

模数与数模转换技术

科学出版社

73.873
131

模数与数模轉換技术

天津市无线电技术研究所译

科 学 出 版 社

内 容 简 介

本书专门讨论模数与数模转换技术,除着重叙述了电子电路外,还详细地谈到了轴角编码器,机电开关等。全书共分12章:第1章模数与数模转换器的基本知识及其用途。第2章讨论了误差分析并举例说明。第3、4章详细说明了数字逻辑与模拟开关。第5章讲了各种数模译码器的功能与转移方程。第6章数模译码器的设计及其转换误差。第7章讨论了参考电压的产生。第8章为模拟电压比较器。第9章模拟多路化。第10章轴角数字编码。第11章模数转换器的型式。最后一章为模数转换器设计。

* * *

本书系根据美国《Analog-to-Digital/Digital-to-Analog Conversion Techniques》by David F. Hoeschele, Jr., 英文译出,原书1968年由 John Wiley & Sons, Inc. 出版。可供从事本专业的工程技术人员,研究、设计和生产单位以及大专院校师生参考。

模数与数模转换技术

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1972年11月第一版

1972年11月第一次印刷

定价: 1.10 元

毛主席语录

我们的方针要放在什么基点上？
放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

我们不能走世界各国技术发展的
老路，跟在别人后面一步一步地爬行。

……应当以中国人民的实际需要
为基础，批判地吸收外国文化。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，
解放思想。

译 者 的 话

遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，结合当前科研、生产的需要，我们翻译了这本“模数与数模转换技术”供同志们参考。由于我们的思想和专业水平所限，译文中错误和不妥之处在所难免，欢迎同志们多加指导，随时提出宝贵意见。

天津市无线电技术研究所

30361

缩 写 字

L. S. B.	数字的最低有效位(最低位)
N. L. S. B.	数字的次最低有效位(比最低位高一位)(次最低位)
M. S. B.	数字的最高有效位(最高位)
N. M. S. B.	数字的次最高有效位(比最高位低一位)(次最高位)
AS	模拟开关
F/F	触发器
A/D	模-数
D/A	数-模
C. M. R.	共模抑制
FET	场效应晶体管(场效应管)
MOSFET	金属氧化物场效应晶体管(金属氧化物场效应管)

符 号

A_v	电压增益
$F_{\max}(F_{\text{osc}})$	最高振荡频率
F_t	增益带宽乘积频率, 此时小信号共发射极, 短路正向电流转移比 (h_{fe}) 等于 1, 或 0 db。
h_{FEI}	倒接的 h_{FE} (发射极与集电极互相颠倒)
$h_{FEN} = h_{FE}$	共发射极正向静止电流转移比, 等于 I_C/I_B
I_B, I_C, I_E	基极, 集电极, 发射极直流
I_{BC}	基极到集电极的直流
I_{BE}	基极到发射极的直流
I_{CBO}	集电极加反向电压, 发射极开路的集电极漏电流 (NPN 的 I_{CBO} 是+的, PNP 的 I_{CBO} 是负的)
I_{CR}	集电极反向偏置的漏电流
I_D	二极管的电流 (不管偏置方向) 也叫开关驱动电流
I_{EBO}	发射极加反向电压, 集电极开路的发射极漏电流 (NPN 是正的, PNP 是负的)
I_{ER}	发射极反向漏电流
I_F	二极管正向电流
I_O	输出电流
I_R	反向电流 (开关断开的漏电流)
I_S	二极管反向饱和电流
I_Z	调压管或参考二极管的反向击穿电流
k	布尔兹曼常数 $= 1.38 \times 10^{-23}$ 瓦/°K
q	电子电荷 $= 1.6 \times 10^{-19}$ 库
r_b	半导体体电阻
r'_b, r'_e, r'_c	依次为半导体晶体管基极、发射极、集电极的内部电

阻

r_c	双极晶体管集电极的小信号电阻,基射结反向偏置
r_e	双极晶体管发射极的小信号电阻,基射结正向偏置
r_{ds}	场效应管源漏间动态导通电阻
r_g	信号源电阻
R_L	负载电阻
R_{OF}	开关的断开电阻
R_{ON}	开关的导通电阻
R_O	输出阻抗
r_s	半导体开关的导通动态串连电阻
r_{si}	双极晶体管倒接时的导通动态串连电阻
r_{in}	双极晶体管正接时的导通动态串连电阻
r_{it}	半导体开关的理论导通动态串连电阻
T	绝对温度 $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$
V	电压
V_A	外加电压,常为电源
V_B	直流反向电压,晶体管基极电压
V_{BE}	晶体管基极与发射极间的直流电压
V_{BB}, V_{EE}, V_{CC}	依次为双极晶体管的基极、发射极、集电极的供电电压
V_{CE}	发射极接电源或接地,集电极至发射极间的直流电压
V_D	二极管的外加电压(不管正反向)
V_{DS}	场效应管漏至源的电压
V_{EC}	集电极接电源或接地发射极至集电极间的直流电压
V_{GS}	场效应管栅源间直流电压
V_{IA}	输入模拟电压
V_{IAF}	输入模拟电压,满刻度;最大输入模拟电压
V_{OF}	开关的偏差电压-开关两端没有电流时的输出电压。 可能由于热电子,激励信号的馈入等

V_{OFI}	双极晶体管倒接的偏差电压(集电极与发射极颠倒)
V_{OFN}	双极晶体管正接的偏差电压
V_P	场效应管的夹断电压。从栅到源及从栅到漏(对称FET)使器件关断的反向电压
V_R	模拟参考电压
V_Z	电压调节管或参考二极管的反向击穿电压
Z_Z	参考二极管在反向击穿区的动态阻抗

希 腊 符 号

α_I	倒 α , 发射极与集电极颠倒的电流放大倍数
α_N	正 α , 共基, 发射极至集电极的正向电流转移比 (NPN, PNP均为+) 实际上, 假如集电极结加十分之几伏的偏压可以得到最好的结果, 在大信号中应用须按照不同发射极电流下的 α_N 值使用。
σ	误差(被测数值的百分数或小数部分)
σ_m	平均误差
σ_r	随机误差
σ_s	系统误差
σ_{st}	总系统误差
σ_t	总误差
θ	轴角
λ	半导体二极管电流电压方程中的一个常数项, 考虑了载流子复合使电流降低的因素
ϕ_C	集电结的偏压, 即集电极至基极间的电压, 除去 r'_b , r'_c 的压降; 正向偏压的极性是正的。
ϕ_E	发射结的偏压, 即发射极至基极间的电压, 除去 r'_b , r'_c 的压降。

名 词 解 释

模拟电压或电流 一条线上代表某个量的电压或电流。

串行数字 一条线上按时间顺序的“1”和“0”代表某个数字。

并行数字 在不同的线上数字的各位同时存在。

模-数编码器 模数编码器是把模拟量(轴角、电压等)转换成相当的数字的装置。

模-数转换器 有时与编码器通用。但完整的转换系统应包括模-数编码器,数字存贮,参考电压源,电源条件化等。

数-模译码器 数模译码器是把代表某量的数字转换为相当的模拟量的装置。

数-模转换器 有时与数-模译码器通用。但完整的转换系统应包括数-模译码器,数字存贮,参考电压源,输出放大器,电源条件化等。

位数转换速度 在模-数转换中,每单位时间编码的数字位数

数字转换速度 在模-数转换中,每单位时间编出的完整数字数
在数-模转换中,每单位时间译出的完整数字数

位数转换时间 在模-数转换中每编一位所需的时间

数字转换时间 在模-数转换中编一个完整数字所需时间
在数-模转换中译出完整数字所需时间

Throughput rate = 数字转换速度

Throughput time = 数字转换时间

孔径时间(Aperture time) 在模-数转换中,模拟输入的值被输出数字代表的时间不确定度。基本上等于数字转换时间。

采样与保持(Sample and hold) 在给定的周期内对模拟电压值进行采样的电路。采样完成后,把模拟电压在所需的保持时间内存贮起来。这样可以降低模-数转换器的孔径时间。

分解度(分辨率) (Resolution) 对于数字来说,用数字代表从 0 至满刻度的离散值的数目。一个十位的自然二进位数字的分解度为 $1/1024$ 。($1/2^{10}$)

基本数量 (Quantum) 以数字分解模拟值的最小增量。它等于最低位的模拟量值。

数量化误差 (Quantizing error) 由于数字分解度的有限,用数字表示某一量发生的误差。最小的数量化误差等于零,此时模拟值恰好等于数字值。数量化最大误差等于 $\pm 1/2$ 基本数量。此时模拟值处于两个数字之中间。

设备误差 模-数或数-模转换中由于设备不精确而引起之误差。

总转换误差 包括数量化误差与设备误差的总误差。

模拟开关 切换模拟电压或电流而不致过分损害信息量的器件。

运算放大器 转移函数决定于外部输入与反馈电路的放大器。

比较器 能比较两个模拟电压值的大小。根据大的一个产生输出电压。

比较器偏差电压 经过两只相等的电阻加到输入端间的电压,迫使比较器输出在两个输出状态中间。

比较器共模抑制 在规定的范围内,输入的共模电压与偏差电压峰至峰变化之比。

比较器电源抑制 输入偏差电压变化与产生它的电源电压变化之比。

输入模拟多路装置 按照一定顺序把一个模拟通道在一个时间内接入模-数转换器的输入。

输出模拟多路装置 在一个时间内把数-模转换器的输出接到输出线上。

目 次

第 1 章 转换系统	1
1.1 概述	1
1.2 基本数模转换	2
1.3 数字轴角转换器(电位器)	3
1.4 时间分割数-模转换	4
1.5 数字轴角转换(码轮反馈)	5
1.6 逐渐近似模-数转换系统	6
1.7 计数器阶梯电压模-数转换	7
1.8 并行模-数转换(同时的)	7
1.9 自动数字电压表	8
1.10 转换速度	9
第 2 章 误差分配分析	12
2.1 概述	12
2.2 最坏情况与统计误差分配分析	13
2.3 误差分配分析举例	17
第 3 章 转换逻辑	20
3.1 概述	20
3.2 “与”门和“与非”门	20
3.3 “或”门及“或非”门	26
3.4 倒相器	29
3.5 触发器	29
3.6 触发二进位计数器	33
3.7 触发移位寄存器	34
3.8 单稳触发器与时间延迟	35
3.9 数-模转换逻辑	38
3.10 多路装置选择逻辑	43

第4章 模拟电压的切换 48

4.1 概述	48
4.2 机电开关与电子开关	49
4.3 半导体二极管模拟开关——引言	49
4.4 二极管模拟开关——导通状态	51
4.5 匹配的二极管模拟开关——导通状态	54
4.6 二极管模拟开关——关断状态	55
4.7 双极晶体管模拟开关——引言	57
4.8 双极晶体管模拟开关——导通状态	58
4.9 双极晶体管模拟开关——关断状态	65
4.10 晶体管导通特性的变化	67
4.11 匹配晶体管降低 V_{OF}	73
4.12 双极模拟开关晶体管的规律	77
4.13 半导体结型场效应晶体管的应用	78
4.14 金属氧化物场效应晶体管的应用	82
4.15 场效应晶体管作模拟开关	84
4.16 各种晶体管模拟开关参数的比较	88

第5章 数-模译码器运用 91

5.1 概述	91
5.2 $2R, R$ 阶梯式数-模译码器	91
5.3 加权电阻网络数-模译码器	97
5.4 加权电流数-模译码器	101
5.5 单值电流数-模译码器	102
5.6 不用普通二进制的数-模译码	104
5.7 带有补数形式数字位的负号数字输入的数-模译码器	110
5.8 数-模译码器激励一个0和点	113
5.9 数-模译码器——一般的精度考虑	116

第6章 数-模译码器的设计 123

6.1 概述	123
6.2 数-模译码器精度的考虑	126
6.3 中精度($\pm 10\% \sim \pm 1\%$)数-模译码器的设计	134

6.4	互补晶体管触发数-模译码器	140
6.5	晶体管电压数-模译码器(典型精度在 $\pm 1\%$ 以内)	142
6.6	晶体管加权电流数-模译码器	146
6.7	加权双向电流数-模译码器	149
6.8	晶体管单值电流数-模译码器	151
6.9	双极晶体管-双极电压数-模译码器(精度为 $\pm 1\%$ 至 $\pm 0.05\%$)	151
6.10	数字-交流电压译码器	156
6.11	场效应管直接激励数-模译码器(精度为 $\pm 10\%$ — $\pm 0.001\%$)	159
6.12	场效应管电容器驱动数-模译码器 (精度 $\pm 10\%$ 至 $\pm 0.001\%$)	162
6.13	对于高精度电压数-模译码器改进符号位精度的方法	167
第7章 参考电压		171
7.1	概述	171
7.2	齐纳二极管的工作	173
7.3	齐纳参考二极管(温度补偿的)	177
7.4	减小由外加电压的变化而引起的误差(ΔV_A)	178
7.5	减小由最初制造容限引起的误差	182
7.6	减小由 ΔI_L 引起的 V_R 的误差	183
7.7	$\pm 0.1\%$ 参考电压源的设计	188
第8章 模拟电压比较器		196
8.1	概述	196
8.2	简单的电压比较器	200
8.3	双极晶体管差值放大器比较器	204
8.4	双极晶体管差值放大器比较器实例	212
8.5	场效应管比较器	223
8.6	正反馈	230
8.7	斩波放大器比较器	233
8.8	隧道二极管比较器	234
第9章 模拟多路化(交换,辅助交换)		239
9.1	概述	239
9.2	电机模拟多路装置	243

9.3	双极晶体管/电阻器驱动/高电平多路装置	249
9.4	双极晶体管/电阻驱动/低电平多路装置	258
9.5	双极晶体管/变压器驱动/高电平或低电平多路装置	262
9.6	双极晶体管/电容器驱动多路装置	265
9.7	结场效应管多路装置	266
9.8	金属氧化物半导体场效应管的多路装置	271
9.9	光电子多路装置	279
9.10	采样与保持	280
9.11	辅助交换和分路	290
第10章 轴角数字编码		294
10.1	概述	294
10.2	增量编码器	295
10.3	绝对编码器的非单值性	299
10.4	利用循环代码消除绝对编码器的非单值性	299
10.5	消除非单值性的读出法	301
10.6	磁性轴角编码器	307
10.7	电子内插法	309
10.8	同步机分解器编码	310
第11章 模-数转换器的型式		319
11.1	模-数转换器的分类	319
11.2	电容充电模-数转换器	319
11.3	分级电压比较模-数转换器	322
第12章 模-数转换器设计		329
12.1	概述	329
12.2	脉宽调制模-数转换器	333
12.3	上下积分模-数转换器(低转换速度,精度好,不太复杂)	341
12.4	逐渐近似模-数转换器(中等速度,高精度,中等复杂程度)	344
12.5	计数器阶梯电压模-数转换器	351
12.6	运算放大器模-数转换器(中等转换速度,中等精度, 中等复杂程度)	358
12.7	射随器直接比较模-数转换器	363

12.8 并行模-数转换器(速度最快,精度不高,数字每增加一位, 设备要加倍)	367
12.9 并串模-数转换器	371
12.10 电容电荷转移模-数转换器 (Capcoder).....	373
12.11 伺服控制模-数转换器	377
12.12 微电子金属氧化物场效应管模-数转换器	378
12.13 电压频率模-数转换器	382
附录	386
A. 二进十进表	
B. 网路定理	
C. 埃伯斯 (Ebers) 和茂尔 (Moll) 方程	
D. 轴角数字分解度表	