

电子仪器的 电路设计

〔美〕D. 沃布沙尔 著

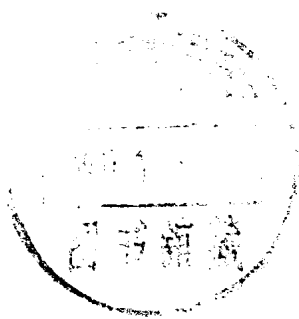
科学出版社

73.76
234

电子仪器的电路设计

〔美〕D. 沃布沙尔 著

言 华 等 译



科学出版社

1986

8710038

内 容 简 介

随着现代科学技术的发展,电子仪器正在不断地更新换代。微处理器的问世,促使电子仪器朝着智能化的方向发展。因而电子仪器的电路设计面临着许多需要解决的新问题。

本书是作者在总结多年教学经验的基础上撰写而成的。全书内容丰富,概念清楚,涉及面广,理论联系实际,对电子仪器设计有一定的指导和参考作用。

全书包括:半导体器件及基本电路,变换器,信号放大和处理;数据转换、控制和读出,电源五个部分共二十二章。既有模拟电路,也有数字电路,对各种传感器的原理和结构,微处理器等也作了介绍,每一部分均附有例题和习题,供初学者练习,以加深理解。

读者对象:从事电子仪器设计、调试的有关工程技术人员及学校师生。

Darold Wobschall
CIRCUIT DESIGN FOR ELECTRONIC
INSTRUMENTATION
ANALOG AND DIGITAL DEVICES
FROM SENSOR TO DISPLAY
McGraw-Hill 1979

电子仪器的电路设计

[美] D. 沃布沙尔 著

言 华 等 译

责任编辑 李 立

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

*

1986年9月第 一 版	开本: 787×1092 1/32
1986年9月第一次印刷	印张: 14 3/4
印数 0001—6,500	字数: 333,000

统一书号: 15031·739

本社书号: 4487·15—7

定 价: 3.45 元

译 者 的 话

随着电子器件和大规模集成电路的迅速发展,电子仪器正以崭新的面貌逐步更新换代。我们翻译本书的目的,在于向读者推荐一本比较全面地叙述电子仪器整体设计的指南性书籍。本书的特点是:(1)分析基本器件和电路的原理,以集成电路为重点。(2)书中全面介绍了各种类型传感器的结构、特点和性能,不仅包括常用的热敏元件、电光器件,还涉及化学电极和生物电极。(3)书中列举的电路,既有模拟电路,又有数字电路,对微处理器和多路传输等新技术也作了简单介绍。书中列举了一些典型电路,并附有原理性说明。

这本书不同于一般电路手册,又有别于电子线路原理分析的书籍。作者实际经验丰富、知识面广,因此本书所阐明的的问题,概念清楚,深入浅出。本书能引导读者正确掌握电子仪器的设计思想和方法,并注意调试和结构方面的问题。如果读者没有学过电子线路,或者对某些专题想作深入分析和计算,则需参阅有关专业书籍和文献。本书适宜于从事测量仪器专业人员参考。

本书第一,二,三,四章由侯秀卿翻译;第六,七,八,九,十章由刘鸿铨翻译;第十一,十二章由恽纪昌翻译;第五,十七,十八章由王慧云翻译;第十三、十五、十六章由言华翻译;第十四章由王应荣翻译;第十九,二十,二十一,二十二章由顾水娟翻译。全部译稿由刘壮狮初校,并由言华、恽纪昌等统一修改校订。

由于本书内容涉及面广,限于我们业务和外文水平,书中错译和不当之处一定不少,恳切希望读者批评指正。

前 言

电子仪器的设计目前已成为广泛采用的技术。近年来,对于专业和业余的工程师们来说,这种技术的日趋普遍是由于种类繁多的集成电路,使仪器价格降低并简化了复杂的设计方法的结果。

随着电子器件的迅速增长,电子学方面的文献也相应增多,而且还出现了许多仅仅只论述仪器设计某些方面的论著。因此,学生和非专业人员花在搜集电子设计资料方面的工夫可能要比实际设计一台仪器所费的时间还要多,甚至他们还可能不知道某些标准技术。作者试图搜集和介绍一些标准器件及技术,编入单独一本简明扼要的书中,以简化设计过程。到那时设计人员便能一举获得解决电子仪器设计问题的设计思想和方法。

本书的目的是为整个电子仪器设计,即从输入到输出,或者说从探头到读出装置,提供设计指南。因此,本书的重点将放在电路的衔接和相互关系上。例如对数字温度计的所有部件都予以介绍,包括温度传感器、模拟放大器、A/D 变换器及其数字显示。

本书许多章节涉及温度、电子光学和位移式传感器或探头、模拟和数字器件、模拟和数字信号处理、数字显示、模/数变换、数据传输以及数据记录。目前使用的许多或绝大多数仪器都应用这些电路或器件中的几种。

尽管本书没有很详细地介绍微处理器系统,但是一些以微处理器为核心的仪器都使用本书介绍的电路作为外围器

件。书中对多路和数据传输的讨论特别适用。在微处理器一章中,详细介绍了微处理器与外部设备之间连接的基本知识。

要在有限的篇幅中讨论众多的专题,必须文字简洁、内容精炼。首先论述的是比较基本而有用的电路,而且作了充分说明,使读者了解电路的工作原理,但避免过多的数学推导和繁琐的专题论述。如果读者对某些特殊电路的详细内容感兴趣,作者希望大多数读者去查阅专门教材或自己分析这些电路。

电子工程设计专业的学生会发现这是一本有价值的参考书。在某种意义上说,单靠书本是学不会设计的,还要通过实践和借助实验室的工作经验。设计必须由学生做。教科书只能用指南的形式提供设计的方法步骤以及组成电子仪器的标准元件的基本电路。本书意图是避免讲解过于详细而免除学生自己的大量练习。在使用本书的高年级电子设计课程中,学生独立设计、分析、制作以及测试仪器是该课程的部分要求。这种课外自学项目,即使在学校环境下也能提供类似在工业环境中才会得到的经验,而这种经验被公认为对培养工程师是有价值的。本书提供了如何将各种电路组合成完整仪器的几个实例,还为学生进一步作设计练习提供一些设计问题。

作者衷心感谢许多使用过本书初稿的学生,他们的建议和鼓励促成了本书新版的出版。作者还感谢为各章初稿打字的打字员,尤其是凯·华德和我的女儿迪娜。最后,感谢我的妻子卡特瑞娜,她牺牲了种花的时间为我校对清样。

D. 沃布沙尔

目 录

第一部分 半导体器件和基本电路	1
第一章 电子仪器的设计方法	1
1-1 电子仪器的组成	1
1-2 电路设计及其优化	2
1-3 集成电路的优点	4
1-4 部件之间的连接和匹配	5
1-5 自制还是购买	7
1-6 模拟法还是数字法	8
1-7 电路分析的作用	9
第二章 分立器件的特性	11
2-1 基本二极管的特性	11
2-2 特殊用途的二极管	13
2-3 双结型晶体管 (BJT)	16
2-4 场效应晶体管 (FET) 的特性	19
2-5 可控硅整流器 (SCR) 及三端双向可控硅开关元件	22
2-6 可编程单结型晶体管 (PUT)	24
2-7 灯泡驱动器和继电器驱动器	26
第三章 运算放大器的特性	29
3-1 理想运算放大器	29
3-2 电压控制运算放大器的内部电路	30
3-3 非理想运算放大器的特性	32
3-4 运算放大器的种类	41
3-5 一些特性的测量	44
3-6 反馈的基本原理	47
3-7 稳定性和补偿	50

第四章 运算放大器的各种连接	53
4-1 同相放大器	53
4-2 反相放大器	55
4-3 差分放大器	56
4-4 相加放大器	57
4-5 积分器	58
4-6 电流-电压变换器	60
4-7 桥式放大器	63
4-8 测量放大器	65
4-9 对数放大器	67
4-10 用运算跨导放大器 (OTA) 构成的乘法器或增益控 制器	70
4-11 电流差分放大器 (CDA)	72
4-12 失调电压直流偏置的调节方法	74
4-13 比较器	75
4-14 多谐振荡器	77
4-15 峰值读出器	79
4-16 输出限幅和箝位	81
第五章 基本数字器件: TTL 和 CMOS	83
5-1 反相器/驱动器	83
5-2 或门、或非门和异或门	84
5-3 与门和与非门	85
5-4 传输门	86
5-5 置位-复位 (SR) 触发器	87
5-6 JK 触发器	89
5-7 二进制计数器	91
5-8 十进制 (BCD) 计数器	93
5-9 D 型及其有关的触发器	96
5-10 专用计数器	97
5-11 TTL 集成电路的内部结构	99

5-12	CMOS 集成电路的内部结构	103
5-13	TTL 和 CMOS 的特性	106
5-14	各种数字器件的比较	108
5-15	二极管门电路	110
5-16	运算放大器-TTL-CMOS 器件的接口	111
5-17	施密特触发器	114
5-18	线性接收器	115
5-19	数字比较器	116
5-20	负逻辑标记	118
基本电路设计举例		120
基本电路设计习题		124
 第二部分 变换器		 127
第六章 温度敏感元件		127
6-1	热敏电阻	127
6-2	其他电阻式温度计	132
6-3	电阻敏感元件的桥式放大器	133
6-4	热电偶	134
6-5	其他热敏元件	136
6-6	集成电路温度传感器	137
第七章 电光器件		139
7-1	光谱和能量的关系	139
7-2	光敏二极管	142
7-3	发光二极管	145
7-4	半导体光电元件及有关器件	147
7-5	光电倍增管	148
7-6	光隔离器	151
7-7	数字显示器	153
第八章 位移传感器		158

8-1 应变片	158
8-2 电磁速度传感器	161
8-3 电感式传感器	163
8-4 电容式传感器	166
8-5 数字式位移传感器	168
8-6 其他位移传感器	170
8-7 靠近式磁检测器	172
第九章 流体测量计	175
9-1 压力计	175
9-2 流量计	176
9-3 真空计	178
9-4 水分和湿度敏感元件	181
9-5 液位计	183
第十章 化学电极和生物电极	187
10-1 可逆电极	187
10-2 参考电极	190
10-3 膜片电势	191
10-4 pH 计	193
10-5 特殊离子电极	194
10-6 微电极	196
10-7 各种皮肤电极	199
10-8 差分电极前置放大器	200
10-9 电击危害	204
传感器设计举例	206
变换器设计习题	209
第三部分 信号放大与处理	211
第十一章 信号滤波	211
11-1 理想滤波器	211
11-2 单级高通与低通电路	213

11-3	积分器-平均器(有源低通)	216
11-4	微分器(有源高通)	217
11-5	LC 带通滤波器	219
11-6	陷波器与带通滤波器	219
11-7	巴特沃兹滤波器	223
11-8	契比雪夫及其他有源滤波器	227
11-9	迴旋器	229
11-10	有源滤波器的公式推导	230
第十二章	振荡器与信号源	242
12-1	文氏电桥振荡器	242
12-2	相移振荡器	244
12-3	考毕兹正弦振荡器	245
12-4	脉冲发生器	246
12-5	方波发生器	248
12-6	三角波发生器	249
12-7	石英晶体振荡器	250
12-8	直流信号源	252
12-9	集成电路函数发生器	253
第十三章	高频放大器	257
13-1	高频运算放大器	257
13-2	宽带(视频)放大器	258
13-3	调谐射频放大器	259
13-4	限幅中频放大器	260
13-5	集电极开路射频-中频放大器的内部结构	261
13-6	用 CMOS 和 TTL 反相器作线性放大器	262
第十四章	模/数变换器	265
14-1	数/模变换器的技术要求	265
14-2	电压-频率变换器(VFC)	267
14-3	集成化电压-频率变换器	270
14-4	用电压-频率变换器作模/数变换器	273

14-5	斜坡变换器	273
14-6	数/模变换器	276
14-7	计数器型和随动型模/数变换器	280
14-8	逐次逼近型模/数变换器	282
第十五章	调制与解调	284
15-1	二极管检波器	284
15-2	交流-直流变换器	285
15-3	相敏检波器	289
15-4	振幅调制与控制	294
15-5	频率调制	296
15-6	FM 检波器	297
15-7	锁相环理论	299
15-8	PLL 集成电路	303
第十六章	噪声与噪声抑制	306
16-1	噪声源和术语	306
16-2	半导体噪声	308
16-3	放大器噪声	310
16-4	带宽限制	313
16-5	信号平均	315
	信号放大和处理设计举例	317
	信号放大和处理设计习题	319
第四部分	数据转换,控制和读出	323
第十七章	脉冲定时器和计数器	323
17-1	集成定时器	323
17-2	数字式单稳态多谐振荡器	325
17-3	触发扫描	327
17-4	脉冲延时电路	329
17-5	无弹跳开关	331
17-6	脉冲计数器	333

17-7	分频器与倍频器	335
17-8	数字式时间间隔定时器	337
17-9	频率计数器	338
17-10	译码器和编码器	339
17-11	脉冲序列发生器	341
第十八章	多路传输	343
18-1	模拟开关	343
18-2	模拟多路调制器和信号分离器	345
18-3	锁存器	348
18-4	数字转换开关	349
18-5	多路显示器	350
18-6	串行数据与并行数字数据的转换	351
18-7	跟踪和保持电路	354
18-8	电荷耦合器件	354
第十九章	数据传输与记录	357
19-1	模拟遥测技术	357
19-2	数字遥测技术	361
19-3	调制解调器 (MODEM)	365
19-4	通用异步接收机和发射机 (UART)	367
19-5	键盘和字符发生器	369
19-6	磁带记录器	372
第二十章	微处理器导论	377
20-1	微处理器系统的结构	377
20-2	存储器地址结构	380
20-3	算术、逻辑和转移操作	384
20-4	寄存器传送操作	388
20-5	输入/输出 (I/O) 端口	389
20-6	中断和子程序的传送	393
20-7	时序图	396
20-8	存储器 (RAM 和 PROM) 电路	397

20-9 程序设计方法	402
20-10 微处理器的类型	404
数据转换、控制及读出电路设计举例	405
数据转换、控制和读出电路设计习题	406
 第五部分 电源电路	 411
 第二十一章 电源	 411
21-1 电源的特性	411
21-2 电容输入式整流器	414
21-3 不稳压电源	418
21-4 二极管稳压器	419
21-5 运算放大器的稳压器	421
21-6 过压保护	423
21-7 集成电路稳压器	424
21-8 单组电源到双组电源	427
21-9 直流-直流变换器	428
21-10 电池与电池充电	430
 第二十二章 功率放大与控制电路	 434
22-1 功率输出晶体管的型式	434
22-2 运算放大器输出增强器	437
22-3 交流放大器	438
22-4 可控硅整流器和三端双向可控硅开关激励器	439
22-5 小型电动机和驱动器	442
22-6 步进电动机驱动器	444
电源电路设计举例	446
电源电路设计习题	447
名词索引	449

第一部分 半导体器件和基本电路

第一章 电子仪器的设计方法

电子仪器的设计主要是创造性地把已被验证过的各种电路和器件进行组合,以达到所规定的技术指标。当然,在选择和联接各单元电路时必须满足技术要求。教科书虽然不会教给人们这种独创能力,但却讨论了设计过程中所需的电路和器件,而且还提供了一些范例。事实上,经验是最好的老师。写本章的目的在于对那些没有经验的设计人员有所帮助,他们对仪器设计或许信心不足或者缺乏一般的准则。

1-1 电子仪器的组成

电子仪器的用途主要是对物理参数进行测量和显示。一台仪器一般可分为如图 1-1 中方框图所示的几个部分。输入

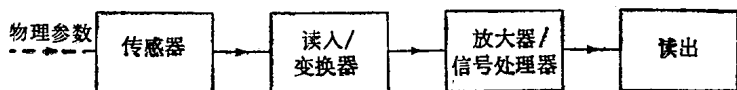


图 1-1 电子仪器的一般方框图

端传感器是这样一种器件,其可测量的电参数是被测物理参数的函数,且通常是线性函数。例如热敏电阻(传感器)的电阻值(电参数)的改变至少在某一有限范围内与温度(物理参数)成正比。目前已有若干种读入电路,能将传感器的电参数的变化转换成易于测量的电信号,特别是对于信号的电压和

8710038

• 1 •

频率，可以很容易地进行精确的测量。传感器的读入电路或变换器可以十分简单。对热敏电阻来说，只要一组直流电源和一个电阻器，就能把电阻的变化转换成与其成正比的电压变化(信号)。

为了方便地读出信号，往往需要对信号进行放大，或者作进一步的处理。信号处理可能需要精心对待，其中会涉及到将信号分解成各种频率分量、确定各信号之间的时间关系或者把交流变换成直流。信号读出可能包括面板表、数字显示或者将信号转换成一种适当的形式送给数字计算机。除了上述这几部分外，仪器还需要电源。电源通常都采用标准化电路，无需逐一讨论。另外，控制电路也是上述方框图中的一个完整部分。

1-2 电路设计及其优化

在许多情况下，仪器设计是十分简单的，只要根据方框图中的每一个方框从可供使用的电路手册中选择适当的电路，并考虑各方框之间的匹配或联接。当然，我们假设其功能、性能或技术指标都是已知的。有各种各样的传感器和电路可以选用。设计人员所面临的问题多半是如何从各种可用的电路中选择相互兼容的电路，而不是选用只能完成某种特殊功能的电路。必须强调各电路之间的兼容性，否则会由于接口电路而增加仪器的复杂性，而这要比仔细选择各种基本电路更加费事。

可以从多方面获得完成某种特殊功能的电路。例如像本书这样的书籍、有关电子仪器的技术期刊或杂志、电子工厂的使用说明或者在这方面有兴趣的人员或朋友们。有经验的设计人员还要编制电路集、设计技巧以及使用体会，无论是其中

的一项或者全部都是易于做到的。

有时,可以找到能满足要求的完善而又详细的电路。这时,就无需进行电路设计,而只要进行仪器的结构设计和试验。但是,在大多数情况下,所选用的电路是不完善的,不是功能过多,就是功能不够,或者在其他方面不能满足技术指标。这时,设计人员的任务就是对电路进行删改、修正或者补充完善电路中的不足之处。在教科书或者应用手册中所选用的电路往往有一个或几个设有标值的元件,但给出了计算公式或处理方法,从而可以确定适于特定用途的恰当的数值。如反馈放大器的增益 A 决定于两个电阻之比 ($A = R_d/R_b$),设计人员可以在一定范围内选用适当的电阻,灵活地给定增益。

相当大的设计自由度往往是有用的。但是,在电路分析方面尚缺乏锻炼的学生在开始时对这种灵活性感到棘手。上例中的增益 $A = 10$,可以由 $R_d = 100\text{k}\Omega$ 和 $R_b = 10\text{k}\Omega$,或者 $R_d = 20\text{k}\Omega$ 和 $R_b = 2\text{k}\Omega$,或者可以选择无穷多组电阻值来求得。许多分析能力差的学生,则宁愿只有一组解。他们必须学习并掌握这种灵活性。

试验电路一旦选定,就要进行分析、优化和试验。正如图 1-2 流程图所建议的那样,这是一个反复进行的过程。在分析电路这一步骤中,要对电压、电流、增益、频响或其他相应的参数进行定量的分析。这一步可能只要对各级之间的电平的一致性进行校验,也可能要对整机的系统响应进行严密的数学分析,还可能要采用计算机辅助设计,在复杂的高频电路中尤其如此。将分析计算的结果与规定的技术指标相比较,如果存在误差或偏差,就应该修改电路参数;如果必要,则应另选更好的电路、重复以上步骤,直到没有误差为止。换句话说,在着手进行下一步工作以前,即进行仪器的结构设计和测试