

晶体管脉冲电路与数字集成电路

清华大学《晶体管脉冲电路与数字

集成电路》编与组编

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书重点讨论在通信、雷达中常见的、比较典型的晶体管脉冲电路和数字集成电路；阐述脉冲电路和逻辑部件的分析、设计和调测方法；同时介绍有关的数学、物理和电工知识。内容深入浅出、理论联系实际，以讲清物理概念为主。既有定性分析，也有定量估算，并用较多的篇幅讲实用电路的例子。便于通信、雷达专业学生及有关部门的工作人员自学参考。本书分上、下两册。上册为晶体管脉冲电路，下册为数字集成电路。

晶体管脉冲电路与数字集成电路

上 册

清华大学《晶体管脉冲电路
与数字集成电路》编写组编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1977年9月 第 一 版
印张：11²⁴/₃₂ 页数：188 1979年12月天津第2次印刷
字数：272千字 印数：99,001—280,800册

统一书号：15045·总2150—无625

定价：0.94 元

前 言

我们在几年来教学、科研、生产的实践基础上，编写了这本书。在编写时，力图便于读者自学，并有助于提高分析问题和解决问题的能力。

本书重点讨论在通信、雷达中常见的、比较典型的脉冲数字电路和逻辑部件。通过典型实例，阐述脉冲数字电路和逻辑部件的主要分析、设计和调测方法，同时介绍有关的数学、物理和电工知识。力求深入浅出、理论联系实际，以讲清物理概念为主，尽量避免繁琐、冗长的数学运算，把定性分析、定量估算和实验研究结合起来。此外，大部分章节附有小结和复习思考题，并补充一些应用实例和较为深入的内容（或编入附录，或以小体字印刷），以供读者参考。

由于我们水平不高，实际经验又少，本书肯定会有不完善或错误的地方，恳切希望读者批评指正。

清华大学《晶体管脉冲电路与数字集成电路》编写组

一九七六年三月

目 录

符号说明	1
绪 言	4

第一部分 基 本 电 路

第一章 RC电路	10
1. 直流电路复习	10
2. 电容	17
3. 电容充放电规律	23
4. 简单RC电路分析	30
5. RC电路的应用	34
6. 输入脉冲边沿对RC电路输出的影响	42
(附录1)过渡过程公式的推导	45
(附录2)求时间常数 τ 的规则	48
(附录3)电压、电场、电容的储能	49
第二章 二极管开关特性及其应用	53
1. 二极管为什么具有单向导电的特性	53
2. 二极管的开关特性	62
3. 二极管的反向恢复时间	65
4. 二极管开关参数	67
5. 二极管限幅器	69
6. 二极管波形箝位电路	74
7. 稳压管	80

第三章 晶体三极管开关特性和倒相器	83
1. 晶体三极管为什么有放大作用	83
2. 晶体三极管的开关特性	86
3. 晶体三极管的开关时间	101
4. 倒相器	106
第四章 双稳态触发器	116
1. 引言	116
2. 双稳态触发器的两个稳定状态	117
3. 双稳态的翻转	120
4. 有关双稳态的触发问题	130
(附)二极管电位脉冲门	136
5. 双稳态的设计计算	138
6. 双稳态触发器的调测	144
7. 参考电路介绍	146
8. 双稳态应用举例	148
第五章 单稳态电路、多谐振荡器和射极耦合触发器	166
1. 单稳态电路	166
2. 多谐振荡器	177
3. 射极耦合触发器电路	184
(附)射极耦合单稳态电路	198
第六章 射极跟随器和射流定时电路	205
1. 射极跟随器	205
2. 射流定时多谐振荡器	212
3. 射流定时单稳态电路	221

第二部分 波形变换电路

第七章 锯齿电压发生器	229
--------------------	-----

1. 引言	229
2. 简单的电压扫描电路	233
3. 改善线性的方法及电路	237
第八章 锯齿电流发生器	262
1. 引言	262
2. RL 电路的过渡过程	263
(附) RL 电路的数学解法	270
3. 简单的锯齿电流发生器	272
4. 常用的锯齿电流发生器	276
第九章 击振电路	286
1. 引言	286
2. RLC 电路的过渡过程	288
3. 击振电路	295
(附录) RLC 电路的数学分析	299
第十章 间歇振荡器	307
1. 脉冲变压器	307
(附)脉冲变压器的估算	318
2. 自激间歇振荡器	319
3. 他激间歇振荡器	326
第十一章 同步与分频	333
1. 引言	333
2. 单稳态的同步与分频	334
3. 间歇振荡器的同步与分频	336
第十二章 特殊二极管及其应用	342
1. 隧道二极管及其应用	342
2. 双基极二极管及其应用	360

符 号 说 明

(一)原则

(1)尽量采用国内部颁符号、国际通用符号,兼顾汉语拼音字母符号。

(2)电压和电流的稳态值用大写字母 V 、 I 表示,瞬时值用小写字母 v 、 i 表示。

(3)个别地方用中文注脚。

(二)电路主要参数符号

D	晶体二极管	T	晶体三极管
R	电阻	C	电容
L	电感	Q	电荷量
E	直流电源电压	V	稳态值电压
I	稳态值电流	v	瞬时值电压
i	瞬时值电流	V_{km}	开门电平
V_{gm}	关门电平	V_{rd}	输入低电位
V_{rg}	输入高电位	V_{cd}	输出低电位
V_g	输出高电位	P	功率; 功耗
f	频率	T	周期
τ	时间常数	t	时间
t_r	电压波形上升时间,	t_f	电压波形下降时间
t_d	门电路平均传输延迟时间		

Δ 变化量、增量

N_{sa} 负载个数

(三)晶体管主要参数符号

β 晶体管共发射极电流放大系数

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_{ecb} 发射极—基极反向击穿电压

BV_{cbb} 集电极—基极反向击穿电压

BV_{ceb} 集电极—发射极反向击穿电压

I_{cbo} 集电极—基极反向电流

I_{ebc} 发射极—基极反向电流

I_{ceb} 集电极—发射极反向电流

t_{on} 开关管的开启时间

t_{off} 开关管的关闭时间

(四)脚注

c 集电极。如 V_c 为集电极电压； I_c 为集电极电流。 e 发射极。如 V_e 为发射极电压； I_e 为发射极电流。 b 基极。如 i_b 为基极电流。

L 负载。如 R_L 为负载电阻； C_L 为负载电容。

j 加速。如 C_j 为加速电容。

g 高。如 V_{og} 为输出高电位。

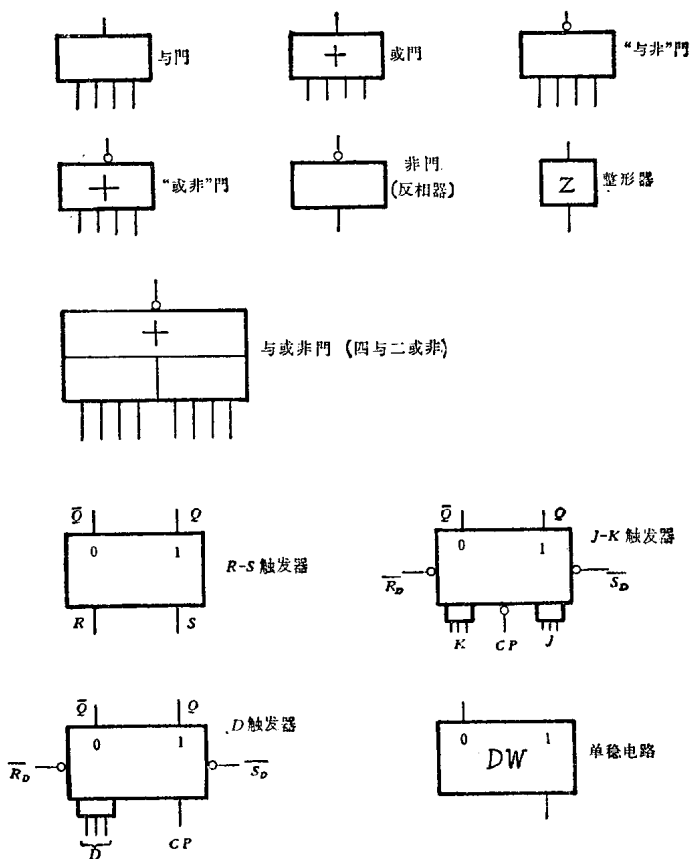
d 低。如 V_{od} 为输出低电位。

sr 输入。如 V_{isr} 为输入电压。

sc 输出。如 V_{osc} 为输出电压。

s 饱和。如 V_{ces} 为饱和压降。

(五)逻辑符号



逻辑符号图

绪 言

1. 什么是脉冲

什么叫脉冲呢？“脉冲”这个词包含着脉动和短促的意思。在脉冲技术中，我们研究的是一些不连续作用的电压或电流，它们的作用时间很短，而两次作用之间的时间间隔相对地说又很长，这种作用时间极短的电压或电流就称为“脉冲电压”或“脉冲电流”。

例如：发电报时，每按一次电键就可以产生一个脉冲。按键时间有长有短，得到的脉冲也就有宽有窄，这样就得到一系列矩形脉冲。在图0.1.1上，我们把电键、电阻和电池相串联。按下电键，电阻 R 上电压等于 E ；不按电键， R 上的电压等于零。根据电文的内容，不断按动电键，就可以得到一系列幅度为 E 而宽度随电文而变的脉冲。

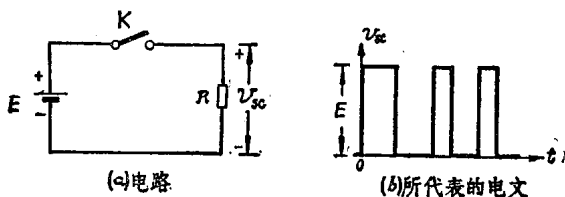


图 0.1.1 发报示意图

刚才所说的脉冲是矩形脉冲，但工程实际中所用的波形并不只限于矩形脉冲，还有其它形状，如：尖顶脉冲、锯齿形脉冲、钟形脉冲、梯形脉冲、阶梯脉冲等等。这些脉冲的波形绘于图0.1.2中。

在脉冲数字电路中，经常用的是矩形脉冲，它是我们主要介绍的波形。

2. 脉冲和数字技术的应用

脉冲和数字技术应用的范围是非常广泛的，而且还在不断地扩大和发展。随着半导体器件和工艺的发展，在脉冲数字技术领域，体积小、重量轻、寿命长、耗电低的晶体管已经代替了电子管。到了六十年代，出现了微型电路和集成电路，又从分立元件电路跨进

了集成电路阶段。数字电路也得到了很快的发展，其应用范围也从雷达、电视、多路通信、遥测、遥控等部门逐渐发展到核物理技术、数字通信、卫星通信、小型台式计算机、各种数字仪表、激光技术、电子医疗设备以及各种工业数字测量设备等与国民经济、国防建设有关的许多部门。

现举一简单的数字频率计为例。数字频率计主要是用来量测周期性信号频率的仪器，它的原理方块图如图0.2.1(a)所示。

任何周期性信号的频率，都是指它在一秒钟内重复的次数，它的单位为“赫”，记作 Hz 。现在要测量输入信号的频率（输入信号的波形不一定是正弦波），我们应先把输入信号波形加以变换，使之成为规则的矩形脉冲再送给“门”电路，而“门”电路系由秒脉冲发生器送出的“秒脉冲”所控制。“秒

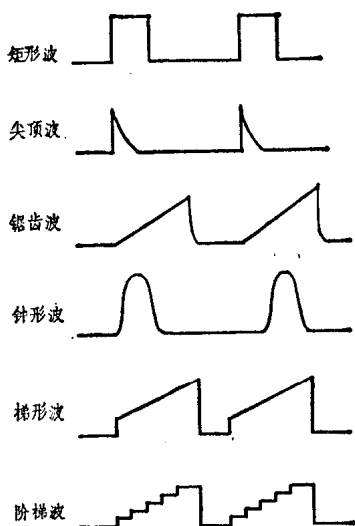


图 0.1.2 各种脉冲波形

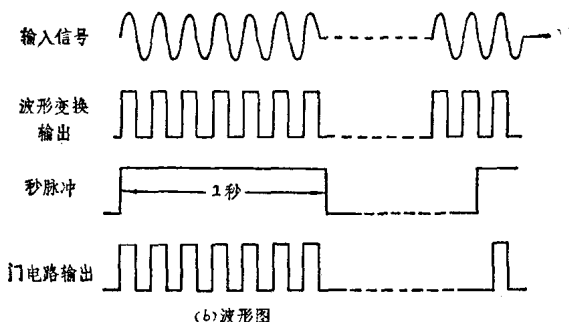
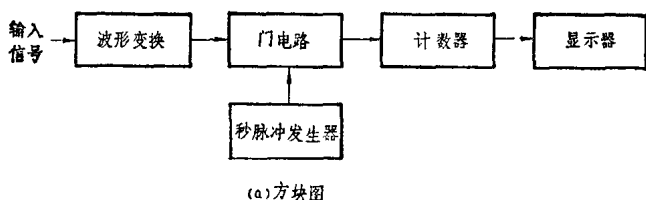


图 0.2.1 数字频率计方框图和波形图

脉冲”把“门”打开一秒钟。在秒脉冲开门的一段时间内，规则的矩形脉冲才可以通过门电路进入计数器。计数器计下一秒钟内信号脉冲的个数并将结果送到显示器。从而在显示器上可以读出一秒内信号的重复次数，也就是信号的频率。方块图中各部分的波形见图0.2.1(b)。

又例如，用雷达测量目标距离。它的工作原理概括如下：从天线发出一系列矩形高频脉冲，这些高频脉冲以光速（ $C = 3 \times 10^8$ 米/秒）传播出去，当碰到目标后，从目标物体上反射回来一个很弱的高频脉冲信号。这反射回来的脉冲被天线接收后，再经收发开关进入接收机（收发开关是为了使发射和接收共用一副天线而设计的一种自动转换开关。发射时，天线自动和发射机接通，而和接收机断开；发射出一个高频脉冲后，天

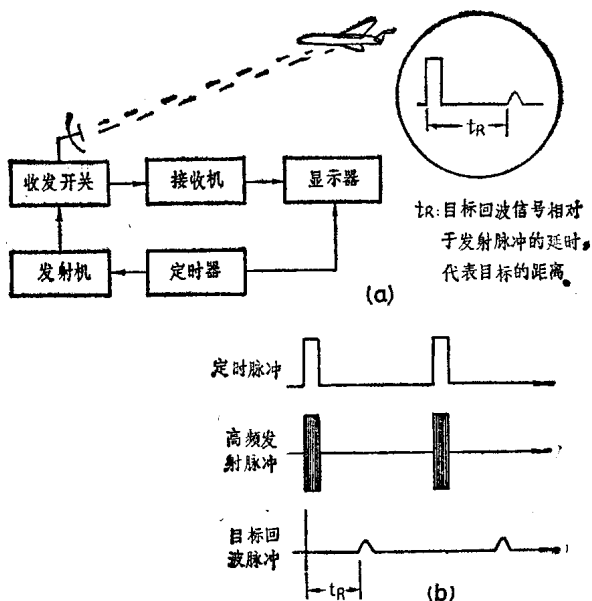


图 0.2.2 雷达测距方块图和主要波形关系

线又自动和接收机接通，而与发射机断开）。

接收机把收到的微弱反射信号加以放大并送给显示器，而显示器还收到一个由定时器送来的、和发射脉冲时间一致的主脉冲。这样，显示器上就可以看到发射主脉冲和反射脉冲之间的时间延迟，这个时间代表着雷达与目标之间的距离。假设雷达与目标之间的距离为 R ，则高频脉冲发射出去，碰到目标又反射回来，一共经过了“ $2R$ ”的距离，电磁波走过距离 $2R$ 所用的时间 t_R 等于：

$$t_R = \frac{2R}{C}$$

式中 C 是光速。所以距离 R 等于：

$$R = \frac{C}{2} t_R$$

由此可见，目标距离 R 与时间 t_R 成正比，读出 t_R ，就可得出 R 。其原理方块图和波形关系见图0.2.2。

从以上两个例子可以看出，脉冲数字电路的内容是广泛的，它包括了脉冲的产生、整形、变换、控制、计数、显示等等。本书将介绍晶体管脉冲电路和数字集成电路的构成、作用原理和它们的应用。

3. 本书内容提要

本书内容分为五个部分。

第一部分为基本电路。讨论常见的晶体管脉冲电路。包括 RC 电路、晶体管开关特性、倒相器、双稳态触发器、单稳态电路、多谐振荡器、射极跟随器和射极耦合触发器。这些都是脉冲技术的基本内容。

第二部分为波形变换电路。包括锯齿电压发生器、锯齿电流发生器、击振电路、间歇振荡器、同步与分频以及特殊二极管电路。

第三部分为数字电路。包括晶体管逻辑门电路、集成电路的逻辑门和触发器电路、大规模集成电路。

第四部分为脉冲数字技术的一般应用。介绍逻辑代数、常见的逻辑部件、数字显示、模拟和数字的相互转换技术等。

第五部分(附录)为实用电路举例。列举了雷达、通信、电视中的几个实例，以供读者参考。

脉冲数字技术是一种实用技术。本书采用了一些工程上的简便分析方法。例如有许多计算虽不十分精确，但是抓住了主要矛盾，能解决实际问题，这种快、省的工程近似估算方法往

往是很重要的。又例如用画电路中各点的波形图来分析电路的工作过程（即所谓波形分析法）及各种图表法等等，都是一些重要的分析方法。

第一部分 基本电路

第一章 RC 电路

尽管脉冲数字电路种类繁多，但是构成这些电路的元件只是晶体管、电阻、电容和电感等基本元件。只要我们掌握了这些元件的特性，就为以后分析复杂的电路打下了基础。本章着重讨论由电阻 R 和电容 C 构成的 RC 电路。 RC 电路在输入脉冲作用下，电容要充电和放电，电容的充放电是脉冲电路中最经常、最普遍遇到的现象，它是构成脉冲电路的基本矛盾之一，所以我们首先研究它。

1. 直流电路复习

1.1 欧姆定律

图1.1.1是一个最简单的直流电路。其中 E 代表电源电压，它的极性由图中正、负号标出。电流 I 的箭头指向，表示我们所选取的电流方向。如果 I 值为正，说明选取的方向和电流实际方向一致；如果 I 值为负，则说明所选的方向和实际方向相反。电流 I 流过电阻 R 产生的电压降用 V_R 表示，在此例中 V_R 等于 E 。

欧姆定律说明了电阻两端的电压降和流过电阻的电流以及电阻阻值之间的关系。其数学表示式为：

$$V_{ab} = IR$$

这里 V_{ab} 选取的方向（如图1.1.1所示）应与电流 I 选取的方向一致。

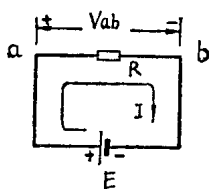


图 1.1.1 欧姆定律

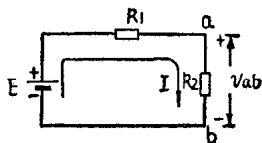


图 1.1.2 串联电路

1.2 电阻的串联

在图1.1.2中，电阻 R_1 和电阻 R_2 的联结方法为“串联”接法。由回路电压定律得出：

$$E = I(R_1 + R_2) = IR$$

此式说明：电阻串联时，其总效果相当于两个电阻阻值相加。我们用一个等效电阻 R 表示，即：

$$R = R_1 + R_2$$

〔例〕在图1.1.2中，设 $E = 12V$ ， $R_1 = 20K$ ， $R_2 = 10K$ ，求 R_2 两端电压降 V_{ab} 。

〔解〕由回路电压定律得：

$$\begin{aligned} I &= \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{12V}{(20 + 10) \times 10^3 \Omega} \\ &= \frac{12}{30} \times 10^{-3} A = 0.4mA \end{aligned}$$

$$V_{ab} = I \cdot R_2 = 0.4 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^3 = 4V$$

从上面的例题可以引出如下结论：由 R_1 和 R_2 串联组成的电路具有电阻分压关系。图1.1.2电路中， V_{ab} 的大小取决于 R_2 。