 AD5252 和 AD8628 构成的电流检测 放大器·····	290
应用二十九	由数字电位器构成大电流输出的可编程基准 电压源·····	291
应用三十	由数字电位器构成的可编程精密基准电压源·····	292
应用三十一	由数字电位器 CAT521 构成的可编程基准 电压源·····	292
应用三十二	由数字电位器构成的可编程功率基准电压源 ·····	293
应用三十三	由数字电位器 CAT521 构成的可编程功率 基准电压源·····	294
应用三十四	由数字电位器构成的可编程电压源·····	295
应用三十五	由数字电位器构成的可编程恒流源·····	295
应用三十六	由数字电位器构成的可编程电流源·····	296
应用三十七	由数字电位器 AD5231 构成的可编程电流源 ·····	296
应用三十八	由数字电位器构成的可编程移相器·····	297
应用三十九	由数字电位器构成的电容量倍增器·····	298
应用四十	由数字电位器构成的 L 、 R 等效电路·····	298
应用四十一	由数字电位器构成的电平检测器·····	299
应用四十二	由数字电位器构成的可编程延时电路·····	299
应用四十三	由数字电位器构成的可编程音量控制电路·····	300

应用四十四	由数字电位器构成的可编程音调控制电路·····	300
应用四十五	由数字电位器构成的可编程滤波器·····	301
应用四十六	由 MAX5477/5478/5479 构成的一阶可编程 有源滤波器·····	302
应用四十七	由数字电位器 X9455 构成的精密可编程 滤波器·····	302
应用四十八	由数字电位器 AD5220 构成的可编程线性 稳压器·····	303
应用四十九	由数字电位器 MAX5450 构成的双路输出式 可编程线性稳压器·····	303
应用五十	由数字电位器 CAT5114 构成的可编程线性 稳压器·····	304
应用五十一	由数字电位器 MAX5128 构成的可编程开关式 稳压器·····	305
应用五十二	由数字电位器 AD5222 构成的可编程开关式 稳压器·····	305
应用五十三	由数字电位器 MAX5128 和 MAX1722 构成的 DC/DC 电源变换器 ·····	306
应用五十四	由数字电位器 AD5220 构成的正交编码相位 控制电路·····	307
应用五十五	由数字电位器 CAT5114 构成的可编程占空比 电路·····	308
应用五十六	由数字电位器 CAT5114 构成的可编程带通 滤波器·····	309
应用五十七	由数字电位器 CAT5112 构成的可编程电流源 ·····	309
应用五十八	由数字电位器 CAT5114 构成的独立可编程施 密特触发器·····	310
应用五十九	由数字电位器 CAT5112 和传感器构成的自动 调整式基准电路·····	310

应用六十	由数字电位器 CAT5114 构成的自动增益控制 电路.....	311
应用六十一	由数字电位器 DS3906 构成的升压式 DC/DC 电源变换器.....	312
应用六十二	由数字电位器 DS1845 构成的升压式 DC/DC 电源变换器.....	313
应用六十三	由数字电位器 DS3903 构成的降压式 DC/DC 电源变换器.....	314
应用六十四	由数字电位器构成的 DC/DC 电源变换器模块 调节电路之一.....	315
应用六十五	由数字电位器构成的 DC/DC 电源变换器模块 调节电路之二.....	315
应用六十六	由数字电位器构成的 DC/DC 电源变换器模块 调节电路之三.....	316
应用六十七	大功率、可调式 LED 驱动器	316
应用六十八	由 MAX5128 构成的 LED 亮度调整电路	317
应用六十九	DS3906 在彩色 LED 平板显示器驱动电路中的 应用.....	318
应用七十	LCD 背电极电压调节电路	319
应用七十一	两种 LCD 正向偏置电压调节电路	319
应用七十二	由数字电位器 MAX5161 构成的 LCD 正向 偏压调节电路.....	320
应用七十三	由数字电位器 MAX5161 构成的 LCD 负偏压 调节电路.....	321
应用七十四	由数字电位器 DS1859 构成的激光二极管驱动 电路.....	321
应用七十五	利用按键控制 MAX5160 型数字电位器的 电路.....	322
应用七十六	双声道音量控制电路.....	323
应用七十七	4 声道立体声音量控制电路	324

应用七十八	由数字电位器 DS1808 构成的低 THD 音频 放大器	325
应用七十九	由数字电位器 X9314W 构成的音频功率 放大器	325
应用八十	由 X40239 和 SPPT 构成压力测控系统的 电路	326
应用八十一	由数字电位器和基准电压源构成的 10 位 单向数/模转换器	327
应用八十二	由数字电位器和基准电压源构成 10 位 双向数/模转换器	327
应用八十三	数字电容器 X90100 的典型应用	328
应用八十四	数字电容器 MAX1474 的典型应用	330
应用八十五	数字电容器 MAX1474 的典型应用	330
应用八十六	采用双向电源实现数字电位器 AD5231 的双向 操作	331
参考文献		332

第一章

数字电位器基本原理

数字电位器 (digital potentiometer) 是采用 CMOS 工艺制成的数字-模拟混合信号处理集成电路, 亦称数控可编程电阻器, 简称数控电位器 (digitally controlled potentiometers, DCP)。数字电位器可取代传统的机械电位器, 广泛用于各种仪器仪表、计算机及通信设备、家用电器、工业控制等领域。

第一节 数字电位器的主要特点

数字电位器是一种新型电子器件。它与机械电位器相比, 具有许多优点, 是机械电位器的理想替代品。下面首先介绍数字电位器的主要特点, 然后对数字电位器与机械电位器的性能进行比较。

一、数字电位器的主要特点

(1) 数字电位器属于模拟-数字混合信号产品, 是一种步进可调电阻。其输入为数字量, 输出为模拟量, 是一种特殊的数/模转换器 (DAC)。但其输出量并非电压或电流, 而是电阻值或电阻比率, 故亦称之为电阻式数/模转换器 (RDAC)。

(2) 分辨率与内部 RDAC 的位数有关, RDAC 的位数越多, 分辨率越高。分辨率、抽头数与 RDAC 位数的对应关系见表 1-1-1。数字电位器内部单元电阻的个数等于抽头数减去 1。采用 4 位 RDAC 的分辨率仅为 6.7%, 而采用 10 位 RDAC 的分辨率达到 0.098%。因此, 采用 10 位 RDAC 的数字电位器调节精度优于 0.1%。由 MAXIM 公司生产的 MAX5490、MAX5491、MAX5493 型数字电位器适合构成精密分压器, 其最大的比例误差仅为 0.035%。在 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ 温度范围内, 温漂仅为 $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

表 1-1-1 分辨率、抽头数与 RDAC 位数的对应关系

RDAC 的位数	4	5	6	7	8	9	10
抽头数	$2^4=16$	$2^5=32$	$2^6=64$	$2^7=128$	$2^8=256$	$2^9=512$	$2^{10}=1024$
单元电阻的个数	15	31	63	127	255	511	1023
分辨率/%	6.7	3.2	1.6	0.79	0.39	0.196	0.098

(3) 不受环境影响, 抗振动, 不易磨损。分布参数小, 因此具有较强的抗干扰能力。

(4) 体积小, 能节省印制板 (PCB) 的空间, 易于安装, 使用寿命长。在许多领域可取代传统的机械电位器。

(5) 适配微控制器 (MCU, 含微处理器 μP 或单片机 μC) 进行编程。MCU 可通过串行总线来控制滑动端的位置, 对数字电位器的电阻值进行自动调整。

(6) 内部有非易失性存储器 E^2PROM , 用户可对其进行读、写操作并通过软件和控制接口对数字电位器的电阻值进行编程。掉电后能长期保存原有的控制数据及滑动端位置, 保存期可达 100 年, 读、写次数一般可达 5 万~20 万次。

(7) 利用数字电位器可实现模拟电路中对电阻、电压或电流的数字控制及调整。除具有可变电阻特性之外, 数字电位器还能提供非易失性存储、过零检测、按键去抖动接口、温度补偿、写保护等功能。

(8) 允许将几个数字电位器进行串联、并联或者混联, 以提高电阻值或分辨率; 亦可组成同轴电位器、精密电阻分压器等。

(9) 受芯片制作工艺的影响, 数字电位器的总电阻一致性较差, 一般有 15%~30% 的偏差。但目前一种精密型数字电位器已经问世。

(10) 使用灵活, 用途广泛。数字电位器能构成各种可编程模拟器件, 例如可编程 LED、可编程滤波器、可编程振荡器、可编程增益放大器 (PGA)、可编程仪表放大器 (PIA)、可编程比较器、可编程基准电压源、可编程稳压电源、频率补偿网络、自动音