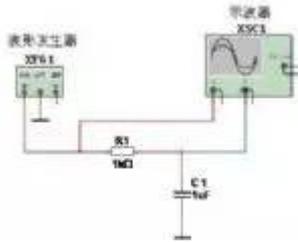
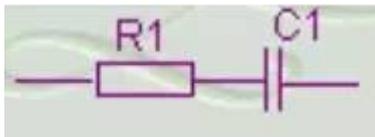


RC 电路是电阻器电容器电路 (RC 电路) 或者 RC 过滤器, RC 网络是电路 a 和电容器驾驶的组成由电阻器电压或当前来源. 一次 RC 电路由一个电阻器和一台电容器组成, 是 RC 电路的简单例子。RC 电路在模拟电路、脉冲数字电路中得到广泛的应用。



### RC 电路的分类

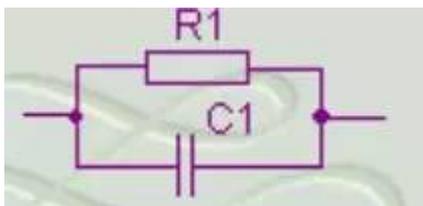
#### (1) RC 串联电路



电路的特点: 由于有电容存在不能流过直流电流, 电阻和电容都对电流存在阻碍作用, 其总阻抗由电阻和容抗确定, 总阻抗随频率变化而变化。RC 串联有一个转折频率:  $f_0 = 1/2 \pi R_1 C_1$

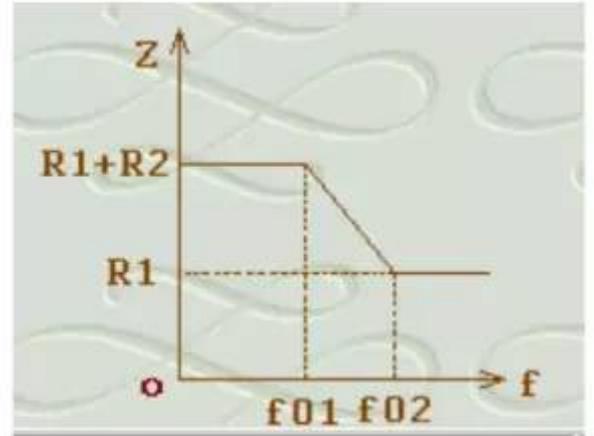
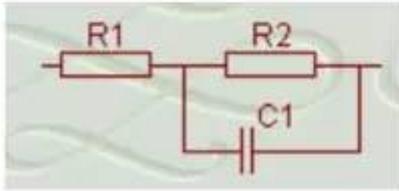
当输入信号频率大于  $f_0$  时, 整个 RC 串联电路总的阻抗基本不变了, 其大小等于  $R_1$ 。

#### (2) RC 并联电路



RC 并联电路既可通过直流又可通过交流信号。它和 RC 串联电路有着同样的转折频率:  $f_0 = 1/2 \pi R_1 C_1$ 。当输入信号频率小于  $f_0$  时, 信号相对电路为直流, 电路的总阻抗等于  $R_1$ ; 当输入信号频率大于  $f_0$  时  $C_1$  的容抗相对很小, 总阻抗为电阻阻值并上电容容抗。当频率高到一定程度后总阻抗为 0。

#### (3) RC 串并联电路



RC 串并联电路存在两个转折频率  $f_{01}$  和  $f_{02}$ :

$$f_{01} = \frac{1}{2\pi R_2 C_1}, \quad f_{02} = \frac{1}{2\pi C_1} \left[ \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

当信号频率低于  $f_{01}$  时,  $C_1$  相当于开路, 该电路总阻抗为  $R_1 + R_2$ 。

当信号频率高于  $f_{02}$  时,  $C_1$  相当于短路, 此时电路总阻抗为  $R_1$ 。

当信号频率高于  $f_{01}$  低于  $f_{02}$  时, 该电路总阻抗在  $R_1 + R_2$  到  $R_1$  之间变化。

积分电路的作用是: 消减变化量, 突出不变量。RC 电路的积分条件:

$RC \geq T_k$ ,  $T_k$  是脉冲周期, 积分电路可将矩形脉冲波转换为锯齿波或三角波, 还可将锯齿波转换为抛物波。电路原理很简单, 都是基于电容的冲放电原理, 这里就不详细说了, 这里要提的是电路的时间常数  $R \cdot C$ , 构成积分电路的条件是电路的时间常数必须要大于或等于 10 倍于输入波形的宽度。

微分电路的作用是: 消减不变量, 突出变化量。微分电路可把矩形波转换为尖脉冲波, 电路的输出波形只反映输入波形的突变部微分电路分, 即只有输入波形发生突变的瞬间才有输出。而对恒定部分则没有输出。输出的尖脉冲波形的宽度与  $R \cdot C$  有关 (即电路的时间常数),  $R \cdot C$  越小, 尖脉冲波形越尖, 反之则宽。此电路的  $R \cdot C$  必须远远少于输入波形的宽度, 否则就失去了波形变换的作用, 变为一般的 RC 耦合电路了, 一般  $R \cdot C$  少于或等于输入波形宽度的微分电路  $1/10$  就可以了。

在模拟及脉冲数字电路中, 常常用到由电阻  $R$  和电容  $C$  组成的 RC 电路, 在这些电路中, 电阻  $R$  和电容  $C$  的取值不同、输入和输出关系以及处理的波形之间的关系, 产生了 RC 电路的不同应用, 下面分别谈谈微分电路、积分电路、耦合电路、脉冲分压器以及滤波电路。

## 1. RC 微分电路

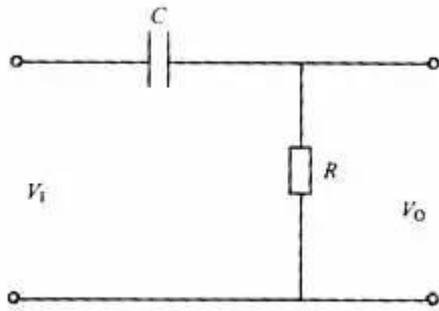


图 1 RC 微分电路

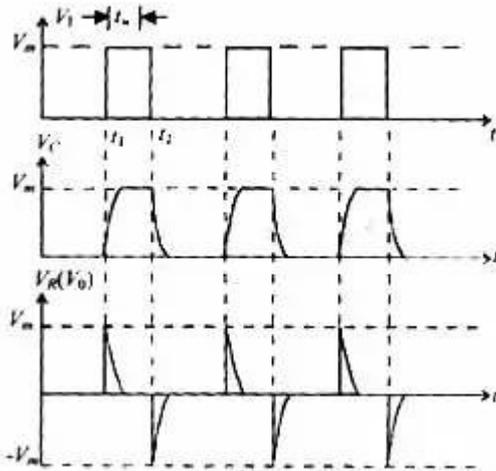


图 2 R 两端的尖脉冲

如图 1 所示，电阻 R 和电容 C 串联后接入输入信号  $V_i$ ，由电阻 R 输出信号  $V_o$ ，当 RC 数值与输入方波宽度  $t_w$  之间满足： $RC \ll t_w$ ，这种电路就称为微分电路。在 R 两端（输出端）得到正、负相间的尖脉冲，而且发生在方波的上升沿和下降沿，如图 2 所示。

在  $t=t_1$  时， $V_i$  由  $0 \rightarrow V_m$ ，因电容上电压不能突变（来不及充电，相当于短路， $V_C=0$ ），输入电压  $V_i$  全降在电阻 R 上，即  $V_o=V_R=V_i=V_m$ 。随后 ( $t \gg t_1$ )，电容 C 的电压按指数规律快速充电上升，输出电压随之按指数规律下降（因  $V_o=V_i-V_C=V_m-V_C$ ），经过大约  $3\tau$  ( $\tau=R \times C$ ) 时， $V_C \approx V_m$ ， $V_o \approx 0$ ， $\tau$  (RC) 的值愈小，此过程愈快，输出正脉冲愈窄。

$t=t_2$  时， $V_i$  由  $V_m \rightarrow 0$ ，相当于输入端被短路，电容原先充有左正右负的电压  $V_m$  开始按指数规律经电阻 R 放电，刚开始，电容 C 来不及放电，他的左端（正电）接地，所以  $V_o=-V_m$ ，之后  $V_o$  随电容的放电也按指数规律减小，同样经过大约  $3\tau$  后，放电完毕，输出一个负脉冲。

只要脉冲宽度  $t_w > (5 \sim 10) \tau$ ，在  $t_w$  时间内，电容 C 已完成充电或放电（约需  $3\tau$ ），输出端就能输出正负尖脉冲，才能成为微分电路，因而电路的充放电时间常数  $\tau$  必须满足： $\tau < (1/5 \sim 1/10) t_w$ ，这是微分电路的必要条件。

由于输出波形  $V_o$  与输入波形  $V_i$  之间恰好符合微分运算的结果  $[V_o=RC (dV_i/dt)]$ ，即输出波形是取输入波形的变化部分。如果将  $V_i$  按傅

里叶级展开，进行微分运算的结果，也将是  $V_0$  的表达式。他主要用于对复杂波形的分离和分频器，如从电视信号的复合同步脉冲分离出行同步脉冲和时钟的倍频应用。

## 2. RC 耦合电路

图 1 中，如果电路时间常数  $\tau$  ( $RC$ )  $\gg t_w$ ，他将变成一个 RC 耦合电路。输出波形与输入波形一样。如图 3 所示。

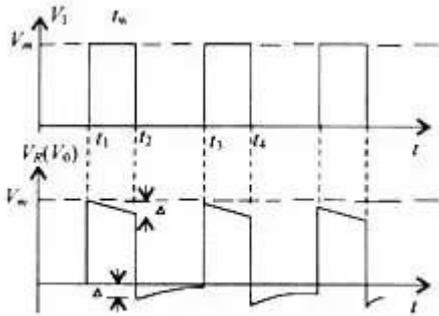


图 3 RC 耦合电路波形

- (1) 在  $t=t_1$  时，第一个方波到来， $V_1$  由  $0 \rightarrow V_m$ ，因电容电压不能突变 ( $V_C=0$ )， $V_0=V_R=V_1=V_m$ 。
- (2)  $t_1 < t < t_2$  时，因  $\tau \gg t_w$ ，电容  $C$  缓慢充电， $V_C$  缓慢上升为左正右负， $V_0=V_R=V_1-V_C$ ， $V_0$  缓慢下降。
- (3)  $t=t_2$  时， $V_0$  由  $V_m \rightarrow 0$ ，相当于输入端被短路，此时， $V_C$  已充有左正右负电压  $\Delta$  [ $\Delta = (V_1/\tau) \times t_w$ ]，经电阻  $R$  非常缓慢地放电。
- (4)  $t=t_3$  时，因电容还来不及放完电，积累了一定电荷，第二个方波到来，电阻上的电压就不是  $V_m$ ，而是  $V_R=V_m-V_C$  ( $V_C \neq 0$ )，这样第二个输出方波比第一个输出方波略微往下平移，第三个输出方波比第二个输出方波又略微往下平移，...，最后，当输出波形的正半周“面积”与负半周“面积”相等时，就达到了稳定状态。也就是电容在一个周期内充得的电荷与放掉的电荷相等时，输出波形就稳定不再平移，电容上的平均电压等于输入信号中电压的直流分量（利用  $C$  的隔直作用），把输入信号往下平移这个直流分量，便得到输出波形，起到传送输入信号的交流成分，因此是一个耦合电路。

以上的微分电路与耦合电路，在电路形式上是一样的，关键是  $t_w$  与  $\tau$  的关系，下面比较一下  $\tau$  与方波周期  $T$  ( $T \gg t_w$ ) 不同的结果，如图 4 所示。在这三种情形中，由于电容  $C$  的隔直作用，输出波形都是一个周期内正、负“面积”相等，即其平均值为 0，不再含有直流成份。

- ① 当  $\tau \gg T$  时，电容  $C$  的充放电非常缓慢，其输出波形近似理想方波，是理想耦合电路。
- ② 当  $\tau = T$  时，电容  $C$  有一定的充放电，其输出波形的平顶部分有一定的下降或

上升，不是理想方波。

③ 当  $\tau \ll T$  时，电容  $C$  在极短时间内 ( $tW$ ) 已充放电完毕，因而输出波形为上下尖脉冲，是微分电路。

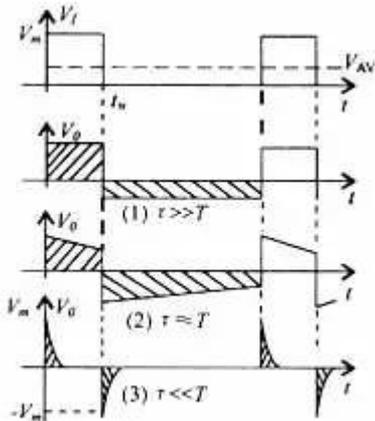


图 4  $\tau$  与  $T$  的比较图

### 3. RC 积分电路

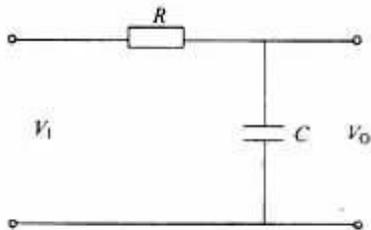


图 5 RC 积分电路

如图 5 所示，电阻  $R$  和电容  $C$  串联接入输入信号  $V_i$ ，由电容  $C$  输出信号  $V_o$ ，当  $RC$  ( $\tau$ ) 数值与输入方波宽度  $tW$  之间满足： $\tau \gg tW$ ，这种电路称为积分电路。在电容  $C$  两端（输出端）得到锯齿波电压，如图 6 所示。

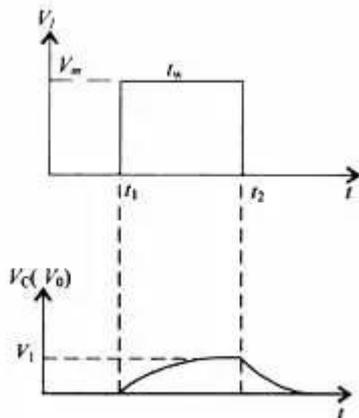


图 6  $C$  两端的锯齿波电压

(1)  $t = t_1$  时,  $V_i$  由  $0 \rightarrow V_m$ , 因电容电压不能突变,  $V_o = V_c = 0$ 。

(2)  $t_1 < t < t_2$  时, 电容开始充电,  $V_c$  按指数规律上升,  $V_i = V_R + V_c$ , 由于  $\tau \gg t_w$ , 电容充电非常缓慢,  $V_c$  上升很小,  $V_c \ll V_R$ , 所以  $V_i = V_R + V_c \triangleq V_R = iR = V_m, i \triangleq V_m/R$ , 因而输出电压  $V_o(V_c) = 1/C \times \int i dt \triangleq 1/C \int V_m/R \times dt = V_m/RC \times t$ 。可见输出信号  $V_o(V_c)$  与输入信号  $V_i(V_m)$  的积分成正比。

(3)  $t = t_2$  时,  $V_i$  由  $V_m \rightarrow 0$ , 相当于输入端被短路, 电容原先充有左正右负电压  $V_i$  ( $V_i \ll V_m$ ) 经  $R$  缓慢放电,  $V_o$  ( $V_c$ ) 按指数规律下降。

这样, 输出信号就是锯齿波, 近似为三角形波,  $\tau \gg t_w$  是本电路必要条件, 因为他是在方波到来期间, 电容只是缓慢充电,  $V_c$  还未上升到  $V_m$  时, 方波就消失, 电容开始放电, 以免电容电压出现一个稳定电压值, 而且  $\tau$  越大, 锯齿波越接近三角波。输出波形是对输入波形积分运算的结果  $(V_o \triangleq 1/C \int V_i/R \times dt)$ , 他是突出输入信号的直流及缓变分量, 降低输入信号的变化量。

#### 4. RC 滤波电路 (无源)

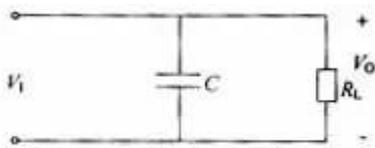


图 7 低通滤波电路

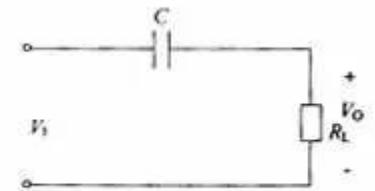


图 8 高通滤波电路

在模拟电路, 由  $RC$  组成的无源滤波电路中, 根据电容的接法及大小主要可分为低通滤波电路 (如图 7) 和高通滤波电路 (如图 8)。

(1) 在图 7 的低通滤波电路中, 他跟积分电路有些相似 (电容  $C$  都是并在输出端), 但他们是应用在不同的电路功能上, 积分电路主要是利用电容  $C$  充电时的积分作用, 在输入方波情形下, 来产生周期性的锯齿波 (三角波), 因此电容  $C$  及电阻  $R$  是根据方波的  $t_w$  来选取, 而低通滤波电路, 是将较高频率的信号旁路掉 (因  $X_C = 1/(2\pi fC)$ ,  $f$  较大时,  $X_C$  较小, 相当于短路), 因而电容  $C$  的值是参照低频点的数值来确定, 对于电源的滤波电路, 理论上  $C$  值愈大愈好。

(2) 图 8 的高通滤波电路与微分电路或耦合电路形式相同。在脉冲数字电路中，因 RC 与脉宽  $t_w$  的关系不同而区分为微分电路和耦合电路；在模拟电路，选择恰当的电容 C 值，就可以有选择性地让较高频的信号通过，而阻断直流及低频信号，如高音喇叭串接的电容，就是阻止中低音进入高音喇叭，以免烧坏。另一方面，在多级交流放大电路中，他也是一种耦合电路。

### 5. RC 脉冲分压器

当需要将脉冲信号经电阻分压传到下一级时，由于电路中存在各种形式的电容，如寄生电容，他相当于在负载侧接有一负载电容（如图 9），当输入一脉冲信号时，因电容  $C_L$  的充电，电压不能突变，使输出波形前沿变坏，失真。为此，可在  $R_1$  两端并接一加速电容  $C_1$ ，这样组成一个 RC 脉冲分压器（如图 10）。

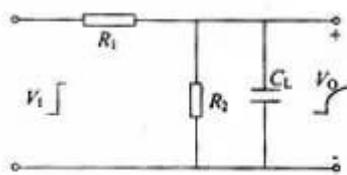


图 9 电路中接有负载电容

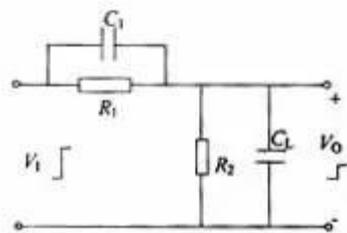


图 10 RC 脉冲分压器

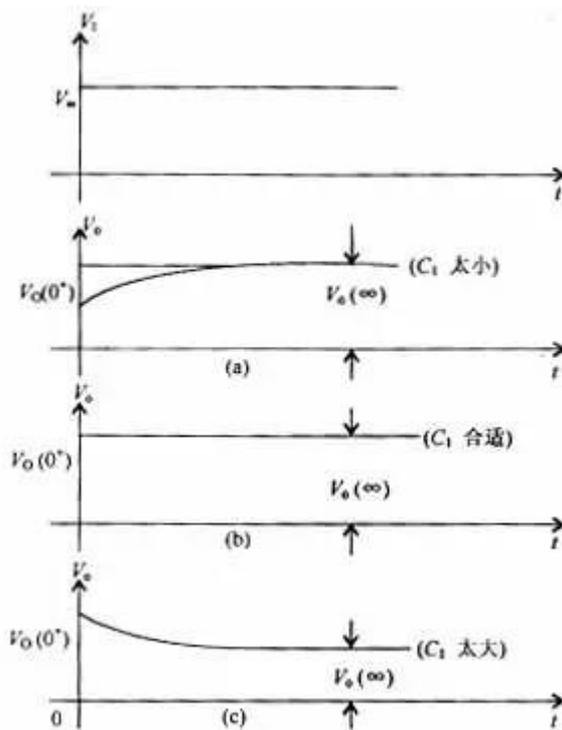


图 11  $C_1$  导出的不同波形

(1)  $t=0+$ 时, 电容视为短路, 电流只流经  $C_1$ ,  $C_L$ ,  $V_0$  由  $C_1$  和  $C_L$  分压得到:

$$V_o(0^+) = V_{C_L}(0^+) = V_m \times C_1 / (C_1 + C_L)$$

(2)  $t = \infty$  时, 电容视为开路, 电流只流经  $R_1, R_2, V_0$

由  $R_1$  和  $R_2$  分压得到:

$$V_o(\infty) = V_{R_2}(\infty) = V_m \times R_2 / (R_1 + R_2)$$

$V_o(0^+) = V_o(\infty)$  时, 输出波形就是输入波形经分压后不失真传输 (如图 11 (b)), 即:

$$V_m \times [C_1 / (C_1 + C_L)] = V_m \times [R_2 / (R_1 + R_2)]$$

$$C_1 = C_L \times R_2 / R_1$$

$C_1 < C_L \times R_2 / R_1, V_o(0^+) < V_o(\infty)$  时, 出现欠补偿;

$C_1 > C_L \times R_2 / R_1, V_o(0^+) > V_o(\infty)$  时, 出现过补偿。

但是, 任何信号源都有一定的内阻, 以及一些电路的需要, 通常采取过补偿的办法, 如电视信号中, 为突出传送图像的轮廓, 采用勾边电路, 就是通过加大  $C_1$  的取值。

求 RC 电路的放电时间为 1 分钟, 电压从 9V 降到 5V. 放电电流为 300mA 左右, 选择最佳的  $R$  值和  $C$  值。

RC 电路的放电方程是:  $UC=US \cdot e^{-t/RC}$ , 其中,  $US=9$ ,  $UC=5$ ,  $t=60$ , 代入公式可求出时间常数  $RC$  的值, 现在关键的就是要确定  $R$  和  $C$  的值了, 它只能通过你所要求的放电电路来选择了, 由放电电流公式:  $I=C \cdot dU/dt$ , 再将此公式代入上面的公式中可得:  $I=-US \cdot C/RCe^{-t/RC}$ , 将  $C$  看成一个未知参数, 然后作出  $I-t$  曲线, 计算出该曲线与直线  $I=300$  所围成的面积, 这个积分上下限为  $t=0-60$ , 去使面积最小的  $C$  值就可。

**【分享】**如果您觉得本文有用, 请点击右上角“...”扩散到朋友圈!

关注电子工程专辑请搜微信号: “eet-china” 或点击本文标题下方“电子工程专辑”字样, 进入官方微信“关注”。