

# 普通物理期中報告

分析整流器及電容器  
於 RC 電路中的組合應用

搭配章節：

Ch25 電容(Capacitance)

Ch27 RC 電路(RC circuits)

教授：趙治宇

系級：機械一

學號：B08502097

姓名：程鏡丞

## 一、前言

在輸送電流的過程中，為了減少無謂的能量損耗，我們常常把直流電轉換成高壓交流電，再用電纜進行運送。在電流抵達變電站後，經由降壓器將其慢慢進行降壓，使得電流在抵達用電區時，已經成為可以被廣泛利用且危險性相較高壓電降低許多的低壓交流電了。這份報告的核心便使於此—從交流電與直流電的比較出發，加入屬於課本內容的電容與電路分析，以及雖然運行原理及結構超出大一所學範圍，但與直流電及交流電間的轉換密不可分的整流器，來實現使一般家用電器穩定運行，且讓電壓浮動非常小，進而延長電器使用年限的目的。

## 二、直流電與交流電

直流電(direct current,DC)，是一種方向不會隨時間產生變化，也不具週期性變化的電流。市面上販賣的各式電池，就是典型的直流電供應器。也是驅動一般家用電器所仰賴的電流種類。

交流電(Alternating Current,AC)，與直流電剛好相反，是一種方向跟量值都會隨時間做週期性變化的電流。由於交流電升降壓容易的特性，使得在長途運輸電流時，常會選擇以高壓交流電的方式運送之。常見波形為一正弦(sine)波，但也有三角形波及正方形波等特殊應用波形。有趣的是：以常見的 220V 交流電為例，標示為 220V 並非表示最大電壓為 220V，這裡的 220V 是指均方根值( $V_{rms}$ )至於最大電壓，即所謂的峰值( $V_{pk}$ )，實際上與均方根值存在以下關係：

$$V_{pk} = \sqrt{2}V_{rms}$$

## 三、整流器簡介

關於整流器的用途，一以言之就是把交流電轉換為直流電供家用電器使用。通常會安裝於電器中，靠近電源處，以便能立即將經由插頭運送進來的交流電轉換為直流電，進而供電器運轉。常見的整流器原料為固態二極體及真空管二極體等。至於能反過來把直流電轉換為交流電的裝置稱為「逆變器」，因不在本

報告討論範圍，故詳情從略。關於整流器的運作，大致可分為半波整流器與全波整流器兩種。如我們所知，交流電的波形為正弦曲線，可以 $x$ 軸為界分為上下兩部分。半波整流器是將上部或下部的波形去除，只留下一半的輸入波形進行進一步的輸出，但明顯的缺點是功率的轉換效率十分低落。至於全波轉換器，則是將上部或下部的波形對 $x$ 軸鏡射，造成全上部或全下部的波形。因只是將一半的波形進行轉換，並非直接去除那些波形區間，因此在轉換上效率高出半波整流器許多，也是本報告著重討論的整流器類型。

關於全波整流器，其實還可以再延伸出更多分支，如倍壓整流器、單相橋式(圖一)整流器，或是單相中心抽頭式(圖二)全波整流器等等。舉例來說，單相橋式整流並非使用具有中間抽頭的變壓器，而是一組輸出線圈，故需使用四個二極體才能做全波整流，前述四個二極體合稱為橋式整流器。整流過後頻率會增為原本的 2 倍，輸出電壓之有效值 $V_{rms}$ 約為  $0.707V$ 。而單相中心抽頭式整流是使用中心抽頭型的變壓器，以及兩個背對背的二極體（陰極接陰極，或陽極接陽極）便可組成全波整流器。整流過後頻率同樣會增為原本的 2 倍，但比起橋式整流器，中心抽頭式整流器需要兩倍的變壓器次級繞組，因此僅在早期真空管年代較為常用。

#### 四、電容與電容器

電容器是一種儲存電荷的裝置，主要由兩個導體(稱為電容板)所組成，並在其中隔以絕緣物質，例如空氣或紙片等。當電容板與電池相接時，電容板會被賦予等電量的異電性電荷。而當電容板與電池取消連接後，電荷會因互相吸引而繼續留在電容板上。兩個電容板皆為等位體，故面板上所有點之電位均相同，但兩面板間有電位差  $V$ 。而此電位差會與電容板儲存之電量  $Q$  成正比，即  $Q = CV$ ，其中之比例常數  $C$  即為此電容器之電容，其 SI 單位為法拉(Farad, 簡寫為 F，等同於庫倫/伏特)。  $C$  值越大，代表板上儲存之電量越多。換句話說，電容值大小反映了電容器儲存電荷的能力。

至於電容值的計算，可先由高斯定律： $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$ 或庫倫定律求出兩電容板間之電場 $\vec{E}$ ，再由 $V = V_+ - V_- = \int_+^- \vec{E} \cdot d\vec{r}$ 求得電容板間之電位差 $V$ ，最後再由 $Q = CV$ 得到 $C$ 值。以下為三種常見的電容器之電容值(註： $A$ 為平行板面積， $d$ 為板距， $a$ 、 $b$ 分別為圓柱或球形電容器之內半徑與外半徑， $L$ 為圓柱長度)

	平行板電容器	圓柱電容器	球形電容器
電容值 $C$	$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$	$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(b/a)}$	$C = \frac{4\pi\epsilon_0 ab}{b-a}$

其中，若令球形電容器之內半徑 $a = R$ ，外半徑 $b \rightarrow \infty$ ，即可得半徑為 $R$ 之孤立導體球電容為 $C = 4\pi\epsilon_0 R$

## 五、RC 電路

RC 電路是指在基本的電路組成(電動勢 $\epsilon$ 、電阻 $R$ 以及電路中流通的電流 $I$ )以外，再加入電容值為 $C$ 的電容器所構成的電路系統。在 RC 電路裡，電流在電容器充放電的期間，都會隨著時間改變。由克希荷夫迴路法則(KVT)可得充電方程式  $R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \epsilon$ ，以及放電方程式  $R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$ 。以微積分解出上述兩個微分方程並整理後，可得充電中的電容器電量與時間之關係式 $q = C\epsilon(1 - e^{-t/RC})$ ，以及放電過程中的電容器電量與時間之關係式 $q = q_0 e^{-t/RC}$ 。值得注意的是，兩個關係式中皆有出現的 $RC$ 可獨立稱為「時間常數」。此外，無論是充電或放電時，RC 電路中都會出現一些可以用特別的視角去看待它的時間點，列舉如下：

(1) 充電開始瞬間( $t = 0$ )，電容器充電量 $q = 0$ ，電流 $I = I_0 = \frac{\epsilon}{R}$ ，此時之電容器

可視為短路。

(2) 充電完成後( $t \rightarrow \infty$ )，電容器之最大充電量 $q_{max} = C\epsilon$ ，電流 $I \rightarrow 0$ ，此時之電容器可視為斷路。

(3) 放電開始瞬間( $t = 0$ )，電容荷電量 $q = q_0$ ，電流 $I = I_0 = \frac{q_0}{RC}$ 。

## 六、整流器及電容器於 RC 電路中的組合：一個簡單的比喻

藉由查詢並理解以上三個部分，讓我對整流器、電容器及 RC 電路有了一些基本認識後，我便開始思考這些看似互相獨立的元件或概念，實際組合起來可以如何運用。首先，家用插座的電流是交流電，使用整流器將其轉換為直流電供電器使用，看來十分合理且理所當然。至於 RC 電路中必備的電容器，則是讓我思考了許久：為什麼要加入電容器？本著這個似懂非懂的疑問以及求知的慾望，我便去請教了認識的電機系友會朋友，請他教我一些電路學的基本概念。經過一整個下午的學習，我想出了一個較為淺顯易懂的關於電容器的比喻：假設某人買了一盆植物，每兩天必須澆一次水才能讓它存活，但平均下雨的頻率是每五天下一次雨，在不依靠人工澆水的情況下，要維持此植物的生存，看似是不可能的任務，如同要靠無電容的電路使電器穩定運行般的不容易。但此時，若我們在植物上方放置一個底部打數個小洞的水桶，使其在雨天時能夠蓄積雨水，並在晴天時仍能透過小洞使雨水落下達到澆灌植物的目的，那不就能不費吹灰之力的讓植物維持基本的生存條件了嗎？所謂的電容器就能想像成是上述的「打洞水桶」，在電壓不足以驅動電器運行時，便透過釋放電容中的電流進行補充，反之，在電壓高過電器所能負荷的最大值時，便將多餘的電流儲存至電容器內備用。這樣一來除了能確保電壓總是維持在電器能接受的範圍內之外，也能使電壓的浮動降低許多，達到減少能量耗損的目的，可謂一舉兩得。

## 七、整流器及電容器於 RC 電路中的組合：實際推演與分析

在理解電容器的功能及重要性之後，便能開始藉由實例去推演 RC 電路與整流器跟電容器的搭配。一開始藉由插座取得之交流電的電壓-時間關係圖如圖

(三)所示，經由全波整流器使其轉換為類似直流電的波形，如圖(四)所示。但可以發現從一開始供電到 $t_0$ 這段時間是無法驅動電器的(供電壓小於最小驅動電壓 $V_{min}$ )，同樣的狀況也會發生在 $t_2$ 到 $t_3$ 這段時間。如此一來，將造成電器總是開開關關的，既對我們的使用帶來莫大的不便，也容易使電器在往復開關的過程中壞掉。此時若加入足夠多的電容，便能藉由偵測電壓的變化趨勢，在適當的時機進行調整。圖(五)及圖(六)分別展示了在交流電的電壓會低於最小驅動電壓、以及交流電的電壓會高於最大承受電壓時，電容所帶來的調整。在圖(五)中，僅有剛開始供電到 $t_0$ 這段時間無法驅動電器，在偵測到電壓已達峰值( $t_1$ )時，便會釋放儲存的電流，使電壓的下降不再遵循原先的模式，而是以較小的幅度緩慢下降。在下降的同時若又碰到再次上升的交流電電壓( $t_2$ )時，則又重複以上動作。至於圖(六)，同樣僅有剛開始供電到 $t_0$ 這段時間無法驅動電器，在偵測到電壓即將突破電器能承受的最大值( $t_1$ )時，便吸收多餘的電流，使得電壓維持在較 $V_{Max}$ 略低一點的程度前進，直到交流電的電壓再次降至可承受的電壓範圍，便如圖(五)的模式前進至又碰到再次上升的交流電電壓( $t_3$ )，而後重複以上動作。由圖(五)及圖(六)的推演，我們可以將維持電壓恆定在電器承受範圍內這個較棘手的問題，化成如何能精準偵測交流電電壓這個相對易於處理的問題。

最後，若上述操作只靠單一電容器執行，或許會有續航力不足的問題。此時便能運用電容的一些物理特性，設法讓電容值上升。在電容中存在以下現象(可同時與觀念類似之電阻的串並聯進行比較)，如下表所示：

	串聯 n 個電阻/電容	並聯 n 個電阻/電容
電阻 R	$R = \sum_{i=1}^n R_i$	$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$
電容 C	$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$	$C = \sum_{i=1}^n C_i$

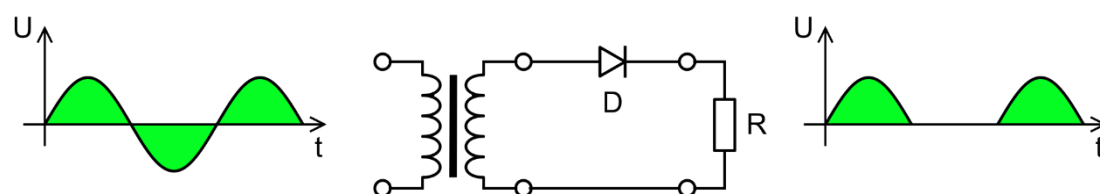
上表之特性可分別由歐姆定律 $V = IR$ (解釋電阻的串並聯現象)以及 KVT 和電

容 $C = QV$ 的定義搭配(解釋電容的串並聯現象)推導並證明之。由上表可知，若想有效提高電容值，使 RC 電路之續航力再度獲得提升的話，採取並聯數個電容的方式，或為一有效解！

## 八、後記

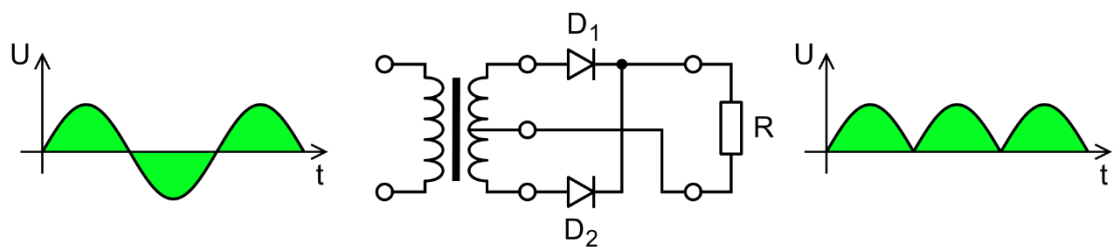
在準備這份報告的過程中，除了普物課本外，我也看了許多網路上的教學或是維基百科等等資訊平台，使我學到了好多高中物理並未提及的電學觀念，以及在生活中的簡單應用。我認為學習科學最大的目的，並非得獎、亦非受到他人的讚揚及肯定，而是能學以致用，使生活中一些看似理所當然的細節，變得更平易近人、也能做到更多以往無法達成的事。我深深明白這種成就感的巨大及滿足。在查詢 RC 電路的詳情時，我也同時注意到了 RL 電路、RLC 電路、二極體電路等應用更廣泛的電路。雖因不在此次規定範圍內，或是因大一所學知識有限而無從剖析等原因，所以並未提及，但我仍舊研究了好一陣子，更因此發現了我對電學的高度興趣！或許能在期末報告中呈現其他電路的運作原理及其應用，甚至是與磁學的進一步結合運用，我自己是十分期待的！最後，雖有許多未盡之處，但我也花了許多時間，力求這份報告內容簡潔又不失重點，希望教授及助教能喜歡這份報告！

## 九、文中提及之圖片附註及資料來源



圖(一)

來源: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%95%B4%E6%B5%81%E5%99%A8>

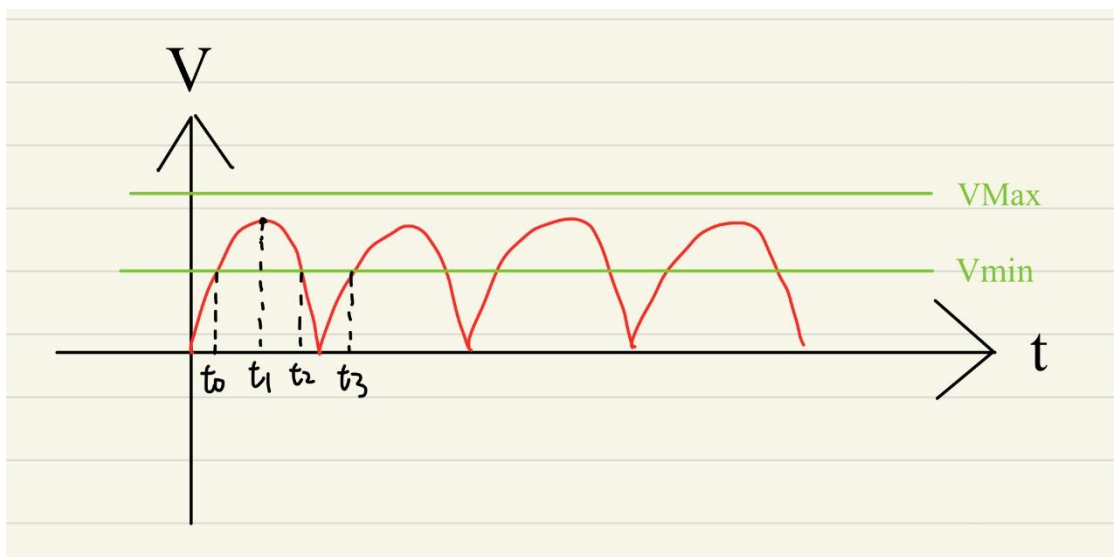


圖(二) 來源同圖(一)



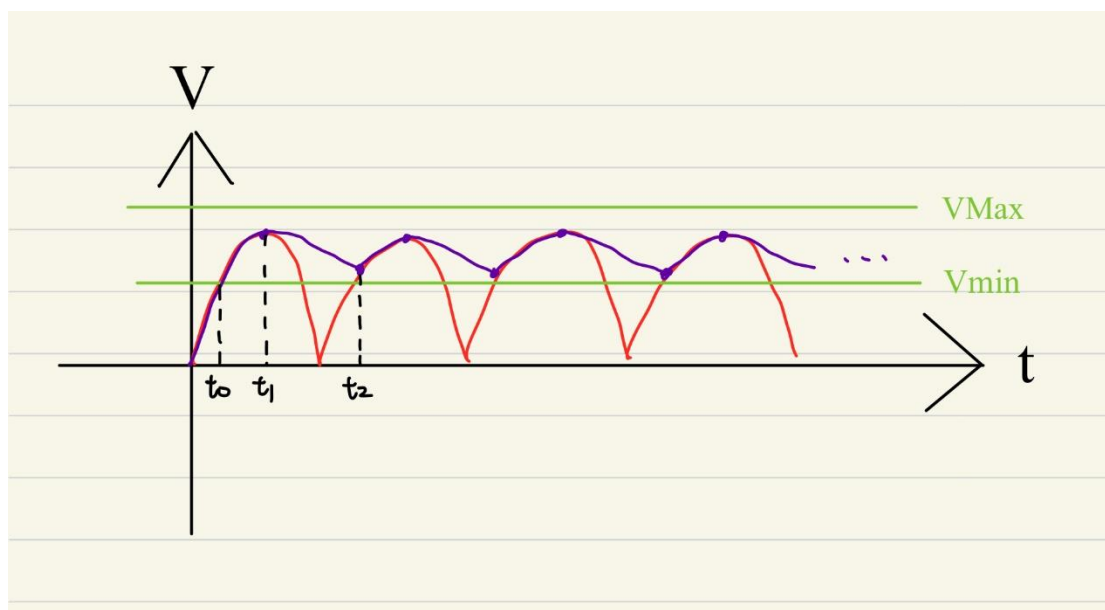
圖(三)

來源:自己手繪(僅為示意圖,手繪無法畫得十分精準,還請教授及助教海涵)

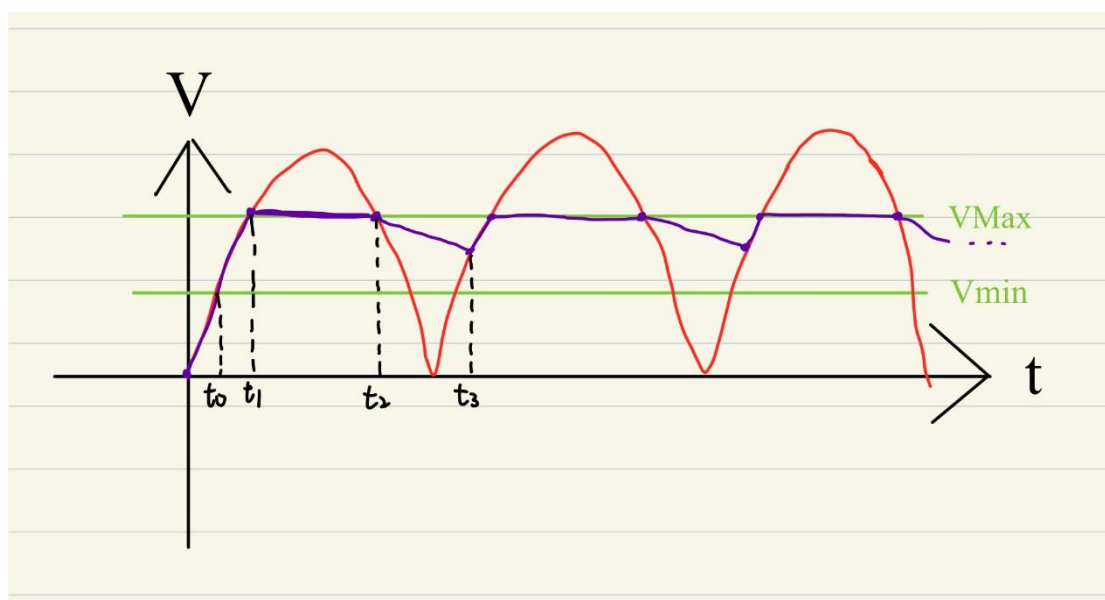


圖(四) 來源同圖(三)





圖(五) 來源同圖(三)



圖(六) 來源同圖(三)