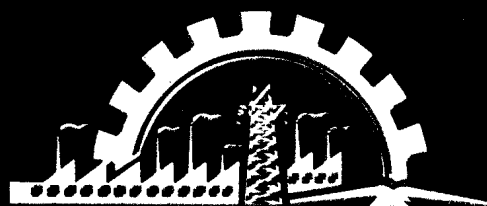


34034

数字脉冲电路



上海市业余工业大学

毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

学制要缩短，教育要革命，要无产阶级政治挂帅，走上海机床厂从工人中培养技术人员的道路。

教材要有地方性，应当增加一些地方乡土教材。

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。

目 录

绪 言	1
第一章 RC 电路	3
第一节 电容器的充放电	3
第二节 RC 电路的应用	5
一、积分电路	5
二、微分电路	5
习 题	7
第二章 晶体管逻辑电路	10
第一节 晶体管的开关特性	10
一、二极管的开关特性	12
二、三极管的开关特性	13
三、加速电容在电路中的作用	15
第二节 门电路	16
一、二极管门电路	17
二、非门(反相器)	21
三、与非门	23
四、或非门	24
第三节 双稳态触发器	25
一、工作原理	26
二、双稳态的应用	31
三、双稳态的抗干扰问题	33
四、射极耦合触发器——斯密特电路	35
第四节 单稳态触发器——脉冲信号的整形和延时	39
一、集基耦合无偏压单稳态电路	39
二、单稳态的应用	43
第五节 多谐振荡器——脉冲信号的产生	46
一、集基耦合多谐振荡器	46
二、射极耦合多谐振荡器	48
三、多谐振荡器的应用	49
四、单结晶体管振荡器	51
五、间歇振荡器	56
习 题	57
第三章 计数器	64
第一节 译码器	64

一、计数制	64
二、二进制的四则运算	65
三、二进制与十进制的互换	66
四、二——十进制	67
五、二进制与八进制的互换	68
第二节 二进制计数器	69
一、二进制加法计数器	69
二、二进制减法计数器	70
第三节 十进制计数器	71
一、十进制加法计数器	71
二、十进制减法计数器	72
第四节 译码器	72
一、译码器的基本原理	73
二、二进制数的译码器	73
三、十进制数的译码器	75
习 题	81
附录 十进制数的各种常用代码表	83
第四章 逻辑代数及其应用	84
第一节 逻辑代数的三种基本运算	84
一、逻辑乘	84
二、逻辑加	85
三、逻辑非	86
第二节 逻辑代数的基本运算规则	86
一、基本运算规则	86
二、运算举例	88
第三节 逻辑代数应用举例	88
一、逻辑线路的简化	88
二、逻辑线路的设计举例	91
第四节 真值图简化法	100
一、真值图的形式与特点	100
二、真值图简化法	103
三、禁止项的应用	105
习 题	109
第五章 集成电路逻辑门和触发器	117
第一节 集成电路逻辑门	117
一、二极管——晶体管逻辑 (DTL) “与非”门电路	117
二、高阈值逻辑 (HTL) “与非”门电路	121
三、晶体管——晶体管逻辑 (TTL) “与非”门电路	124
四、集成电路“与非”门的参数测试	128

五、JEC-2 集成电路及其应用	131
第二节 集成电路触发器	133
一、 <i>R-S</i> 触发器	133
二、 <i>T</i> 触发器及其应用	136
三、 <i>D</i> 触发器、 <i>J-K</i> 触发器、主从触发器及其应用	140
第三节 用集成电路构成的脉冲电路	147
一、单稳态触发器	147
二、多谐振荡器	148
习 题	149
第六章 集成电路逻辑部件	154
第一节 集成电路计数器	154
一、串行加法计数器	154
二、串行十进制减法计数器	158
三、并行计数器	160
四、可逆计数器	162
五、循环码计数器	164
第二节 分配器	172
一、时序脉冲分配器	172
二、步进电机环形分配器	176
三、多稳态线路	179
习 题	181
第七章 MOS 场效应集成电路	182
第一节 MOS 场效应管的工作原理	182
一、MOS 场效应管的结构和输出特性曲线	182
二、栅源电压对沟道的作用, 开启电压	183
三、漏源电压对沟道的作用	183
四、转移特性曲线和跨导	184
五、MOS 场效应管的输入电阻和输入电容	185
六、MOS 场效应管的分类	186
第二节 MOS 集成电路逻辑线路	187
一、MOS 反相器	187
二、无记忆功能的逻辑线路	188
三、有记忆功能的逻辑线路	193
四、动态逻辑线路	200
附录 I 其它 <i>P</i> 沟道 MOS 集成电路	201
一、八位移位寄存器«518»	201
二、MOS 存储器	202
附录 II 互补型 MOS 集成电路	203
一、门电路	204

二、基本触发器	204
三、门控管	204
四、 <i>D</i> 触发器	205
习 题	208

绪 言

随着我国工农业生产和科学技术的迅速发展, 电子技术在国民经济的各个部门都得到了越来越广泛的应用, 特别作为电子技术基础之一的脉冲技术, 目前已普遍地应用于通信、雷达、电视、数字仪表、电子计算机、遥控、遥测和自动控制等各个领域, 对于我国社会主义建设起着重要的作用。

脉冲技术的内容是非常丰富的, 它主要研究脉冲的产生、变换、放大和测量, 本书着重介绍前两部分内容。那末什么是脉冲呢? 所谓脉冲, 就是指在短时间内出现的电压或电流的变化。目前, 凡按非正弦规律变化的电压或电流, 都称为脉冲, 图 1 给出了几种常见的脉冲波形。

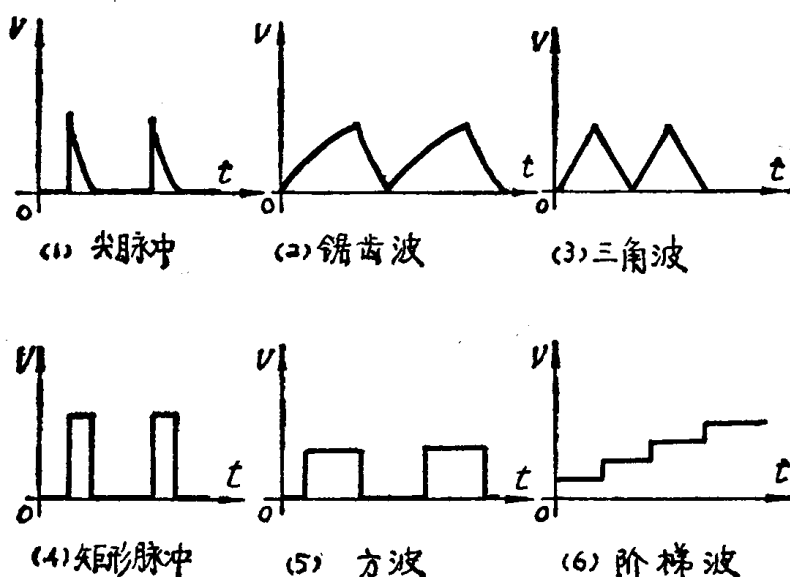


图 1

尽管脉冲是非正弦波的统称, 但它与正弦波还是有着非常密切的联系。实践和理论都证明, 任何形状的脉冲信号均可以由各种不同频率的正弦信号, 按照不同的振幅和相位迭加而组成。所以, 即使是方波, 它的放大的实际波形却如图 2 所示。

通常, 用下列几个参数来描述脉冲波形, 见图 2。

1. 脉冲幅度 V_m : 是指脉冲电压(电流)从一种状态变化到另一种状态的跳变值。

2. 脉冲上升时间 t_r : 是指脉冲电压(电流)从 $0.1V_m$ 上升到 $0.9V_m$ 所需的时间。 t_r 在脉冲技术中是一个很重要的指标, t_r 愈短, 表示脉冲上升得越快。

3. 下降时间 t_f : 是指脉冲电压(电流)从 $0.9V_m$ 下降到 $0.1V_m$ 所需的时间。

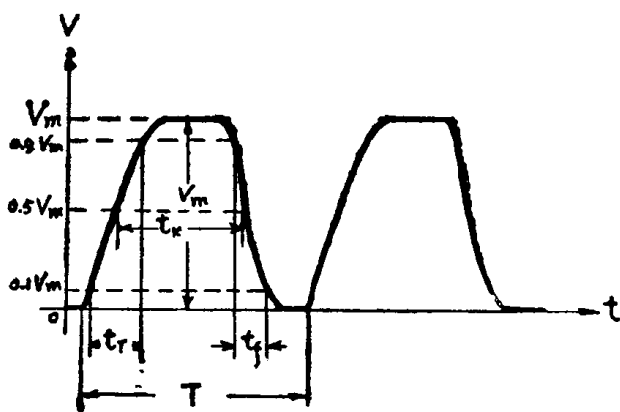


图 2

4. 脉冲宽度 t_w : 是指脉冲电压(电流)从上跳变 $0.5V_m$ 到下跳变 $0.5V_m$ 所需的时间。
5. 脉冲周期 T : 是指相邻脉冲重复出现所需的时间。周期的倒数就是脉冲的频率, 即

$$f = \frac{1}{T}。$$

脉冲的波形虽然千变万化, 但它的产生方法都是用一个开关和一个惰性电路来获得的。所谓惰性电路就是指由电阻 R 、电容 C 和电感 L 所组成的 $R-C$ 或 $R-L$ 或 $R-L-C$ 电路。本书主要研究 $R-C$ 惰性电路, 而所选择的开关就是晶体管。

第一章 RC 电路

《电路与数学》中讨论的直流电路和交流电路的现象和规律，都是指电路处于稳定状态时的工作情况，即当电路内的电源一接通，电路内参数的改变已经完成之后的工作情况。但在电路刚接通电源，或者刚断开电源，或者电路内的参数突然改变时，电路中将出现从原来稳定状态变化到另一种稳定状态的过程，这个过程称为过渡过程，也叫暂态过程。所以，过渡过程是两种稳定工作状态之间的变化过程，它既不同于原来的工作状态，也不同于新的稳定工作状态。本章主要讨论由电阻 R 和电容 C 所构成的 RC 电路的过渡特性及其应用。

第一节 电容器的充放电

RC 电路过渡特性的实质，就是电容器的充放电过程。那末什么是电容器的充放电，它有些什么特点呢？为此，我们来看一个简单的实验。

当我们观察用万用表电阻档来测量电阻和电容时，就会发现，两者有着明显的差别。测量电阻时，表的指针很快就固定在一个位置上，而测量大电容时，指针先是摆动很大，然后又慢慢地退回来。毛主席教导我们：“我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”为了弄清楚这两个实验差异的实质，我们来分析图 1.1.1 所示的电路。

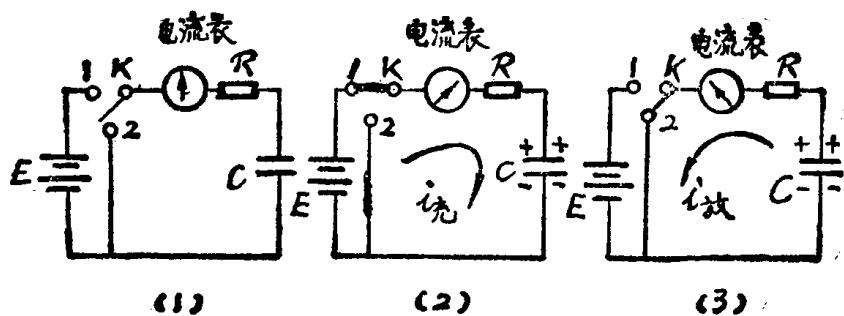


图 1.1.1

当开关 K 刚接到“1”时， RC 电路与电源 E 接通。开始时，由于电容器 C 中没有电荷，所以在接通的瞬间，电容器上的电压 $V_c = 0$ 。随后，电源 E 立刻通过电阻 R 向电容 C 进行充电，充电电流 $i_{\text{充}}$ 的方向如图 1.1.1(2) 所示，这时电流最大，其值为 $\frac{E}{R}$ ，这就是用万用表测量电容时，表针起先摆动很大的原因。随着电容 C 上电荷的积累，电容两端的电压 V_c 逐渐增高，这时充电电流 $i_{\text{充}} = \frac{E - V_c}{R}$ 越来越小，表针就慢慢地退回来。经过相当长的时间，电容器两端电压 V_c 与电源电压 E 几乎相等，充电电流 $i_{\text{充}}$ 也几乎为零，表针也就回到“0”位，我们就说充电过程结束，电容器中贮存的电能最大。这种情况相当于万用表测量电容时，表针慢慢

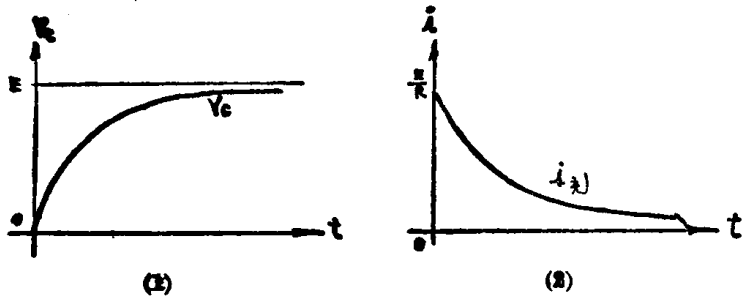


图 1.1.2

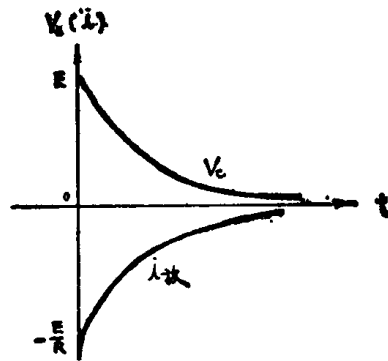


图 1.1.3

地退回来的情况。电容器充电时, 充电电流 $i_{\text{充}}$ 和电容器两端电压 V_c 的变化规律如图 1.1.2 所示。

然后将开关 K 与“2”接通, 如图 1.1.1(3) 所示, 这时 RC 回路被短路, 电流表的指针反向偏转了一下后又逐渐回到“0”位。这是因为电容 C 两端积累起来的电荷要通过 R 进行放电, 放电电流 $i_{\text{放}}$ 方向与充电电流 $i_{\text{充}}$ 方向相反, 见图 1.1.1(3)。放电开始瞬时, 电流最大, 其值由 $V_c + i_{\text{放}}R = 0$ 求得, 即 $i_{\text{放}} = -\frac{V_c}{R}$ 。随着放电的持续进行, V_c 逐渐降低, $i_{\text{放}}$ 也逐渐减小, 最后 V_c 和 $i_{\text{放}}$ 都趋向于零, 表针也就回到了“0”位, 这时我们说放电结束。放电时, 放电电流 $i_{\text{放}}$ 与电容两端的电压 V_c 变化规律如图 1.1.3 所示。

总结电容器充放电过程可得出如下几个结论:

(1) 在阻容回路里, 电源经电阻向电容充电或者电容经电阻放电都需要经过一定的时间才能基本完成。

(2) 在电容充放电过程中, 电容上的电压是不能突变的, 换句话说, 在电源接通或者断开的瞬间, 电容器的电压保持不变。如果电源接通前电容器的电压为零, 则接通的瞬间电容器的电压也为零, 电容器相当于短路; 如果电源断开前电容器的电压为 V_c , 则在断开的瞬间电容器的电压也为 V_c , 电容器相当于一个“电池”。电容器的电压不能突变这一概念很重要, 以后分析电路时常常用到。

(3) 电容器在充电结束以后(充电电流为零), 相当于“开路”, 即所谓电容的隔直作用。

(4) 根据实验和数学推导, V_c 和 $i_{\text{充}}$ (或 $i_{\text{放}}$) 的过渡特性, 即它们随时间的变化规律都是指数函数, 具体的数学式如下:

$$\text{充电时,} \quad i_{\text{充}} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}, \quad V_c = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}});$$

$$\text{放电时,} \quad i_{\text{放}} = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}, \quad V_c = E e^{-\frac{t}{RC}}.$$

实践证明: 电容器充放电快慢仅与电阻 R 和电容 C 的乘积 RC 有关, 而与电源电压 E 大小无关。通常称乘积 RC 为阻容回路的时间常数, 用字母 τ 表示, 即 $\tau = RC$ 。此式表明, 电阻 R 、电容 C 的值越大, 则 τ 愈大, 充放电愈慢; 反之, τ 愈小, 充放电就愈快。一般, 电容充放电到它的稳态值的 95% 时, 就认为充放电过程结束了, 根据数学计算, 这时 $t = 3\tau$ 。亦就是说, 当充放电时间为它的时间常数三倍时, 就认为充放电结束了。若 R 的单位为欧姆, C 的单位为法拉, 则 τ 的单位为秒。

第二节 RC 电路的应用

在脉冲数字系统中常常需要对波形进行变换、整形和延迟,具有这些功能的电路实际上都是 RC 电路的具体应用。现在让我们运用电容充放电的概念来讨论脉冲数字系统中经常遇到的几种 RC 电路。

一、积分电路

所谓积分电路,就是图 1.2.1(1) 所示的 RC 电路。这里用 V_{sr} 表示输入信号, V_{sc} 表示输出信号,由此可见,积分电路中的电容接在输出端。

下面我们来分析积分电路在矩形脉冲作用下的工作过程。

设在时刻 t_1 , 在输入端产生一个由零到 E 的正跳变,这相当于在输入端接了一个电动势为 E 的电池。根据前面 RC 充放电的讨论知道,电容两端的电压就按指数规律上升。如果 $RC \gg t_k$, 即充放电时间常数 τ 远远大于脉宽 t_k , 这时电容 C 的充电过程十分缓慢,在 t_1 到 t_2 的短时间内, V_c 的上升曲线只是指数曲线的很小一段,可以近似当作直线,如图 1.2.1(3) 所示。

在时刻 t_2 时, V_{sr} 由 E 下跳到零,这相当于输入端短接,电容 C 就开始放电,并且按指数规律下降到零,见图 1.2.1(3)。

综上所述,积分电路有这样一个特点,当 $RC \gg K_k$ 时,输入一个矩形波,就输出一个三角波。数学证明,积分电路的输出电压与输入电压有积分关系,这就是它的名称的由来(详见《电路与数学》中定积分的应用举例)。

积分电路在数控技术中有很多的应用,比如,用它来提高电路的抗干扰特性,克服“过渡干扰脉冲”等等,这些在以后适当部分介绍。

如果 RC 不够大,使得在输入脉冲作用期间,电容来不及充足电,那末输出波形达到稳定值的时间只比输入波形延迟了时间 t_0 ,此时这种电路,就称为延时电路(见图 1.2.1(4))。

二、微分电路

另一种在数控技术中常用的 RC 电路,就是图 1.2.2(1) 所示的微分电路。它能把矩形波或方波变成尖脉冲,成为其他脉冲电路的触发脉冲。它与积分电路在结构上的区别,仅在于 R、C 位置的互换,另外要求它的时间常数 $\tau \ll t_k$ 。

下面我们来分析它是如何把矩形脉冲变成尖脉冲的。

显然在常态下, A 点电压为零。

设在时刻 t_1 , 在输入端产生一个幅值为 E 的上跳变,于是电容 C 立即被充电,由于电容两端电压不能突变,在输入瞬间, A 点也产生一个幅值为 E 的上跳变,而 $V_c = 0$ [见图

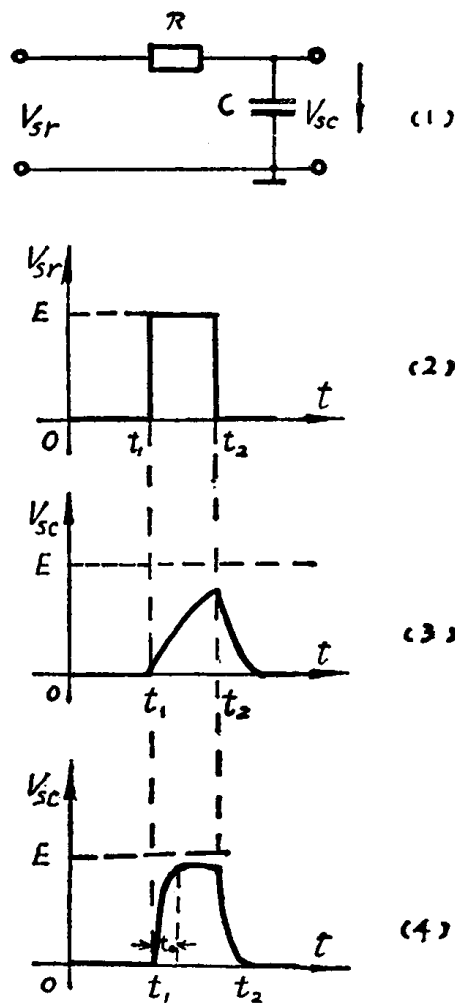


图 1.2.1

1.2.2(2)·(3)·(4)]。接着 V_c 按指数规律 $E(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$ 上升, V_{sc} 却按 $V_{sc} = V_{sr} - V_c = E - E(1-e^{-\frac{t}{\tau}}) = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$ 的指数规律下降。由于 $RC \ll t_K$, 就使 V_c 很快由零上升到 E , V_{sc} 也就相应地由 E 迅速下降到零, 从而在输出端形成一个正的尖脉冲(见图 1.2.2(3)·(4))。

当在时刻 t_2 , V_{sr} 突然由 E 下跳到零, 这相当输入端被短接。由于电容两端电压不能突变, 所以当输入端产生了一个幅值为 E 的下跳变时, 在 A 点同样要产生一个由零到 $-E$ 的下跳变。接着电容通过电阻 R 放电, 并按指数规律 $V_c = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$ 很快下降到零, 而 V_{sc} 却按 $V_{sc} = V_{sr} - V_c = 0 - Ee^{-\frac{t}{\tau}} = -Ee^{-\frac{t}{\tau}}$ 的指数规律由 $-E$ 迅速上升到零, 这样在输出端就形成一个负的尖脉冲。

从上述分析可知, 微分电路有这样一个特点, 当 $RC \ll t_K$ 时, 它能把矩形波变换成正负相间的两个尖脉冲。这就是说, 它能把信号的突变部分取出来, 即起到“突出变化量, 压低恒定量”的作用, 这与数学上反映变化量的主要部分的微分概念相对应, 所以这种电路又称微分电路(详见《电路与数学》中导数的应用)。

对于微分电路, 条件 $RC \ll t_K$ 是十分重要的。如果不满足这个条件, 它就不能起到微分的

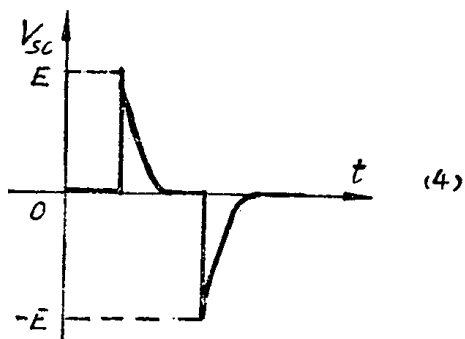
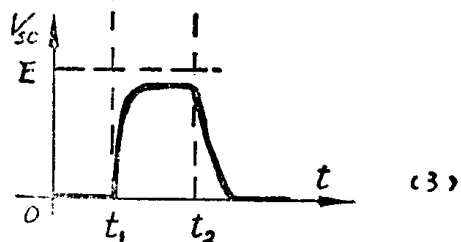
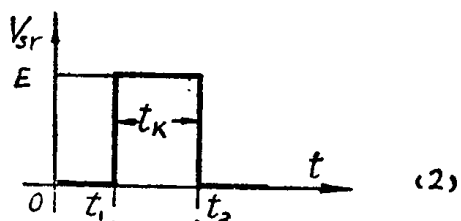
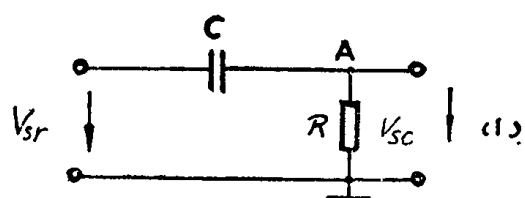


图 1.2-2

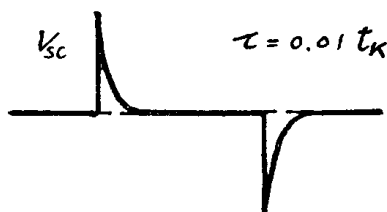
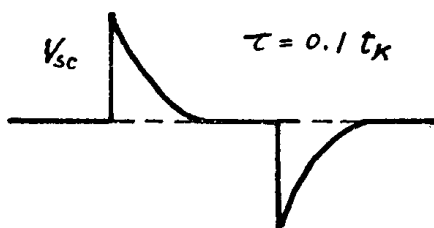
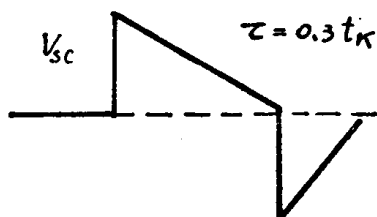
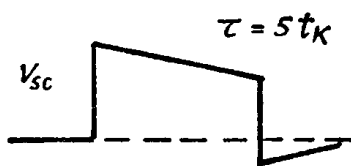
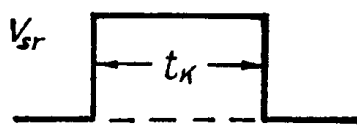


图 1.2-3

作用。图 1.2.3 画出了 RC 与 t_k 不同数量关系时的输出波形。

从波形图可以看到, 一个 RC 电路是否可以作为微分电路, 要看在输入脉冲作用期间, 电容器的充电是否基本结束, 以及下一个脉冲来到之前, 电容器放电是否结束。一般说来, 当 $t_k = 4\tau$ 时, RC 电路就能起到微分作用。对于方波, 若脉冲宽度 $t_k = \frac{T}{2}$ (T 为周期), 则当 $\tau \ll \frac{T}{2}$ 时, 在图 1.2.2(1) 电路的输出端就能得到又尖又窄的脉冲。

显然仅仅根据电路本身的参数, 还不能判断 RC 电路是否是微分电路, 还必须考虑到输入脉冲的频率。例如, 若有一个 RC 电路, $R = 50 \text{ k}\Omega$, $C = 200 \text{ pF}$, 则 $\tau = RC = 10 \mu\text{s}$ 。现输入 $f = 1 \text{ kHz}$ 的连续方波, 则 $\frac{T}{2} = \frac{1}{2} f = 500 \mu\text{s}$, 满足 $\tau \ll \frac{T}{2}$ 的条件。所以对于频率为 1 kHz 的方波来说, 这个 RC 电路是一个微分电路。若输入 $f = 500 \text{ kHz}$ 的连续方波, 因 $\frac{T}{2} = 1 \mu\text{s}$, 所以 $\tau \gg \frac{T}{2}$, 故同一个 RC 电路, 现在就不能作为微分电路, 而只能作为一般的 RC 耦合电路了。

习 题

1. 试说明用万用表电阻档测量电阻和电容时, 为什么有不同的现象。
2. 试说明在 RC 充放电电路中, 时间常数的意义。在充放电时, 电容器上的电压和电流变化曲线与时间常数有什么关系?
3. 图 1 所示的两个 RC 电路中, 电源电压均为 6V , $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 1 \mu\text{F}$, $C_2 = 2 \mu\text{F}$ 。当开关 K_1 、 K_2 同时合上时, 问哪一个电路中的电容器先达到 5V ? 并画出两个电容器上的电压波形。

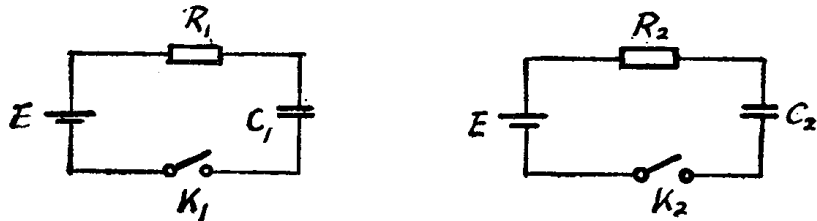


图 1

4. 图 2 所示的两个 RC 电路中, 如果 K_1 , K_2 同时合上, 问哪一个先到达 5V ? 试画出两个电容器上的电压波形图。

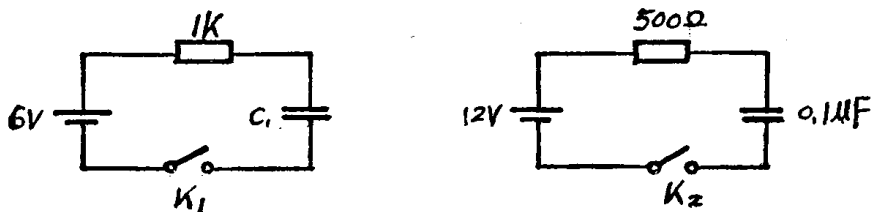


图 2

5. 图 3 中 R_1 , R_2 是两个灯泡, C 是电容器。试问, 当开关 K 合上时, 两个灯泡是否同时亮? 当开关断开时, 是否同时熄灭? 为什么?
6. 试讨论图 4 所示的电路:
 - (1) 当 R_L 不接时, 合上 K , 问经过多少时间后, A 点电位才能达到稳定值, 其值等于多少? 并画出该点电压的波形图。
 - (2) 当接上 R_L 时, 合上 K , 同样讨论上述问题。

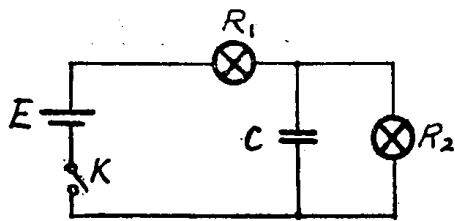


图 3

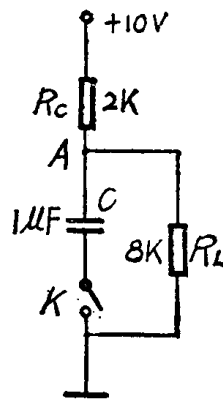


图 4

7. 在图 5(2) 所示的电路中, 若输入一个图 5(1) 所示的方波, 试求出下列两种参数时的输出电压波形:

- (1) 当 $C=510\text{ pF}$, $R=10\text{ k}\Omega$ 时;
- (2) 当 $C=1\text{ }\mu\text{F}$, $R=10\text{ k}\Omega$ 时。

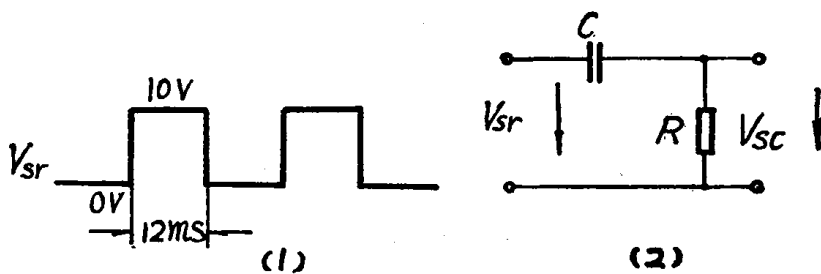


图 5

8. 试画出图 6 所示的微分电路的输出波形。

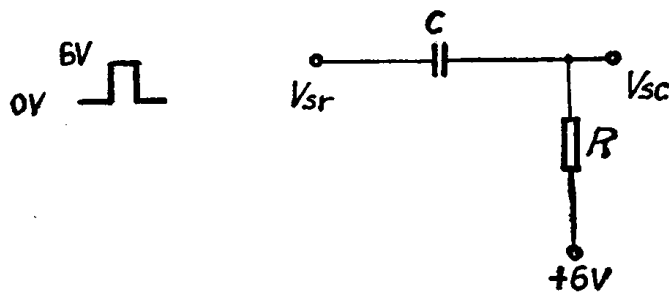


图 6

9. 在图 7(2) 所示的电路中, 若开关 K 按图 7(1) 所示的波形合上、打开, 试画出 V_{sc} 的波形。

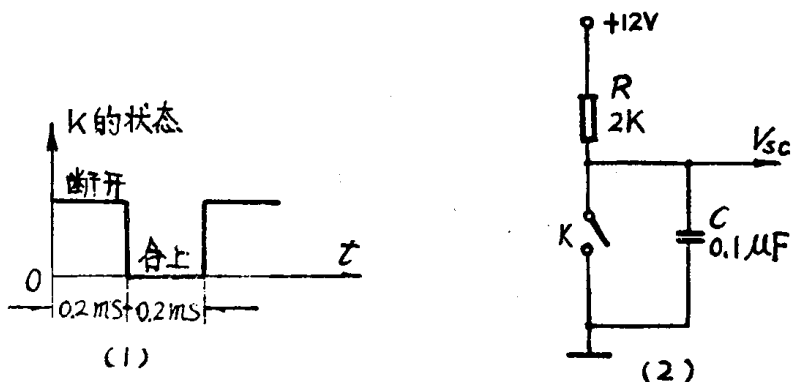


图 7

10. 在图 8 所示电路中,当开关 K 合上时,试画出电容 C 上的电压波形。

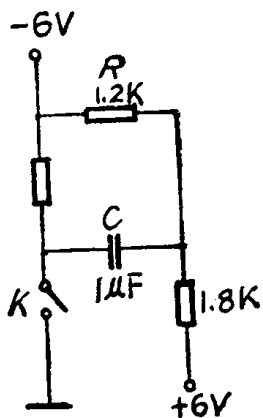


图 8

11. 在图 9 所示的 RC 电路中,电容 C 已预先充电至 V , 电源电压为 E 。试讨论在开关接通后, 电路中电流及电容器两端电压的变化规律 (提示: 分 $E > V$, $E = V$, $E < V$ 三种情况来讨论)。

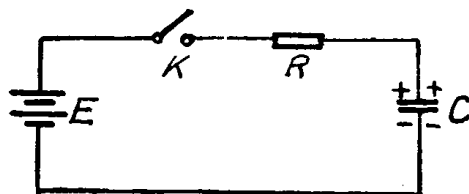


图 9

12. 试问积分电路、微分电路、偶合电路, 它们的电路形式、条件、作用等有何区别?

第二章 晶体管逻辑电路

第一节 晶体管的开关特性

在自动化设备中,无论是一个简单的控制电路,或者是一台复杂的电子控制设备,如线切割机,电子计算机等,开关电路,是一个重要的部件。

开关元件的作用就是把电路接通或切断,接通时要求它呈低阻,切断时要求它呈高阻,因此开关元件必须是电阻可在很大范围内变化的元件。晶体三极管具有开关元件的特性,被大量应用于电子计算机和其他自动控制装置中。

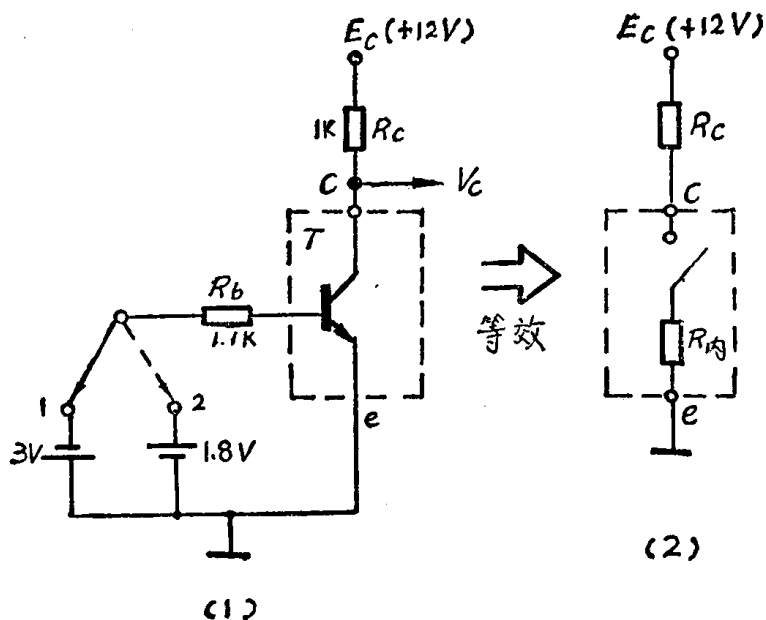


图 2.1.1

我们先把图 2.1.1(1) 电路的开关倒向 1, 晶体管 T 的基极与发射极之间加上了反向偏压, 管子截止, $V_c \approx E_c$, c, e 二点近似开路, 这相当于开关断开; 如果把开关倒向 2, 管子的基极与发射极之间加上了正向偏压, 集电极有电流流过, 如果 $I_b > \frac{E_c}{R_c} \cdot \frac{1}{\beta}$, 管子工作在饱和区, $V_c \approx 0.3V$, c, e 二点近似于接通, 这相当于开关合上, 其等效电路见图 2.1.1(2), R_{ps} 表示 e, c 接通时的等效电阻。晶体管作为开关使用就是利用它从饱和到截止或从截止到饱和互相转换的特性, 这在自动控制中有很多应用, 现举例如下:

例 1 单管延时吸合继电器电路

当开关 K 一断开, 电流向电容 C 充电, 经过一定时间, 电容 C 充电到 V_b (V_b 为使晶体管导通饱和所需的电压) 时, 晶体管导通饱和, 集电极流过很大的电流, 使继电器 J 吸合, 继电器的触点就去带动执行机构, 完成所需的动作。

显然, 这种电路的延时时间主要决定于 RC , 它的延时时间是不长的。

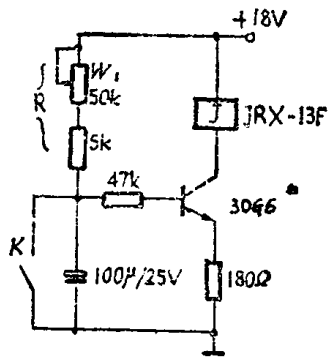


图 2.1.2

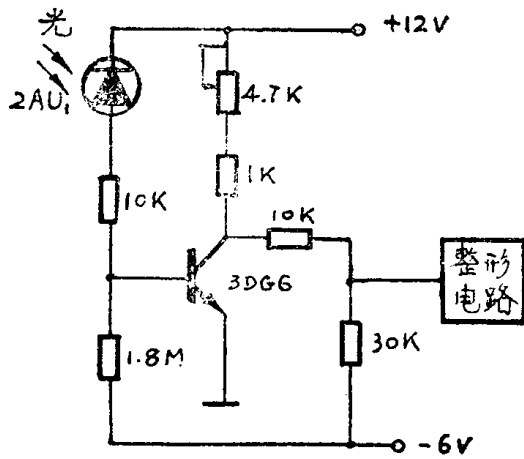


图 2.1.3

例 2 光电输入开关电路

数控机床中,要把纸带上孔(代表“1”),无孔(代表“0”)的信息转换成电信号,就需要光电转换电路,即光电输入开关电路,图 2.1.3 就是这种电路的一种。

通常工作时,纸带在光电二极管 2AU1 上面通过,而光源固定在纸带上方。当纸带上孔时,光电二极管受光照,内阻很小,三极管导通。当纸带上无孔时,光电二极管内阻很大,三极管截止,这样就把纸带上孔、无孔信号变换成电信号。如果这种电信号再经过整形电路,就能变成前后沿挺直的脉冲信号。

例 3 图 2.1.4(1) 是某塑料丝厂自动控制断丝的电路,图中 E 是 2CR11 光电池,挡板与拉丝连在一起。平时,挡板使光电池不受光,当拉丝断时,挡板落下,光电池受光照,提供晶体管一定的基极电流,使晶体管饱和,继电器 J 动作,机器就停车。

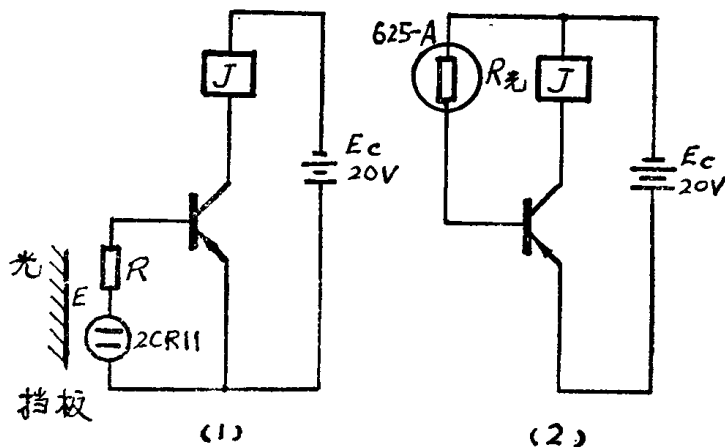


图 2.1.4

图 2.1.4(2) 中 $R_{光}$ 是一只 625-A 型光敏电阻。光照时,电阻很小, $R_{光} \leq 50k$; 光暗时,电阻很大, $R_{暗} \geq 50M$ 。图 2.1.4(2) 的工作原理同图 2.1.4(1), 读者可自行分析。

这两种情况都是利用光电变换,使光电池产生电流或光敏电阻改变阻值,来达到自动控制的目的。这种元件我们称为光电转换元件,而这种线路称为光电继电器。

必须指出,上述晶体管从饱和到截止,或者从截止到饱和,不是立即完成的,而是需要一定的时间,即所谓“开关时间”。这样就使得输出波形在时间上滞后于输入波形,且波形也发生了