

9、RC 電路實驗

實驗目的

瞭解電容器的充、放電情形及其時間常數。

實驗儀器

RC 迴路實驗裝置：內裝電容組、電阻組及完整配線，直流電源供應器，三用電表×2，碼錶，連接線

實驗原理

一、電容

電容器在電路中是用來儲存電能、濾波或諧振等多種用途，其在電路中皆以充電或放電的方式來完成。

一導體的電容大小被定義為導體上的淨電荷 Q ，與相對應電位 V 間的比例常數，並與導體的大小、形狀及材料有關。

$$C = Q / V \quad (1)$$

電容的單位是法拉(F)，當電量變化一庫倫，而電位變化一伏特時，則稱該電容器有 1 法拉的電容。實用上因法拉太大，以微法拉 ($1 \mu F = 10^{-6} F$)，或微微法拉 ($1 pF = 10^{-12} F$) 表示。

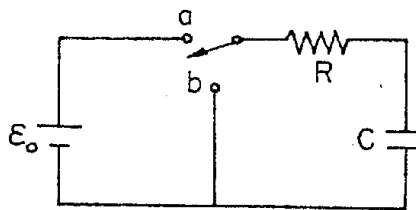


圖 1

二、電容充電情形

考慮一個電阻 R ，一個電容 C 與一直流電源串聯而成的迴路，當開關 S 投擲在 a 點，此時電容器逐漸堆積電荷而產生與電源極相反的電壓 V_c ，依照克西荷夫的電壓定律，充電後任一瞬間的迴路電壓為

$$\epsilon - V_c = IR \quad (2)$$

由電流定義 $I = dQ/dt$ 及電容定義 $V_c = Q/C$ ，帶入(2)得

$$\varepsilon - (Q/C) = R (dQ/dt)$$

整理後得電量 Q 的一次微分方程式

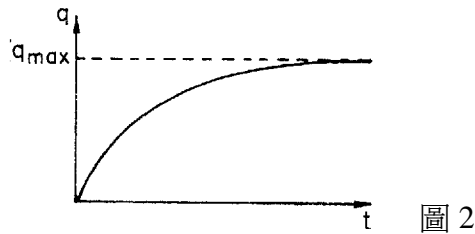
$$R(dQ/dt) + Q/C = \varepsilon \quad (3)$$

上式之微分方程式之解為:

$$Q = C \varepsilon (1 - e^{-t/RC}) \quad (4)$$

$$I = dQ/dt = (\varepsilon/R) e^{-t/RC} \quad (5)$$

(4)式假設電鍵接上 a 點的剎那為 $t = 0$ ，這時電容上的電荷為零，電容器電極板上的電量對時間的關係如圖 2 所示，這是典型的電容充電現象。當 $t \rightarrow \infty$ ，也就是電鍵接於 a 點相當久之後，電容上的電荷會趨近於飽和值 $q_{\max} = C \varepsilon$ 。



若 V_c 、 V_R 為電容及電阻器兩端之電位差，則

$$V_c = Q/C = \varepsilon (1 - e^{-t/RC}) \quad (6)$$

$$V_R = \varepsilon e^{-t/RC} \quad (7)$$

當 $t=0$ 時， $Q=0$ ， $I=\varepsilon/R$ ， $V_c=0$ ， $V_R=\varepsilon$

當 $t \rightarrow \infty$ 時， $Q=C\varepsilon$ ， $I=0$ ， $V_c=\varepsilon$ ， $V_R=0$

當 $t=RC$ 時， $Q=0.63 C \varepsilon$ ， $I=0.37 \varepsilon/R$ ，此時電容器的電荷為飽和值的 63%，電流則降為最大值的 37%，而 RC 的因次與時間相同，特稱為 RC 電路的時間常數 (time constant)。

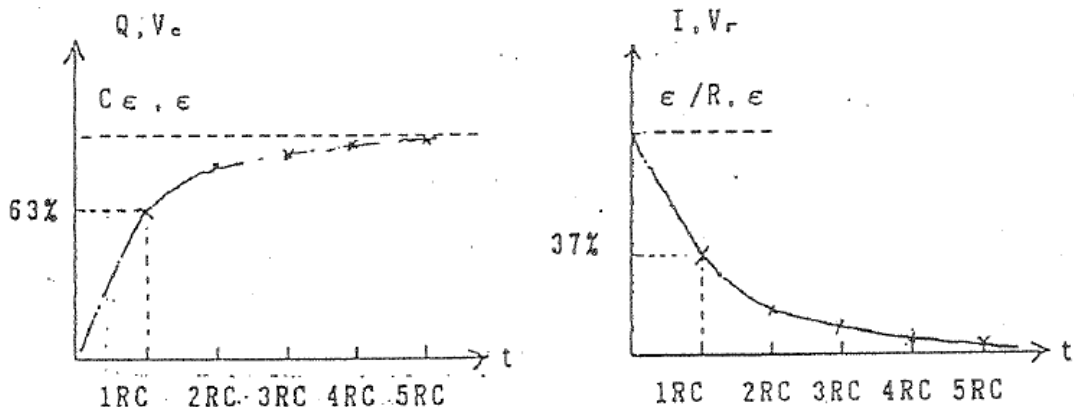


圖 3 電容器充電情形

當電容器充電時間為無限長後，則電容器上的電荷值等於 $C\varepsilon$ ，稱為飽和值，電容器兩端的電壓與電源電壓相等 $V_c = \varepsilon$ ，迴路電流為 0，電容器有如斷路，然而當充電時間 $t = 5RC$ 時，則電容器上的電荷接近飽和值。

三、電容放電情形

當電容時間充電很久 ($t > 5RC$) 以後，當開關 S 投擲在 b 點，此時電路上沒有電源的電動勢 ($\varepsilon = 0$)，則迴路方程式為

$$\begin{aligned} IR + V_c &= 0 \\ \rightarrow R(dQ/dt) + Q/C &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

上式之微分方程式之解為：

$$Q = Q_0 e^{-t/RC} = C\varepsilon e^{-t/RC} \quad (9)$$

$$I = dQ/dt = -(\varepsilon/R) e^{-t/RC} \quad (10)$$

負號代表電流方向與圖 1 相反。若 V_c 、 V_R 為電容及電阻器兩端之電位差，則

$$V_c = Q/C = \varepsilon e^{-t/RC} \quad (11)$$

$$V_R = -\varepsilon e^{-t/RC} \quad (12)$$

當 $t=0$ 時， $Q = C\varepsilon$ ， $I = -\varepsilon/R$ ， $V_c = \varepsilon$ ， $V_r = -\varepsilon$

當 $t=\infty$ 時， $Q = 0$ ， $I = 0$ ， $V_c = 0$ ， $V_r = 0$

當 $t=RC$ 時， $Q = 0.37C\varepsilon$ ， $I = -0.37(\varepsilon/R)$ ，此時電容器的電荷為飽和值的 37%，電流則降為最大值的 -37%，如圖 4 所示。

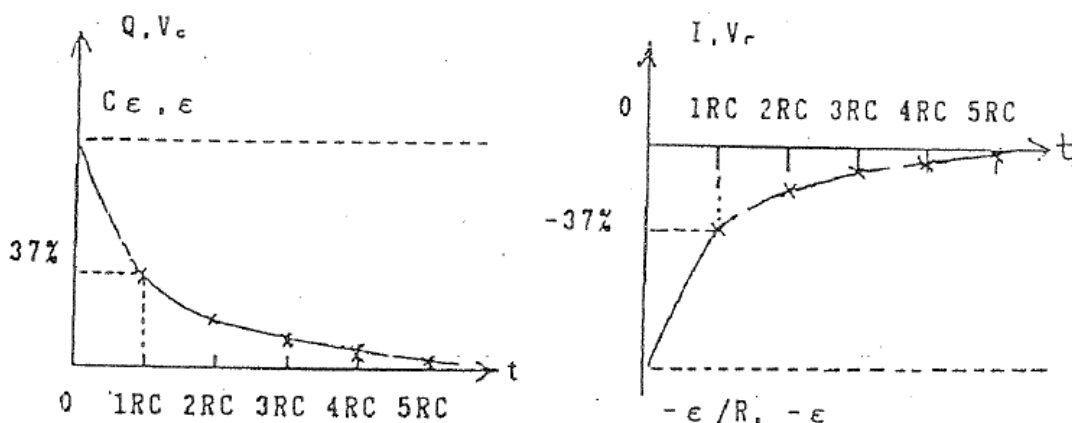
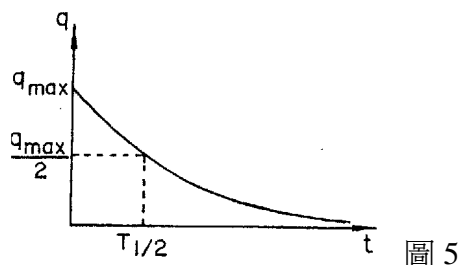


圖 4 電容器放電情形

當時間 $t = RC$ 時，電荷降為原來的 $1/e$ ，一般稱此 RC 乘積為這個線路的鬆弛時間 (relaxation time) 或時間常數。這個時間常數也等於(4)式(圖 2)中 q 上升到 q_{max} 的 63.2%

所需之時間。q 從 q_{\max} 降至一半所需時間 $T_{1/2}$ 稱為半衰期 (half-life)，如圖 5 所示。 $T_{1/2}$ 與時間常數 RC 的關係式為

$$T_{1/2} = RC \ln 2 \quad (13)$$



實驗步驟

一、電容充電情形

1. 將電路實驗面板的線路圖及零件仔細觀察，實線表示導線已裝妥，首先，直流電源輸入端(外接直流電源)、二極體(已接妥，防止電源正負極反接)、充放電及開關、電阻(接妥，三選一)及電容(接妥，二選一)，在電阻及電容的兩端均留接線端子，作為其兩端電壓的測試點。
2. 將直流電源供應器的輸出端接至實驗面板上的直流電源輸入端，將三用電表接至電容器兩端(正端接正端，負端接負端)，欲同時測量電流變化情形，另取一台三用電表接至電阻器的兩端。三用電表均使用直流電壓 20V 範圍檔。
3. 選擇待測電容(C)及電阻(R)，並先估計充電至飽和時的時間，再決定每隔多久量一次電壓，一般可以 $0.5RC$ 為一測量時間。例： $C=10\mu F$ ， $R=1M\Omega$ ，則 $0.5RC=5s$ ，即每隔 5 秒測一次電壓。
4. 打開電源供應器電源開關，調整輸出電壓約 5~10 伏特，在檢查電容是否留有電荷(將充放電開關放至放電位置，看電容器兩端的電壓是否為 0)，此時碼錶準備計時，將充放電開關放至充電位置，計時開始，每隔預估測量時間，記錄電容器及電阻器兩端電壓一次，一直記錄到飽和充電時間，接著是放電。

二、電容放電情形

5. 接著步驟 4，將計時器重新歸零，將充放電開關放至放電位置，計時開始，每隔預估測量時間，記錄電容器及電阻器兩端電壓一次，一直記錄到電壓接近 0。

三、以時間為橫座標，電容器兩端的電壓為縱座標，分別畫出電容充、放電的曲線圖，

由曲線圖找出電容時間常數 RC ，在與理論值比較。

四、改變電容器及電阻器的組合，重覆上述實驗。

問題討論

- 當電容器充電時間為一時間常數後 ($t = RC$)，則電容器上的電荷 (電壓) 為最大值的多少？當電容器放電時間為五倍時間常數後 ($t = 5RC$)，則電容器上的電荷 (電壓) 為最初值的多少？
- 電容器放電實驗時，為何電壓衰減速率通常較理論值快？

實驗記錄

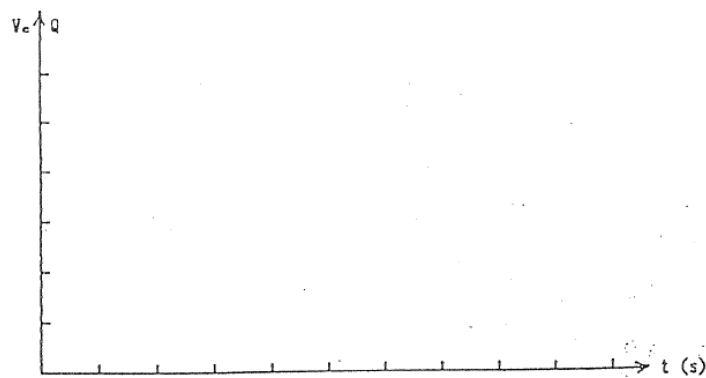
- (1) $R = 1\text{ M}\Omega$ 、 $C = 10\text{ }\mu\text{F}$ 、最大電壓 $V_c(V_r) = \varepsilon = \underline{\hspace{2cm}}$ 、理論值 $RC = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

電容器

時間(s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
充電(Vc)											
放電(Vc)											

電阻器

時間(s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
充電(Vr)											
放電(Vr)											



時間常數實驗值 =

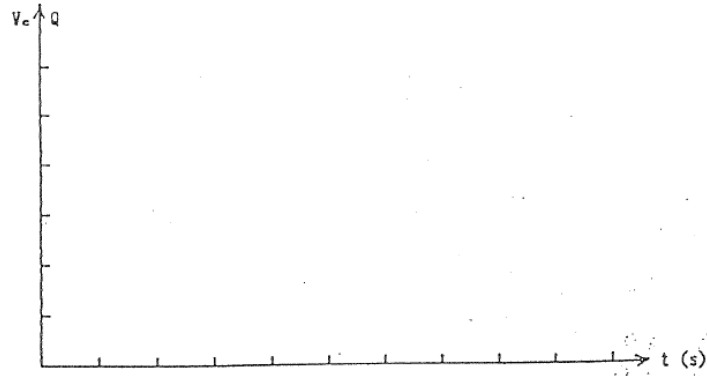
- (2) $R = 2\text{ M}\Omega$ 、 $C = 10\text{ }\mu\text{F}$ 、最大電壓 $V_c(V_r) = \varepsilon = \underline{\hspace{2cm}}$ 、理論值 $RC = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

電容器

時間(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
充電(Vc)											
放電(Vc)											

電阻器

時間(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
充電(Vr)											
放電(Vr)											



時間常數實驗值=_____

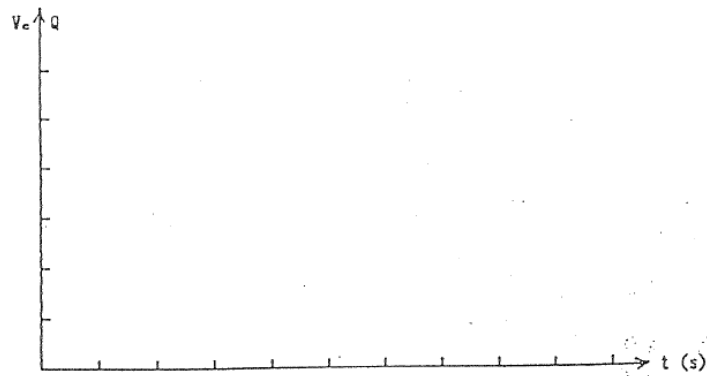
(3) $R = 10 \text{ M}\Omega$ 、 $C = 10 \mu\text{F}$ 、最大電壓 $V_c(V_r) = \varepsilon =$ _____、理論值 $RC =$ _____。

電容器

時間(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
充電(Vc)											
放電(Vc)											
時間(s)	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420
充電(Vc)											
放電(Vc)											

電阻器

時間(s)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
充電(Vr)											
放電(Vr)											
時間(s)	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420
充電(Vr)											
放電(Vr)											



時間常數實驗值=_____

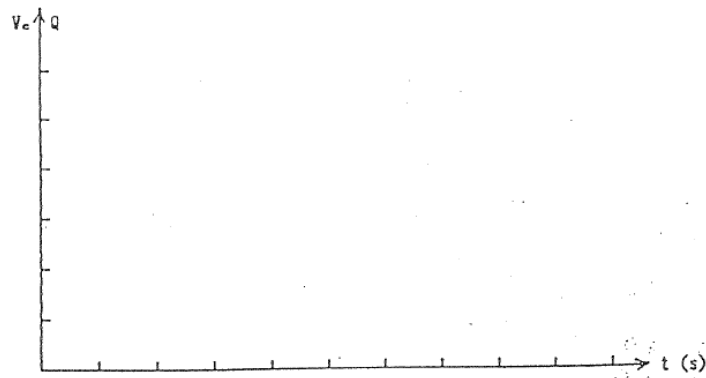
(4) $R = 1 \text{ M}\Omega$ 、 $C = 20 \mu\text{F}$ 、最大電壓 $V_c(V_r) = \varepsilon = \underline{\hspace{2cm}}$ 、理論值 $RC = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

電容器

時間(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
充電(Vc)											
放電(Vc)											

電阻器

時間(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
充電(Vr)											
放電(Vr)											



時間常數實驗值 =

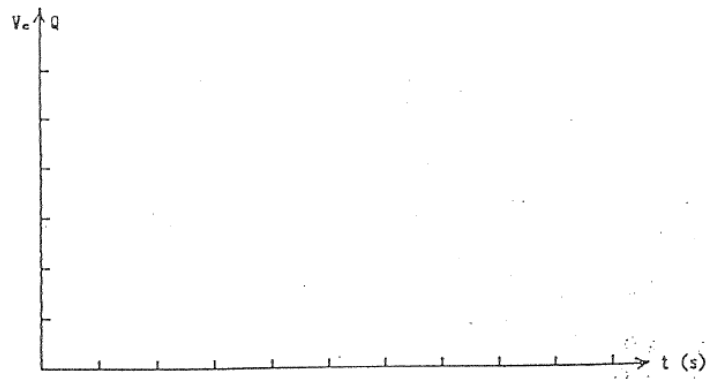
(5) $R = 2 \text{ M}\Omega$ 、 $C = 20 \mu\text{F}$ 、最大電壓 $V_c(V_r) = \varepsilon = \underline{\hspace{2cm}}$ 、理論值 $RC = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

電容器

時間(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
充電(Vc)											
放電(Vc)											
時間(s)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
充電(Vc)											
放電(Vc)											

電阻器

時間(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
充電(Vr)											
放電(Vr)											
時間(s)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
充電(Vr)											
放電(Vr)											



時間常數實驗值=_____

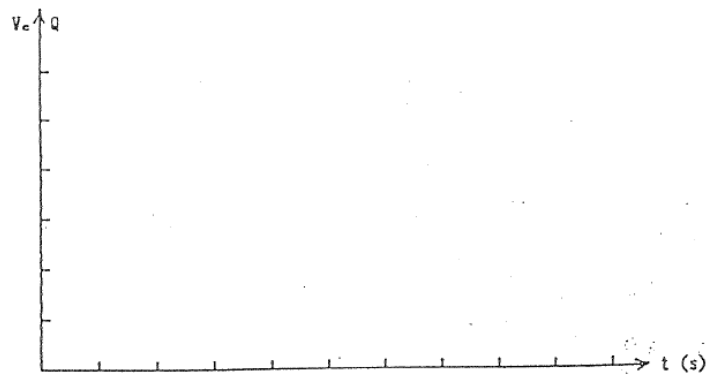
(6) $R = 10 \text{ M}\Omega$ 、 $C = 20 \mu\text{F}$ 、最大電壓 $V_c(V_r) = \varepsilon =$ _____、理論值 $RC =$ _____。

電容器

時間(s)	0	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400
充電(Vc)											
放電(Vc)											
時間(s)	440	480	520	560	600	640	680	720	760	800	840
充電(Vc)											
放電(Vc)											

電阻器

時間(s)	0	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400
充電(Vr)											
放電(Vr)											
時間(s)	440	480	520	560	600	640	680	720	760	800	840
充電(Vr)											
放電(Vr)											



時間常數實驗值=_____