

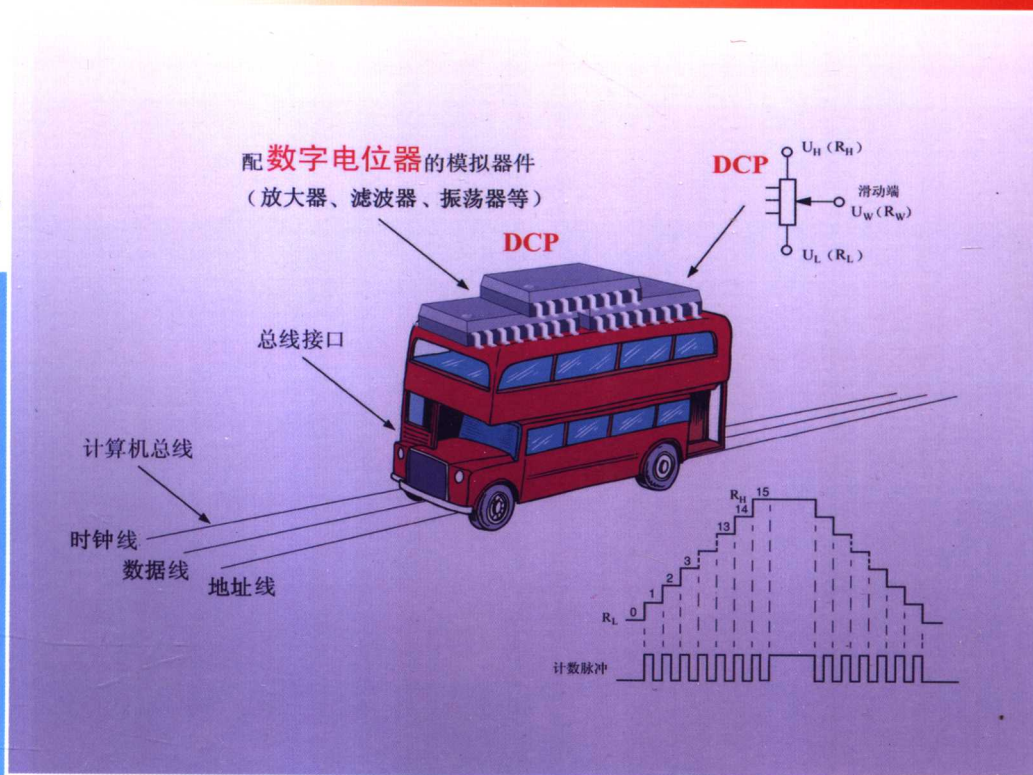


数字电位器

设计原理与应用

◇ 主 编 沙占友

◇ 副主编 安国臣 马洪涛 王彦朋 庞志峰 薛树琦



数字电位器设计原理与应用

主编 沙占友

副主编 安国臣 马洪涛 王彦朋 庞志峰 薛树琦



机械工业出版社

本书从实用角度出发,全面、系统、深入、精辟地阐述了数字电位器的设计原理与应用技术。

全书共十一章。第一章为数字电位器概述。第二章~第七章分别介绍了基于单线接口、I²C总线接口、三线加/减式接口、SPI、Microwire总线接口、二线加/减式接口、二线并行接口、按键式及多功能数字电位器的原理及应用,所介绍的数字电位器型号多达150余种。第八章深入阐述了数字电位器的电路设计。第九章详细介绍了数字电位器的常用工具软件及调试方法。第十章专门介绍数字电位器的测试技术及保护电路的设计。第十一章给出了50个数字电位器典型应用实例。这是国内第一部全面、系统地介绍数字电位器的专著。在配书光盘中还包含了206种数字电位器及2种数字电容器的最新英文资料、数字电位器的10种通用及专用工具软件,是不可多得的珍贵资料库。

本书题材新颖,内容丰富,深入浅出,具有科学性、先进性和很高的实用价值,可供从事电子工程、自动控制、仪器仪表等专业的技术人员及电子爱好者阅读,亦可作为高等院校有关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字电位器设计原理与应用/沙占友主编. —北京:机械工业出版社, 2007.2

ISBN 978-7-111-20915-7

I. 数… II. 沙… III. 电位器-设计 IV. TM547

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第022672号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:罗莉 版式设计:冉晓华 责任校对:陈延翔

封面设计:陈沛 责任印制:洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷

2007年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21.25印张·510千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-20915-7

ISBN 978-7-89482-164-5(光盘)

定价:40.00元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

数字电位器 (Digital Potentiometer) 自 20 世纪 90 年代问世以来, 就显示出强大的生命力。数字电位器与传统的机械电位器 (亦称模拟电位器) 在工作原理、结构及外形上完全不同。它是采用数控方式调节电阻值的, 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, 可在许多领域取代机械电位器。数字电位器一般带总线接口, 可通过单片机或逻辑电路进行编程。它适合构成各种可编程模拟器件, 例如可编程增益放大器、可编程滤波器、可编程线性稳压电源及音调/音量控制电路, 真正实现了“把模拟器件放到总线上”(即单片机通过总线来控制系统中的模拟功能块) 这一全新的设计理念。随着现代科技的发展, 数字电位器必将在 21 世纪的电子技术领域大放异彩。

目前, 数字电位器正在国内外迅速推广, 并被大量用到检测仪器、PC、手机、家用电器、现代办公设备、工业控制、医疗设备等领域。鉴于国内尚未出版过专门介绍数字电位器的著作, 而广大读者迫切需要掌握该领域的新技术, 为满足广大读者的急需, 我们在总结教学、科研工作中积累经验的基础上, 参考国外厂家提供的产品资料后撰写成此碑, 以飨广大读者。

本书融先进性、实用性、科学性于一体, 主要有以下特点:

第一, 该书全面、系统、多方位地介绍了数字电位器的设计原理与应用技术, 这是国内第一部数字电位器的专著, 可为实现系统的优化设计创造有利条件。

第二, 信息量大, 知识面宽, 所介绍的 150 余种数字电位器均具有代表性。

第三, 结构严谨, 条理清晰, 由浅入深, 循序渐进。全书以硬件为主, 软件为辅, 做到了硬件电路与程序设计相结合。各章之间保持相对的独立性, 读者既可通读全书, 亦可选读部分章节的内容。

第四, 具有很高的实用价值。本书在介绍数字电位器的原理与应用的基础上, 深入阐述了其电路设计、程序设计、测试技术及使用注意事项, 详细介绍了常用工具软件及调试方法, 还给出了大量的实际应用电路, 可供读者选用。

第五, 在配书光盘中还包含了 206 种数字电位器及 2 种数字电容器的最新英文资料、数字电位器的 10 种通用及专用工具软件 (包含 5 种计算器工具及电子数据表格, 2 种并行、串行通信软件和 3 种评估软件), 是不可多得的珍贵资料库。

沙占友教授任本书主编, 安国臣、马洪涛、王彦朋、庞志峰、薛树琦任副主编。沙占友撰写了第一章、第四章、第八章、第九章和第十一章, 并完成了全书的审阅和统稿工作。薛树琦撰写了第二章。安国臣撰写了第三章。马洪涛撰写了第五章。庞志峰撰写了第六章。王彦朋撰写了第七章。许云峰、岳永哲、王科撰写了第十章。参加本书撰写工作的还有谢静、汪芳、孙军发、陈丽婷、杨超、李学芝、沙江、韩振廷、张文清、宋怀文、陈庆华、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。沙占友和许云峰设计并制作了配书光盘。

本书在撰写过程中得到了国外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，书中的缺点和不妥之处在所难免，敬请广大读者指正。

作 者

2006 年 11 月于河北科技大学

目 录

前言

第一章 数字电位器概述	1
第一节 数字电位器的名词术语	1
第二节 数字电位器的主要特点及产品分类	4
一、数字电位器与机械电位器的性能比较	4
二、数字电位器的主要特点	7
三、数字电位器的 9 种分类方法	8
第三节 数字电位器的基本工作原理	11
一、数字电位器的基本工作原理	11
二、数字电位器的数学模型	12
三、数字电位器的两种基本配置模式	13
四、“将模拟器件放到总线上”的设计思想	14
第四节 数字电位器接口电路的基本工作原理	15
一、基于按键式接口的数字电位器	15
二、基于单线接口的数字电位器	15
三、基于 I ² C 总线接口的数字电位器	16
四、基于三线加/减式串行接口的数字电位器	17
五、基于二线加/减式串行接口的数字电位器	18
六、基于 SPI 的数字电位器	18
七、基于 Microwire 总线接口的数字电位器	19
八、基于二线并行接口的数字电位器	19
第五节 数字电位器的基本应用与基本误差分析	21
一、数字电位器的应用领域	21
二、数字电位器的串联、并联方法	21
三、数字电位器的基本应用电路	23
四、数字电位器的基本误差分析	24
第六节 数字电位器的使用注意事项	25
第七节 数字电位器的选择方法	29
第八节 数字电位器专用工具软件的分类及一览表	32
一、数字电位器工具软件的分类	32
二、数字电位器工具软件一览表	32
第九节 典型数字电位器产品的技术指标	33
一、Intersil 公司典型产品的技术指标	33
二、MAXIM 公司典型产品的技术指标	33

三、ADI 公司典型产品的技术指标	33
四、Microchip 公司典型产品的技术指标	33
五、Catalyst 公司典型产品的技术指标	33
第十节 数字电容器的原理与应用	43
一、X90100 型数字电容器的原理与应用	43
二、MAX1474 微型数字电容器的原理与应用	45
第二章 基于单线接口的数字电位器原理与应用	49
第一节 单线总线的主要特点及产品分类	49
一、单线总线的主要特点	49
二、单线总线的产品分类	49
第二节 单线总线的通信协议及应用	51
一、单线总线接口的通信协议	52
二、单线总线接口的应用	55
第三节 单线网络系统的远距离传输技术	55
一、单线网络系统的远距离传输技术	55
二、单线网络系统的程序设计	56
第四节 DS2890 型单路 256 抽头数字电位器的工作原理	58
一、DS2890 的性能特点	58
二、DS2890 的工作原理	58
第五节 DS2890 型单路 256 抽头数字电位器的典型应用	60
一、DS2890 与单片机的接口电路	60
二、DS2890 在荧光灯照明控制系统中的应用	60
第三章 基于 I ² C 总线的数字电位器原理与应用	63
第一节 I ² C 总线的工作原理	63
一、I ² C 总线的特点	63
二、I ² C 总线的信号定义	64
三、I ² C 总线上数据传送的过程及格式	64
四、I ² C 总线上的寻址约定	66
第二节 X9221/9221A/9241 型双路/四路 64 抽头数字电位器	67
一、X9221/9221A/9241 的性能特点	67
二、X9221/9221A/9241 的工作原理	68
三、X9241 与 AT89C51 单片机的接口电路及程序设计	73
第三节 DS3902 型双路 256 抽头数字电位器	81
一、DS3902 的工作原理	81
二、DS3902 的典型应用	82
第四节 DS3906 伪对数型三路 64 抽头数字电位器	83
一、DS3906 的工作原理	83
二、DS3906 的典型应用	87
三、利用电阻计算器将 DS3906 转换成小步长、线性刻度的方法	87

第五节	MAX541X、MAX547X 系列单路/双路 256 抽头数字电位器	90
一、	MAX5417/5418/5419 的原理与应用	90
二、	MAX5477/5478/5479 的原理与应用	92
三、	MAX5417L、MAX5478 的评估板及配套软件	94
第四章	基于三线加/减式接口的数字电位器原理与应用	96
第一节	三线加/减式接口数字电位器的基本原理及使用注意事项	96
一、	三线加/减式接口数字电位器的基本原理	96
二、	三线加/减式接口数字电位器的使用注意事项	97
第二节	X931X、X9CXXX 系列数字电位器	98
一、	X9312/9313/9314/9315/9316/9317/9318/9319 的性能特点	98
二、	X9C102/103/104/503 的性能特点	99
三、	X931X、X9CXXX 系列的工作原理	99
四、	X931X、X9CXXX 系列的典型应用	101
第三节	CAT51XX 系列数字电位器的工作原理	103
一、	CAT51XX 系列产品的分类	103
二、	CAT51XX 系列产品的工作原理	104
第四节	CAT51XX 系列数字电位器的典型应用	108
一、	可编程仪表放大器	108
二、	可编程矩形波振荡器	110
三、	可编程稳压器	111
四、	可编程 I/U 转换器	111
第五节	CAT51XX 系列数字电位器的使用技巧	112
一、	利用按键控制三线加/减式接口数字电位器的简便方法	112
二、	双向可编程增益放大器的电路设计	113
三、	可编程施密特触发器的电路设计	114
四、	可编程白光 LED 亮度控制电路的设计	115
第六节	三线加/减式接口数字电位器的设计要点	116
一、	减小环境温度对数字电位器影响的方法	116
二、	提高数字电位器分辨力的方法	120
三、	数字电位器的工作速度	122
四、	数字电位器的上电及掉电特性	123
第五章	基于 SPI 的数字电位器原理与应用	124
第一节	SPI 的工作原理与应用	124
一、	SPI 的工作原理	124
二、	ATMEL 公司 AVR 单片机中的 SPI	125
第二节	MCP41XXX/42XXX 系列单路/双路数字电位器的工作原理	128
一、	MCP41XXX/42XXX 系列的性能特点	128
二、	MCP41XXX/42XXX 系列的工作原理	129
第三节	MCP41XXX/42XXX 系列单路/双路数字电位器的典型应用	132

一、可编程增益放大器	132
二、可编程差分放大器	134
三、可编程失调电压调整电路	134
四、数字电位器与单片机 (μC) 的接口电路	135
第四节 MCP41010 型数字电位器的应用实例及程序设计	135
一、由 MCP41010 构成的蓝屏 LCD 背光源控制系统	135
二、MCP41010 配 AT89S51 单片机的程序设计	137
第五节 X9110 型高分辨力数字电位器	142
一、X9110 的工作原理	142
二、X9110 的典型应用	144
第六节 MAX5408 ~ MAX5411 对数型数字电位器	145
一、MAX5408 ~ MAX5411 的工作原理	145
二、MAX5408 ~ MAX5411 的典型应用	147
第六章 基于其他类型接口的数字电位器原理与应用	149
第一节 Microwire 总线接口的工作原理与典型应用	149
一、Microwire 总线接口的工作原理	149
二、Microwire 总线系统的典型应用	150
第二节 基于 Microwire 总线接口的数字电位器	151
一、CAT521 型 8 位单路数字电位器的工作原理与典型应用	151
二、CA522 ~ CA525 型 8 位多路数字电位器的工作原理与典型应用	156
第三节 基于二线加/减式接口的数字电位器	159
一、MCP401X、MCP402X 系列数字电位器的工作原理	159
二、MCP401X、MCP402X 系列数字电位器的典型应用	163
三、MAX552X、MAX546X 系列一次性可编程数字电位器的工作原理	165
四、MAX552X、MAX546X 系列数字电位器的典型应用	168
第四节 基于二线并行接口的数字电位器	169
一、MAX5430/5431 型数字电位器的工作原理	169
二、MAX5430/5431 型数字电位器的典型应用	170
第七章 按键式及多功能数字电位器原理与应用	171
第一节 按键式数字电位器	171
一、X9511 型数字电位器的工作原理与典型应用	171
二、MAX5128 型数字电位器的工作原理与典型应用	173
三、DS1668/1669 型数字电位器的工作原理与典型应用	175
四、DS1809 型数字电位器的工作原理与典型应用	177
第二节 按键式数字电位器的使用技巧	178
一、用微处理器控制 DS1669 型数字电位器的方法	178
二、数控移相电路的设计	179
三、LCM 对比度控制电路的设计	181
第三节 带运算放大器的数字电位器	181

一、MAX5437/5439 型单路数字电位器的工作原理与典型应用	181
二、DS1667 型双路数字电位器的工作原理与典型应用	183
三、X9438 型双路数字电位器的工作原理与典型应用	185
第四节 X9455 型双接口双路双滑动端数字电位器	188
一、X9455 型双接口双路双滑动端数字电位器的性能特点	188
二、X9455 型双接口双路双滑动端数字电位器的工作原理	189
三、X9455 型双接口双路双滑动端数字电位器的典型应用	191
第五节 X4023X 系列多功能数字电位器的工作原理	193
一、X4023X 系列多功能数字电位器的性能特点	193
二、X4023X 系列多功能数字电位器的工作原理	194
第六节 X4023X 系列多功能数字电位器的使用技巧	197
一、X4023X 在传感器信号调理电路中的基本应用	197
二、X4023X 在压力测控系统中的应用	198
第八章 数字电位器的电路设计	200
第一节 数字电位器的设计要点	200
一、数字电位器的端电压范围及扩展方法	200
二、数字电位器的滑动端极限电流及扩展方法	201
三、滑动端电阻的特性及对使用精度的影响	202
四、数字电位器的总电阻温度系数	204
五、抑制数字电位器滑动端噪声的方法	204
六、数字电位器用于音量控制时的注意事项	205
第二节 实现模拟功能计算机化的设计思想及设计实例	206
一、实现模拟功能计算机化的设计思想	206
二、实现模拟功能计算机化的设计实例	207
第三节 可编程增益放大器的设计	212
一、同相可编程增益放大器	212
二、反相可编程增益放大器	214
三、实现增益线性化的两种方法	215
第四节 可编程 T 型网络的设计与应用	218
一、T 型网络的基本构成	218
二、利用可编程 T 型网络控制放大器的截止频率	218
三、利用可编程 T 型网络控制有源滤波器	220
四、利用 T 型网络构成可编程精密 I/U 转换器	221
第五节 可编程硅振荡器的设计	222
一、硅振荡器与石英晶体振荡器的性能比较	223
二、可编程硅振荡器的工作原理与典型应用	224
三、精密数控可编程硅振荡器的电路设计	225
第六节 可编程线性稳压器和开关式稳压器的设计	226
一、可编程线性稳压器的设计	226

二、可编程精密低压差稳压器的设计	229
三、可编程开关式稳压器的设计	231
第七节 基于数字电位器的传感器电路设计	234
一、利用数字电位器对铂热电阻温度传感器进行线性化	234
二、光敏二极管可编程互阻抗放大器的设计	237
第八节 自动音量及均衡控制电路的设计	238
一、由数字电位器构成的音量控制电路	238
二、由数字电位器构成的音量均衡及调节电路	239
第九节 增加数字电位器带宽的方法	242
一、数字电位器的带宽	242
二、增加数字电位器带宽的三种方法	244
第十节 数字电位器在反馈控制系统中的应用	245
一、由数字电位器构成反馈控制系统的基本拓扑结构	246
二、温差自动测量系统的电路设计	246
第九章 数字电位器的工具软件及调试方法	249
第一节 将线性数字电位器转换成对数刻度	249
一、DigiPtMeter 计算器的使用方法	249
二、DigiPtMeter 计算器的设计原理	250
三、线性刻度-对数刻度、对数刻度-线性刻度转换速查表	251
第二节 线性数字电位器的非线性应用	253
一、线性数字电位器的输出特性	253
二、将线性数字电位器用作对数型数字电位器的方法	255
三、将线性数字电位器用作反对数型数字电位器的方法	256
第三节 利用仿真器调试数字电位器	257
一、WAVE6000 型仿真器简介	258
二、利用仿真器调试数字电位器的方法	258
第四节 利用 X9XX-EVM 评估板调试数字电位器	261
一、XICOR DCP X9XX 评估板的使用要点	262
二、XICOR DCP X9XX 软件的使用方法及常见故障分析	263
三、XICOR DCP X9XX 评估板的电路原理及接线方法	266
第五节 利用软件提高数字电位器的分辨率	267
一、提高数字电位器分辨率的方法	267
二、程序设计实例	269
第六节 利用高速反相器实现 PC 并行口与 I^2C 总线数字电位器的通信	274
一、硬件电路设计	275
二、软件设计	278
第七节 利用单片机实现 PC 串行口与 I^2C 总线数字电位器的通信	280
一、硬件电路设计	280
二、软件设计	282

第十章 数字电位器的测试技术及保护电路的设计	284
第一节 数字电位器的测试电路及测试方法	284
一、测试积分非线性误差和微分非线性误差	284
二、测试滑动端电阻	285
三、测试滑动端电容	286
第二节 按键式数字电位器去抖动电路的设计	287
一、按键抖动波形的分析	287
二、按键式数字电位器去抖动电路的设计	288
第三节 人体静电放电 (ESD) 及保护电路的设计	293
一、人体静电放电 (ESD) 模型及测试方法	293
二、ESD 保护器件的工作原理及电路设计	293
第四节 过电压及过电流保护电路的优化设计	296
一、过电压保护电路的设计	296
二、过电流保护电路的设计	299
第十一章 数字电位器应用电路 50 例	301
应用电路一 带电压监视器的数字电位器手动控制电路	301
应用电路二 由数字电位器构成的可编程电压微调电路	301
应用电路三 由数字电位器构成的可编程比较器	301
应用电路四 由数字电位器构成具有滞后作用的可编程比较器	301
应用电路五 由数字电位器构成的 3 种运放失调电压调整电路	302
应用电路六 由数字电位器构成的可编程线性增益控制电路	302
应用电路七 由数字电位器构成的可编程伪对数增益控制电路	303
应用电路八 能实现数字电位器双极性输出的电路	303
应用电路九 由数字电位器构成大电流输出的可编程基准电压源	304
应用电路十 由数字电位器构成的可编程精密基准电压源	304
应用电路十一 由数字电位器构成的可编程功率基准电压源	304
应用电路十二 由数字电位器构成的可编程恒流源	305
应用电路十三 由数字电位器构成的可编程电流源	305
应用电路十四 由数字电位器构成的可编程移相器	305
应用电路十五 由数字电位器构成的电容量倍增器	306
应用电路十六 由数字电位器构成的 L 、 R 等效电路	306
应用电路十七 由数字电位器构成的电平检测器	306
应用电路十八 由数字电位器构成的可编程延时电路	307
应用电路十九 由数字电位器构成的可编程跨导放大器	307
应用电路二十 由数字电位器构成的可编程音量控制电路	307
应用电路二十一 由数字电位器构成的可编程音调控制电路	308
应用电路二十二 由数字电位器构成的可编程滤波器	308
应用电路二十三 由 X9455 数字电位器构成的精密可编程滤波器	309
应用电路二十四 由 X9455 数字电位器构成的通用阻抗变换器	309

应用电路二十五	由 AD5220 数字电位器构成的可编程线性稳压器	309
应用电路二十六	由 AD5222 数字电位器构成的可编程开关式稳压器	309
应用电路二十七	由 AD5220 数字电位器构成的正交编码相位控制电路	310
应用电路二十八	由 MAX5160 数字电位器构成的电压/电阻变换器	311
应用电路二十九	由 CAT521 数字电位器构成的可编程基准电压源	311
应用电路三十	由 CAT521 数字电位器构成的可编程功率基准电压源	311
应用电路三十一	由 CAT5114 数字电位器构成的可编程占空比电路	312
应用电路三十二	由 CAT5114 数字电位器构成的可编程带通滤波器	313
应用电路三十三	由 CAT5112 数字电位器构成的可编程电流源	313
应用电路三十四	由 CAT5114 数字电位器构成的独立可编程施密特触发器	314
应用电路三十五	由 CAT5112 数字电位器和传感器构成的自动调整式基准电路	314
应用电路三十六	由 CAT5114 数字电位器构成的自动增益控制电路	315
应用电路三十七	由 DS3906 数字电位器构成的升压式 DC/DC 电源变换器	315
应用电路三十八	由 DS1845 数字电位器构成的升压式 DC/DC 电源变换器	316
应用电路三十九	由 DS3903 数字电位器构成的降压式 DC/DC 电源变换器	316
应用电路四十	由数字电位器构成的 DC/DC 电源变换器模块调节电路之一	317
应用电路四十一	由数字电位器构成的 DC/DC 电源变换器模块调节电路之二	318
应用电路四十二	由数字电位器构成的 DC/DC 电源变换器模块调节电路之三	318
应用电路四十三	由 MAX5161 数字电位器构成的 LCD 正偏压调节电路	318
应用电路四十四	由 MAX5161 数字电位器构成的 LCD 负偏压调节电路	318
应用电路四十五	由 DS1859 数字电位器构成的激光二极管驱动电路	319
应用电路四十六	由 X9241A 数字电位器构成的 4 路可编程增益放大器	319
应用电路四十七	由 X9241A 数字电位器构成的可编程增益及失调电压调节电路	320
应用电路四十八	利用按键控制 MAX5160 型数字电位器的电路	320
应用电路四十九	由 DS1808 数字电位器构成的低 THD 音频放大器	322
应用电路五十	由 X9314W 数字电位器构成的音频功率放大器	323
参考文献		324
配书光盘目录		325

第一章 数字电位器概述

数字电位器亦称数控可编程电阻器（简称数控电位器，DCP）。它是采用 CMOS 工艺制成的数字-模拟混合信号处理集成电路。数字电位器是一种颇具发展前景的新型电子器件，在许多领域可取代传统的机械电位器，广泛用于仪器仪表、计算机及通信设备、家用电器、医疗保健产品、工业控制等领域。任何需要用电阻来进行参数调整、校准或控制的场合，都可使用数字电位器构成可编程模拟电路。本章首先介绍数字电位器的名词术语，然后分别阐述数字电位器的主要特点、基本工作原理、总线接口、基本应用、误差分析、使用注意事项、选择方法及数字电位器常用软件一览表，并给出了数字电位器典型产品的技术指标。

考虑到最近问世的数字电容器可列为数字电位器的衍生产品，尽管数字电容器属于另一类新颖电子器件，是专门用来代替机械式可变电容器或变容二极管的，但二者在原理上有相似之处，因此本章最后还介绍了两种数字电容器的原理与应用。

第一节 数字电位器的名词术语

1. 数字电位器 (Digital Potentiometer)

数字电位器是一种专门用来代替传统的机械电位器的新型 CMOS 数字、模拟混合信号处理集成电路。美国 ADI (Analog Devices Inc. 模拟器件公司) 就是用 “Digital Potentiometer” 来表示数字电位器的。

数字电位器常用的英文缩写如下：

DCP (Digitally Controlled Potentiometers)：数控电位器。美国 Xicor 公司是最早生产数字电位器的厂家，该公司将数字电位器简称为 DCP。本书也采用这种表示法。

DPP (Digitally Programmable Potentiometer)：数字可编程电位器。这是美国 Catalyst 公司对数字电位器的简称。

E²POT (E²PROM Potentiometer)：内部包含非易失性存储器，能记忆工作状态的电位器。这是美国 ADI 公司对数字电位器的一种简称。

Digital Pot (Digital Potentiometer)：数字电位器。这是美国 ADI 对数字电位器的一种简称。

DigiPOT (Digital Potentiometer)：数字电位器。这是美国 MAXIM 公司对数字电位器的另一种简称。

μPoT (Micro Potentiometer)：微型数字电位器。这是美国 MAXIM 公司对微型数字电位器的简称。

RDAC (Resistance Digital to Analog Converter)：电阻式数/模转换器。因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)，故称之为电阻式数/模转换器。

DACPOT (Digital to Analog Converter Potentiometer): 数/模转换式电位器。

DVR (Digital Variable Resistor): 数字式可变电阻器。

VR (Variable Resistor): 可变 (指可编程) 电阻器。

DVR、VR 是美国 ADI 对非易失性数字电位器的两种简称。

2. 数字电容器 (Digitally Controlled Capacitors, 简称 DCC)

数字电容器亦称数控电容器或非易失性可编程电容器, 是数字电位器的一种衍生产品。它与数字电位器的主要区别是将内部单元电阻改为单元电容。数字电容器可代替机械式可变电容器或变容二极管, 用于通信及消费类产品中。

3. 非易失性 (Nonvolatile, 简称 NV)

非易失性是指掉电后能长期保存数据的特性。

4. 非易失性存储器 (Nonvolatile Memory, 简称 NVM)

非易失性存储器是指掉电后能长期保存数据的存储器。

5. 易失性存储器 (Volatile Memorizer, 简称 VM)

掉电后不能保存数据的存储器。

6. 一次性可编程 (One-Time Programmable, 简称 OTP)

利用一次性熔丝编程功能来长期保存数据的特性。

7. 标称电阻公差 (Nominal Resistor Tolerance)

标称电阻公差是指数字电位器的实际电阻值偏差与理想值的百分比。

8. 满刻度误差 (Full Scale Error)

满刻度误差是指数字电位器作分压器使用时, 在满刻度输出时所对应的输入数据与理想输入数据之差, 该误差用最低有效位 (LSB) 来表示。

9. 零刻度误差 (Zero Scale Error)

零刻度误差是指数字电位器作分压器使用时, 在零刻度输出时所对应的输入数据与理想输入数据之差, 该误差用 LSB 表示。

10. 非线性 (Nonlinearity, NL)

非线性是指数字电位器的输出与输入之间不呈线性关系。数字电位器的非线性误差有以下两种: 一种为积分非线性误差 (Integral Nonlinearity Error, 简称 INL), 是指从通过数字电位器传递函数终点的直线上所测得的最大偏差, 用 LSB 表示。另一种为微分非线性误差 (Differential Nonlinearity Error, 简称 DNL), 是指实际代码宽度与理想代码 (1LSB) 宽度的误差。代码宽度可理解为步长或步进量。

11. 抽头数

抽头数是指数字电位器用来调节电阻值的引出端个数。若数字电位器的位数 (bit, 比特) 为 m , 则转换成的抽头数为 2^m 。

12. 滑动端电阻 (Wiper Resistance, 符号为 R_w)

滑动端电阻是指数字电位器滑动端本身的电阻, 即内部模拟开关 (亦称传输门) 的导通电阻。其典型值为几十至一百几十欧姆, 该电阻值与数字电位器的内部电路结构及端电压有关。

13. 滑动端电容 (Wiper Capacitance, 符号为 C_w)

滑动端电容是指数字电位器滑动端对地的分布电容, 其典型值为 $3 \sim 80\text{pF}$ 。它会影响

电路的频率响应, 数字电位器的带宽与 C_w 成反比。

14. 带宽 (Bandwidth, 简称 BW)

数字电位器的频带宽度简称带宽, 亦称通频带, 是描述频率响应的一个重要指标。带宽在数字电位器有 3 种表达方式: -3dB 带宽, 单位增益带宽, 增益带宽乘积。需要说明的是, 单位增益带宽和增益带宽乘积仅适用于内部带运算放大器的数字电位器, 并且这两个参数有相似之处, 只是二者的增益值不同。

(1) -3dB 带宽 (-3dB Bandwidth, 参数符号为 -3dB BW)

当数字电位器的增益下降到直流增益的 0.707 倍时, 所对应的输入信号频率范围。因 0.707 倍就折合为 -3dB ($20\lg\sqrt{2}/2 = 20\lg 0.707 = -3\text{dB}$), 故称之为 -3dB 带宽。增益下降到 0.707 倍时所对应的上限频率, 即为截止频率 f_c 。

(2) 单位增益带宽 (Unity-Gain Bandwidth, 参数符号为 f_{BWG})

单位增益带宽是指当开环增益变成 1 (即 0dB) 时所对应的输入信号频率 f_{BWG} 。

(3) 增益带宽乘积 (Gain Bandwidth Product, 参数符号为 $G \cdot \text{BW}$)

增益带宽乘积表示电压增益与所对应频率带宽的乘积。

15. 接口 (Interface)

接口是数字电位器与微处理器或单片机相连接的电路。数字电位器的接口有多种类型。

16. 稳定时间 (Settling Time, 符号为 t_s)

稳定时间是指当控制编码从最小值逐渐变化到最大值时, 数字电位器达到稳定所需要的时间。数字电位器的稳定时间仅为几微秒。

17. 分辨力及分辨率 (Resolution)

数字电位器的分辨力有两种: 一种是电阻分辨力, 它表示数字电位器所能分辨的最小电阻值; 另一种是电压分辨力, 它表示数字电位器所能分辨的最小电压值。这里讲的最小电阻值或最小电压值亦称步长或步进量。

分辨力指标亦可用分辨率来表示。分辨率是指数字电位器所能分辨的最小电阻值 (或最小电压值) 与总电阻 (或总电压) 的比值, 通常用百分比表示。分辨率就等于分辨力与总电阻 (或总电压) 的百分比。数字电位器在分压器模式下工作时, 设输入电压为 U_1 , 输出电压为 U_0 , 输出电压的最小值为 $U_{0(\min)}$ (零除外), 数字电位器的抽头数为 N (若扣除零抽头, 则为 $N-1$)。电压分辨力就等于输出电压的最小值 $U_{0(\min)}$, 计算公式为

$$U_{0(\min)} = \frac{U_1}{N-1} \quad (1-1-1)$$

式中, $0V < U_{0(\min)} < U_1$ 。

电压分辨率为

$$\frac{U_{0(\min)}}{U_1} \times 100\% = \frac{1}{N-1} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

数字电位器的分辨率与总抽头数有关。例如, 16 抽头数字电位器的分辨率仅为 $(1/15) \times 100\% \approx 6.7\%$; 而 1024 抽头数字电位器高到 $(1/1023) \times 100\% \approx 0.1\%$ 。

18. 电源电压范围 (Power Supply Voltage Range)

电源电压范围是指数字电位器允许工作的电压范围。该电压范围一般为 2.5 ~ 5.5V (或 3 ~ 6V); 高压数字电位器可达 30V (单电源供电) 或 $\pm 15V$ (双电源供电)。

19. 端电压 (Terminal Voltage)

端电压是指加在数字电位器高端与低端的电压。通常, 数字电位器的端电压应在 0 ~ U_{CC} 范围内, U_{CC} 为电源电压。但也有的数字电位器能在负压或高压下工作。

20. 电阻温度系数 (Resistance Temperature Coefficient, 用 α_{TR} 表示)

数字电位器有两个温度系数, 一个是总电阻温度系数, 另一个是比例温度系数。当数字电位器工作在可调电阻模式时, 主要应考虑总电阻温度系数 α_{TR} , 亦称端到端的电阻温度系数 (End-to-end Resistance TC)。它是指当环境温度发生变化时, 数字电位器电阻值的相对变化量与温度变化量的比值, 其单位是 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ (即 1ppm/ $^{\circ}C$), 计算公式为

$$\alpha_{TR} = (\Delta R/R)/\Delta T \quad (1-1-3)$$

数字电位器的总电阻温度系数较大, 一般为几百个 $10^{-6}/^{\circ}C$ 。

当数字电位器工作在分压器模式时, 比例温度系数起关键作用。它是指内部各单元电阻的比例温度系数 α_{TV} (Ratiometric TC)。比例温度系数的计算公式为

$$\alpha_{TV} = (\Delta U_0/U_0)/\Delta T \quad (1-1-4)$$

数字电位器的比例温度系数很小, 一般仅为几至几十个 $10^{-6}/^{\circ}C$ 。由于数字电位器在分压器模式下的温度特性远优于可调电阻模式, 因此推荐采用分压器模式。

21. 电阻噪声电压 (Resistor Noise Voltage)

电阻噪声电压是指在某一频率带宽范围内, 由数字电位器内部电阻产生的随机噪声。其单位是 $\mu V/Hz$, 或 $\mu V/\sqrt{Hz}$ 。

第二节 数字电位器的主要特点及产品分类

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与机械电位器的性能比较, 然后阐述数字电位器的主要特点, 最后详细介绍数字电位器的 9 种分类方法。

一、数字电位器与机械电位器的性能比较

1. 机械电位器的缺点

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范围内, 通过改变滑动端的位置来获得所需要的任意电阻值。机械电位器的主要缺点如下:

- (1) 密封性差、噪声大、易污染、怕潮湿、抗振动性能差, 容易受环境因素的影响。
- (2) 体积大、使用寿命短。
- (3) 需要手动调节, 不仅耗时、费力, 而且调节方法及调节效果因人而异, 存在人为误差, 致使调节精度低、重复性差。
- (4) 当触点接触不良时会产生电噪声 (即“咋啦”声)。