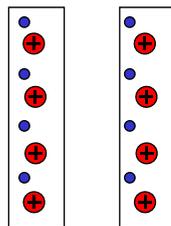


第四章

- 電荷對及平行板電容器的電場及電力線
- 介質常數 ϵ
- 電容器的種類
- 電荷與電容量的關係
- 電容器的串聯和並聯
- 充電電容器儲存的能量
- 電容器的通常應用
- 電容器的充-放電

電容器的結構

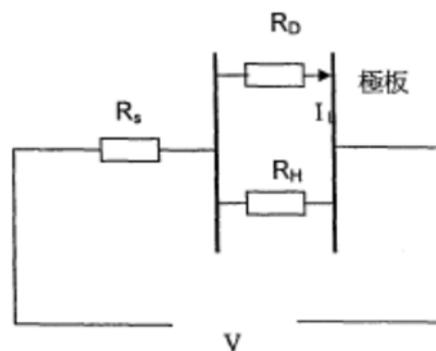
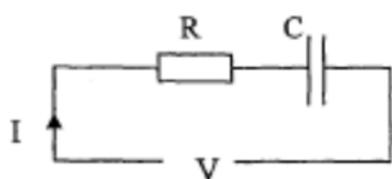
- 兩金屬片中間被絕緣物體分隔，便組成了電容器。
- 分隔電容器金屬片的絕緣物質，稱為介質。



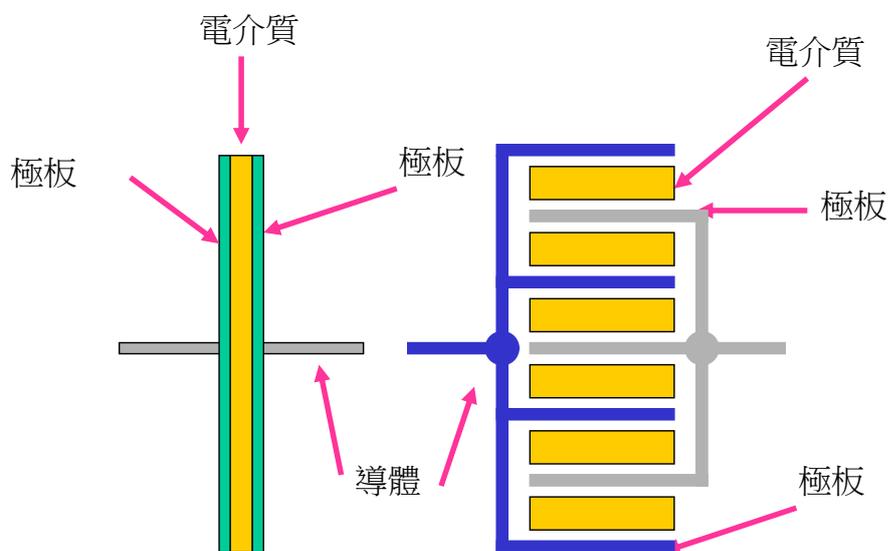
電容器的結構

- 等效串聯電阻 $(R) = R_S + R_D + R_H$
 - R_S = 串聯電阻 = 連接電線的電阻值 + 極板電阻值
 - R_D = 介質電阻
 - R_H = 環滯損耗等效電阻

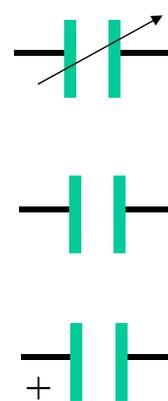
- 等效電路圖



電容器的結構



a. 結構



b. 符號

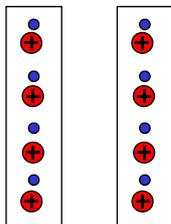
電容器的額定值

- 電容值
 - 表示電容器的儲電能力
- 電壓值
 - 表示電容器的工作電壓，當外加電壓超越工作電壓時，電容器會被擊穿

電容器失效

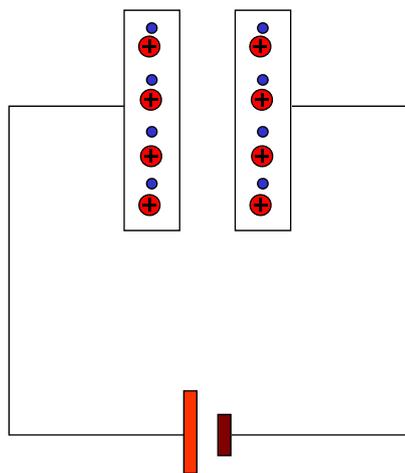
- 漏電電流
 - 若有足夠的能量加於介質上，介質會變成導電。此種能量可以是外加的電位差或直接加熱。大多數介質的絕緣電阻會隨溫度上升而急促下降，因而產生漏電電流。漏電電流通過介質時便會進一步產生熱，若散熱速度比生熱慢時便會造成熱崩。此時介質便會燒毀而做成介質失效。
 - 所以電容器使用的介質一定要低損耗和高激穿電壓值。

電容器的性能



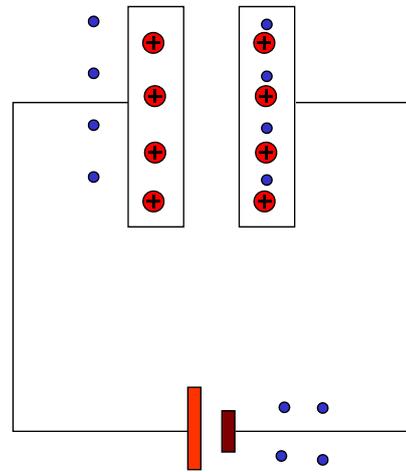
兩塊金屬片中間被絕緣物體分隔

電容器的性能



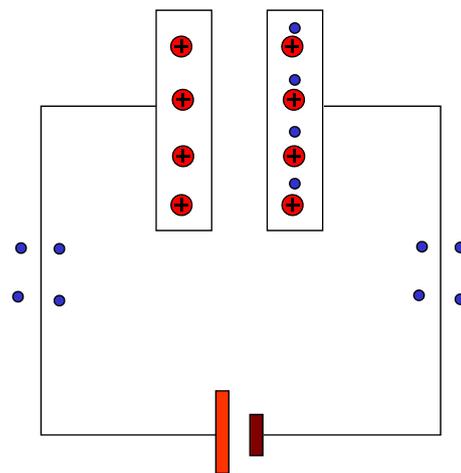
當在它們間接入直流電時

電容器的性能



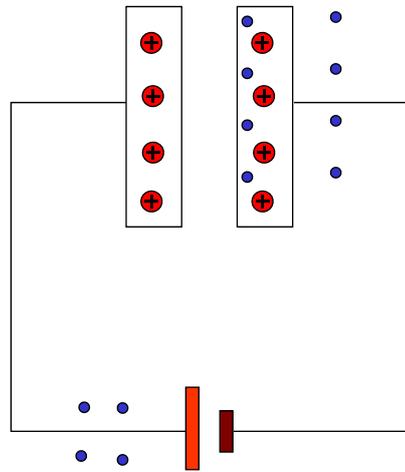
接駁至電源正極的金屬片，其電子會被吸引，電子離開金屬片移向電源的正極，使這一金屬片帶有正電量

電容器的性能



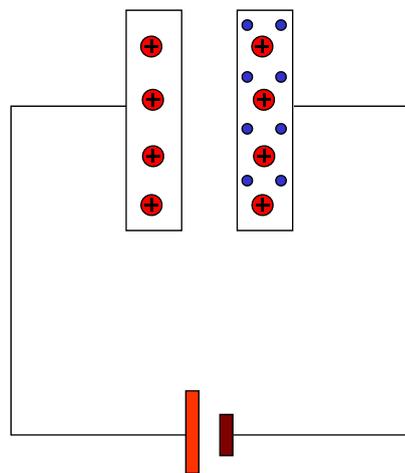
接駁至電源正極的金屬片，其電子會被吸引，電子離開金屬片移向電源的正極，使這一金屬片帶有正電量

電容器的性能



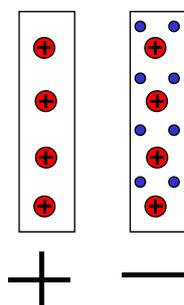
接駁至電源負極的金屬片，會接收來自電源的電子，使金屬片帶有負電量

電容器的性能



接駁至電源負極的金屬片，會接收來自電源的電子，使金屬片帶有負電量

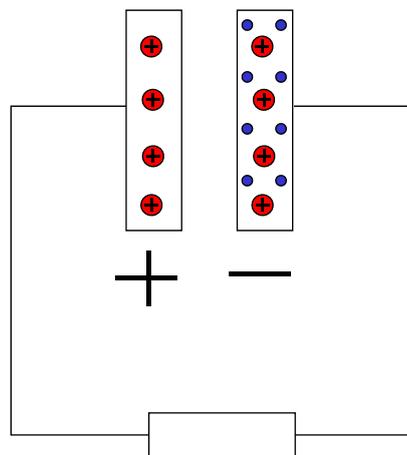
電容器的性能



電容器有儲電的能力。一經充電後，便會儲藏電量。

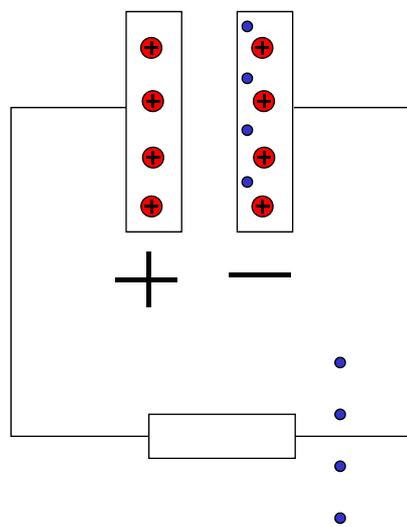
因一塊金屬片帶正電，另一塊帶負電，這兩塊金屬片間有了電壓，這一過程叫做充電

電容器的性能



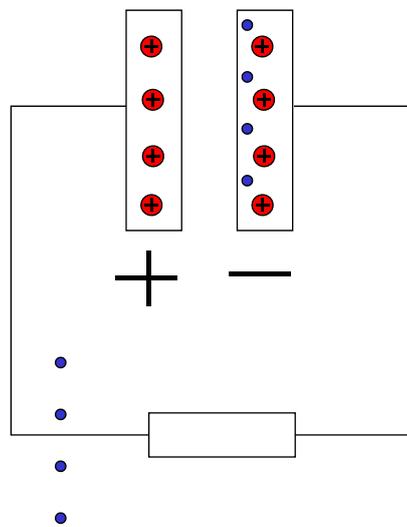
當有導電體連接至曾經充電的金屬片時

電容器的性能



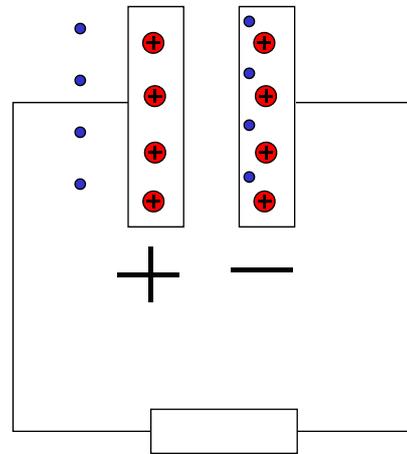
電子便會由負金屬片經導體移向正金屬片

電容器的性能



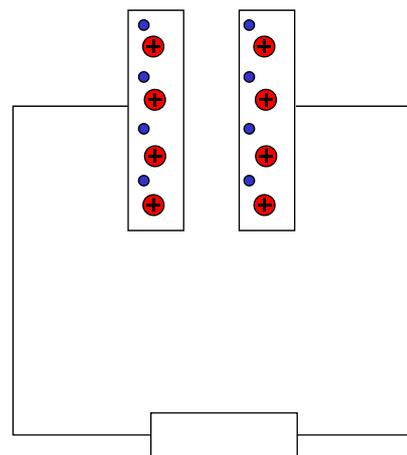
金屬片放電，它們的電量會互相中和

電容器的性能



金屬片放電，它們的電量會互相中和

電容器的性能



金屬片放電完畢時，存在著它們間的電壓也會消失，電壓下降至零

電容器的種類

可變容量電容器

- 是一種可以在一定範圍內隨意調校其電容量的電容器。
- 空氣電容器 (air capacitor)
- 可分為下列兩種：
 - 可變電容器 (variable capacitor)
 - 預校電容器 (preset capacitor)

電容器的種類

可變電容器

- 它包含兩組金屬極片：其中一組固定不動稱為定片，另一組與轉軸相連並隨轉軸旋轉稱為動片。
- 可分為空氣和聚苯乙烯兩種可變電容器
- 空氣電容器
 - 在高頻工作時損耗較小，但體積較大
 - 多用於接收機的調諧電路
 - 電容量一般只有幾有皮法拉

電容器的種類

預校電容器

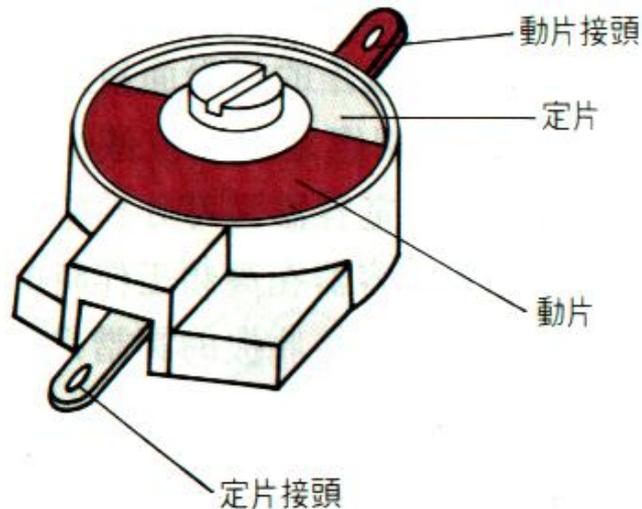
- 又稱為微調電容器或半可變電容器。
- 結構上與可變電容器沒有大差別，它是由兩組或兩片金屬極片組成以 PVC 作為電介質。
- 它的電容量改變是通過螺絲或轉軸來調節它極片間面積大小或距離。



可變電容器電容

電容器的種類

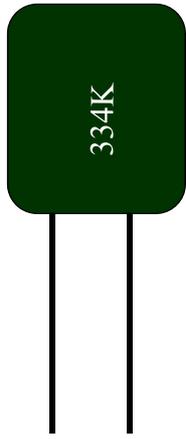
其他例子：半可變電容器



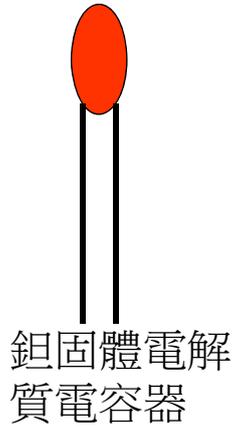
電容器的種類

固定電容器

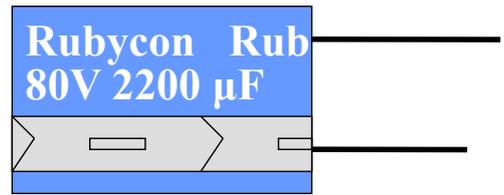
- 紙質電容器 (paper capacitor)
- 油質電容器 (oil capacitor)
- 雲母電容器 (mica capacitor)
- 陶瓷電容器 (ceramic capacitor)
- 塑料薄膜電容器 (polyethylene film capacitor)
- 鋁電解質電容器 (aluminium electrolytic capacitor)
- 鈹 (固體) 電解質電容器 (tantalum capacitor)



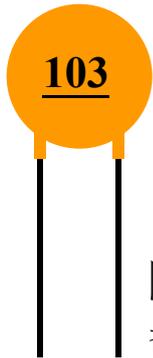
塑料薄膜
電容器



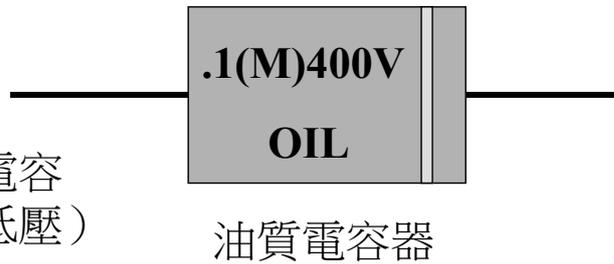
鉭固體電解
質電容器



鋁電解質
電容器



陶瓷電容
器 (低壓)

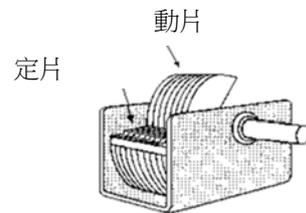


油質電容器



陶瓷電容
器 (高壓)

電容器的種類

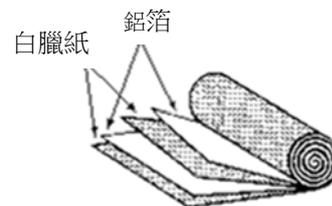


根據極間絕緣材料 (即介質，Dielectric) 的性質，電容器主要分為以下種類：

1. 空氣電容器 (Air capacitors) - 可變電容器

這種電容器一般有兩組金屬片，以空氣分隔金屬片，一組做成固定的，另一組做成可動的。當轉動軸心時，動片和定片相對的面積改變，從而改變電容的數值。電容亦可在較大範圍內可以調節，主要用在收音機的調諧電路裏。

電容器的種類



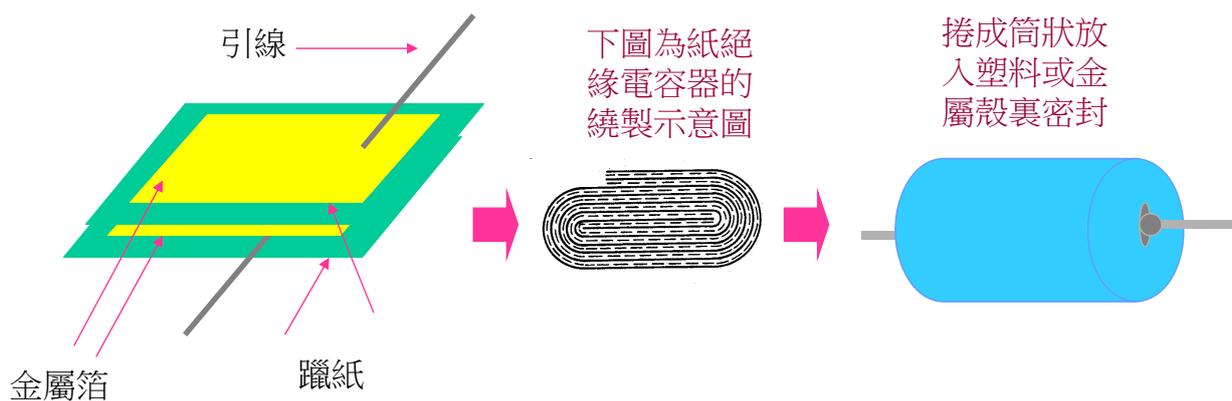
2. 紙質電容器 (Paper capacitors)

是固定電容器，鋁箔或錫箔作為電極，極間夾著很薄的石蠟紙帶或油紙帶緊緊捲繞而成。容量大約為 0.005~50 微法拉，額定工作電壓可達 600 伏特。與其他同容值的電容器比較，紙電容器的價格較平而體形較大。

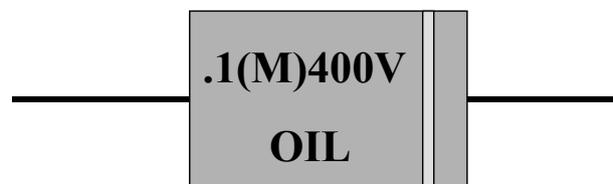
電容器的種類

2. 紙質電容器 (Paper capacitors)

其結構及外形如下圖所示



電容器的種類

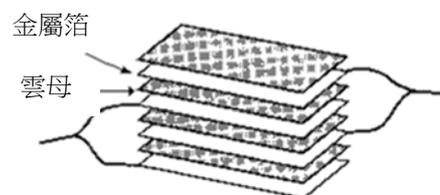


3. 油質電容器 (Oil capacitors)

在紙質電容器中灌入絕緣油，便可製成油質電容器，外形有如紙質電容器，但體形較大，電容值較高，且工作電壓也較高，外殼上通常會印有“OIL”的標記。適用於交流電路作為改善功率因數之用。



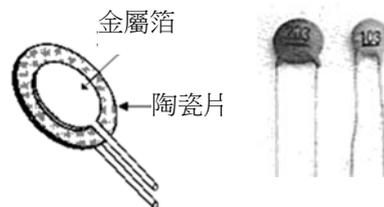
電容器的種類



4. 雲母電容器 (Mica capacitors)

這種電容器一般用錫箔作電極，極間介質用雲母片，有的雲母片兩面還噴塗一層銀質薄膜。基於雲母質薄和脆，雲母電容器是由金屬箔和雲母片分隔相疊，再以膠殼保護，外形通常是長方形。這種電容器的電容量穩定，但一般在 0.01 微法拉以下，特點是耐高溫 and 耐高壓。由於價格較貴，主要用在高頻電路，那裏要求介質損失要小。

電容器的種類



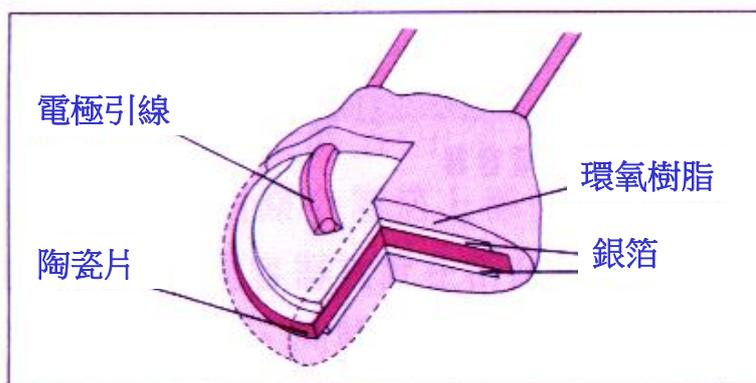
5. 陶瓷電容器 (Ceramic capacitors)

這種電容器一般用兩面噴塗有銀層的陶瓷材料作電極，極間介質用陶器或壓電陶瓷。陶瓷片兩旁注上金屬箔，再以膠殼或陶瓷包裹，它的體積小，外形如一粒扁豆，耐熱性能好和損耗低，穩定性高。陶瓷電容器容量小，電容值由 1pF 至 $1\mu\text{F}$ 間，電壓可高至 1000 V 。一般用在溫度變化範圍很廣的高頻電路中。



電容器的種類

5. 陶瓷電容器 (Ceramic capacitors)



(a) 結構圖



(b) 實物圖

電容器的種類

例題：

寫出右圖陶瓷電容器的電容量。

答案：

$$C = (10a + b) \times 10^c$$

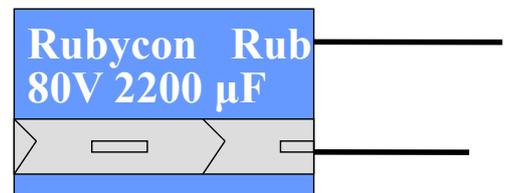
$$C = (10 \times 1 + 0) \times 10^4 \text{ PF}$$

$$C = 10 \times 10^{-8} \text{ F 或}$$

$$C = 100 \times \text{nF}$$



電容器的種類



6. 電解電容器 (Electrolytic capacitors)

用兩條鋁箔帶作電極，一條鋁箔帶上附有氧化物薄膜作正極，另一條鋁箔帶沒有塗層為負極。而極間介質是採用經過適當的電解液 (如硼酸鹽氨溶液) 飽和浸過的絕緣材料 (比如紙等)。捲制而成的元件一般裝在鋁質容器裏密封。

電容器的種類

6. 電解電容器 (Electrolytic capacitors)

氧化物薄膜是讓鋁箔帶條通過該氧化物的電解液槽子而形成的，它也起著介質作用。對於工作電壓為 100 伏特的電容器，氧化物薄膜的厚度僅為 0.15 微米，因此這種電容器可以製成具有很大的電容量，但其體積相對說來比較小。

電容器的種類

6. 電解電容器 (Electrolytic capacitors)

外殼會印有指示負極或正極的箭矢或標記。有極性的分別，正確的接線法是正極接高電位，負極接低電位，若是錯接電位，電介質便遭到破壞，電容器會有爆炸的危險。

電容器的種類

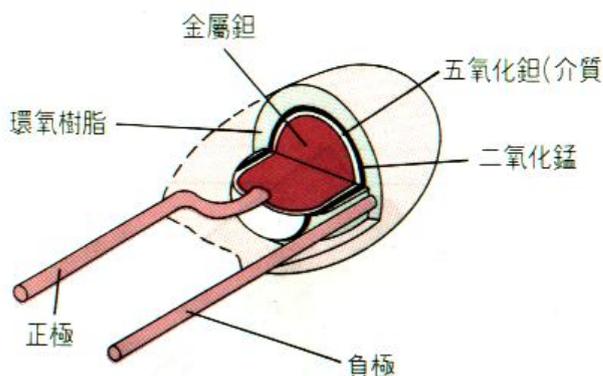
6. 電解電容器 (Electrolytic capacitors)

電解液電容器的主要缺點是：(a) 介質的絕緣電阻比較小，(b) 對施加於電容器兩端的是交變電壓的電路不適用。電解質電容器主要用於需要很大電容量的電路，例如用於平滑電壓波紋的濾波器電路。

電容器的種類

6. 電解電容器 (Electrolytic capacitors)

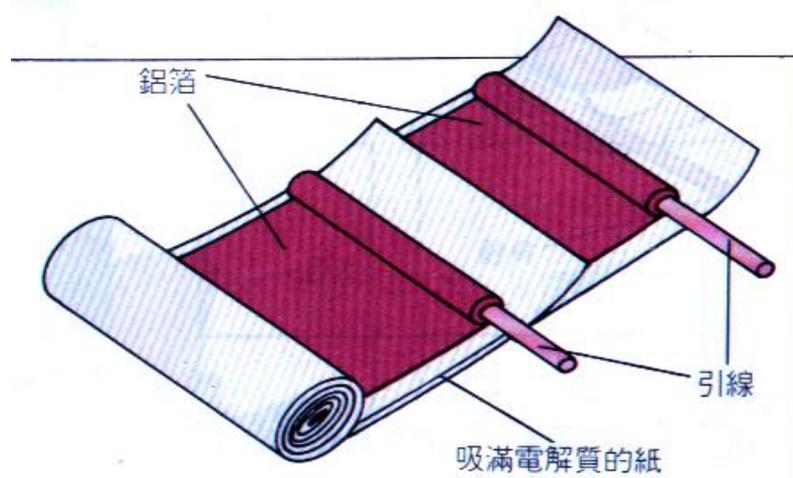
- 鋁電解質電容器



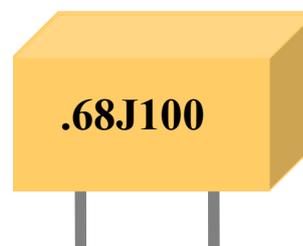
電容器的種類

6. 電解電容器 (Electrolytic capacitors)

- 鋁電解質電容器



電容器的種類



7. 聚碳酸酯電容器 (Polycarbonate capacitors)

聚碳酸酯是一種塑料絕緣材料，其薄膜厚度可小到 2 微米。其電極用的是鋁質塗層，聚碳酸酯的相對介電常數約為 2.8，絕緣電阻高，介質損失小。用於振盪，濾波和時間電路。其功率因數在頻率為 1 千赫芝時大約是 0.001，在頻率為 1 赫芝時大約是 0.005，最大工作溫度約為 125~150 °C。

電場強度 / 電通密度

- 電場強度 Electric field strength (E)
 - 一個單位的正電荷在電場中某點所受電場力的大小，為該點的電場強度。
 - 電容器兩極板間的電壓 (V) 與每兩極板間距離 (d) 的比值。

$$E = V / d$$

- 電通密度 Electric flux density (D)
 - 電容器儲存電荷 (Q) 與每單位面積 (A) 的比值。

$$D = Q / A$$

電容率 / 電常數

- 符號 ϵ
- 引入磁導率 / 磁常數概念，電通密度(D)與電場強度(E)的比值稱為電容率 (Permittivity)

$$\begin{aligned}\epsilon &= D/E = (Q/a) / (V/d) = (Q/V) \times (d/a) \\ &= Cd / a\end{aligned}$$

真空中電容率 / 電常數

- 符號 ϵ_0
- 真空中的電通密度(D_0)與電場強度(E_0)的比值稱為真空中的電容率 (Permittivity of free space)或電常數 (Electric constant)

$$\begin{aligned}\epsilon_0 &= D_0/E_0 = (Q/a) / (V/d) = (Q/V) \times (d/a) \\ &= Cd / a\end{aligned}$$

真空中電容率 / 電常數

例題

一個 $0.05\mu\text{F}$ 電容器接到 400V 的電源。其介質厚度是 0.4mm ，極片的有效面積為 400cm^2 。計算

- 極片的電量 (Q)
- 極間磁場強度 (E)
- 介質中的電通密度 (D)
- 介質的相對電容率 (ϵ_r)
($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$)

真空中電容率 / 電常數

答案

a. 極片的電量 (Q)

$$Q = CV = 0.05 \times 10^{-6} \times 400 = \underline{20 \mu\text{C}}$$

b. 極間磁場強度 (E)

$$E = V/d = 400 / 0.4 \times 10^{-3} = 1 \times 10^6 = \underline{1\text{M (v/m)}}$$

c. 介質中的電通密度 (D)

$$D = Q/A = 20 \times 10^{-6} / 400 \times 10^{-4} = 0.05 \times 10^{-2} \\ = \underline{0.5\text{m (C/m}^2\text{)}}$$

d. 介質的相對電容率 (ϵ_r)

$$\epsilon_r \epsilon_0 = D/E = 0.5 \times 10^{-3} / 1 \times 10^6$$

$$\epsilon_r = (0.5 \times 10^{-3} / 1 \times 10^6) / 8.85 \times 10^{-12} = \underline{56.5}$$

電容量 (Capacitance)

- 電容器的電容量

- 電容器儲存電荷的能力的物理量稱為電容量 (Capacitance)，簡稱電容。

- 電容器所能儲存的電荷量 Q 與兩極板間電壓 V 的比值定義為該電容器的電容量 C。

- 當電容器兩金屬片間有電壓 1 伏 (V)，而能儲有電量 1 庫倫 (C) 時，它的電容是 1 法拉 (F)

$$V = Q / C \dots\dots\dots (C1)$$

電容量 (Capacitance)

例題

某 $2.2\mu\text{F}$ ， 16V 的電容器的工作電壓是 12V ，計算此電容器有的電量。

答案

$$V = Q / C$$

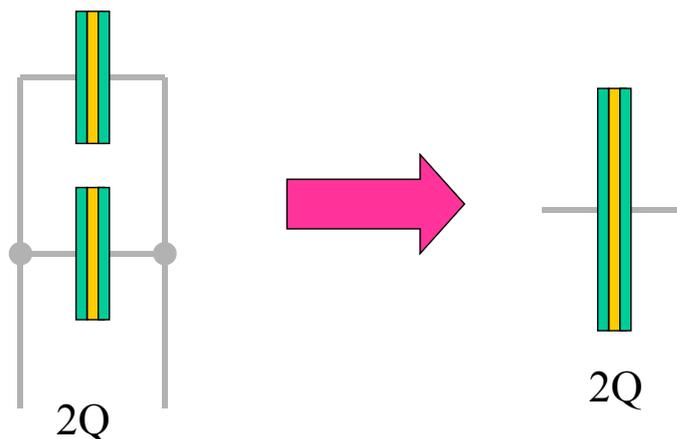
$$Q = CV$$

$$= 2.2 \times 10^{-6} \times 12$$

$$= 26.4\mu\text{C}$$

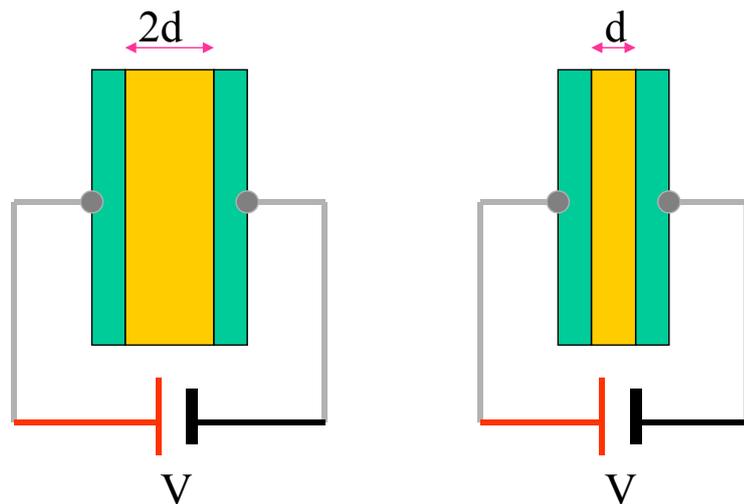
影響電容值的因素

- 極板面積越大，電容器電容量越大
 - 兩隻相同極板面積之電容器，並聯後電容器電容量等於一隻同材料製造但極板面積等於兩隻電容器極板面積。



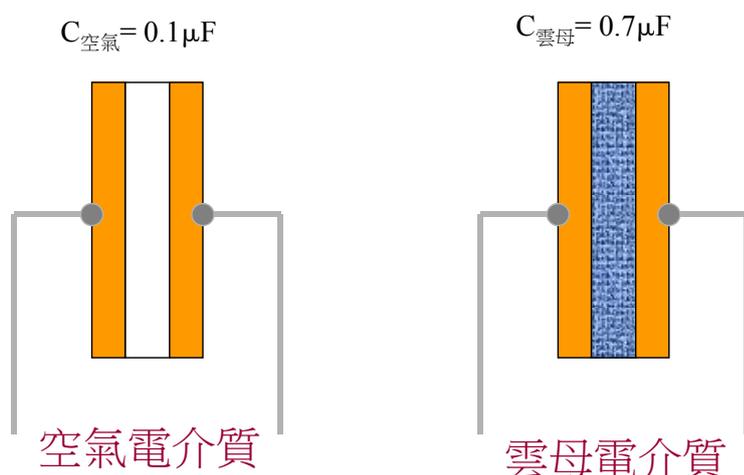
影響電容值的因素

- 極板距離越近，電容器電容量越大
 - 在相同電壓作用下，極板距離越近，電場越強，兩極板吸引更多電荷，更多電子（負電荷）從正極板移至負極板，電容器電容量越大。



影響電容值的因素

- 不同電介質材料，會影響電容器電容量大小
 - 例如以雲母代空氣作為電容器的電介質，電容器電容量便增大了七倍。



影響電容值的因素

- 電介質強度（dielectric strength）
 - 在正常情況下，電介質〔電的絕緣〕是不導電的。若施加電壓過大，電介質的絕緣特性將受到破壞而導電，這種情況稱為電介質的擊穿（breakdown）。
- 電容器的擊穿電壓和工作電壓
 - 電容器的擊穿電壓大小決定於其所用絕緣材料和厚度。因此，電容器在電路中能正常地工作之電壓是擊穿電壓的三分之二，以避免被擊穿。

材料名稱	電介質強度 (V/m)
空氣	3.3×10^6
紙 (乾燥)	10×10^6
雲母	60×10^6
陶瓷	15×10^6
玻璃	30×10^6
聚氯乙烯	50×10^6
聚苯乙稀	100×10^6
絕緣油	12×10^6

影響電容值的因素

總結

- 電容器的電容量 C
 - 大小與極板面積 A、極板間之距離 d 和絕緣材料的相對介電常數 ϵ_r 有關。
- 電容器極板之製造材料和厚薄等對電容量沒有影響。

材料名稱	相對介電常數
空氣	1
紙（乾燥）	2 ~ 2.5
雲母	3 ~ 8
玻璃	3 ~ 8
聚氯乙稀	3 ~ 6
油紙	4.2 ~ 4.6
瓷	5 ~ 7
絕緣油	2 ~ 3
陶瓷特殊材料	6 ~ 10000

電容量 (Capacitance)

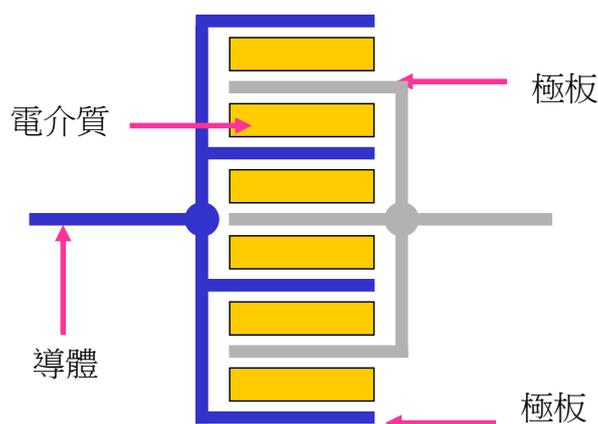
電容器的電容量 由下列公式計算：

$$C = [\epsilon_0 \epsilon_r A] / d \dots\dots\dots (C2)$$

- C - 電容量，單位為法拉 (F)
- ϵ_0 - 介電常數 (Permittivity)，或稱真空介電常數 ($= 8.85 \times 10^{-12}$)，單位為 (F/m)
- ϵ_r - 相對介電常數
- A - 極板面積，單位為米 (m^2)
- d - 極板間之距離，單位為米 (m)

電容量 (Capacitance)

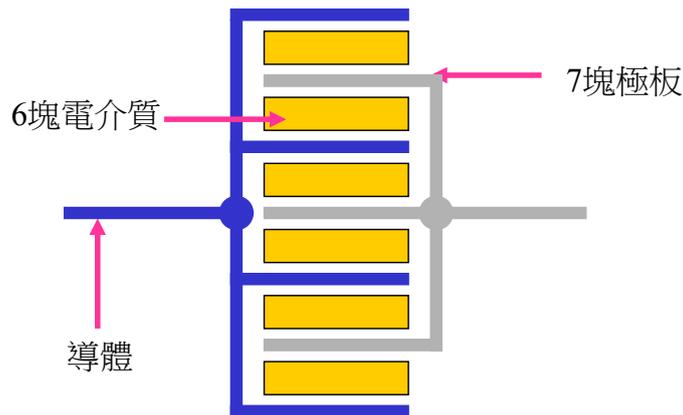
除減少極板間距離和選用相對介電常數較大的絕緣材料外，可用下列多片平行板組成電容器
增大電容器極板面積，從而增大電容器電容量。



電容量 (Capacitance)

電容器的有效面積就是兩片平行板電容器面積的 (**n-1**) 倍，因此它的電容量是：

$$C = [\epsilon_0 \epsilon_r (n-1) A] / d \dots\dots\dots (C3)$$



電容量 (Capacitance)

例題：

某電容器用 7 塊金屬片組成，金屬片間用 0.3 mm 厚片分隔油紙（其相對介電常數是 4.4），而金屬片的面積是 50mm²，計算其電容量是多少 pF。

答案：依公式 (C3)

$$\begin{aligned} C &= [\epsilon_0 \epsilon_r (n-1) A] / d \\ &= [8.85 \times 10^{-12} \times 4.4 \times (7-1) \times 50 \times 10^{-6}] / (0.3 \times 10^{-3}) \\ &= 38940 \times 10^{-15} \\ &= 38.94 \text{ pF} \end{aligned}$$

電容量 (Capacitance)

例題：(03-04 乙部 第2a題)

一個由9塊金屬片組成電容器，用厚度為0.2 mm，相對介質常數 (ϵ_r) 為5之雲母介質分隔。如果每塊金屬片的單面面積是250 mm²。試計算這電容器的電容值 (C)。

充電電容器儲存的能量

假設一個C法拉的電容器，在dt秒內其端電壓由v增至(v+dv)伏特，若充電電流為

$$i = C \times dv/dt \text{ 安培}$$

而電源對電容器提供的功率為

$$vi = v \times C \times dv/dt \text{ 瓦特}$$

在dt秒內電源對電容器提供的功率為

$$v \times C \times dv/dt \times dt = Cv \times dt \text{ 焦耳}$$

充電電容器儲存的能量

因此，當電容器的端電壓由0至v伏特的過程中，
電源對電容器提供的功率為

$$\int_0^v Cv \cdot dv = \frac{1}{2}C \left[v^2 \right]_0^v = \frac{1}{2} CV^2$$

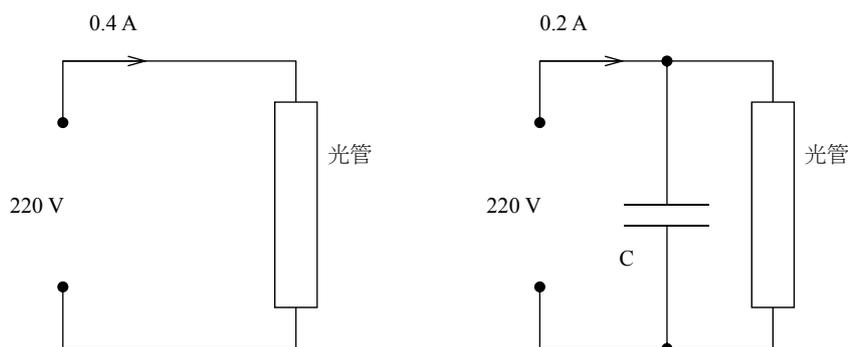
又介質厚度 = d米，面積 = a米²

$$\begin{aligned} \text{每立方米能量} &= \frac{1}{2} \times (CV^2 / ad) \\ &= \frac{1}{2} \times (\epsilon a / d) \times (V^2 / ad) \\ &= \frac{1}{2} \times \epsilon \times (V / d)^2 = \frac{1}{2} \epsilon E^2 \\ &= \frac{1}{2} DE = \frac{1}{2} D^2 / \epsilon \text{焦耳} \end{aligned}$$

電容器的應用

- 交流電路中作改善功率因數

一支40W光管的電流約是0.4A，當加有電容器後，光管的功率消耗不變，但供電電流會下降至約0.2A。



電容器的應用

改善電源功率因數 (Power factor correction)

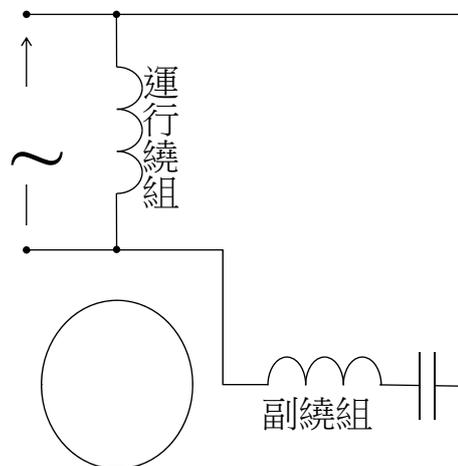
電容用於改善光管電路之功率因數



電容器的應用

- 單相電動機的起動裝置

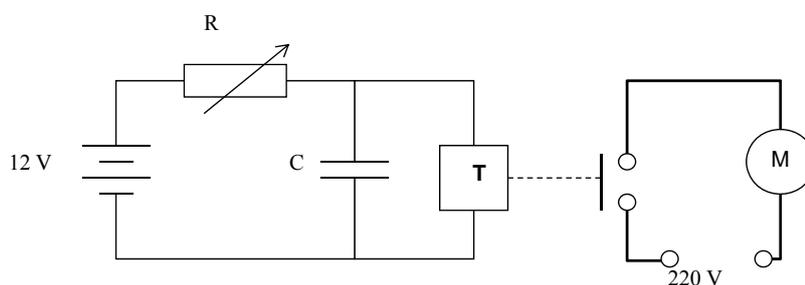
一般電風扇採用電容運行式電動機，電容器與其一的線圈串聯，使兩組線圈的電流有著不同的相位，從而產生旋轉磁場，推動電機運轉。當電容器燒毀時，電動機便不能自動起動。



電容器的應用

- 與電阻器串聯組成時間控制電路

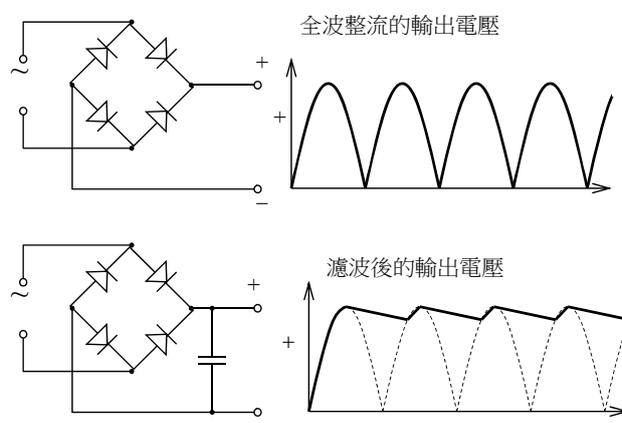
電容器與電阻器串聯，當接上電源時，電容器開始充電，在一定的時間後，電容電壓充至足夠推動繼電器，使繼電器動作，接上電動機的電路。



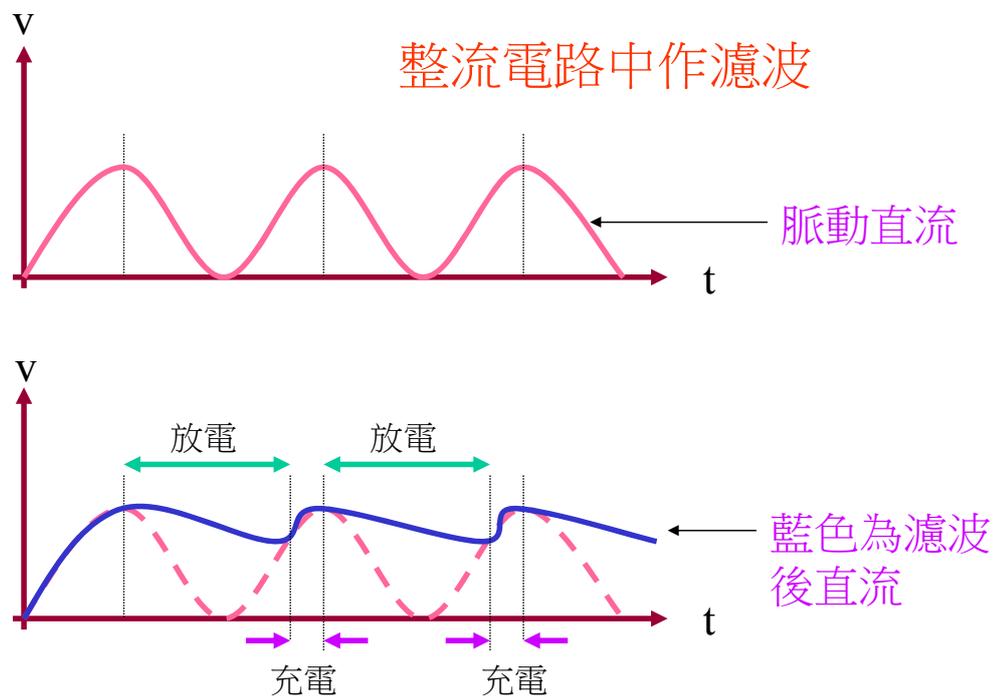
電容器的應用

- 整流電路中作濾波

將交流電整流轉為直流電，經整流後的輸出電壓波幅會很大，若在整流電路輸出端加上一個電容器，可使輸出的直流電壓較為平滑。



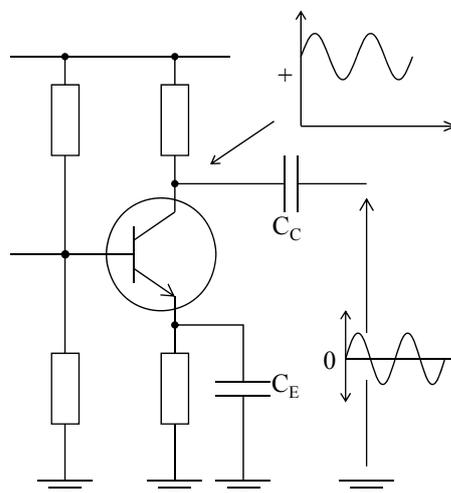
電容器的應用



電容器的應用

- 在電子電路中作隔離直流電和交流電旁路

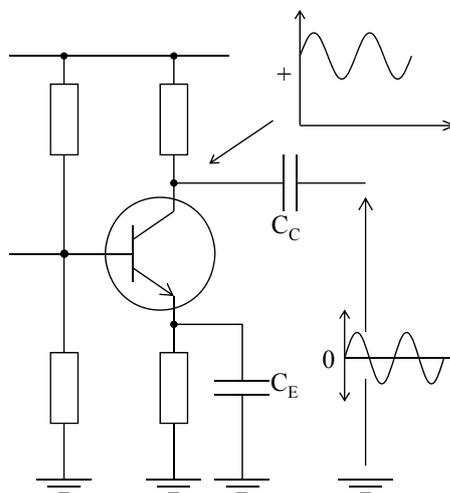
電晶體放大電路的輸出訊號是一個夾帶交流和直流成份的訊號，若在輸出端串聯加有一個耦合電容器 C_C ，可隔去直流電，輸出純交流的訊號。



電容器的應用

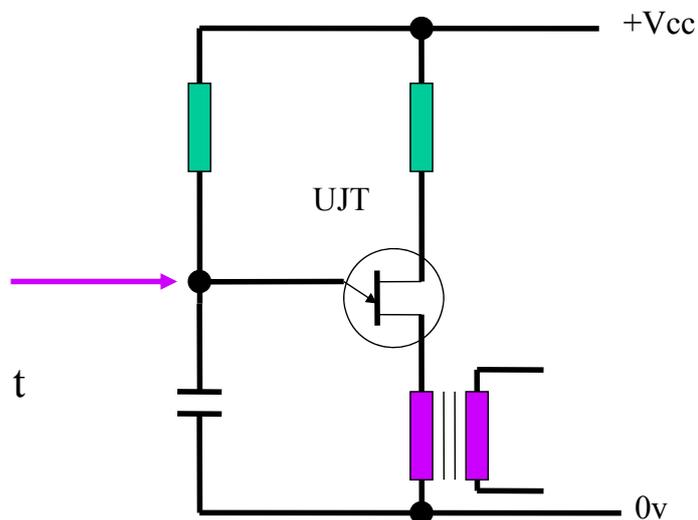
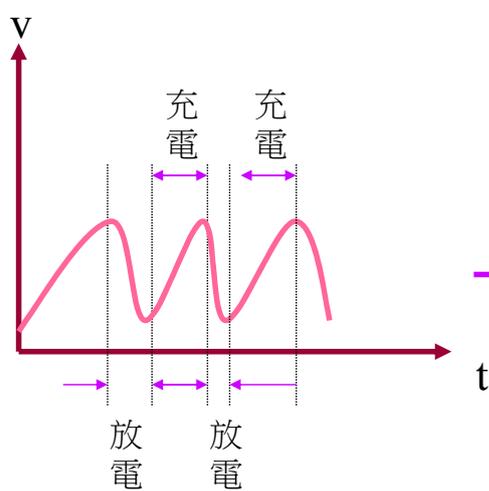
- 在電子電路中作隔離直流電和交流電旁路

在射極電阻 R_E 旁並聯一個電容器 C_E ，可讓直流電流經電阻，交流電流經電容器，穩定放大電路的偏壓。



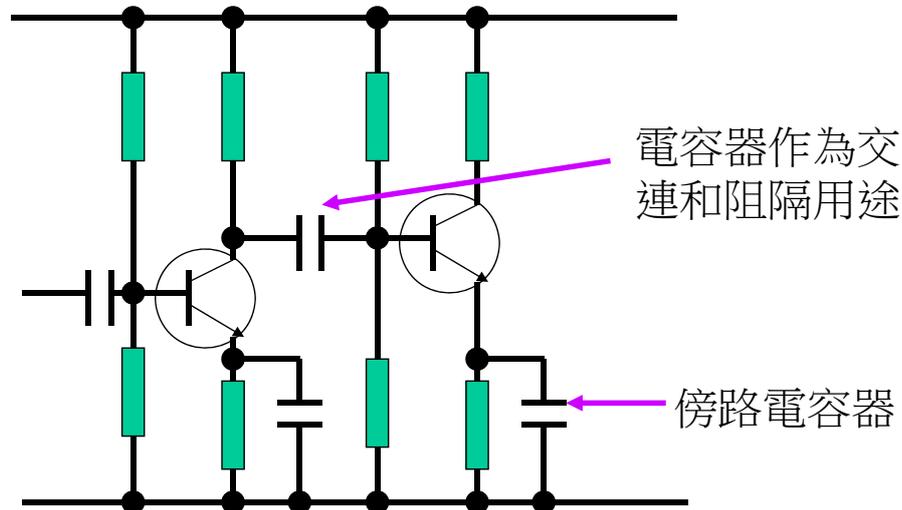
電容器的應用

- 利用電容器作充放電脈冲電路產生器圖解



電容器的應用

- 電子放大器電路圖解



電容器應用

- bypass 電容器 (by-pass capacitor)
 - 多用於電子電路或光管電路內之啓輝器 (starter)，將較高頻之干擾訊號落地。
- 濾波電容器 (filtering capacitor)
 - 多用於電子整流電路，利用電容器充放電特性，將脈動直流電變為較平直的直流電。

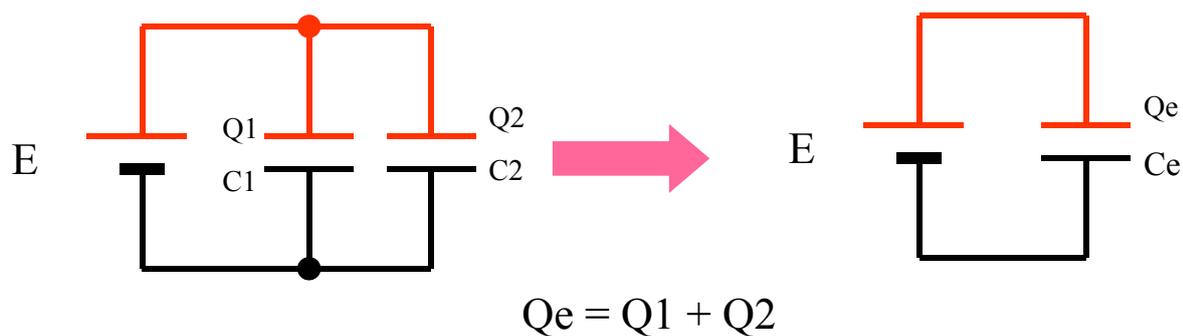
電容器應用

- 單相感應電動機輔助起動電容器
 - 利用電容器增強單相感應電動機起動轉矩。
 - 多用於冷氣機、電冰箱等電動機起動、小型鑽床。
- 改善電源功率因數（Power factor correction）
 - 並接於電源，用以提升由大感抗量例如感應電動機、光管電路等引致過低的滯後功率因數。

電容器的並聯

電容器的並聯（capacitors in parallel）

由下圖可知，當兩個電容器並聯時，等效電容量 C_e 等於 C_1 和 C_2 電容量總和。



電容器的並聯

依電容量定義，

$$\begin{aligned} \text{因 } C_e &= Q_e / E \\ Q_e &= Q_1 + Q_2 \\ C_e &= (Q_1 + Q_2) / E \\ &= Q_1 / E + Q_2 / E \\ \text{因 } &= C_1 + C_2 \dots\dots\dots (C4) \end{aligned}$$

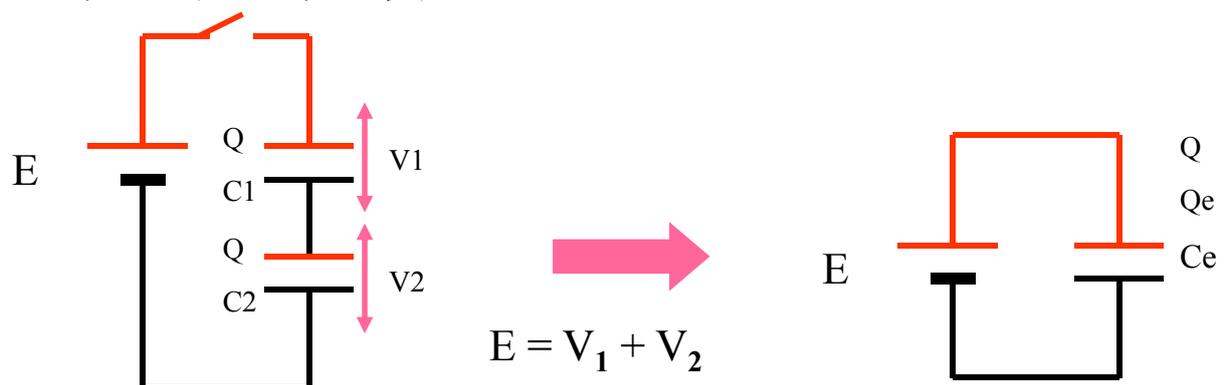
同一方法可證明 n 個電容並聯可得出

$$C_e = C_1 + C_2 \dots + C_n \dots (C5)$$

電容器的串聯

電容器的串聯 (capacitors in series)

由下圖可知，將兩個電容器串聯並接通電源，當充電完後，C1 和 C2 電容量相同，設為 Q，而等效電容量 C_e 亦為 Q，而 C1 和 C2 兩端電壓（分別為 V1 和 V2）總和等於 E。



電容器的串聯

依電容量定義，等效電容量

$$C_e = Q_e / E$$

因 $E = V_1 + V_2$ 代入上式

$$C_e = Q / (V_1 + V_2) \\ = 1 / (V_1 / Q + V_2 / Q)$$

因 $= 1 / (1 / C_1 + 1 / C_2)$

上式或可寫成

$$1 / C_e = 1 / C_1 + 1 / C_2 \dots\dots (C6)$$

同一方法可證明 n 個電容串聯可得出

$$1 / C_e = 1 / C_1 + 1 / C_2 \dots + 1 / C_n \dots\dots\dots (C7)$$

電容器的串聯

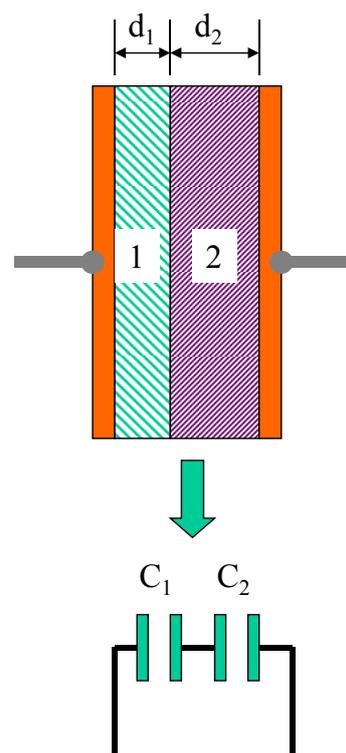
具有兩種不同介質的平行極片電容器，可看成是兩個不同介質電容器的串聯如下圖所示。

$$C_1 = (\epsilon_1 \epsilon_0 A) / d_1$$

$$C_2 = (\epsilon_2 \epsilon_0 A) / d_2$$

串聯之電容量是

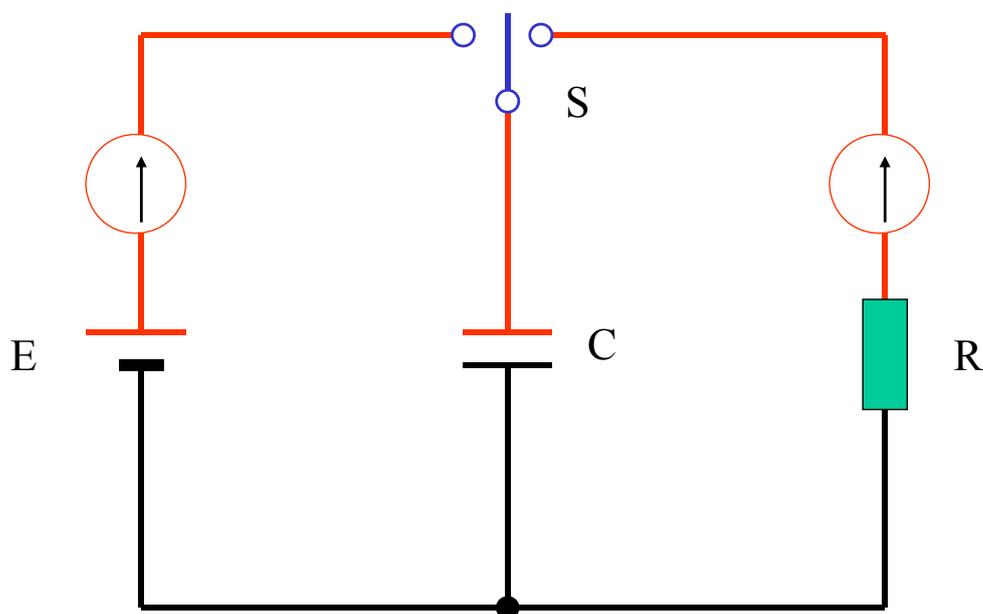
$$C_t = 1 / [1 / C_1 + 1 / C_2] \\ = (C_1 C_2) / [C_1 + C_2]$$



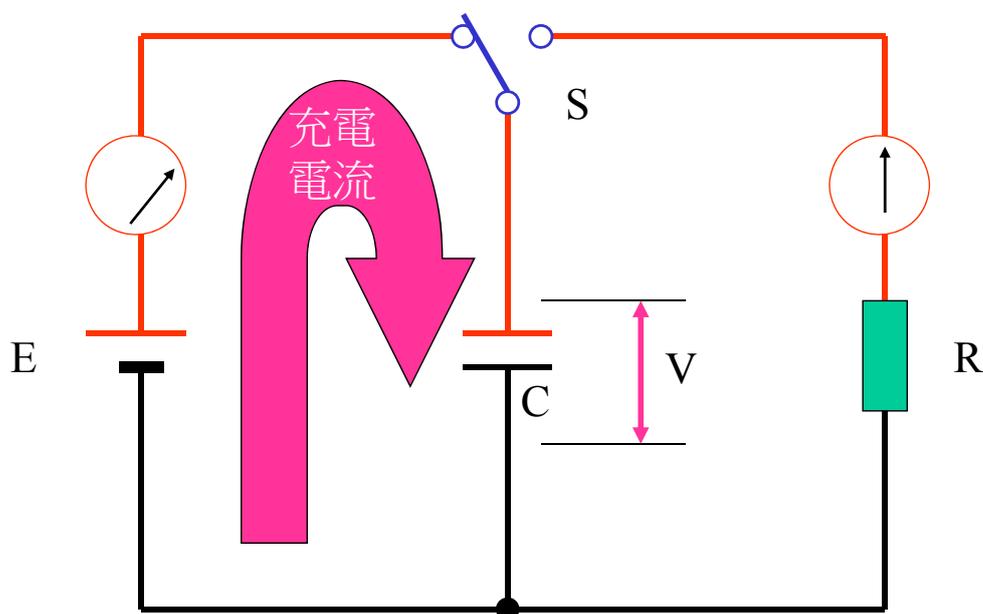
電容器的充電

- 電容器的充電過程好比一個水塘儲水過程，當水塘儲滿水後，多餘的水會溢出，同理當電容器充電完畢，其兩極間之電壓與電源電壓相等但相反，因此再沒有充電電流。

電容器的充電



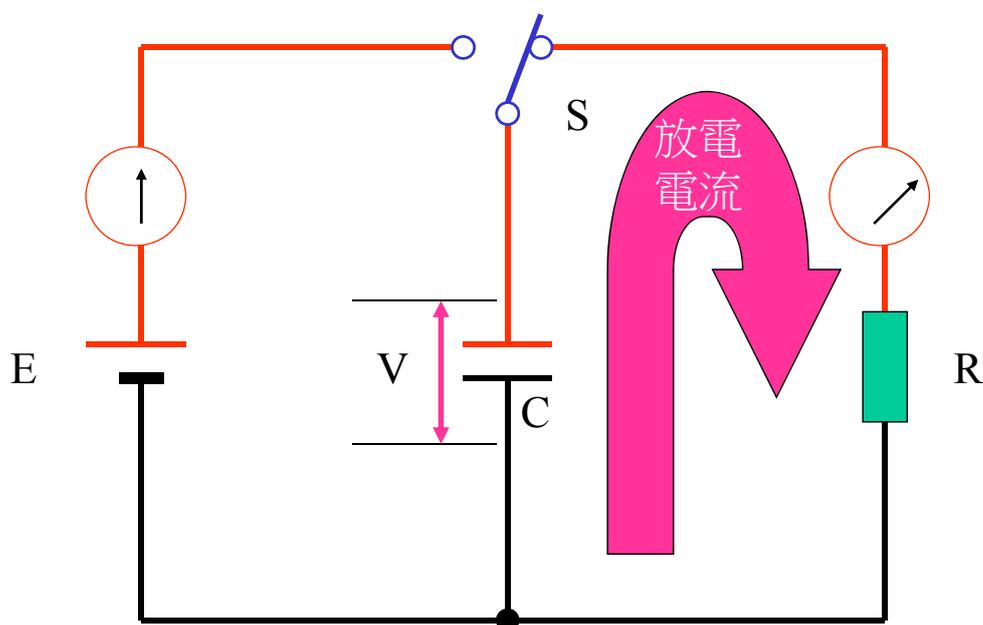
電容器的充電



電容器的放電

- 同理，電容器的放電過程好比一個水塘排水過程，當水塘之儲水慢慢排出至零儲水量時，亦即是電容器兩極間之電壓因負電荷（電子）經由電阻流向正電極板與其正電荷中和，因此，極板之電壓逐漸下降至零位，放電完畢。

電容器的放電



電容器用途

- 儲電電容器 (storing capacitor)
 - 把電能儲存，並在適當時候放電。
- 阻隔電容器 (blocking capacitor)
 - 多用於電子電路，把直流從前一級隔離，例如放大器。
- 交連電容器 (coupling capacitor)
 - 在電子放大器裏將一端之電位變化傳至另一端。

電容器的充-放電

- **RC串聯直流電路**

- 電容器在電子和電機電路有很多用途
- 電子電路
 - 照相機之閃光燈、時間掣、波型產生器等

- RC之數值影響了電路在充、放電之時間長短。

電容器的充-放電

- **充電電路**

如下圖所示當電路在充電時，由於

$$E = v_R + v_c$$

因此，電阻 R 兩端電壓

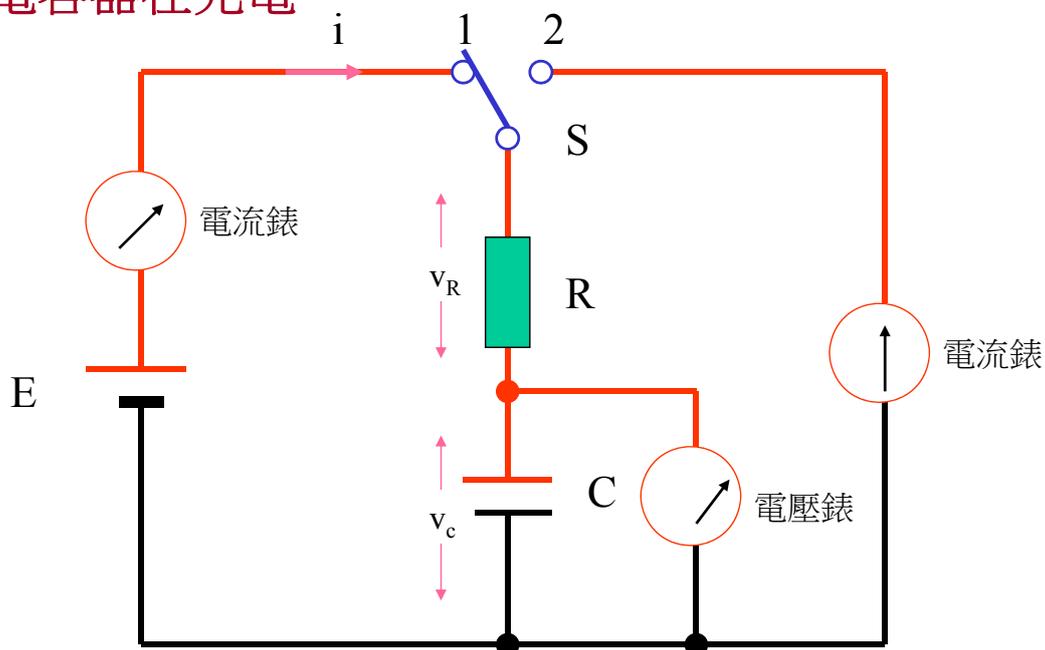
$$v_R = E - v_c$$

充電電流

$$i = (E - v_c) / R$$

電容器的充-放電

電容器在充電



電容器的充-放電

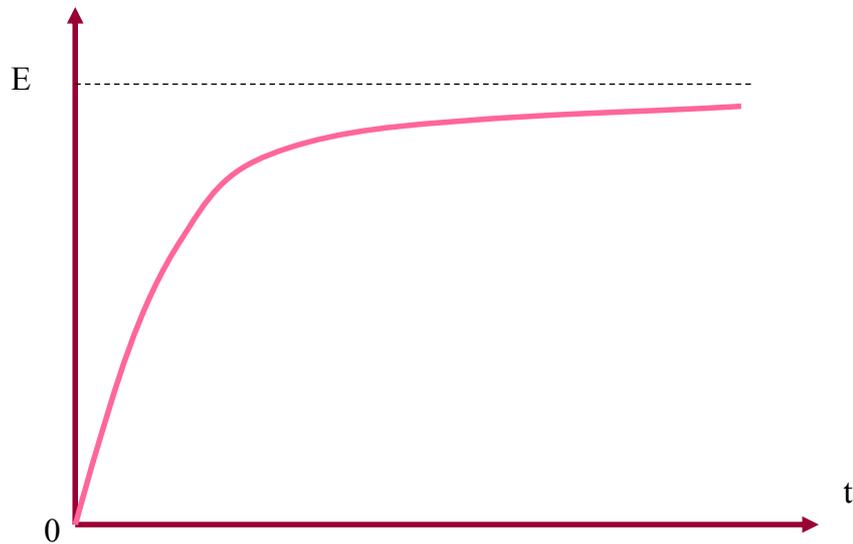
• 充電電路

在電路接通的一瞬間，電容器 C 兩端沒有電壓，因此電源電壓全加於電阻 R 上，所以起始充電電流

$$i_0 = E / R \dots\dots\dots (C8)$$

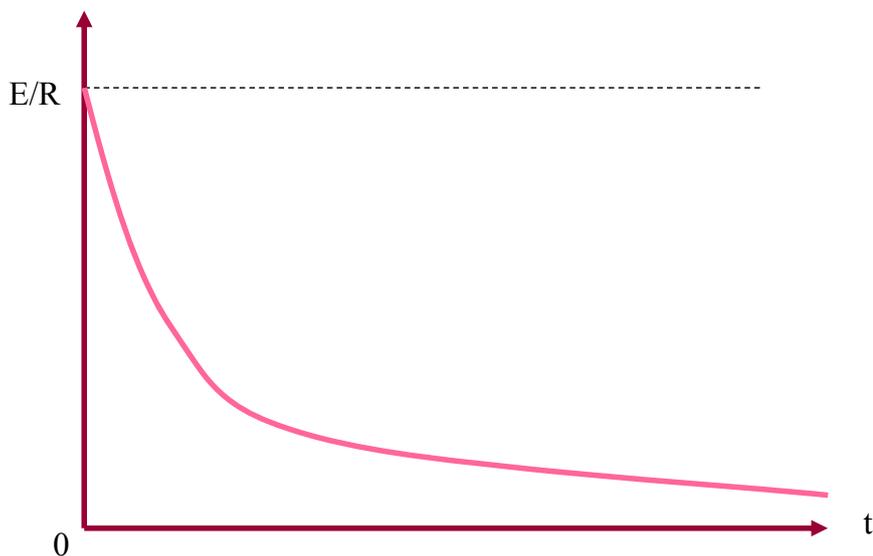
電容器的充-放電

電容器在充電時之兩端電壓變化曲線



電容器的充-放電

電容器在充電時之兩端電流變化曲線



電容器的充-放電

下表列出電路在不同時間時，電容器 C 兩端的電壓 v_c 及 v_c 與電源電壓 E 的比值。

t(s)	0	0.2RC	0.4RC	0.6RC	RC	2RC	3RC	4RC	5RC
v_c (V)	0	1.09	1.98	2.71	3.79	5.19	5.70	5.89	5.96
v_c/E	0	0.181	0.33	0.452	0.632	0.864	0.95	0.982	0.993

由表看出，當 $t = RC$ ，電容器 C 兩端的電壓由零增加到 $0.632E$ ；當 $t = 3RC$ ，電容器 C 兩端的電壓 v_c 上升到 $0.95E$ ；當 $t = 5RC$ ， v_c 上升到 $0.993E$ ，因此 $t = 5RC$ 被看作電容器充電完畢。

電容器的充-放電

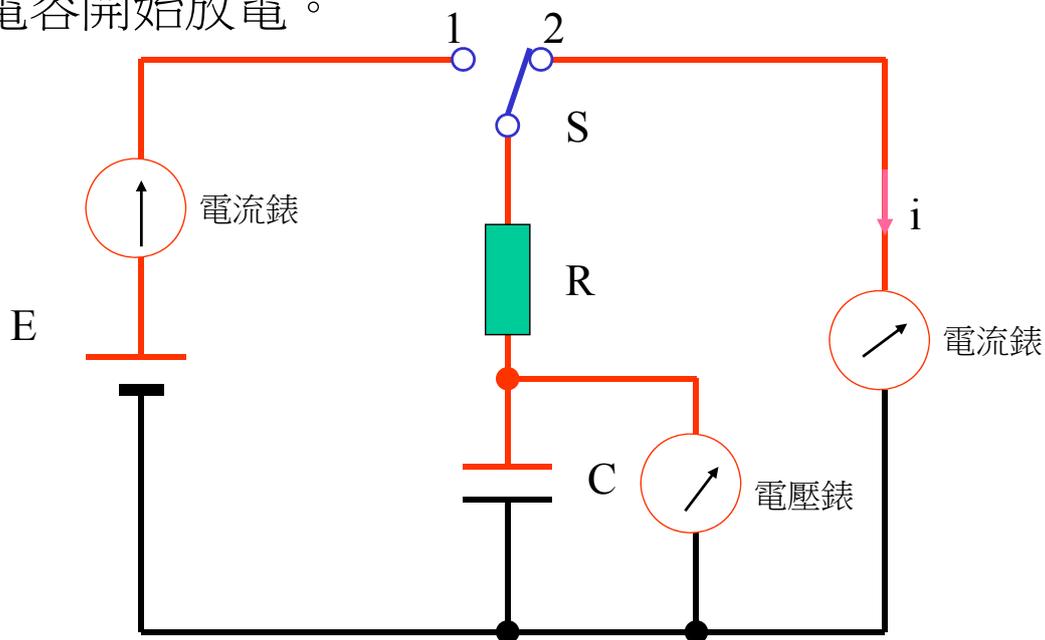
- 實驗證明一個 RC 串聯直流電路的時間常數是恆定的，與電源電壓、充電電流的大小無關，無論電源電壓大或小，電容器兩端電壓上升至電源電壓的 63% 所需的時間都相等於時間常數 γ 。

- R 和 C 的乘積稱為電路的時間常數 γ (time constant)

$$\gamma = RC \quad \dots\dots\dots (C9)$$

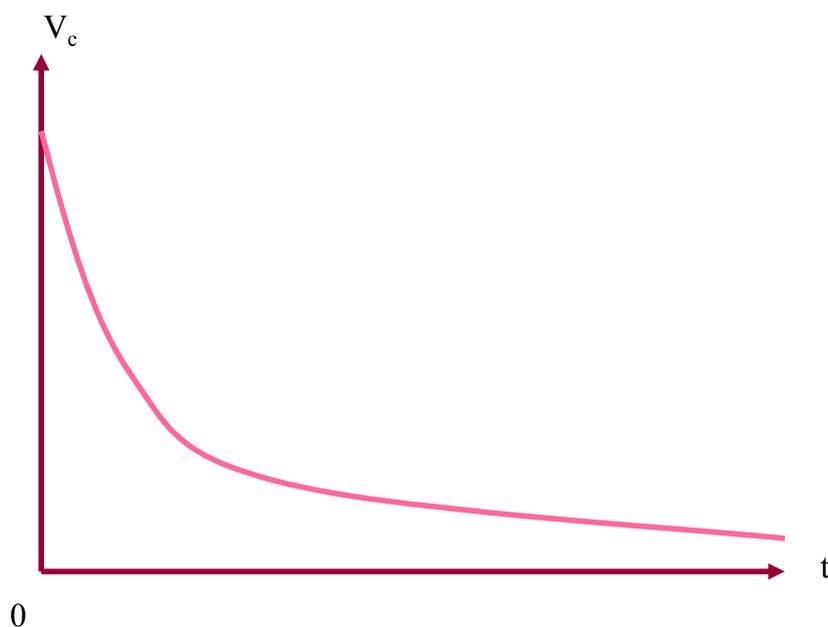
電容器的充-放電

如下圖所示，電容器已充滿電，當開關撥向 2 位，電容開始放電。



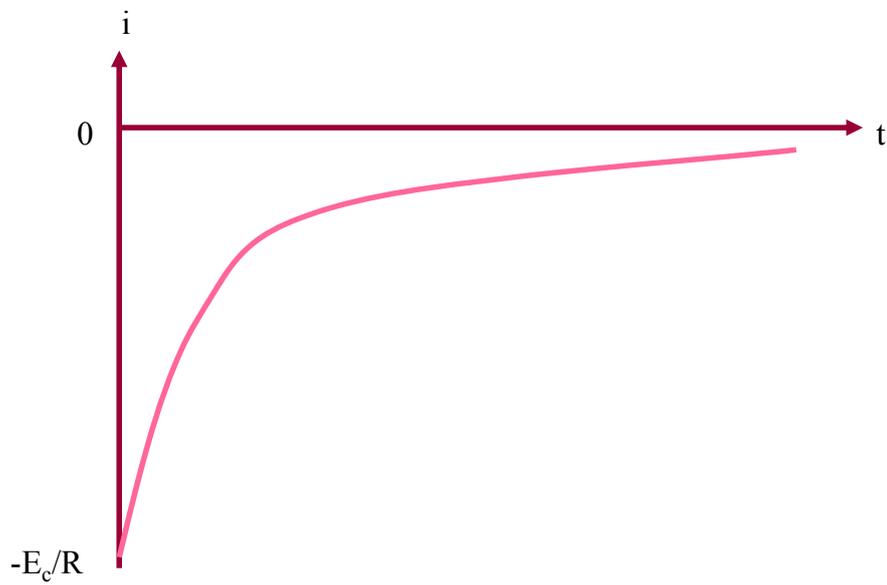
電容器的充-放電

電容器在放電時之兩端電壓變化曲線



電容器的充-放電

電容器在放電時之放電電流變化曲線



Section 3

Unit 5

電力材料的電容 Capacitor of materials

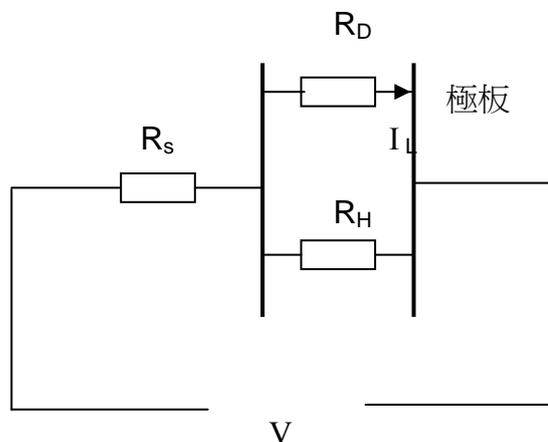
1. **電荷對及平行板電容器的電場及電力線** 請參照電機電子工程基礎上冊第五章 5.14 節。
2. **介質常數 ϵ** ：又稱絕對電容率，請照電機電子工程基礎上冊第五章 5.16 節。
3. **電容器的種類** 請參照電機電子工程基礎上冊第五章 5.6 節。
4. **電荷對及平行板電容器的電場及電力線** 請參照電機電子工程基礎上冊第五章 5.14 節。
5. **介質常數 ϵ** ：又稱絕對電容率，請照電機電子工程基礎上冊第五章 5.16 節。
6. **電荷與電容量的關係**：請照電機電子工程基礎上冊第五章 5.8 及 5.16 節。
7. **電容器的串聯和並聯**：請照電機電子工程基礎上冊第五章 5.9 及 5.10 節。
8. **充電電容器儲存的能量**：請照電機電子工程基礎上冊第五章 5.28 節。
9. **非理想對電容器的影響**：

漏電電流：若有足夠的能加於介質上，介質會變成導電。此種能可以是外加的電位差或直接加熱。大多數介質的絕緣電阻會隨溫度上升而急促下降，因而產生漏電電流。漏電電流通過介質時會進一步產生熱，若散熱速度比生熱慢時便會造成熱崩。此時介質便會燒毀而做成介質失效。

電容器使用的介質一定要低損耗和高激穿電壓值。

介質強度(dielectric strength)是用來估量激穿電壓。

等效串聯電阻：

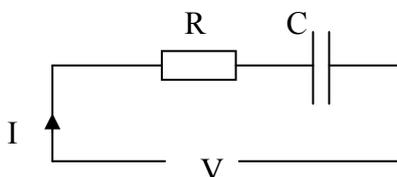


R_s = 串聯電阻 = 連接電線的電阻值 + 極板電阻值

R_D = 介質電阻

R_H = 環滯損耗 (hysteresis loss) 等效電阻

等效串聯電阻 = $R_s + R_D + R_H = R$



介質損耗：

依據上圖電容器等效電路圖，當電流通過 R 時會產生熱而消耗電能造成損耗稱為介質損耗 P_{loss} 。

$$P_{\text{loss}} = V I \cos \Phi$$
$$= V V \omega C \cos \Phi$$

$$P_{\text{loss}} = V^2 \omega C \cos \Phi \dots\dots\dots(\text{A})$$

依據 (A) 式 P_{loss} 與電壓平方成正比，亦與 ω 即電源頻率成正比。

其他相關內容這開啓 [Capacitor](#) 檔案。

練習題 1 試寫出及解釋當電纜輸送超高壓電力時所產生的損耗。

練習題 2 試舉例說明介質損耗在工業上的應

學習目標

學習此單元後，學生應能

1. 說明電容器是有儲電能力的元件
2. 簡述電容器所儲的電量是與供應電壓成正比
3. 說明不同種類的常用電容器
4. 說明電容 $C=Q/V$
5. 說明電容的單位
6. 說明一個平衡極片電容器的電容值是與極片面積(a)成正比、距離(d)成反比，及是與其介電材料有關
7. 說明電容器的通常應用

電容器 CAPACITOR

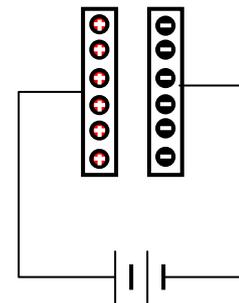
兩塊金屬片中間被絕緣物體分隔，當在它們間接入直流電時，接駁至電源正極的金屬片，其電子會被吸引，電子離開金屬片移向電源的正極，使這一金屬片帶有正電量；接駁至電源負極的金屬片，會接收來自電源的電子，使金屬片帶有負電量，因一塊金屬片帶正電，另一塊帶負電，這兩塊金屬片間有了電壓，這一過程叫做充電。當在金屬片間接上電源時，金屬片迅速充電，直至其一金屬片完全失去了自由電子或是另一金屬片已沒有空間再容納來自電源的電子時，充電才會停止，這時，兩金屬片間便充上等同電源的電壓，就是切斷電源，金屬片仍然會保留著電量和電壓。當有導體連接至曾經充電的金屬片時，電子便會由負金屬片經導體移向正金屬片，金屬片放電，它們的電量會互相中和，金屬片放電完畢時，存在著它們間的電壓也會消失，電壓下降至零。

電容器的結構

兩金屬片中間被絕緣物體分隔，便組成了電容器。

電容器的性能

電容器有儲電的能力。
當電源接至電容器時，便可將電容器充電，電容器一經充電後，便會儲藏電量。



介質

分隔電容器金屬片的絕緣物質，叫做介質。

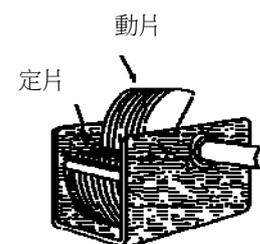
電容器的種類

電容器是以介質分類。

常用的電容器有：

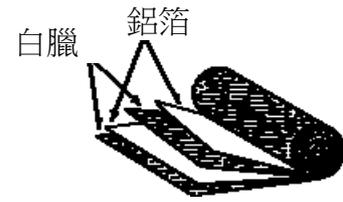
空氣電容器

以空氣分隔金屬片，常用於訊號接收的調頻電路，圖中的是一個可變電容器，當轉動軸心時，動片和定片相對的面積改變，從而改變電容的數值。



紙質電容器

由兩塊鋁箔和兩塊白蠟紙互相分隔再捲製而成。電容值約由500 pF 至 50 μ F 間，直流工作電壓可高至600V。與其他同容值的電容器比較，紙電容器的價格較平而體形較大。



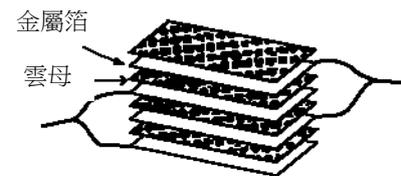
油質電容器

在紙質電容器中灌入絕緣油，便可製成油質電容器，外形有如紙質電容器，但體形較大，電容值較高，且工作電壓也較高，外殼上通常會印有“OIL”的標記。適用於交流電路作為改善功率因數之用。



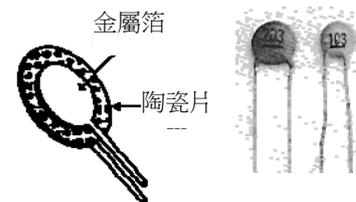
雲母電容器

基於雲母質薄和脆，雲母電容器是由金屬箔和雲母片分隔相疊，再以膠殼保護，外形通常是長方形，特點是耐高溫和高壓。電容值通常低於 0.01 μ F，主要用於高壓高頻的電路。



陶瓷電容器

陶瓷片兩旁注上金屬箔，再以膠殼或陶瓷包裹，外形如一粒扁豆，特點是體形小、耐高溫 and 損耗低，常用於一般的電子電路。電容值由 1pF 至 1 μ F 間，電壓可高至 1000 V。



電解質電容器

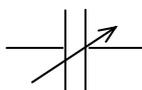
電解質電容器的接線腳有極性的分別。

由兩塊鋁箔和兩塊吸滿電解質的紙互相分隔再捲製而成，外殼會印有指示負極或正極的箭矢或標記。有極性的分別，正確的接線法是正極接高電位，負極接低電位，若是錯接電位，電介質便遭到破壞，電容器會有爆炸的危險。適用於含有直流成分的電路，如濾波電路。電容值很高，通常由 $1\mu\text{F}$ 至 $100000\mu\text{F}$ 間。

電容器在電路圖中的符號



電容器



可變電容器



電解質電容器

電容器的額定值

購買電容器時，應說明所需電容器的電容值和工作電壓值

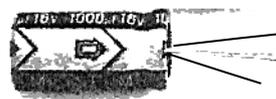
電容值表示電容器的儲電能力。

電壓值表示電容器的工作電壓，當外加電壓超越工作電壓時，電容器會被擊穿。

電容 CAPACITANCE

每伏特電壓的儲電量叫做電容

$$\text{電容} = \frac{\text{電量}}{\text{電壓}} \quad C = \frac{Q}{V}$$



電容的量度單位

量度單位是法拉 Farad (F)

當電容器兩金屬片間有電壓 1 伏 (V)，而能儲有電量 1 庫倫 (C) 時，它的電容是 1 法拉 (F)

常用的單位有

$$\text{微法拉 } 1 \mu\text{F} = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$\text{皮法拉 } 1 \text{ pF} = 1 \times 10^{-12} \text{ F}$$

例題一

某電容器的電壓是 25V 時有電量 $0.35 \mu\text{C}$ ，計算此電容器有的電容值。

$$\begin{aligned} C &= \frac{Q}{V} = \frac{0.35 \times 10^{-6}}{25} \\ &= 0.014 \times 10^{-6} \text{ F} = 0.014 \mu\text{F} \end{aligned}$$

例題二

某 $2.2 \mu\text{F}$ ，16V 的電容器的工作電壓是 12V，計算此電容器有的電量。

例題三

$47 \mu\text{F}$ 的電容器儲有電量 $1.8 \mu\text{C}$ ，計算此電容器的電壓。

影響電容值的因素：

- 介質材料
- 兩金屬片相對的面積
- 兩金屬片相隔的距離

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{a}{d} (n-1)$$

$C =$ 電容 (F)

$\epsilon_0 =$ 真空介電常數 8.85×10^{-12} (F/m)

$\epsilon_r =$ 相對介質系數

$A =$ 兩金屬片相對的面積 (m^2)

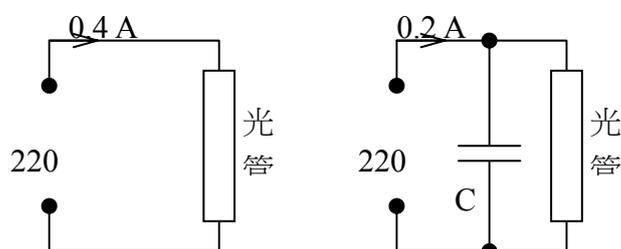
$d =$ 兩金屬片相隔的距離 (m)
(介質的厚度)

$n =$ 金屬片的數目

電容器的應用

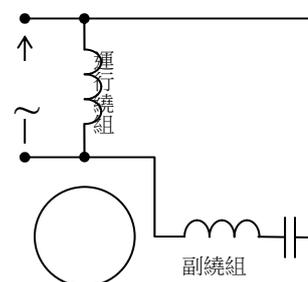
交流電路中作改善功率因數

一支 40W 光管的電流約是 0.4A，當加有電容器後，光管的功率消耗不變，但供電電流會下降至約 0.2A。



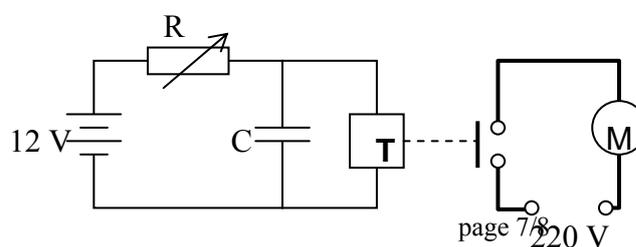
單相電動機的起動裝置

一般電風扇採用電容運行式電動機，電容器與其一的線圈串聯，使兩組線圈的電流有著不同的相位，從而產生旋轉磁場，推動電機運轉。當電容器燒毀時，電動機便不能自動起動。



與電阻器串聯組成時間控制電路

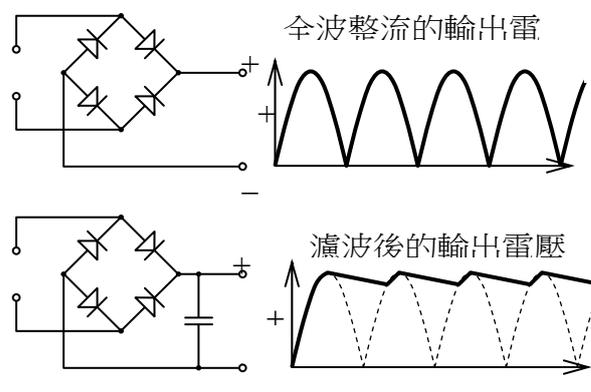
電容器與電阻器串聯，當接上電源時，電容器開始充電，在一定的時間後，電容電壓充至足夠推動繼電器，



使繼電器動作，接上電動機的電路。

整流電路中作濾波

將交流電整流轉為直流電，經整流後的輸出電壓波幅會很大，若在整流電路輸出端加上一個電容器，可使輸出的直流電壓較為平滑。



在電子電路中作隔離直流電 和交流電旁路

電晶體放大電路的輸出訊號是一個夾帶交流和直流成份的訊號，若在輸出端串聯加有一個耦合電容器 C_C ，可隔去直流電，輸出純交流的訊號。
在射極電阻 R_E 旁並聯一個電容器 C_E ，可讓直流電流經電阻，交流電流經電容器，穩定放大電路的偏壓。

