

集成电路导论

[美] 维克托·H·格林尼许 著
霍勒斯·G·杰克逊

原子能出版社

73.755
483

集成电路导论

[美] 维克托. H. 格林尼许 著
霍勒斯. G. 杰克逊

徐俊荣 等译
唐锡琪 校



原子能出版社

1110983

内 容 简 介

本书讨论了电子电路的工作原理、设计和应用。内容分数字集成电路和线性集成电路两部分。数字电路部分包括基本器件的特性和模型, 逻辑设计, 逻辑门电路, 组合逻辑设计, 集成触发器、计数器和移位寄存器等。线性电路部分包括小信号放大器, 集成运算放大器, 放大器中的反馈和频率补偿等。最后还介绍了数字和线性集成电路的应用实例。书中附有大量习题(习题解答将另行出版)和示范实验。本书可作为高等院校电子电路教材或参考书, 也可供有关工程技术人员参考。

Introduction to Integrated Circuits

Victor H. Grinich

Horace G. Jackson

Mc Graw-Hill Book Company, 1975

集 成 电 路 导 论

[美] 维克托·H.格林尼许

著

霍勒斯·G.杰克逊

徐俊荣 等译

唐锡琪 校

责任编辑 袁祖伟

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092¹/₁₆·印张30·字数717千字

1983年4月第一版·1983年4月第一次印刷

印数1—13600·统一书号: 15175·466

定价: 3.65元

译 者 的 话

我们在1979年翻译了“集成电路导论”这本书作为电工及计算机科学系各专业的电子技术基础教材之一。本书在取材和教学方法上有一系列的特点。其内容以集成电路为主，反映了电子电路的发展趋向。书中虽然对分立元件也作了些介绍，但主要是为了阐明集成电路的基本工作原理。对于半导体物理部分也作了类似的考虑，只集中介绍了一些与电路分析有关的物理基础，不作更深入的探讨。本书中数字集成电路部分的内容，已足够作为电工及计算机专业的基础。模拟集成电路部分中关于集成运算放大器的原理和应用，也占有相当的份量，因此本书的深度和广度都较为恰当。此外，为了使读者掌握内容和深入理解，本书又采取了精讲多练和示范实验等一系列有效措施。因此，本书不失为一本良好的电子电路教材或参考书。

本译稿是在1979年的初译稿基础上经使用后加以修订的。参加翻译的还有唐锡琪、沈杏苓、程永萱、陆丽华、何绍雄和陆景明等同志。上海交通大学电子学教研室一些教师对译稿提出了不少有益的意见和建议，此外还得到了上海海运学院聂锦麟同志的帮助，在此致谢。由于我们学识浅薄，对正在发展中的电子技术摸索得还很不够，在翻译过程中难免有错误和不妥之处，务请读者给予指示。

原本各章末都附有参考资料名称及其内容的说明。考虑到这是一本入门书，内容比较完整，就掌握其中的知识而言，不一定要参考其它资料；加上原书中所列参考资料大都是过去几年美国书刊上的，这些外文资料在国内不易得到，因此我们就没有将它们列入中译本中。读者若需要可查阅原书。

徐俊荣

1980年12月于上海交通大学

序 言

我们想通过本书向读者介绍有关理解现有集成电路的工作原理和它们在基本信息处理电路中的应用方面所需要的基本概念。我们注重集成电路(IC)是因为在现代电子系统中凡是采用它们的场合总是采用它们,注重它们在信息处理方面的应用是因为来自各方面的学生对这个题目都感兴趣。

1.1 模拟及数字系统

为了使我们的工作有一个适当的指导思想,最好从考察电子系统中表示信息的两种基本方法入手。在模拟系统中,是要使电信号的连续特性,如它的幅度或频率,成为所处理的原始信号的精确复制品。广播扩音系统就是模拟系统的一个例子,其中通过整个放大器的电信号的幅度与人对着话筒讲话所产生的空气压力的变化成正比。对这种系统中的信号进行处理的集成电路称为线性或模拟集成电路。

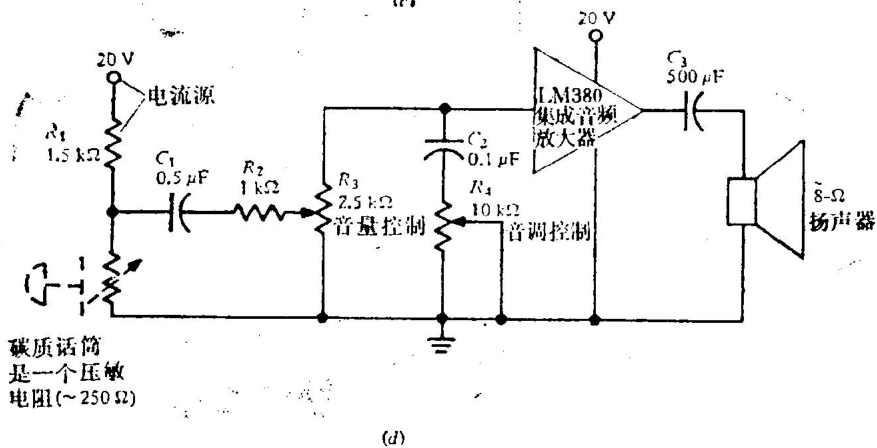
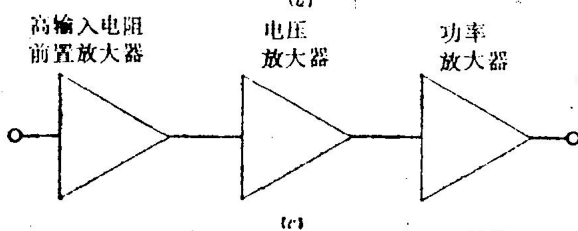
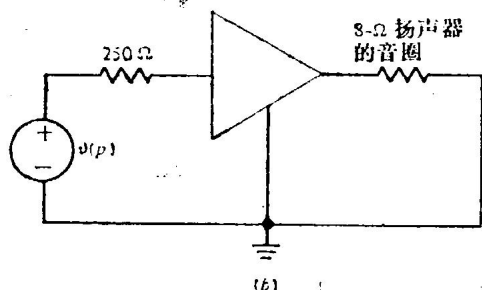
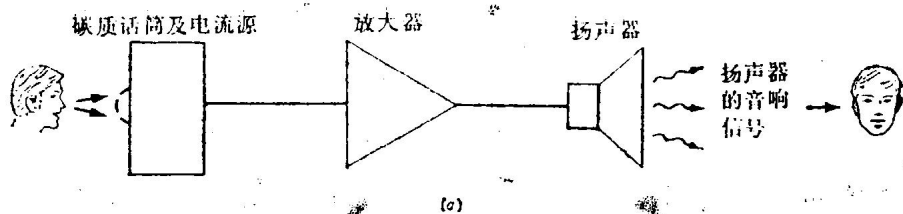
另一方面,在数字系统中,电信号用来表示数字或出现的事件。例如在交通控制系统中,车辆要穿过一条主要街道必须驶过路上的一块压力板,去启动一个系统,后者经过一段适当的时间延迟后,使前方的交通灯开“绿”灯。这种系统应设计成能够在满足特定的输入条件(车辆驶过压力板)时执行一组预定的操作。这种系统的设计者可以随意选择他所喜欢的电信号来表示系统中的事件,只要能够在加上适当的系统输入(车辆驶过压力板)之后得到适当的系统输出(开“绿”灯)。

在交通控制系统中,许多种不同的信号,其中包括直流电平、脉冲或适当调制的正弦波,都用来获得我们所要求的系统响应。但是在集成电路中,习惯上选择两个预先规定的直流电平[典型的如0V(即所谓低电平)和+3V(即所谓高电平)]来代表这种系统中的事件。而系统被设计来对一些逻辑信号进行必要的运算,各个逻辑信号的取值则可以是这两个电平中的一个。这个系统中用来处理信号(包括贮存逻辑值或进行逻辑运算)的各种集成电路称为数字集成电路。

当然,有许多电子系统,它们必须兼任模拟及数字运算的工作。事实上,大多数有实用意义的系统需要兼作模拟与数字处理工作,在这种情况下系统结构中就同时采用模拟与数字集成电路。下面几个例子将启发我们采用什么系统来获得所需的系统性能,其中有全部模拟式的,全部数字式的,或者采用模拟与数字混合电路的。

1.1.1 一个纯模拟系统: 音频放大器

将电子系统中的信号处理过程用框图来表示往往是很有用的。这种框图由一系列互相连接的分框组成,每个分框代表在系统中应有的一个特定的信号处理作用。一个低功率扩音系统的框图如图1.1a所示;这是纯模拟系统的一个很简单的例子。它包括一个碳质话筒,一个音频放大器,一个扬声器和一组没有画出来的电池(或一个电源)。话筒的作用是真地



图I.1 一个小系统例子——扩音系统

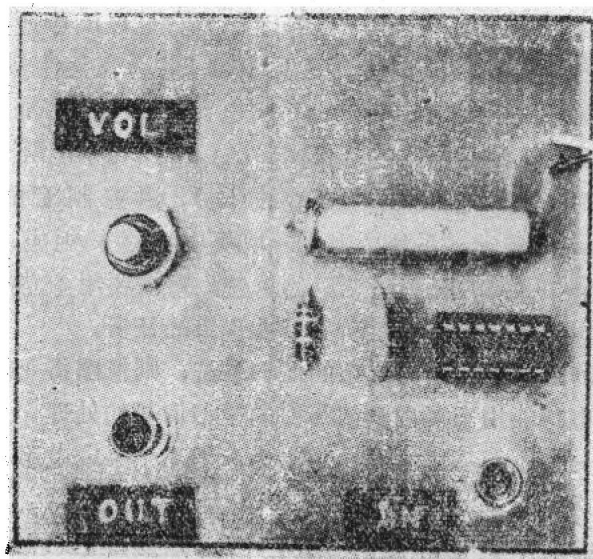
(a) 扩音系统的框图;

(b) 图(a)的电子线路简图;

(c) 图(b)放大器各部分的功能;

(d) 采用一块集成放大电路的扩音系统的全部电路原理图;

(e) 装在一块印刷电路板上的集成音频放大器。



1110983

它表面受到的空气压力的变化转换成话筒电阻的变化。为了得到电信号，用一恒定电流通过话筒使电阻的变化转换成电压。一个普通的碳质话筒，当通过 11mA 的恒定电流时可产生 220mV 开路信号峰值电压，并具有 250Ω 的交流内阻。

从电的观点看，图 I.1a 中第一个分框的输出是一个随压力变化的电压源 $v(p)$ 与 250Ω 电阻的串联组合。这个组合为音频放大器提供输入信号，如图 I.1b 所示。在这里系统的模拟性质是建立在话筒的瞬时输出确实能准确地与话筒表面最初受到的空气压力变化成正比的假定上的。就这种假定是正确的而言，第一个分框只是将信息从一种模拟形式转换成另一种模拟形式。

音频放大器的作用是将直流功率（取自电池）转换成扬声器的交流功率来提高信号功率，从而使得扬声器的输出达到足够响的程度。如果我们要使 5W 峰值功率输送到一个 8Ω 的扬声器，就需要一个能在 8Ω 的负载上输出 $V = (5W \times 8\Omega)^{1/2} = 6.3V$ 峰值电压的放大器。这是根据 $P = I^2 R = V^2 / R$ 关系式得出的，其中 P 是送入电阻 R 中的功率， V 是电流 I 通过电阻时在它两端产生的电压。如果 220mV 信号电压直接加到放大器的输入端，则放大器的电压增益至少必须为 28.7（即 $6.3/0.22$ ）。为了保持系统的模拟性质，必须保证放大器在每一时刻的输出电压准确地（或至少相当准确地）正比于它的输入。放大器应有的频率响应是上述要求的另一种提法。在这种提法下，由于我们希望这个系统基本上能重演人耳听到的各种声音，因此要求音频放大器在 40Hz 到 20kHz 信号频率* 范围内，能够按照话筒提供的 220mV 输入电压，给出 6.3V 输出电压。如果第二个分框要完全保持信号的模拟性质，放大器就必须根据上述要求来设计。

根据这样的思路，我们可以相当顺利地定出一些技术规格，电路设计者必须按此建立起各个分框来。如果不用集成电路而用分立元件来建立这个音频系统，那么电路设计者的下一步工作应将音频放大器这个单元进一步分解成一串互相连接的分框。其中第一个分框可以专门设计成用来使信号有效地耦合到放大器，中间分框可以设计成为了提高信号电压的电平，最后的分框中可以包括一种特殊形式的电路，用来提供所需的输出功率，同时也满足其它的设计要求。这些分功能可用图 I.1c 的分框来代表，同时提出各项技术指标，电路设计者可按此着手设计一个由分立元件组成的音频放大器。

但是，集成电路的出现几乎取消了最后这一步。目前已有实现图 I.1c 中所有分功能的完全集成化的音频放大器供应市场。如图 I.1d 所示，只要添加一些分立元件就可以实现：

（1）将放大器的输出信号耦合到扬声器（用一只 500μF 的电容器 C_3 ），从而使所需的交流信号可以传输到负载，但不让直流从集成电路流入扬声器；（2）用几个电阻与电容组成的电路将话筒耦合到放大器的输入端，这种电路可以隔离直流（ C_1 ），并控制音量（ R_3 ）及音调（ R_2, C_2, R_4 ）。对于中等功率的要求，系统可以用一块集成电路来组成，见图 I.1e。对于一个略为复杂的系统，如一个 250W 的机场呼叫联络系统，则需要用分立的大功率晶体管来设计特殊的输出级，这时所用的集成电路承担所有低功率级的任务。

根据以上论述，如果将我们的见解扩展到更复杂的模拟系统，则框图将变得更为复杂，看来不大可能找到这样一种集成电路能用来实现全部需要的模拟信号的处理作用。然而，现有的一些集成电路几乎总是能将一个模拟系统的设计简化为选用几个集成电路再配上几个分

* 频率的单位是 Hertz，符号为 Hz。

立元件。例如一台调频立体声收音机的信号处理部分可以只用四个集成电路、三只处理甚高频信号的分立晶体管和选择电台的几个调谐元件组成。这种收音机的框图及一个可能的实施方案如图 I.2 所示。图中的两个输出放大器可采用图 I.1d 中的放大器。这个系统仍然是一个模拟系统，因为每个分框的输出精确地（或近似地）与含有所需信号的输入部分成正比。但是在多路译码器中进行的是数字信号处理过程，尽管在框图中我们看不出这一点。

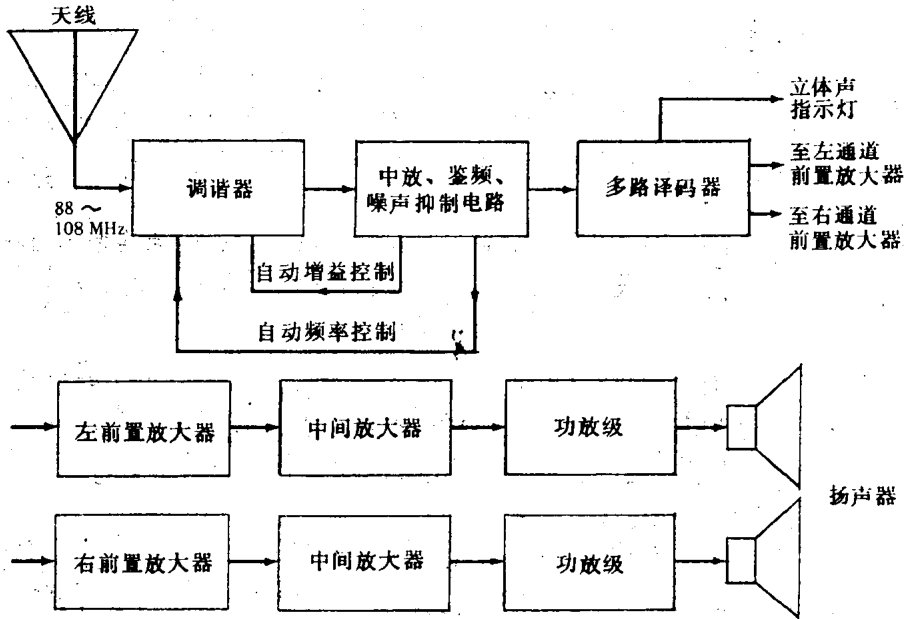


图 I.2 调频立体声收音机的框图

I.1.2 一个纯数字系统：数字钟

为了详细说明数字系统及数字信息处理过程与上述模拟系统的差别，我们来研究一个数字钟的基本工作原理。图 I.3 是这种钟的一个过分简化了的框图，其中包括一个时基电路，几个脉冲计数器及一些显示器。这些基本部件的报时方式如下：首先，标有时基记号的方框是一个电子振荡器，假定它每秒钟准确地发出 f 个脉冲。然后只要对振荡器的输出脉冲进行计数就可确定经过的时间，还可将计数结果用秒、分和时显示出来。钟的精确度决定于时基每秒钟发出的脉冲数 f 的精确程度。

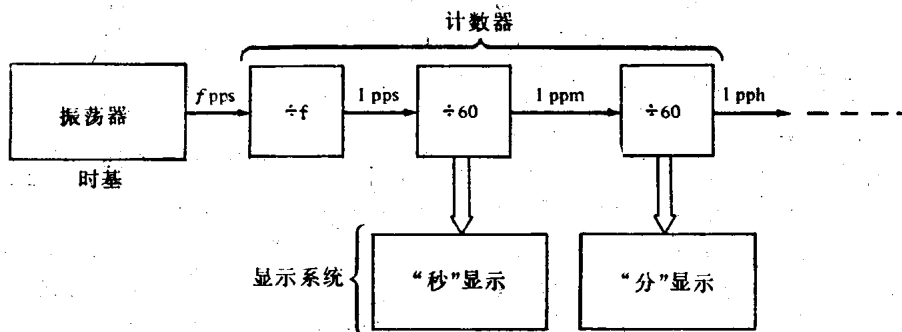


图 I.3 数字钟的“秒”与“分”部分的框图

为了产生显示，时基后面接了一连串计数器，在最简单的情况下，这些计数器可安排成每当时基输出 f 个或 $60f$ 个，或 $3600f$ 个脉冲时相应地输出一个脉冲，因此计数器的输出相当于“秒”、“分”和“小时”。更具体地讲，其中第一个计数器的内部连接使其能够每输入 f 个脉冲发出（在其中一个输出脚上）一个输出脉冲，然后回到零状态重新开始对输入脉冲计数。我们称之为除以 f 或 $\div f$ 计数器。满 f 个输入脉冲后提供单个脉冲输出的引出脚叫做终端计数脚。

由于 $\div f$ 计数器的终端输出为每秒钟一个脉冲，因此在 $\div f$ 计数器之后可以跟一个 $\div 60$ 计数器，它每分钟能提供一个终端输出脉冲。因为，这个 $\div 60$ 计数器的内部状态记录了一分钟内经历的“秒”数，所以这个计数器的另一些输出端可用来驱动图 I.3 中相应的显示器而得到“秒”显示，后面再接一个 $\div 60$ 计数器就可给出“时”的终端计数输出。这个计数器的内部状态则记录了经历的“分”数。

对于由交流电网供电的实用数字钟，我们知道交流电网频率能很准确地保持在 60Hz（即每秒 60 周），因此可方便地作为数字钟的时基。这时，计数器、译码器和显示器可按图 I.4 的具体方式排列，构成一个精度很高而又十分实用的数字钟。

这个钟里进行的主要信号处理过程可说明如下：首先，将 60Hz 的纯正弦波送入一个电路，由它产生一个标准输出脉冲（例如有 3 V 幅度），此脉冲每当正弦波经过零变为正时开始发生，其持续时间等于正弦波的正半周（8.33ms）。产生这些脉冲的集成电路与集成放大电路十分相似，称为电压比较器。

电压比较器的输出是一个每秒 60 个脉冲（60pps）的序列，每个脉冲都具有标准的形状，可以用来驱动集成计数器。在图 I.4 中我们看到，第一个计数器接成 $\div 6$ 计数器，故共输出为 10pps，即每 0.1 秒发出一个脉冲。这种 $\div 6$ 计数器有现成的集成电路供应。

图 I.4 中记号为 C_1 的 $\div 6$ 计数器的输出送到记号为 C_2 的 $\div 10$ 计数器，因此 C_2 的终端计数输出是 1 pps 或每分钟 60 个脉冲（60ppm）。 $\div 10$ 计数器（十进计数器）已有各种形式的集成电路可用。具有这种复杂程度的集成电路称为中规模集成电路（MSI）。在图 I.4a 中有 C_2 记号的计数器除了终端计数输出之外还有从 C_2 下面引出的四个状态输出。这些状态输出可以用来确定计数器在任何时刻的内部状态。如果起先计数器的读数是零，然后输入五个脉冲，这四个状态输出上将出现“高”、“低”电平的一种组合，指明正好有五个脉冲进入了计数器。

所以用四个状态输出引出脚（而不是 10 个），是因为实际上集成计数器是采用二进制或以 2 为基数的数制计数的，而不是用我们熟悉的以 10 为基数的数制计数的。这样，五个输入脉冲将在计数器内部用二进制数 0101 来表示。这些数表示 0 个八，1 个四，0 个二和 1 个一的总和；关于二进制的详细说明见附录 C。输出端出现的低电平对应于二进制数的“0”，而高电平则对应于二进制数的“1”。由于任何一个从 0 到 9 的十进制数可以用四位二进制数来表示，因此只需要四个状态输出。

按二进制工作的集成计数器在制造上很方便，但人们却希望输出的指示是十进制的，所以在计数器的状态输出与十进制数的显示器件之间必须接一个专用的译码电路。假如我们打算用图 I.5 所示的这种七段数字显示器来显示各个十进制数，那么这种专用电路就称为 BCD 七段译码器，其中 BCD 表示用二进制编码的十进制数。BCD 七段译码器也有集成电路供应，并且可以直接用来驱动图 I.5 所示的显示器。显示器（也有集成电路供应）有七个独立的发

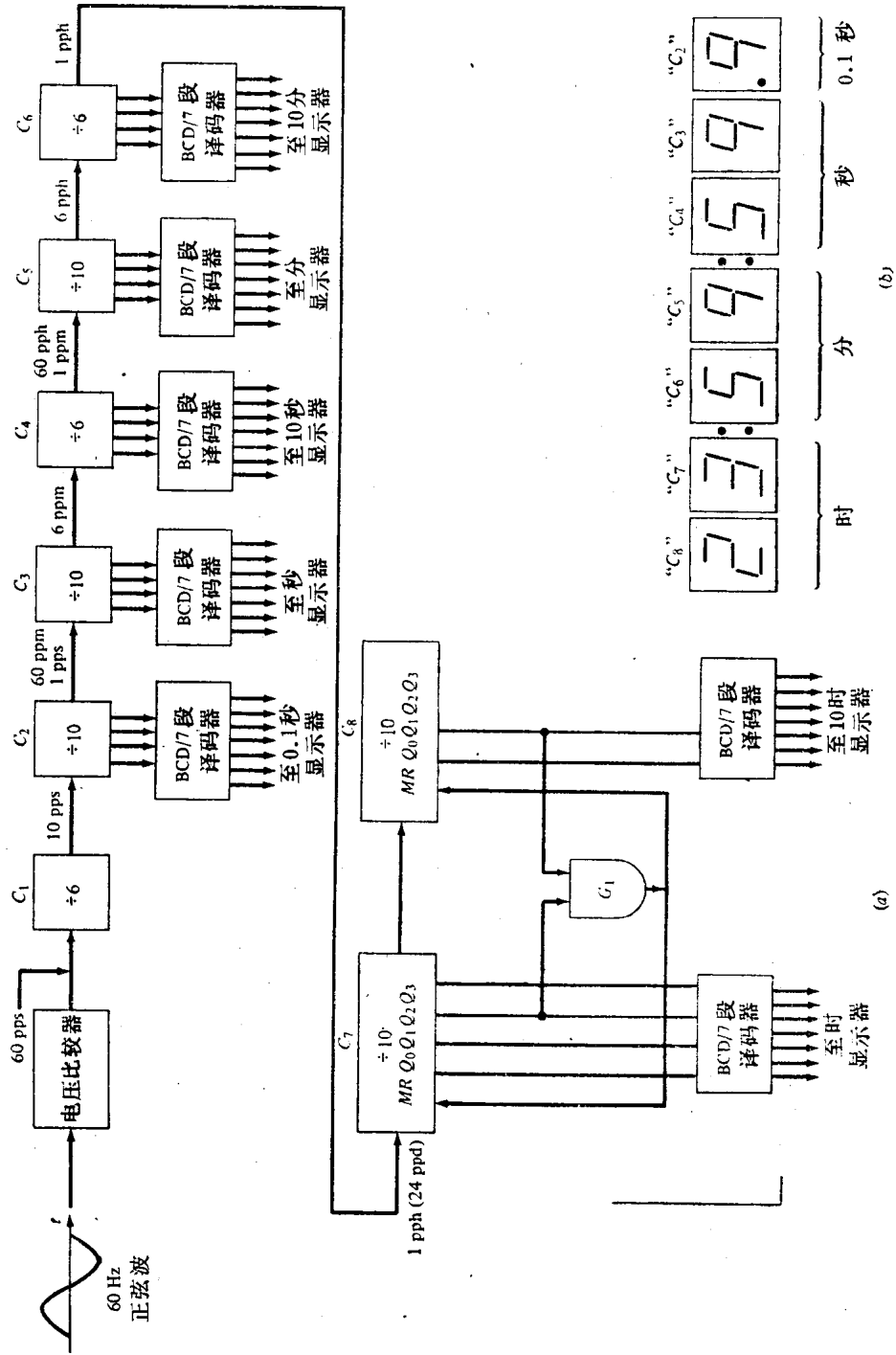


图 I.4 数字钟的详细说明

(a) 24小时数字钟的详细框图; (b) 午夜前0.1秒时的显示。

图 I.5 由七个独立的发光段组成的十进制数显示器

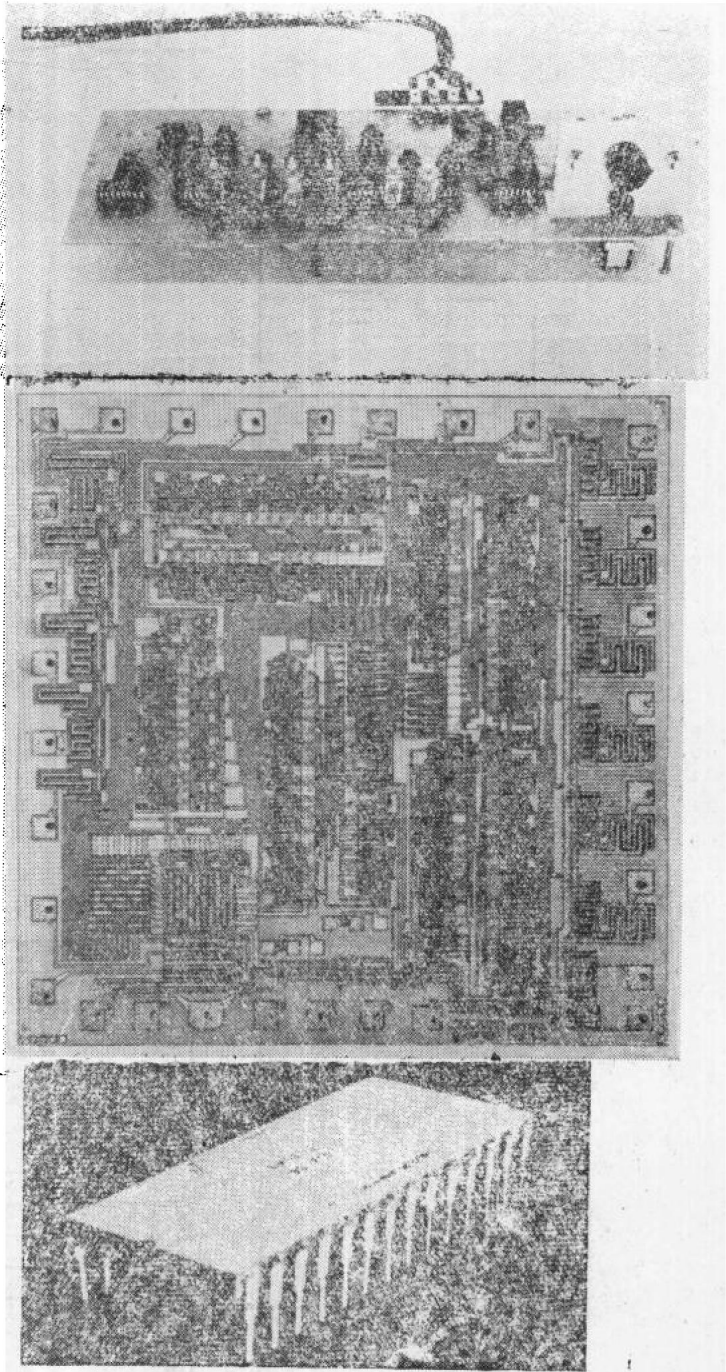


光段，可以组成从0到9的任一数字。总之，图I.4a中有 C_2 记号的第二个计数器是一个 $\div 10$ 计数器，它按二进制计数，其内部连接使它每输入10个脉冲产生一个终端输出脉冲。它的状态输出端可用来“读”二进制计数器 C_2 中的状态，并作为BCD七段显示译码器的输入。然后由BCD七段译码器驱动七段显示器，显示出相应的十进制数字（0到9的十进制数）。

现在我们可以看出，图I.4a中钟的其余部分只是一组具有适当地连接起来的译码器和显示单元的计数器。例如 C_3 是一个有“秒”输出的 $\div 10$ 计数器。由它累计的信息构成“秒”显示的第一位数（或“个位”数）。它的输出驱动一个 $\div 6$ 计数器（ C_4 ）。后者累计的信息则构成“十秒”显示。另外一些计数器、译码器和七段显示器相连接分别用来读“分”、“十分”、“时”及“十时”等。对于这个24小时钟，其最大显示范围如图I.4b所示。对“时”的读数必须进行另一些逻辑操作，以便在读数达到24小时时使得“时”显示重新回到零。在图I.4中有 G_1 记号的逻辑电路就是起这个作用的；当 C_7 计数为4和 C_8 计数为2时（即午夜24时）， G_1 驱动有MR记号的输入端，使计数器 C_7 与 C_8 复位到“零”状态。

至此读者可能会感到做一个数字钟要用很多的电路。当然这是对的，但是也很清楚，实际上只是重复地使用四种类型的基本电路：三个 $\div 6$ 计数器，四个 $\div 10$ 计数器，七个七段显示器和七个用来驱动显示器的BCD七段译码器。事实上这

就是数字电路的一般特征，即重复地使用少数几种基本电路块来实现给定的电路功能。正因如此，数字集成电路制造厂可以集中力量大量生产各种基本电路，从而使每个电路的价格大



图I.6 数字钟电路

(a) 学生用小规模集成电路 (SSI) 制成的钟；(b) 数字钟芯片 (MOS-LSI MM5311) 表面的照片；(c) 含有(b)中芯片的封装照片。

大降低。

图 I.6a 是一个学生作为实验室项目制成的数字钟。在此特定项目中，学生选用集成触发器及门电路来制作计数器而不用中规模集成电路 (MSI) 计数器。在第五和第六章里将讨论如何制作触发器，以及怎样利用它们来组成计数器。

现今，数字钟的使用已很普遍，因此集成电路制造厂已将钟里所有的电路做在一块芯片上。这种复杂的集成电路称为大规模集成电路 (LSI)。图 I.6b 是数字钟的大规模集成电路芯片表面的一张照片。大规模集成电路的封装则如图 I.6c 所示。

I.1.3 数字电压表：一个模拟数字混合系统

我们再来讨论模拟与数字信号处理，现在我们用数字电压表 (DVM) 作为最后一个例子。这种仪表的基本目的是对它输入端所加的直流电压值给出一个数字读数。这个仪表不能精确地实现这个功能，因为输入可以是任何数值 (例如 π V)，而数字的读数却受到一定的限制；这与我们能接受的系统设计的复杂程度和所要驱动的显示器数目有关。例如，仪表的输出只显示三位数字，则 π V 输入将显示出 3.14V。实际上，在“舍入”一个数字的过程中就引进了误差，因此，显示出来的输出并不是精确地等于输入。但是，如果我们只要求输出精确到三位数字，则整个系统就真正给出了所要求的正确结果。当然，从实用观点来看，我们总认为纯电子电压表比动圈式仪表优越，因为它的响应速度快，读数又方便。

为了讨论基本数字电压表的工作特性，我们在图 I.7a 中画出了通常的数字电压表的框图。被测电压 V_x 加在左面输入端。然后，在零点几秒时间内，显示器上就显示出一个与输入电压成正比的计数器十进制读数。实现的方法如下：

开始时，电子开关 S_1 将斜坡电压发生器接地，使它的输出置零。当我们需要读数时，在 $t = t_0$ 瞬间将手动开关 S_R 闭合一下，控制器便发出信号，造成下列各种情况：

1. 清除计数器，使显示器的输出读数为零。
2. 然后允许计数器动作，使它能开始累计时钟脉冲，如图 1.7b 所示。
3. 电子开关 S_1 将 V_x 接到斜坡电压发生器的输入端，使它的输出开始以与 V_x 成比例的斜率下降，如图 I.7c 所示。

这种情况一直继续到计数器计满它的容量 N 个脉冲为止，这时 ($t = t_1$) 计数器向控制器发出一个溢出信号，使开关 S_1 动作，于是将 V_{REF} (参考电压) 加到斜坡电压发生器的输入端。 V_{REF} 是数字电压表的一个组成部分，它是一个稳定的固定电压源。 V_{REF} 的极性取成与 V_x 相反，这时斜坡电压发生器便输出一个直线上升的电压，其斜率正比于 V_{REF} ，如图 I.7c 所示。计数器又从“溢出”时返回的零值开始继续对时钟脉冲进行计数。在 $t = t_2$ 时，斜坡电压发生器的输出经过 0 V，使电压比较器的输出在一段短时间内成为高电位。这个高电位作为控制器的输入信号，使它产生以下控制作用：

1. 关断进入计数器的时钟脉冲，计数器便装着所计的数 n 停了下来。
2. 操作 S_1 ，使斜坡电压发生器输入端接地。

我们将在第十章中证明上述各个步骤的结果可在未知输入电压 V_x 与 t_1 到 t_2 期间计数器计数 n 之间建立下面的关系式：

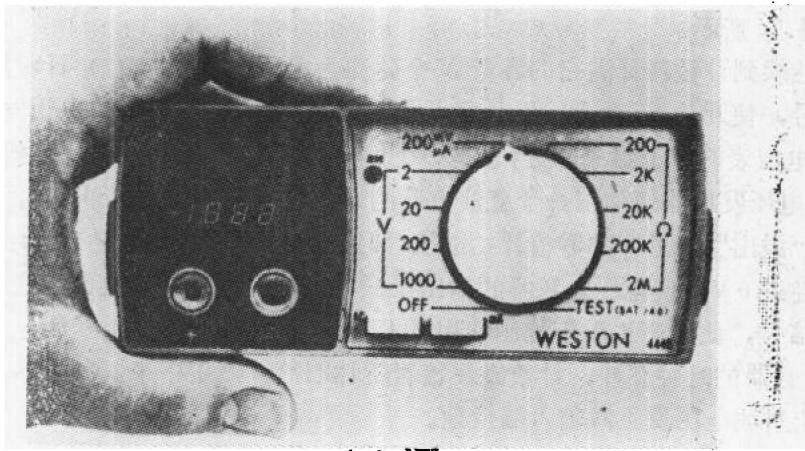
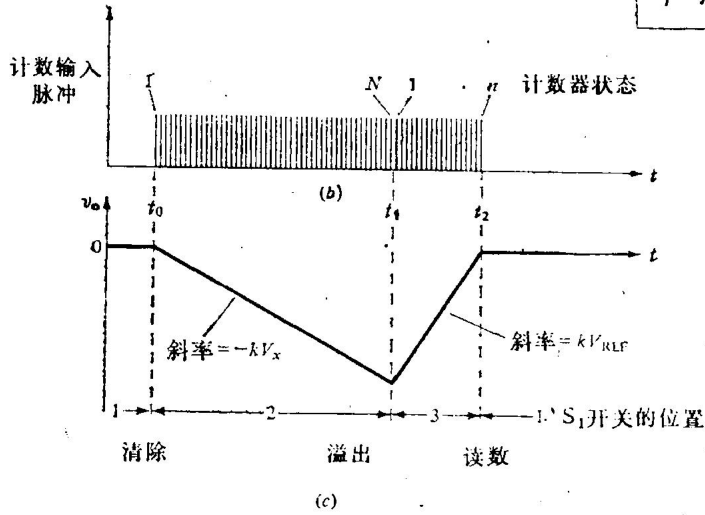
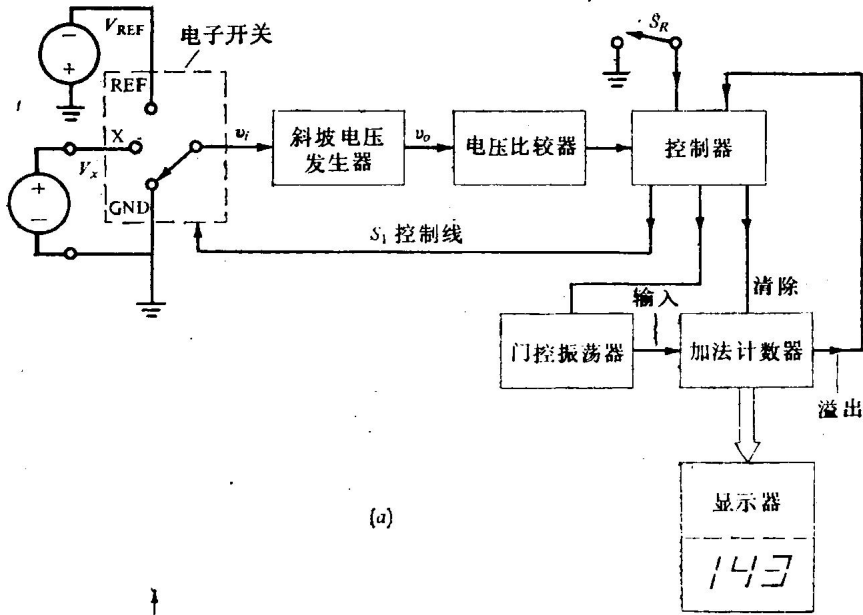


图 I.7 数字式电压表

(a) 双斜率数字电压表的框图；(b) 计数器的输入脉冲；(c) 运算放大器的输出波形 U_o ；(d) 测量交、直流电压和电流的手携式数字万用表。它也可作欧姆表用。

$$n = \frac{N}{V_{REF}} V_x$$

于是，如果计数器的容量 $N = 1000$ ，参考电压 V_{REF} 正好是 1V ，则显示出来的读数 n 为

$$n = 1000V_x$$

因此，显示的数值就是用毫伏表示的未知电压值 V_x 。

图 I.7a 方框中的“硬件”设计将在第十章中介绍。图 I.7d 所示的是一只测量交、直流电压与电流用的便携式数字万用表。

将数字电压表与我们介绍过的其它系统相比较，有趣的是它用的六种基本单元中有四种是已经出现过的。斜坡电压发生器是用一个运算放大器、一个电阻和一个电容器组成的。运算放大器是一种线性集成电路，在许多方面与前述的简单音响系统用的线性集成电路很相似。电压比较器则与数字钟中用的相似。数字电压表中所有其它的电路都是数字集成电路*，包括控制逻辑、门控振荡器（用一块集成电路及一个电容器组成）和我们熟悉的计数-译码-显示器等。数字电压表实际需要的新的系统元件就只有模拟开关 S_1 。这个开关利用数字信号作为输入，以便在适当的时间将输入的模拟信号（电压）接到斜坡电压发生器的输入端。实际上，开关 S_1 是数-模转换器的一种简单形式。在执行模拟以及数字混合操作的系统中，电压比较器也是一个常用的系统元件。它的输入是模拟量，输出则是数字量，它起的是模-数转换作用。在任何兼用模拟及数字信号处理技术的系统中，模-数转换和（或）数-模转换都是基本的功能。

1.2 小 结

从上述三个系统的例子中，我们发现，放大器、计数器和数字译码器常常作为整块的集成电路或者作为集成电路中的一部分出现的。如果我们考察其它系统，如数字计算机，袖珍电子计算器，轧钢厂的自动控制设备，邮局里的拣信器，甚至于一个家用洗衣机的控制电路，我们会发现仍需要这些基本“元件”。对这些（以及许多其它的）通用元件的大量需求，就可能促使集成电路制造厂集中生产标准化电路；同时对我们来说，通过对少数几种基本电路的重点分析，对一般集成电路就可能有着相当程度的了解。我们的意图不是去讨论所有各种类型的集成电路，而是为读者在这方面提供一个坚实的基础，在这个基础上可以去积累和扩充他的知识。

1.3 预 备 知 识

最后一点，在我们开始讨论之前，谈一下关于应该具备的预备知识。由于我们的主要目的是向读者（有着不同的基础和目的）介绍集成电路工作原理和怎样利用它们来组成系统，所以我们试图尽量基本而简单地进行叙述。但是，我们总不能从“方块字”学起，所以我们假定读者已经基本熟悉了基尔霍夫定律及一些有关的电路定理（戴维宁定理，诺顿定理及叠加定理等）。对于那些对这些定律和定理尚不熟悉的读者，我们在附录 B 中列出了一些基本

* 现在，全部数字电路已做成一块大规模集成电路。

电路定律及定理的摘要，还附有几个练习，可供那些需要更好地掌握这些概念的读者参考。

我们不想用更多的时间来讲集成电路的制造过程，以及二极管和（作为集成电路核心的工作器件的）晶体管的物理基础。但是，我们仍打算对集成电路的内部结构，芯片的复杂性和一些有关事项提出一些一般性的概念，使读者能够理解器件及电路说明中用到的一些术语。关于这方面的题材，我们要讲的大部分内容包括在附录 A 中。在教材中有一些注解，可帮助读者认识商品元件。

[唐锡琪 译]

目 录

译 者 的 话

序 言

第一章 器件模型及反相器分析

第 一 部 分

1.1 结型二极管的特性及模型	2
1.1.1 结型p-n二极管特性	2
1.1.2 从另一个角度来讨论VI关系	4
1.1.3 二极管的几个工作区	5
1.1.4 结型p-n二极管中电流的定性解释	7
1.1.5 理想二极管电路模型	8
1.1.6 理想二极管与电压源串联构成的二极管模型	10
1.2 图解法分析二极管电路	11
1.2.1 负载线法	12
1.2.2 线性模型的解析法与图解法的比较	12
1.3 二极管讨论的总结	13

第 二 部 分

1.4 双极型晶体管模型及其特性	14
1.4.1 晶体管的参考方向及电路图符号	14
1.4.2 结型晶体管的工作原理	15
1.4.3 双极型晶体管的埃伯斯-摩尔(Ebers-Moll)模型	17
1.4.4 正常状态放大区模型	18
1.4.5 反接状态放大区模型	19
1.4.6 截止区模型	19
1.4.7 饱和区模型	19
1.4.8 测得的晶体管特性	20
1.4.9 用模型拟合测量数据	23
1.5 晶体管反相器分析	24
1.5.1 用戴维宁等效电路简化输入及输出网络	24
1.5.2 采用晶体管基本模型的反相器的解析法	26
1.5.3 理论传输特性与实验传输特性的比较	28
1.5.4 晶体管反相器的图解分析	28
1.6 射极跟随器分析	30
1.7 MOS场效应管	32
1.7.1 MOS场效应管的特性	32
1.7.2 MOS场效应管反相器	34

1.8 晶体管讨论的总结.....	36
示范实验	
习题	

第二章 基本逻辑设计

2.1 布尔代数.....	48
2.1.1 真值表.....	49
2.1.2 基本定理.....	50
2.2 卡诺图.....	54
2.3 逻辑符号.....	59
2.4 二极管逻辑.....	60
2.4.1 二极管“或”门.....	61
2.4.2 二极管“与”门.....	62
2.5 总结.....	63
示范实验	
习题	

第三章 逻辑门电路

第一部分

3.1 饱和逻辑电路.....	71
3.1.1 晶体管反相器.....	71
3.1.2 噪声容限.....	72
3.1.3 扇出.....	73
3.1.4 噪声容限对扇出的影响.....	75
3.1.5 基极的过驱动系数.....	76
3.1.6 最坏情况设计.....	77
3.1.7 逻辑门电路.....	78
3.2 电阻-晶体管逻辑.....	79
3.2.1 RTL门的功耗.....	81
3.2.2 RTL门的传输延迟.....	81
3.2.3 低功耗RTL门.....	82
3.2.4 直接耦合晶体管逻辑.....	82
3.3 二极管-晶体管逻辑.....	83
3.3.1 基本DTL门的扇出.....	85
3.3.2 改进的DTL门.....	87
3.3.3 改型DTL门.....	88
3.3.4 930系列DTL门.....	91
3.4 晶体管-晶体管逻辑.....	95
3.4.1 输入晶体管.....	96