

RC 电路的应用

RC 电路在模拟电路、脉冲数字电路中得到广泛的应用，由于电路的形式以及信号源和 R，C 元件参数的不同，因而组成了 RC 电路的各种应用形式：微分电路、积分电路、耦合电路、滤波电路及脉冲分压器。

关键词：RC 电路。微分、积分电路。耦合电路。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

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： $R_c \ll t_w$ ，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。

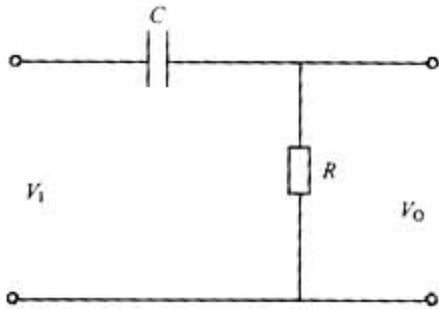


图1 RC 微分电路

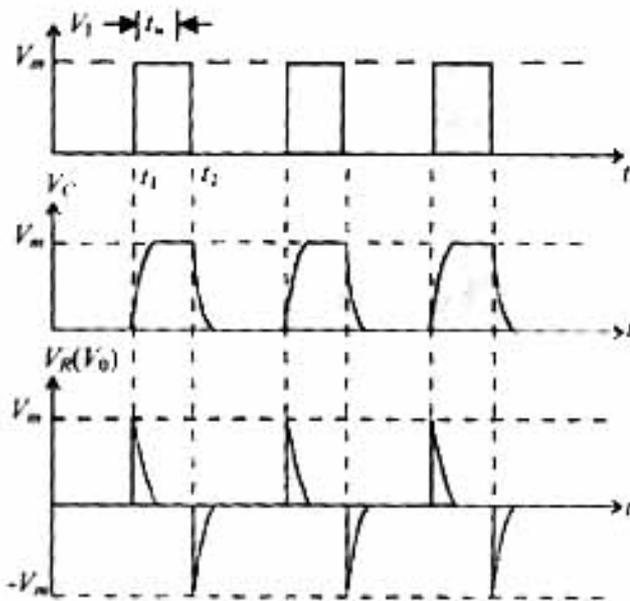


图2 R 两端的尖脉冲

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 ($t>t_1$), 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 3τ ($\tau=R \times C$) 时, $V_c \approx V_m$, $V_o \approx 0$, τ (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, 它的左端 (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 3τ 后，放电完毕，输出一个负脉冲。

只要脉冲宽度 $t_w > (5-10)\tau$ ，在 t_w 时间内，电容 C 已完成充电或放电（约需 3τ ），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 τ 必须满足： $\tau < (1/5-1/10)t_w$ ，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_o 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。

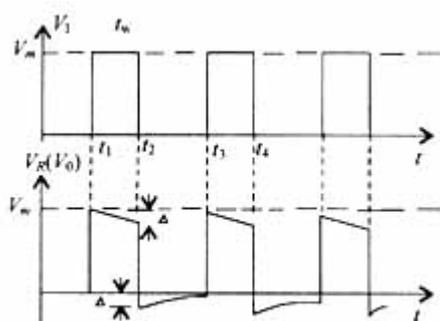


图 3 RC 耦合电路波形

(1) 在 $t=t_1$ 时，第一个方波到来， V_i 由 $0 \rightarrow V_m$ ，因电容电压不能突变 ($VC=0$)， $V_o=V_R=V_i=V_m$ 。

(2) $t_1 < t < t_2$ 时，因 $\tau \gg t_w$ ，电容 C 缓慢充电， VC 缓慢上升为左

正右负, $V_o = V_R = V_i - V_c$, V_o 缓慢下降。

(3) $t = t_2$ 时, V_o 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 Δ [$\Delta = (V_i / \tau) \times t_w$], 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 τ 的关系, 下面比较一下 τ 与方波周期 T ($T > t_w$) 不同时的结果, 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 (t_w) 已充放电完毕, 因而输出波形为上下尖脉冲, 是微分电路。

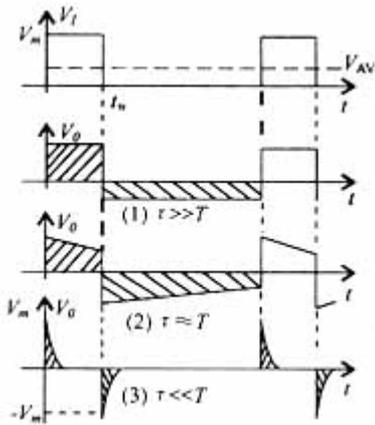


图 4 τ 与 T 的比较图

3. 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 (τ) 数值与输入方波宽度 t_w 之间满足： $\tau \gg t_w$ ，这种电路称为积分电路。在

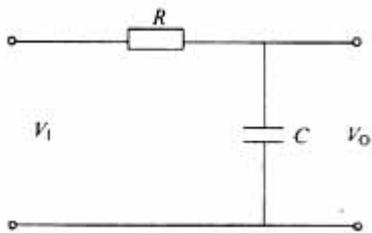


图 5 RC 积分电路

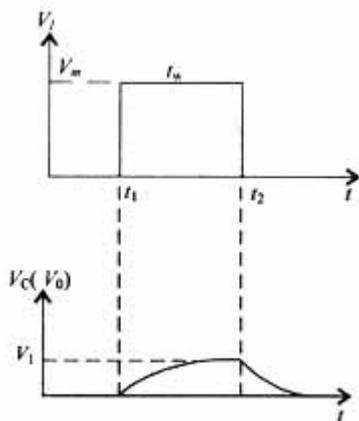


图 6 C 两端的锯齿波电压

电容 C 两端（输出端）得到锯齿波电压，如图 6 所示。

(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 ($V_i < V_m$) 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 τ 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)

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)。

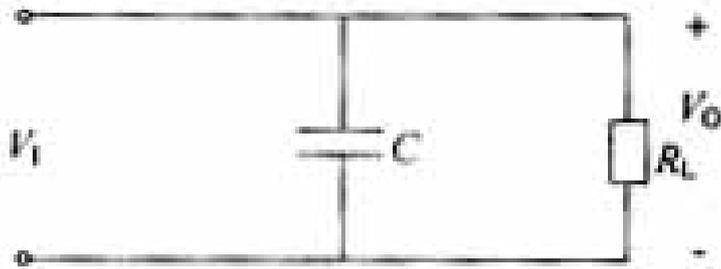


图 7 低通滤波电路

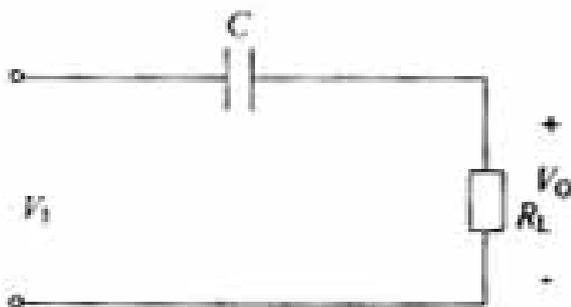


图 8 高通滤波电路

(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 tW 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 tW 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）。

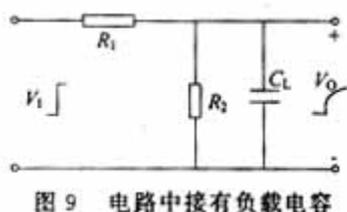


图 9 电路中接有负载电容

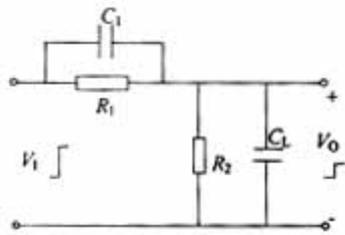


图 10 RC 脉冲分压器

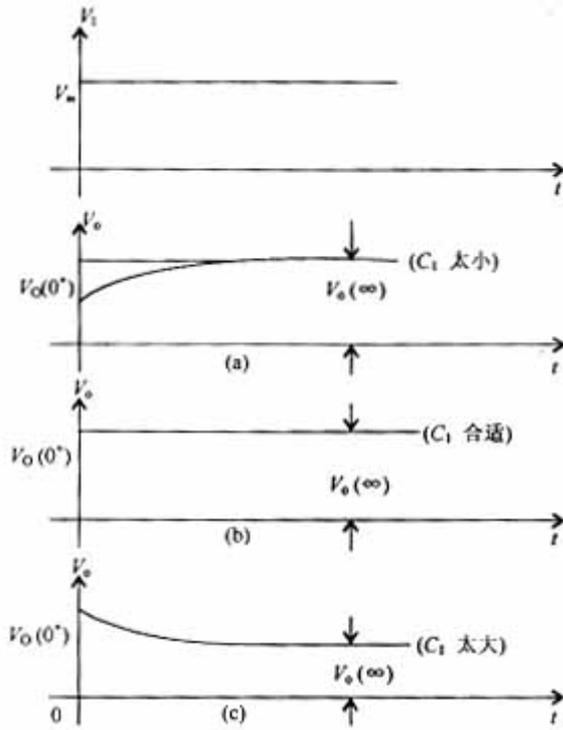


图 11 C_1 导出的不同波形

(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：

$$V_o(0^+) = V_{c_1}(0^+) = V_{in} \times C_1 / (C_1 + C_L)$$

(2) $t = \infty$ 时, 电容视为开路, 电流只流经 R_1, R_2, V_o 由 R_1 和 R_2 分压得到:

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

$V_o(0^+) = V_o(\infty)$ 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:

$$V_{in} \times [C_1 / (C_1 + C_L)] = V_{in} \times [R_2 / (R_1 + R_2)]$$

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

$C_1 < C_L \times R_2 / R_1, V_o(0^+) < V_o(\infty)$ 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。