

電蚊拍的教學應用

羅道正

逢甲大學物理教學研究中心暨光電物理研究所

台中市西屯區文華路 100 號 40724

電郵：djlwo@fcu.edu.tw

收稿日期：二零零二年六月十三日（十二月十六日再修定）

內容

[摘要](#)

[前言](#)

[主要原理](#)

[製作工具與材料](#)

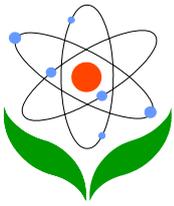
[電蚊拍的教學應用](#)

[操作時的注意事項](#)

[參考資料](#)

摘要

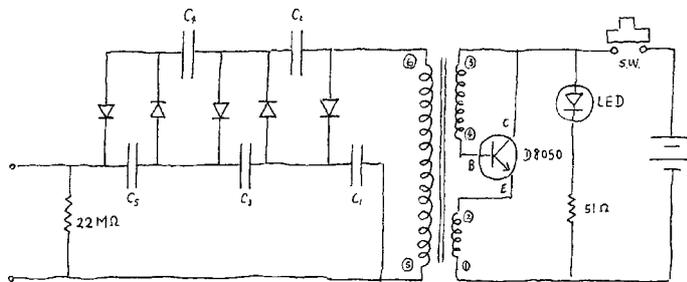
本文旨在介紹市面上容易買到，價錢在新臺幣 100 元左右且又不會太危險的電蚊拍，在普通物理電磁學範圍的幾種教學應用，相關的應用原理包括游離電壓、電容與介電質、以及法拉第定律。



前言

當我在嘗試修理故障的電蚊拍時，發覺線路上的幾種基本電子電路元件剛好和一大一普通物理電磁學所介紹的幾種基本電路元件幾乎相同，利用電阻、電容、電感(變壓線圈)、整流半導體和電晶體物理特性的完美組合，不但提供了人蚊大戰中我方最環保又有效的近迫防禦武裝，亦成為課堂上十分吸引學生興趣的精彩教具。

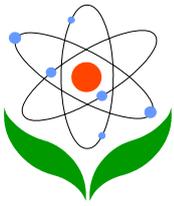
主要原理



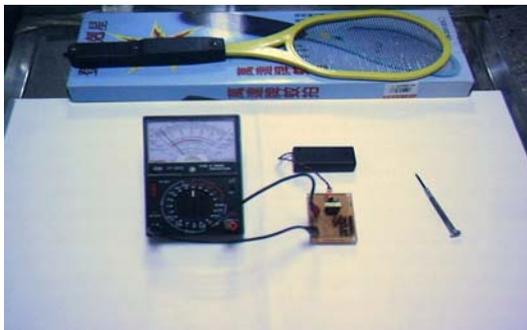
圖一

先看電蚊拍的電路圖(如圖一)，這和 He-Ne 氣體雷射管的點亮電路是很像的，線圈變壓器一共有三組繞線，其中兩組圈數較少的繞線和電晶體共同負責產生間歇振盪訊號，另外一組圈數較多的繞線負責將電壓升高，然後由一連串的整流半導體和電容器組合成壘增倍壓電路，巧妙的將電壓一倍又一倍的提高，最後在輸出端加上放電保護電阻以免回授太強而造成電晶體被破壞。

當我們用一般的多用途電錶當作伏特計，直接去量測此一電路時，遇到的困難是電壓過高，通常會超出普通電錶的量測範圍，為了克服此一困難，我在電晶體的回授振盪電路之中加上一個 $2\text{k}\Omega$ 到 $10\text{k}\Omega$ 的可變電阻，它能有效的衰減回授訊號，使輸出端的電壓成為可以任意調變的大小(這時此一電路即成為低功率的可變高電壓直流電源)，然後就能輕易地讀出這電路上每一處的直流和交流電壓值。



照片一:以多用途電表測量輸出電壓上限

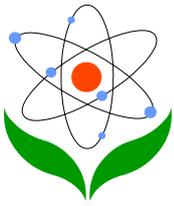


照片二:以多用途電表測量輸出電壓下限

可供教學應用的討論項目

間歇振盪電路和線圈變壓器可以用來討論普通物理學之中的磁場、法拉第定律（感應電動勢）、RL 電路、線圈變壓器和電晶體，按下開關導通電晶體時，一組線圈會產生感應電動勢而回授控制電晶體的基極使它開始間歇振盪(重複導通與不導通的狀態)，另外的兩組線圈是線圈變壓器的主線圈和副線圈，這可以將兩顆電池的直流電三伏特低電壓電源改成交流電電壓 100 伏特以上的較高電壓。

由一連串的電容器和整流二極體所組成的壘增倍壓電路可以用來討論普通物理學之中的電場、電位、電容器、直流電 RC 電路、基本交流電路和半導體，至於在電蚊拍拍面上相鄰的兩條裸線各焊上一個凸出的放電接點之後，可以用來討論普通物理學之中的導體與非導體、靜電場和電位差。

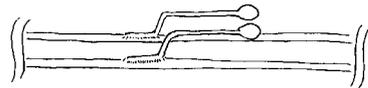


製作工具與材料

1. 電蚊拍一隻。
2. 剪下的電子零件接腳或迴紋針。
3. 烙鐵、焊錫、平口剪和尖嘴鉗。
4. $2\text{k}\Omega$ 到 $10\text{k}\Omega$ 的可變電阻一個。
5. 掌上型多用途電錶一台。

電蚊拍的教學應用

一. 導體、非導體、靜電場和電位

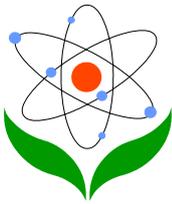


圖二

利用已知一般空氣在電場強度超過 $3 \times 10^6 \text{ V/m}$ 的條件之下會被游離而開始導電的物理特性[1]，只要在電蚊拍拍面上相鄰的兩條裸線各焊上一個凸出的放電接點如圖二（用剪下的電子零件多餘接腳即可），然後調整他們彼此尖端的間隔距離到 0.2mm 以內（約為一張紙的厚度即可），若以 1000 伏特以上的直流電壓對此放電接點提供電位差，這將會產生 $(1000\text{V}/0.2\text{mm}) = 5 \times 10^6 \text{ V/m}$ 的電場，可以達到一般空氣被游離而開始導電的物理條件，此時放電接點之間會不斷的發出電光閃動和霹哩啪啦的聲響，添加了聲光效果的電蚊拍立刻會吸引您周圍所有同學的注意與好奇，讓他們拿去輪流玩一玩之後，我覺得同學們會更願意加入靜電學部分關於導體與非導體、靜電場和電位差的討論。



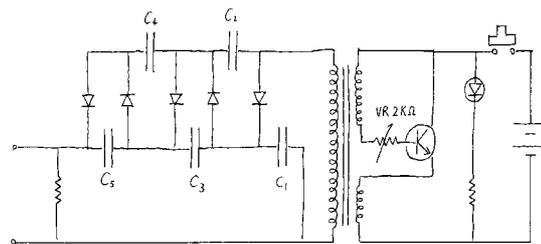
照片三:在電網線上加上兩個放電接點



二. 電容器、電容值和介電質材料

如果將紙片滑入電蚊拍的放電接點之間會如何呢？會停止放電或減弱放電嗎？還是會反應的更劇烈呢？可以在普通物理課本裡查表比較一下空氣和紙片的介電常數 ($K=\epsilon/\epsilon_0$) 及介電強度 (V/m)，因為紙片的介電常數是空氣的 3.7 倍且紙片的介電強度是空氣的 5 倍[2]，所以將紙片滑入電蚊拍的放電接點之間會增加電容值 ($C=Q/V=\epsilon A/d$)，每單位電壓能儲存的電荷數目增加且操作電壓亦增加的結果，自然使得放電接點之間會產生更劇烈的聲光效果，足以在紙片上燒出許多小洞，其實每當您用電蚊拍去電蚊子時，如果壓著開關電久一點，也會觀察到有電光閃動和霹哩啪啦的聲響，這適合用來討論靜電學部份關於電容器的電容值、介電質材料。

三. RC 電路、電容器的頻率響應和阻抗

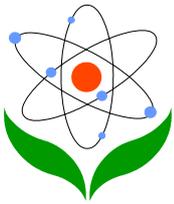


C_1 到 C_5 用 $0.0047\mu F$ 耐壓 1000V 以上，可變電阻用 $2k\Omega$ 到 $10k\Omega$ ，其它元件與圖一相同

圖三

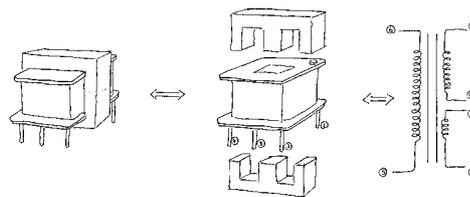
電蚊拍也是很有意思的基本電路教學例子，請參考電路圖（如圖三），如果在電晶體的回授放大振盪電路之中加上一個適當的可變電阻，它能有效的衰減回授訊號，使輸出端的電壓成爲可以任意調變的大小，調可變電阻使輸出端的電壓不超過手邊電錶的量測範圍，然後就可以量出這電路上每一處的直流電壓值和交流電壓值。

電容器 $C_{1\sim 5}$ 可以讓高頻率的交流電壓通過（電容器的交流電阻抗 $X_c=1/\omega C=1/2\pi fC$ ），但是電容器 $C_{1\sim 5}$ 會隔離直流電壓（各自達到它的 RC 充電穩態電壓值），藉由半導體的單向導電特性，電容器 C_1 和 C_3 之間的直流電壓值就成爲電容器 C_2 和 C_4 之間交流電壓的參考低電位，同理，電容器 C_2 和 C_4 之間的直流電壓值就成爲電容器 C_3 和 C_5 之間交流電壓的參考低電位...，由一連串的電容器和整流二極體所組成的壘增倍壓電路可以用來討論普通物理學繼靜電學之後的 RC 電路、電容器的頻率響應和阻抗。



四. 磁場、法拉第定律和 RL 電路

線圈變壓器是常見的磁性電路元件，電蚊拍的線圈變壓器通常有六隻腳，這三組線圈利用同一隻鐵蕊內磁通量變化產生的感應電動勢去控制電晶體的開關動作和升高電壓。



圖四

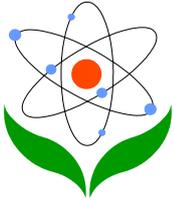
圖四是電蚊拍內線圈變壓器的分解圖，接腳 3 和 4 之間的線圈在按下開關後，此一 RL 電路會容許微小的控制電流開始進入電晶體的基極而造成電晶體的集極與射極之間進入導通的狀態，因而有較大的電流進入接腳 1 和 2 之間的線圈，這會造成線圈內鐵蕊之磁通量變化而在接腳 5 和 6 之間的線圈上產生出感應電動勢，線圈內鐵蕊之磁通量變化當然也會在接腳 3 和 4 之間的線圈上產生出感應電動勢，而且感應電動勢的方向是減少電流進入電晶體的基極而造成電晶體的集極與射極之間進入不導通的狀態，以上的電晶體開關動作速度極快，不斷重複的結果就產生間歇振盪的電子訊號，因為接腳 5 和 6 之間的線圈數目很多，所以產生出很大的感應電動勢送至由電容器和整流二極體所組成的壘增倍壓電路，這用來產生低功率的高壓電確實簡單好用。

最後以我修好的那隻電蚊拍為例，線圈變壓器接腳 1 和 2 之間的線圈有 12 圈，接腳 3 和 4 之間的線圈有 24 圈，至於接腳 5 和 6 之間的線圈數目則多達 1345 圈，花了約二小時才接好斷路的漆包線並一一地繞回去，如果只要判斷變壓器接腳，以掌上型多用途電錶的歐姆檔測試即可，圈數越多者電阻越大 ($R=\rho L/A$)。

操作時的注意事項

改裝過的電蚊拍就像是一個瓦斯爐的電子點火器，一定要再三確認附近沒有易燃物品和粉塵，以免發生火災或爆炸的危險意外。

人被電蚊拍電到是極不舒服的，有心臟疾病者更要避免，才能確保安全。



參考資料

[1] Douglas C. Giancoli (2000), Physics for Scientists and Engineers, 3rd Ed., p. 622, Prentice Hall.

[2] 同上, P622.