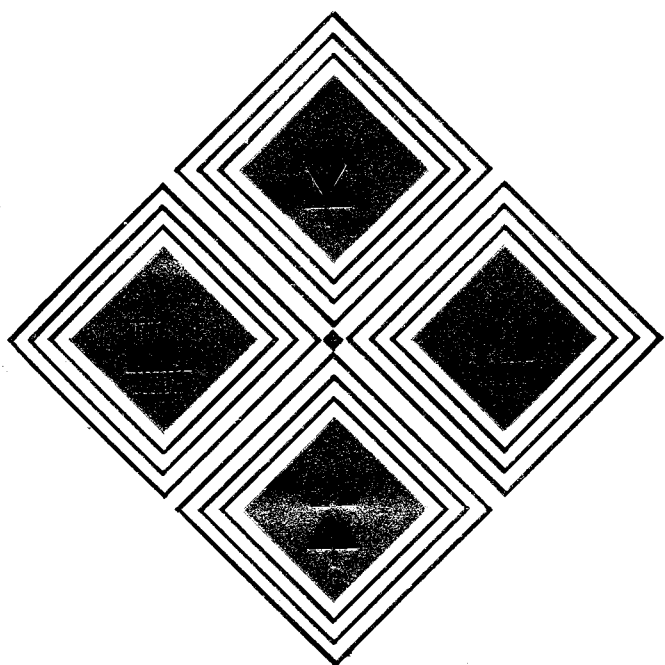




冲数字电路及其应用 上

大学无线电系刘宝琴 郑君里等编著·人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是清华大学无线电系 1976 年编著的《晶体管脉冲电路和数字集成电路》上、下册的修订版本，分上、中、下三册出版。新版本保留了原版书的基本内容和深入浅出、理论联系实际、以讲清物理概念为重点的特色，并增加了数字电路的逻辑设计和常用逻辑部件及数字系统等方面的许多内容；全书结构做了较合理的重新安排；减少了原书分立元件脉冲技术的篇幅，改编和增写的篇幅约占全书三分之二，反映了近几年来数字电路技术的新发展和新应用，故易名为《脉冲数字电路及其应用》。这本上册主要介绍各种数字电路，包括 RC、RL、RCL 电路和脉冲变压器的瞬变过程、器件的工作原理与开关特性、分立元件的门电路和触发器、双极型和 MOS 型数字集成门电路和触发器及逻辑代数的初步知识。本书适合通信、雷达、计算机、自动控制等专业学生及有关部门工作人员自学参考。

脉冲数字电路及其应用

上 册

清华大学无线电系刘宝琴 郑君里等编

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街 27 号

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₃₂ 1982年6月第一版

印张：14 8/32 页数：228 1982年6月北京第一次印刷

字数：327 千字 印数：1—42,000 册

统一书号：15045·总2544-无6167

定价：1.45 元

前 言

脉冲数字电路应用日益广泛，特别是中、大规模集成电路的出现，使数字技术有了新的发展，数字电路系统的设计原则也发生了相应的变更。随着半导体工艺的发展，脉冲电路也逐渐集成化。我们1976年编写的《晶体管脉冲电路与数字集成电路》(上、下册)，从内容来看，还没有反映出近几年来这方面学术的进展和应用，有必要对原书做较大的补充，才能满足当前的迫切需要。这就是我们重新编写这一修订本的起因。本书重点讨论数字集成电路及其工程应用；充实了组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析与设计；补充了中、大规模集成电路及其逻辑设计的特点；增加了脉冲集成电路和线性集成电路在脉冲数字电路中的应用；同时适当减少了分立元件脉冲电路的篇幅，并相应地改书名为《脉冲数字电路及其应用》。本书仍以TTL型电路为主，但对比地介绍了MOS型电路。

本书分上、中、下三册，各册主要内容如下：

上册介绍各种数字电路。它包括RC、RL、RLC电路和脉冲变压器的瞬变过程、器件的工作原理与开关特性（晶体二极管、三极管和MOS型场效应管）、分立元件的门电路和触发器、双极型和MOS型数字集成门电路和触发器（包括中规模集成电路采用的典型电路）。此外，还初步介绍了逻辑代数。

中册讨论数字电路的逻辑设计和常用逻辑部件。它包括数制与编码、逻辑函数的化简、组合逻辑电路的分析与设计、中规模集成组合逻辑电路的应用、时序逻辑电路的一般分析与设计方法、寄存器、计数器和移位寄存器的设计及其中规模器件

的使用，最后介绍了各种运算电路。

下册为数字系统设计的其它有关问题。包括数据的存储(半导体存储器)、数据的终端显示、波形变换与定时系统、数字和模拟的相互转换、数字系统的整体设计等。最后介绍几个有关实例。

作为一种尝试，本书以数字电路为线索，把脉冲电路和数字电路交叉地进行介绍，并且把同样功能的电路放在一起进行讨论。例如，对于单稳态电路，把用分立元件、线性集成电路、数字集成电路以及集成单稳态电路的实现方法对比地进行讨论，以求对电路工作原理的本质阐述得更清楚。

本书以阐明基本概念和设计方法为目的，保留初版书深入浅出地进行讲述和便于自学的特点，避免繁琐冗长的数学运算。为了加深对概念的理解，书中附有一些实例；对较深入细致的内容，用小字印刷。在本书上册安排了有关的电路理论(第二、三章及附录3)和晶体管原理(第四、五章)的复习部分。如用做“脉冲与数字电路”课程的教材，可将上述章节删除。此外，为了上、中、下三册相对独立，便于读者选购，内容上稍有交叠。

参加原书编写工作的有刘宝琴、郑君里、吴相钜、杨行峻、杨为理、应启珩、吕柏、李小英、王秀坛、邹绪春、诸昌清等同志。此次在原书基础上将全书结构重新做了安排，并增写了约三分之二的内容。刘宝琴、郑君里等同志参加了修订工作。由于笔者水平有限，加以时间仓促，错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

1980年12月于清华

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_{em}	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_{cg}	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_y	门电路平均传输延		

迟时间

Δ 变化量、增量

N_{ee} 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_{cce} 集电极—发射极饱和压降

V_{bce} 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_{cg} 为输出高电位。

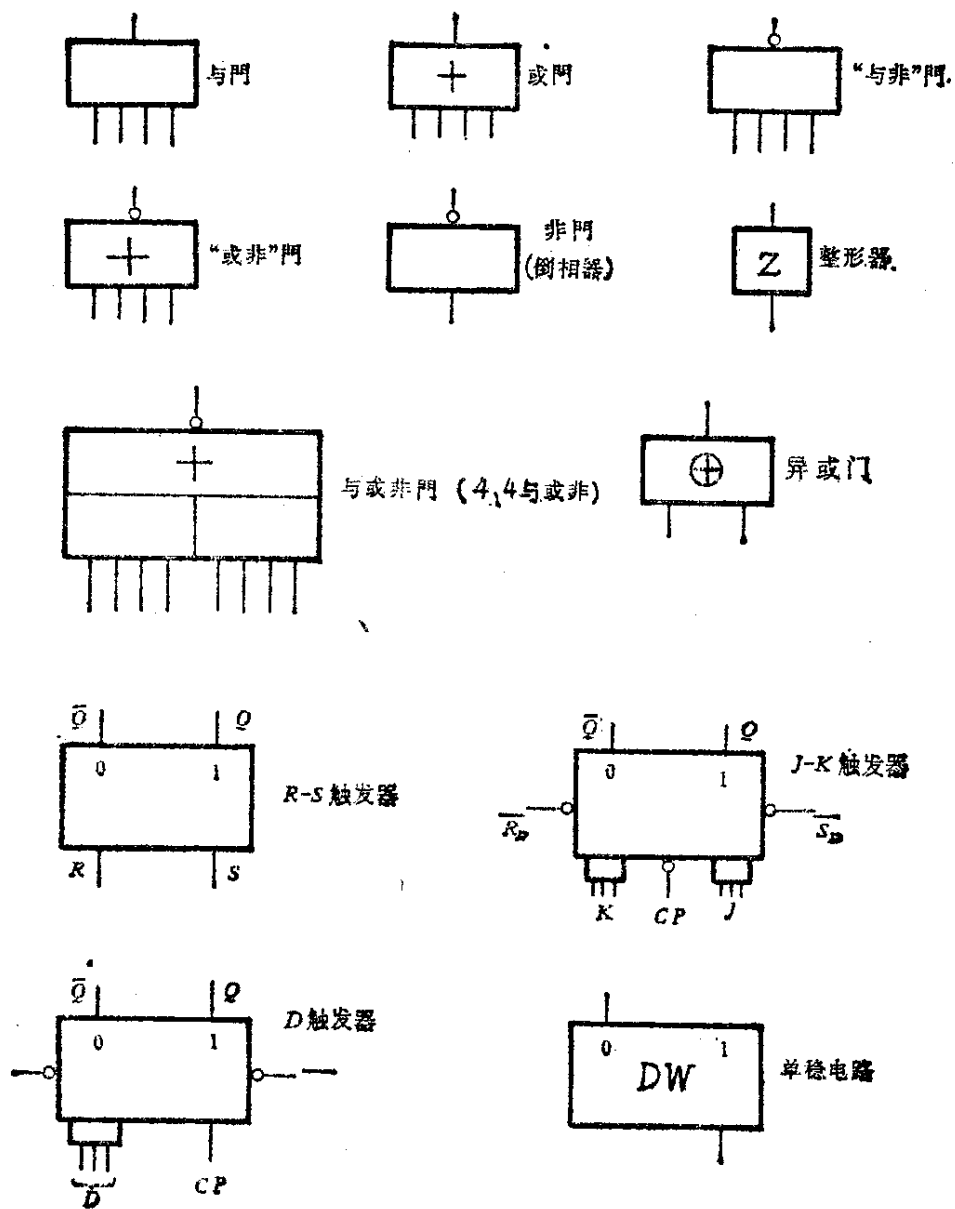
d 低。如 V_{cd} 为输出低电位。

sr 输入。如 V_{sr} 为输入电压。

sc 输出。如 V_{sc} 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

目 录

符号说明	1
第一章 绪论	1
1. 什么是脉冲和脉冲电路	1
2. 什么是数字信号和数字电路	2
3. 脉冲数字电路的发展和应用	4
4. 什么叫二进制	8
5. 本书内容提要	12
第二章 RC 电路	14
1. 引言	14
2. 电容	14
3. 电容充放电规律	21
4. 简单 RC 电路分析	29
5. RC 电路的应用	32
6. 输入脉冲边沿对 RC 电路输出的影响	37
7. 复杂 RC 电路的近似求解与分压器	40
[附录 1] 过渡过程公式的推导	46
[附录 2] 求时间常数 τ 的规则	49
第三章 RL 、 RLC 电路和脉冲变压器	53
1. 引言	53
2. RL 电路的过渡过程	53
3. RLC 电路的过渡过程	62
4. 脉冲变压器	76

第四章 二极管开关特性及其应用	89
1. 二极管的单向导电特性	89
2. 二极管的开关特性	98
3. 二极管的反向恢复时间	101
4. 二极管开关参数	103
5. 二极管限幅器	105
6. 二极管波形箝位电路	111
7. 稳压管	117
第五章 晶体三极管开关特性及其应用	120
1. 晶体三极管的放大作用	120
2. 晶体三极管的开关特性	123
3. 晶体三极管的开关时间	137
4. 倒相器	141
5. 晶体管在电路中的三种接法	152
6. 差动式放大器	161
第六章 逻辑代数	165
1. 引言	165
2. 基本逻辑运算	165
3. 常见的门电路	169
4. 逻辑代数的基本定律	176
5. 若干常用公式	180
6. 逻辑代数应用举例	182
第七章 晶体管逻辑门电路	188
1. 二极管“与”门电路	188
2. 二极管“或”门电路	191
3. 正逻辑和负逻辑	193
4. 二极管门电路的设计	194

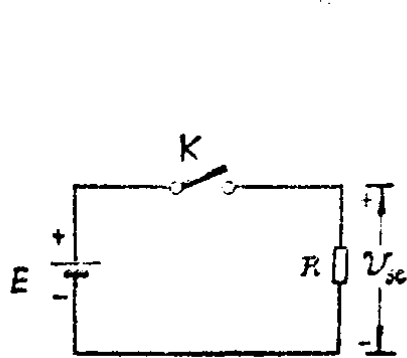
5. 晶体管“与非”门电路和“或非”门电路	199
[附录 1] 串联三极管门电路	201
[附录 2] 并联三极管门电路	203
第八章 集成逻辑门电路(双极型).....	205
1. 数字集成电路的特点及其分类	205
2. DTL 门电路	207
3. TTL 门电路	209
3.1 TTL 门电路的工作原理	209
3.2 TTL “与非”门电路的参数及测试	221
3.3 TTL 门扩展器和驱动器	232
3.4 其它 TTL “与非”门电路	235
3.5 利用“与非”门组成的基本逻辑电路	237
3.6 可以线或的 TTL 门电路	239
3.7 TTL 中规模集成电路中常见的门电路	247
4. CML 门电路 (ECL 门电路)	252
5. HTL 门电路	257
6. I ² L 门电路.....	258
第九章 晶体管双稳态触发器.....	264
1. 引言	264
2. 双稳态触发器的两个稳定状态	265
3. 双稳态的翻转	268
4. 有关双稳态的触发问题	277
[附] 二极管电位脉冲门	282
5. 双稳态的设计计算	284
6. 双稳态应用举例	291
第十章 集成电路触发器(双极型).....	306
1. 引言	306

2. R - S 触发器	306
3. 时钟 R - S 触发器	311
4. 锁定触发器	312
5. 触发器的“空翻”与解决方法	315
6. D 触发器	324
7. J - K 触发器	340
8. 触发器脉冲工作特性小结	360
9. 集成电路触发器的参数及测试	363
第十一章 MOS 数字集成电路	371
1. 绝缘栅场效应管的工作原理	371
2. MOS 集成电路的基本逻辑电路	386
2.1 MOS 倒相器	387
2.2 以场效应管为负载的倒相器电路	389
2.3 MOS 管电路的开关特性	393
2.4 常见的 MOS 电路	396
2.5 MOS 门电路	401
2.6 MOS 触发器	404
3. CMOS 电路	408
3.1 CMOS 倒相器	408
3.2 CMOS 传输门(双向开关)	411
3.3 CMOS 门电路	413
3.4 CMOS 触发器	415
[附录 1] 半导体集成电路型号命名方法	420
[附录 2] 有关集成电路使用的一些问题	421
[附录 3] 电路基本理论复习摘要	433

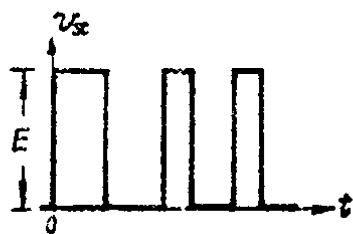
第一章 绪 论

1. 什么是脉冲和脉冲电路

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”。



(a) 电路



(b) 代表电文脉冲的

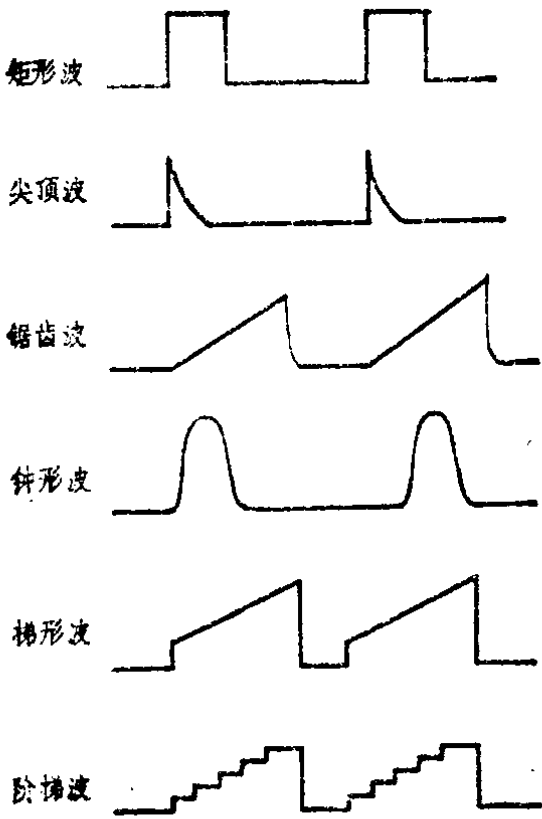


图 1.1.1 发报示意图

图 1.1.2 常见的脉冲波形

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 1.1.1 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，不断忽长忽短地按动电键，就可以得到一系列幅度为 E 而宽度随电文变化的脉冲。

图 1.1.1(b) 所示的脉冲是矩形脉冲。在工程应用中还会遇到其它波形的脉冲，如：尖顶波、锯齿波、钟形波、梯形波等等(见图 1.1.2)。广义地说，凡是非正弦波都可称之为脉冲。

脉冲电路就是产生和处理各种脉冲波形的电路。

2. 什么是数字信号和数字电路

人们在现实生活中会遇到许多物理量，如温度、压力、距离、时间等等。这些物理量一般具有连续变化的特点，即它们可以取一定范围内的任意实数值，并称之为“模拟量”。在工程应用中，为了测量、传递、加工和处理各种物理量，常把它们用连续可变的电压或电流来表示(或模拟)。例如，当需要把甲处的温度值告诉乙处时，就可以从甲处到乙处传送一个电信号，使其电压或电流正比于待传送的温度值。通常，把这种可连续变化的模拟电压或电流称为“模拟信号”。模拟信号所传送的内容，称为“模拟信息”。处理模拟信号的电路称为“模拟电路”。

与此相反，“数字量”是离散的和离散变化的，它只能按有限多个阶梯(或称为“增量”)变化和取值。例如，对于连续变化的距离的某个值 2567.82326……公里，若取一个阶梯为 1 公里，则代表此距离的数字量为 2568 公里；若一个阶梯为 1 米，则数字量为 2567.823 公里。阶梯大小的选择，取决于我们所

要求的精度。与数字量相对应的电信号称为“数字信号”。数字信号所传送的内容，称为“数字信息”。处理数字信号的电路称为“数字电路”。

在进行信息传递和处理时，数字方式和模拟方式相比较有如下优点：

(一) 精度和可靠性高

同一物理量可以用连续的模拟信号表示，也可以用离散的数字信号表示。但是，用数字信号进行信息传送和处理时，容易达到高精度和高可靠性。例如，温度信息用模拟信号传送时，模拟信号的电压大小正比于温度高低，若要求精度为千分之一，则必须要求传送途径上的干扰电压低于所传送信号电压的千分之一。然而，在干扰严重的地方，这样的要求往往难以实现。同样的精度要求，利用数字信号就容易实现。数字信号传输时，常采用二进制(见本章4节)，也就是把所传送的数字量按照一定的规则编码成一组脉冲序列，数字量的大小，取决于每组脉冲序列中各个脉冲的“有”、“无”；数字量的精度，取决于每组脉冲序列所能容纳脉冲个数的多少。这样一来，只有传送途中遇到相当大的干扰，才能改变信号脉冲的有、无，破坏信息的内容。因而采用数字信号将有较强的抗干扰能力。并且只要脉冲序列足够长(这是较容易实现的)，就可以达到所要求的精度。

(二) 使用灵活、通用、易于使器件标准化

随着半导体工艺的发展，数字电路器件的体积越来越小、集成度越来越高。今天，已经可以在一块硅片上制造几百个、几千个、几万个，甚至几十万个元件，并且可把一台数字计算

机做在一块硅片上，制成所谓“单片计算机”。这些标准化的、功能很强的、构成数字电路的器件，给使用者带来了极大的方便。此外，数字计算机的普遍使用，使信息的处理和自动控制，都可以借助于计算机来解决，而不必再去制作各种专用设备。所以，采用数字信号就可使处理信息电路的灵活性、通用性大大增加。

顺便指出，脉冲电路先于数字电路出现，数字电路是在脉冲电路的发展中分化出来，并逐步形成独立的体系的。目前脉冲电路和数字电路的研究方法有很大的差异。严格讲，脉冲电路应属于模拟电路的范畴。但是，脉冲电路和数字电路仍有较紧密的联系。所以，本书以介绍数字电路为主，同时讨论各种脉冲电路。

3. 脉冲数字电路的发展和应用

脉冲数字电路的主要元件是开关元件，它在电路中起开关作用。早期的开关元件是电子管。40年代末，体积小、重量轻、寿命长、耗电低的晶体管出现了，它取代电子管，并为集成电路的发展提供了工艺基础。50年代末，开始制造集成电路。今天已由小规模集成电路、中规模集成电路发展到大规模和超大规模集成电路，其工作速度越来越快，耗电量越来越低。通常衡量一个开关元件效率的指标是开关速度和功耗的乘积。即“速度-功耗积”。电子管的开关速度为0.1微秒，平均功耗是2瓦，速度-功耗积为 $2 \times 0.1 = 0.2$ 瓦·微秒；集成电路的开关速度为0.01微秒，功耗0.25毫瓦，速度-功耗积为 $0.00025 \times 0.01 = 0.0000025$ 瓦·微秒，比电子管效率提高80000倍。此外，集成度的提高，减少了设备的焊点，提高了整机的

可靠性。总之，脉冲数字电路的发展与器件的革新密切相关。集成电路的出现，促进了数字电路的飞跃发展。

脉冲数字电路的应用范围十分广泛，而且还在不断地扩大，它不仅应用于雷达、电视、通信、遥测和遥控等方面，并且在核物理技术、航天技术、激光技术、医疗设备、各种工业的数字测量和数字控制中也有所应用。今后在国民经济和国防建设的许多部门，甚至在日常生活中，都要经常用到脉冲数字电路。

脉冲电路早期应用之一是雷达。雷达的方块图如图 1.3.1 (a) 所示，其工作原理概括如下：发射机经收发开关从天线发出一系列矩形高频脉冲，这些高频脉冲以光速 ($C=3 \times 10^8$

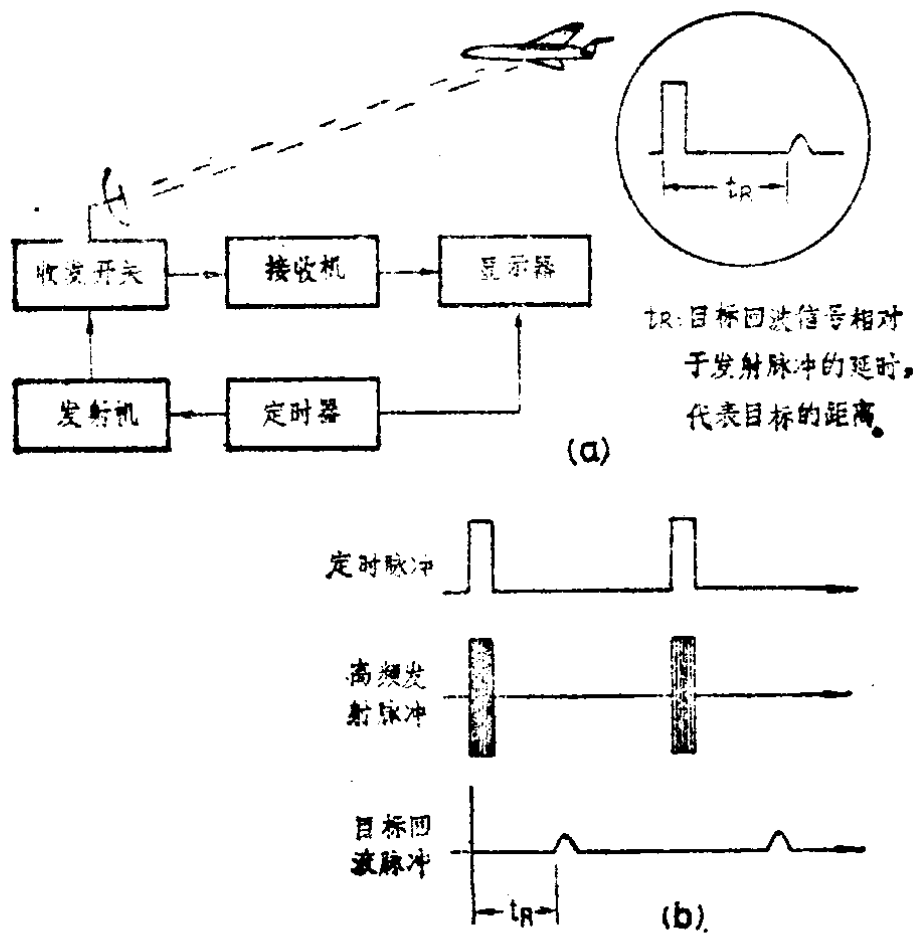


图 1.3.1 雷达测距方块图和主要波形关系

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。假设此距离为 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 (参见图 1.3.1(b)波形图)。

再举一简单的数字频率计例子。数字频率计主要是用来测量周期性信号频率的仪器,它的原理方块图如图 1.3.2(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”