

晶体管脉冲数字电路

上册

清华大学 电子系 编
自动化系

科学出版社

晶体管脉冲数字电路

上 册

清华大学 电子系 编
自动化系

科学出版社

1971

内 容 简 介

本书分上、中、下三册。上册为“分立元件脉冲数字电路”。内容包括脉冲的产生、整形、控制、记忆和功率放大等。对常见的几种分立元件脉冲数字电路，通过典型实例阐明工作原理、设计步骤和调整方法。

中册为“数字集成电路”。下册为“脉冲数字电路的应用”。

本书可供有关部门的工农兵和技术人员自学参考。

晶体管脉冲数字电路

上 册

(只限国内发行)

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

北京市印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1971年12月第一版 1971年12月第一次印刷

定价：0.65 元

毛主席语录

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

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。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

这个辩证法的宇宙观，主要地就是教导人们要善于去观察和分析各种事物的矛盾的运动，并根据这种分析，指出解决矛盾的方法。

前 言

脉冲数字技术已广泛地应用到计算机、雷达、多路通讯、自动控制等许多领域。随着我国社会主义革命和社会主义建设的蓬勃发展，广大工农兵迫切要求掌握脉冲数字电路。我们遵照毛主席“教材要彻底改革”的伟大教导，在工人阶级领导下，学习毛主席的光辉哲学思想，在调查工农兵的实践经验和发明创造、批判旧教材中散布的电子神秘论等唯心论的先验论和吸收其中有用的科学内容等方面做了一些工作之后，初次编写了这本教材。在教材内容上，我们从实际典型电路出发来阐明电路的工作原理，并尽可能把典型电路的定性分析、定量估算和实验研究结合起来。

现在此书虽与读者见面了，但由于我们对马克思列宁主义、毛泽东思想学习得很不够，教育革命的实践还很少，肯定会有许多缺点和错误。我们恳切希望广大工农兵群众、革命技术人员提出批评建议。

在本书编写过程中，得到了北京市有关单位的工人、革命技术人员的大力支持和热情帮助，在此表示衷心感谢。

清华大学 电子系
自动化系

符号说明

一、原则

1. 尽量采用国际通用符号, 兼顾国内現用的拼音字母符号。

2. 电压和电流的稳态值用英文大写字母 V 、 I 表示, 瞬时值用英文小写字母 v 、 i 表示。

3. 个别地方用中文脚注。

二、电路主要参数符号

D 晶体二极管	V_{rg} 輸入高电位
T 晶体三极管	V_{cd} 輸出低电位
R 电阻	V_{cg} 輸出高电位
C 电容	P 功率; 功耗
L 电感	f 頻率
Q 电荷量	T 周期
ϕ 磁通量	τ 時間常数
E 直流电源电压	t 時間
V 稳态值电压	t_{rd} 电压波形的上升延迟時間
I 稳态值电流	t_r 电压波形的上升時間
v 瞬时值电压	t_{fd} 电压波形的下降延迟時間
i 瞬时值电流	t_y 門电路平均傳輸延迟時間
V_{km} 開門电平	
V_{gm} 关門电平	
V_{rd} 輸入低电位	

t_f 电压波形的下降时间

N_{sc} 负载个数

η 门效率

Δ 变化量, 增量

三、晶体管主要参数符号

β 晶体管动态电流放大系数

V_{ces} 集电极—发射极饱和压降

V_{bes} 基极—发射极饱和压降

I_{bs} 临界饱和基极电流

BV_{ebo} 发射极—基极反向击穿电压

BV_{cbo} 集电极—基极反向击穿电压

BV_{ceo} 集电极—发射极反向击穿电压

I_{cbo} 集电极—基极反向电流

I_{ebo} 发射极—基极反向电流

I_{ceo} 集电极—发射极反向电流

t_{on} 开关管的开通时间

t_{off} 开关管的关闭时间

f_T 晶体管特征频率

V_D 二极管正向压降

四、脚注

c 集电极。如 V_c 集电极电压; I_c 集电极电流

e 发射极。如 v_e 发射极电压; i_e 发射极电流

b 基极。如 i_b 基极电流

L 负载。如 R_L 负载电阻; C_L 负载电容

j 加速。如 C_j 加速电容

g 高。如 V_{cg} 输出高电位

d 低。如 V_{cd} 输出低电位

sr 输入。如 V_{sr} 输入电压信号

sc 输出。如 v_{sc} 输出电压信号

s 饱和。如 V_{ces} 饱和压降

目 录

緒言	(1)
----------	-------

第一部分 分立元件脉冲数字电路

第一章 基础知识	(7)
第一节 RC 电路	(7)
第二节 晶体二极管和三极管	(31)
第三节 脉冲作用下的晶体管开关特性	(65)
第二章 門电路——脉冲信号的控制	(80)
第一节 二极管門电路	(81)
第二节 “与非”門电路	(94)
第三节 其他門电路	(129)
本章小结	(134)
第三章 双稳态触发器——脉冲信号的記憶	(135)
第一节 电路的引出	(136)
第二节 工作原理	(138)
第三节 典型电路的设计	(158)
第四节 测试和调整	(165)
第五节 其他电路介绍	(169)
第六节 应用举例	(173)
本章小结	(178)
第四章 脉冲信号的产生与整形	(180)
第一节 单稳态触发器	(180)
第二节 多谐振荡器	(211)
第三节 射极耦合触发器	(231)

第四节 锯齿波发生器	(254)
第五章 脉冲信号的功率放大	(272)
第一节 电感和脉冲变压器	(272)
第二节 电感负载的功率驱动	(285)
第三节 变压器输出的脉冲放大器	(289)
第四节 间歇振荡器	(294)
第五节 射极跟随器	(308)
本章小结	(316)
附录 电阻器、电容器的标称系列值	(319)

绪 言

毛主席教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”

五十年代初，晶体管出现了。由于它具有体积小、重量轻、坚固可靠、功耗小、寿命长等一系列的优点，使脉冲数字技术由电子管发展到晶体管时代。到了六十年代，更小型化更高速的集成电路的出现和大量生产，又从分立元件电路跨进到集成电路的阶段。而它的应用范围，也由最早的雷达、计算机等几个部门逐渐发展到国民经济和国防建设的许多部门。

那么脉冲数字技术到底包含哪些内容呢？如何把它应用到三大革命运动的实践中去呢？

下面我们举一个例子来说明这些问题。

图1是一个测量电机转速的数字式测速系统，测量结果直接以十进制数字显示出来。下面介绍它的原理。

电机每转一周，光线透过圆盘上的小孔照射光电管（把光信号变为电信号的元件）一次，光电管每秒发出的信号个数就代表电机的转速。但光电信号往往较小〔图2(1)〕，需要放大，经过放大电路放大后的信号就比较明显了〔图2(2)〕。这些信号的波形和“电工”中讲的正弦波不同，我们把它叫做脉冲。

从放大电路得到的脉冲还不能直接用来测量，因为它们幅度和宽度很不均匀。这些脉冲在经过整形电路整形以

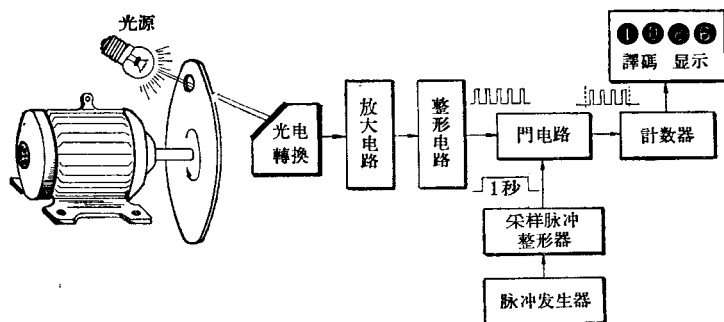


图 1 数字式测速系统原理示意图

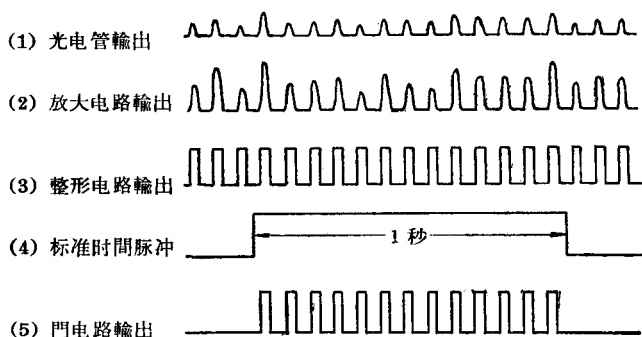


图 2 数字式测速系统的工作波形

后，波形才比较一致[图 2 (3)]。

为了测量电机的转速还要有个时间标准，如以秒为单位，把一秒钟内脉冲的个数记录下来便是电机每秒的转速。这个标准时间是由脉冲发生器经采样脉冲整形器产生的，它是一个宽度为 1 秒的方形脉冲 [又称方波，如图 2 (4)]，让它去控制门电路，把“门”打开一秒钟，在这段时间内，来自整形电路的脉冲不断地经过门电路进入计数器 [图 2 (5)]。然后由计数器把脉冲个数记录下来。

计数器中的数字是以二进制的形式出现的。所谓二进制

就是逢二进位，如 $1 + 1 = 10$ 。二进制数的每一位只有“0”、“1”两种可能，因此在电路上比较容易实现。但是，平时人们习惯于使用十进制，因此有必要把计数器中以二进制表示的数翻译成十进制数，这个职能是由译码器来实现的。译码器译出的十进制数最后由显示电路显示出来。至此，测量任务已经完成。

从上面的典型例子中可以看出，脉冲数字电路的内容是很广泛的，它应该包括脉冲的产生、整形、传送、控制、记忆、计数、功率放大等等。本书第一部分是分立元件脉冲数字电路，讨论用分立元件来实现上述功能的各种具体电路。其中第一章讲述 RC 电路和晶体管，引出电容的充电和放电、晶体管的通导和截止这两个基本的矛盾现象，作为分析脉冲数字电路的基础。第二章到第五章分别讨论脉冲的控制（门电路）、脉冲的记忆（双稳态触发器）、脉冲的产生（多谐振荡器、间歇振荡器等）、脉冲的整形（射极耦合触发器、单稳态触发器等）、以及脉冲的功率放大（变压器耦合脉冲放大器、射极跟随器等）。

本书第二部分讲数字集成电路。首先在第六章中简略叙述集成电路的特点和它的制造工艺。接着在第七章和第八章中分别讨论集成的门电路和触发器。然后在第九章中介绍最近发展起来的大规模集成电路。

本书第三部分讨论脉冲数字电路在工业中的某些应用。其中第十章介绍怎样用单元电路来组成一些基本的逻辑部件。第十一章讨论数字信号和模拟信号之间的转换方法。第十二章列举两个小型数字设备作为应用的实例。最后叙述高速数字系统中所遇到的信号的传输问题。



第 一 部 分

分立元件脉冲数字电路



毛主席语录

我們必須克服困難，我們必須學會自己不
懂的東西。

第一章 基础知识

在脉冲数字系統中遇到的电路不外是脉冲的产生、变换、传送、控制、計数、功率驱动和数碼显示等，这些电路内部的基本矛盾是晶体管的导通与截止，电容的充电与放电。因此了解晶体管的开关特性和电容的充放电規律是我們首先應該解决的任务。

第一节 RC 电路

RC 电路指的是由电阻(R)和电容(C)构成的簡單回路。 RC 电路在輸入脉冲作用下进行充电和放电。电容的充放电几乎是脉冲数字电路（主要是分立元件电路）最經常最普遍遇到的現象，它是构成脉冲数字电路的基本矛盾之一。为了能够熟练地掌握 RC 电路，我們先复习一下直流电路。

一、直流电路的复习

1. 简单直流电路的计算

簡單的直流电路指的是只包含一个电流回路的电路（图

1.1.1), 其中 E 代表电源电压, 它的极性由图中正负号标出, 我們規定在今后的計算实例中 E 总是取绝对值。电流 I 的箭头表示我們所选取的电流方向。如果 I 值为正, 說明选取的方向和电流实际方向一致;

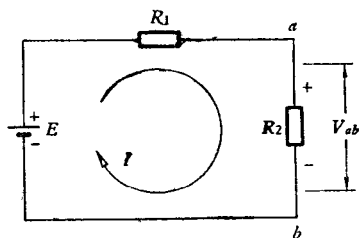


图 1.1.1 简单直流电路

如果 I 值为负, 則說明所选的方向和实际方向相反。电流 I 流过电阻 R_2 产生电压降落用 V_{ab} 表示。

例 1 在图 1.1.1 中, 給定 $E=12\text{ V}$, $R_1=20\text{ k}$, $R_2=10\text{ k}$, 求 R_2 两端电压降 V_{ab} 。

解 由欧姆定律得

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{12}{(20 + 10) \times 10^3} = \frac{12}{30} \times 10^{-3} = 0.4\text{ mA},$$

$$V_{ab} = IR_2 = 0.4 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^3 = 4\text{ V}.$$

从上面的例题可以引出如下結論:

由 R_1 和 R_2 串联組成的电路具有电阻分压关系。图 1.1.1 电路中的 V_{ab} 是电源电压的一部分, 它的大小取决于 R_2 和电路中总电阻的比值。把上面例题中两个公式合併得到

$$V_{ab} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \quad (1.1.1)$$

式中 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 叫做分压比, 而这种电路也叫电阻分压器, 因此今后遇到这类电路求分压时, 利用分压比可直接写出結果而不必再重复上述步骤。

现在考虑简单直流电路中存在着两个电源的情况。如果两个电源的极性相反連接在一起, 則电流的方向由电压較