中華民國第54屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　物理科

佳作

030111

焦耳電力公司－榨乾廢電池電力之研究

學校名稱：臺南市立建興國民中學

作者：	指導老師：
國二 楊承遠	楊志鴻
國二 林又暄	陳信男
國一 陳孟宏	

關鍵詞：焦耳小偷(Joule Thief)線路、暫態電壓、振盪頻率

焦耳電力公司－榨乾廢電池電力之研究

摘要

「廢電池」的電壓已不能讓原有電器正常地使用，但其實裡面還是留有電力。因此我們想要探討如何有效地取出這些能量並加以利用。

先分析「焦耳小偷(Joule Thief)線路」，接著討論影響榨出電力的因素，如線徑、線圈數、繞法、鐵芯大小與形狀等。結果發現增加線圈的圈數、適當的疊繞在鐵芯上可以進一步提高電壓，振盪頻率與責任週期也會同時受到影響。

我們創作出「整合型廢電池電力榨乾裝置」，實際回收廢電池並榨出電力。接著發現一顆廢電池約可榨出六百多焦耳的能量到超電容裡，經我們測量的機械效率反推可知，廢電池的電力應該還有兩到三仟焦耳之多。

這些榨出的電力未來可以應用在耗電功率較低的綠能電器或是透過「假電池」的設計讓廢電池起死回生。

壹、研究動機

從國小到國中，學校都會大力地宣傳廢電池回收的重要，而且都會給我們很好的獎勵。但是這些廢電池真的都沒有電了嗎？會不會只是電壓太低而不能正常使用而已？會不會還是有剩餘的電力可以拿來再利用呢？我們想說電壓不夠的廢電池或許可以透過起死回生術讓它延續生命，所以我們就有了把廢電池能量「榨出來」的想法。

貳、研究目的

因爲在網路上看過製作「焦耳小偷(Joule Thief)線路」的影片，於是想要利用這個方法來取出廢電池殘留的電力，並且思考還有沒有其他更簡單的方法可以達到相同的目的。

我們想要大量回收廢電池，在分解之前利用各種方法來榨出電力，積少成多之後，就可以應用在更多地方了。從原理分析到實際測量與創意實作，進行了以下的探究。

一、分析「焦耳小偷(Joule Thief)線路」

二、探討影響「焦耳小偷(Joule Thief)線路」榨出乾電池電力的因素

三、製作「整合型廢電池電力榨乾裝置」

四、榨出電力的應用

參、研究設備及器材

一、一般器材

絞線（紅色、藍色）、0.24mm 漆包線、0.35mm 漆包線、麵包板 ×1、尖嘴鉗 ×1、斜口鉗 ×1、電烙鐵 ×1、焊錫 ×1、數位相機 ×1、熱熔槍、全新乾電池、廢乾電池、磁環、搖頭開關、銅柱、萬用電路板。

二、特殊器材

1. 示波器(廠牌：Tektronix 型號：TDS 1012C-EDU)，如圖 3-1。
2. 電容(規格：10μF/16V、15000μF/16V) ，如圖 3-2。
3. 電晶體(規格：2N2222)，如圖 3-3。
4. 二極體(規格：1N4148)，如圖 3-4。
5. 三用電錶(廠牌：UNI-T 型號：UD71D)，如圖 3-5。
6. 電阻(規格：150Ω/0.5W)，如圖 3-6。
7. 發光二極體(3V-LED 藍、白光)，如圖 3-7。
8. 超電容(規格：100F 及 350F/2.7V)，如圖 3-8。
9. 波斷開關(開關×6)，如圖 3-9。

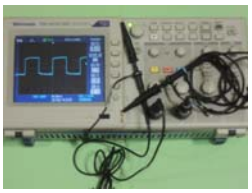


圖 3-1 示波器

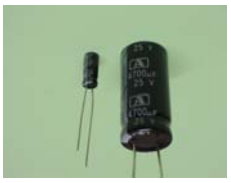


圖 3-2 電容

圖 3-3 電晶體

圖 3-4 二極體

圖 3-5 三用電錶

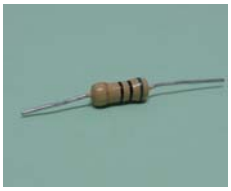


圖 3-6 歐姆電阻

圖 3-7 LED

圖 3-8 超電容

圖 3-9 波斷開關

肆、研究過程或方法

一、研究架構

根據研究目的，建立我們的研究架構流程圖，如圖 4-1 所示：

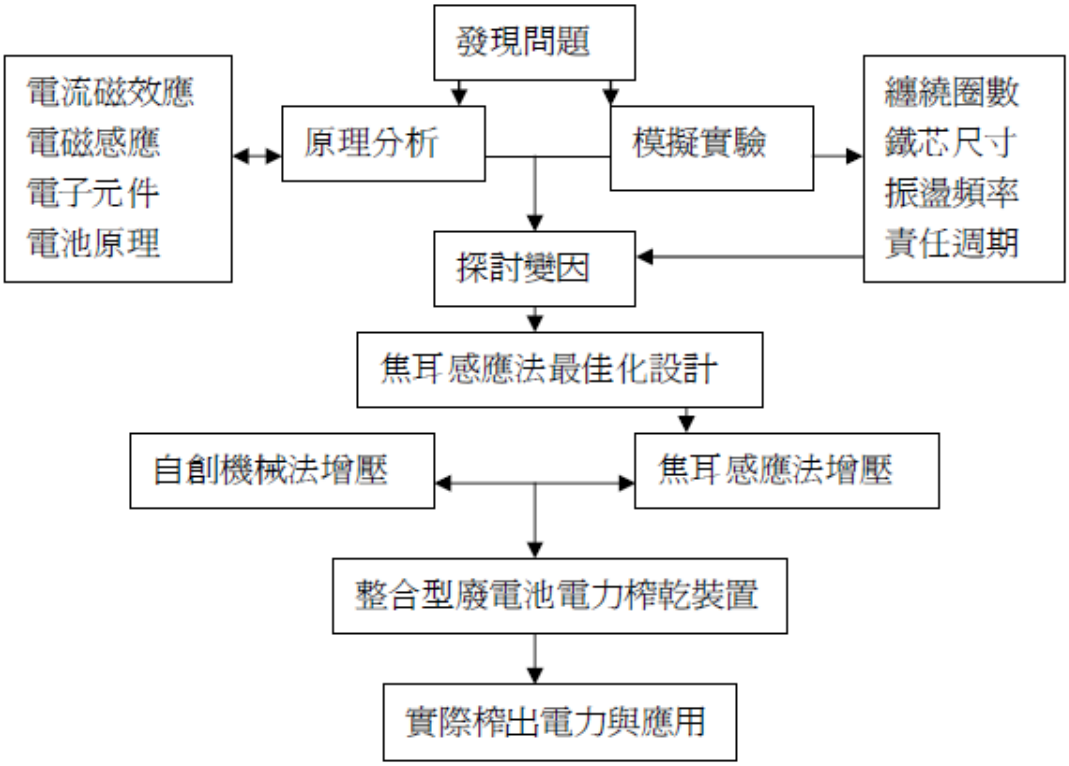


圖 4-1

二、研究步驟

(一) 分析「焦耳小偷(Joule Thief)線路」

1. 原理分析：了解「電流磁效應」、「電磁感應與冷次定律」與「電容」
2. 討論「焦耳感應法」的運作機制與變因

(二) 探討影響「焦耳小偷(Joule Thief)線路」榨出乾電池電力的因素

1. 圈數、繞法與鐵芯對「焦耳小偷(Joule Thief)線路」榨出電力的影響
2. 圈數比與疊繞對「焦耳小偷(Joule Thief)線路」榨出電力的影響

(三) 製作「整合型」廢電池電力榨乾裝置

1. 設計「機械法」：設計並製作可任意變換並聯及串聯的「機械法」切換開關
2. 製作「整合型」廢電池電力榨乾裝置
3. 蒐集並分類廢電池
4. 測量並比較「並聯」、「串聯」與「焦耳感應法」三階段榨出電力的結果
5. 實際榨出廢電池的電力

(四) 榨出電力的應用

1. 製作「假電池」讓廢電池起死回生
2. 將榨出電力存到超電容後再對小夜燈放電

伍、研究結果與討論

一、分析「焦耳小偷(Joule Thief)線路」

(一) 原理分析：了解「電流磁效應」、「電磁感應與冷次定律」與「電容」

1.電流磁效應

(1)1820 年，丹麥物理教授厄司特意外地發現一條通有電流的導線，竟然使附近的磁針產生偏轉，像這種載流導線的周圍會產生磁場的現象，稱爲電流磁效應。

(2)螺線形線圈的磁場

a.螺線形線圈內部的磁場均勻，其所產生的磁場大小與下列因素有關：

(i)磁場大小和導線上的電流強度成正比。

(ii) 磁場大小和螺線圈繞得緊密程度有關，即單位長度內所繞的圈數越多，產生的磁場越強。

b.螺線形線圈所產生的磁場與很多薄圓形磁鐵串接起來後所形成的圓柱形棒狀磁鐵相似，且螺線形線圈的兩端似同磁鐵棒的 N、S 極。螺線形線圈兩端的磁極，可以「安培右手定則」來判斷，如右圖 5-1-1 所示。

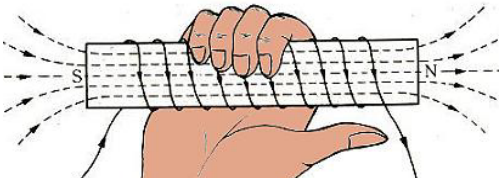


圖 5-1-1 四隻手指彎向電流方向，大拇指伸出，即指向 N 極。

2.電磁感應與冷次定律

(1)西元 1831 年法拉第發現：原先沒有電流的線圈，會因線圈所受的磁通量發生變化而產生電流，如圖 5-1-2、5-1-3 所示，這種現象稱爲電磁感應，而產生的電流就稱爲**應電流**，產生的感應電壓亦稱爲**感應電動勢**。

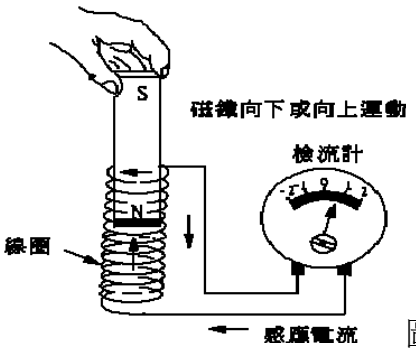


圖 5-1-2

磁鐵向下或向上運動，造成線圈磁場變化，會產生應電流。

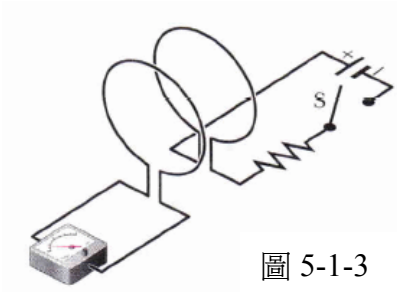


圖 5-1-3

右邊線圈接通或斷開的瞬間，會造成左邊線圈的磁場發生變化，左邊線圈會有應電流產生。

(2)法拉第電磁感應定律：

當增加線圈的圈數或使線圈內磁通量變化速率加快(如磁鐵移動速度加快或增加磁鐵磁場強度)，都可以增大線圈產生的感應電動勢或應電流。亦即：線圈產生的感應電動勢的大小等於「線圈圈數×線圈內的磁通量變化率」，此稱爲「法拉第電磁感應定律」。

(3)冷次定律

感應電動勢或應電流的方向可由冷次定律來判斷，其內容如下：當線圈內的磁通量發生變化時，線圈會感應而產生應電流，應電流的方向恆使感應電流產生的新磁場抵抗原來磁場的變化，如圖 5-1-4 所示。

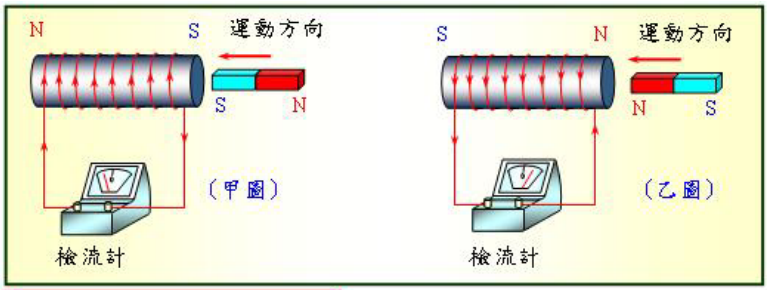


圖 5-1-4 當磁鐵運動時，根據冷次定律判斷感應電流的方向

3.電容器與電容量(C)

(1)電容器：利用正負電相吸引的性質，將兩片金屬板中間夾一層不導電的物質(如紙張、玻璃、塑膠)，如圖 5-1-5 所示，則當導入電荷時，電荷隔著絕緣體互相吸引，不易流失，如圖 5-1-6 所示，這種裝置可以用來儲存電荷，稱爲電容器。電容器中兩平行導電板稱爲電極，中間的絕緣材料則稱爲介質。

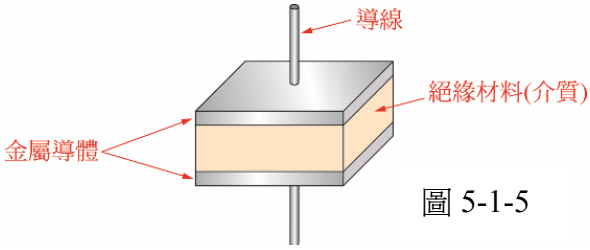


圖 5-1-5

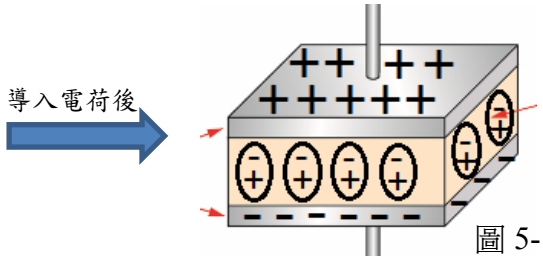


圖 5-1-6

(2)電容器儲存的能量：

電容器在充電過程中，兩電極板間的電位差(V)由零逐漸增加至電源電壓，儲存的電荷量(Q)亦由零逐漸增加，兩者呈現線性關係，如圖 5-1-7 所示，該直線的斜率$m=\frac{Q}{V}$，即等於 C。充電過程中的平均電壓$V_{av}=\frac{1}{2}(0+V_C)=\frac{1}{2}V_C$，根據能量 E=Q×V，以及 Q=C×V，故電容器儲存能量的計算式爲：

$$E=Q\times\frac{1}{2}V_C=\frac{1}{2}\times C\times V_C\times V_C=\frac{1}{2}CV_C^2。$$

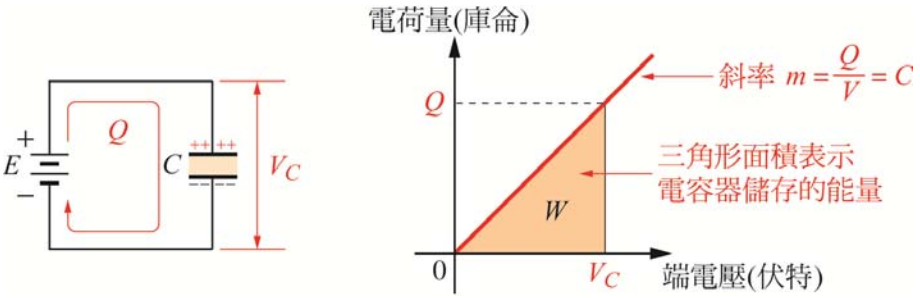


圖 5-1-7 電容器充電及其能量儲存

因此我們只要知道電容器的電容量大小及電容器兩極板的電壓值，便可以知道電容器所儲存的電能有多少。

(二) 討論「焦耳感應法」的運作機制與變因

1. 理解網路上「焦耳小偷(Joule Thief)線路」的運作機制

(1) 如下圖 5-1-8 所示之焦耳小偷(Joule Thief)線路圖，經由電晶體(2N2222)的切換產生線圈 L1 及 L2 的交互電磁感應。若 $V_{BT1}+V_{L2}$ 的瞬間暫態電壓增加到可以驅動 LED 工作的狀態時，電池的電就經由 L2 流過 LED，把電池內的能量繼續消耗掉。

(2) 實際組裝在電路板上如圖 5-1-9 至 5-1-10 所示，用電錶測量電壓、振盪頻率等數據，並透過老師指導，學習使用示波器觀察訊號變化情形，如圖 5-1-11。

(3) 由 CH1 及 CH2 所顯示的電晶體切換過程的電壓變化情形，**定義相關名詞如下**：

Ⅰ 「**暫態電(升)壓**」：電池電壓(V_{BT1})加上 L2 線圈因電晶體的切換時產生暫態感應電動勢，即 CH1(圖 5-1-11 的黃色訊號)所量到之對外輸出給負載端的電壓。

Ⅱ 「**振盪頻率**」：電流流經 CH1 還是 CH2 的電晶體切換快慢(圖 5-1-11 中每秒綠色訊號變黃色訊號的次數)。

Ⅲ 「**責任週期**」：電晶體的一個切換循環中，經 L2 線圈對負載放電的時間比率。

Ⅳ 「**焦耳感應法**」：利用電晶體的切換產生電磁感應來增加電壓的方法。

(4) 電池經過「焦耳感應法」放電時的暫態電壓 Vo、振盪頻率 f 及責任週期 D，可以利用三用電錶連接 CH1 接點來進行測量。

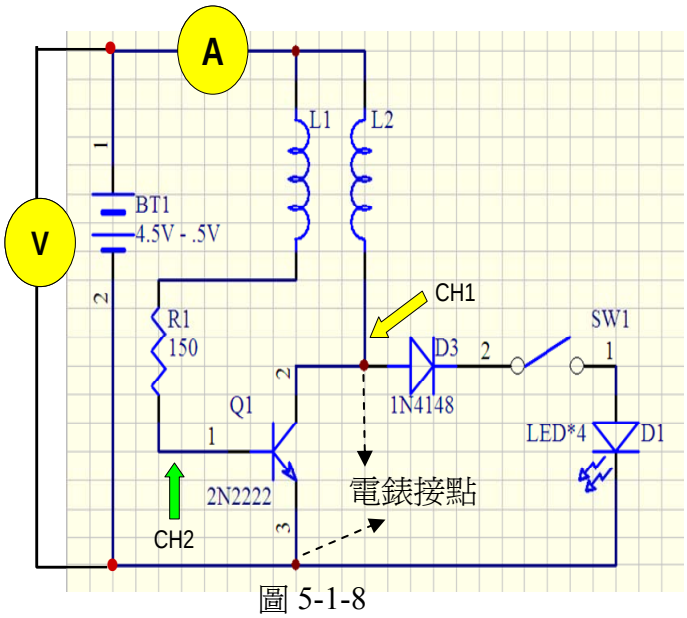


圖 5-1-8

圖 5-1-9

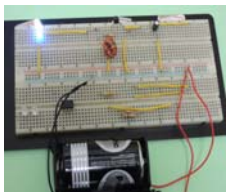


圖 5-1-10

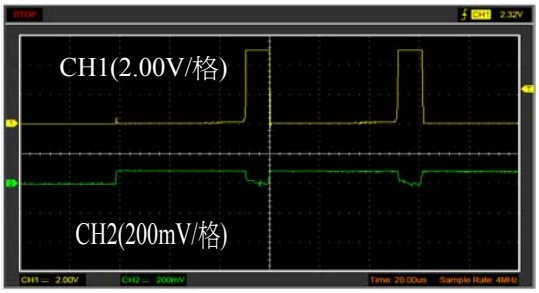


圖 5-1-11 Time 20.00μs Sample Rate 4MHz

2. 模擬「焦耳小偷(Joule Thief)線路」榨出乾電池電力

(1) 若使用全新乾電池透過「焦耳感應法」對 3V 白光 LED 放電需要很長的時間(約一星期以上)，才能看到電壓的下降，所以**改用**電壓爲 1.5 伏特的**超電容**(規格 350F,2.7V)來**當替代電源**(圖 5-1-12)，看看能不能看到圖 5-1-12 的伏特計所量的電源電壓出現明顯地下降，以便了解無法透過焦耳感應法驅動 LED 的「截止電壓」。

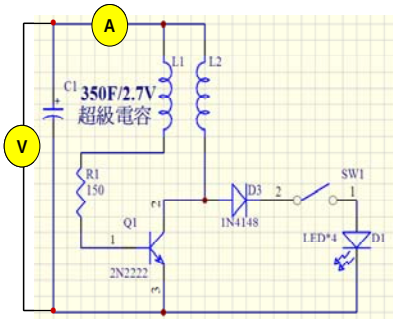


圖 5-1-12

(2) 我們用線徑 0.35mm 混繞小鐵芯 10 圈，測量紀錄超電容殘留電壓、輸出電流隨時間變化的情形，摘錄每隔 30 分鐘所記錄到的數據如表 1；另外使用電錶紀錄超電容殘留電壓每下降 0.1 伏特時的殘留電壓、輸出電流與振盪頻率如表 2。

表 1 混繞 10 圈的超電容殘留電壓、輸出電流隨時間變化情形

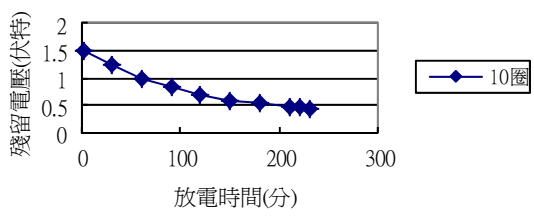
時間(分)	電壓(V)	電流(mA)	時間(分)	電壓(V)	電流(mA)	時間(分)	電壓(V)	電流(mA)	註：
0	1.521	56.42	120	0.693	21.14	220	0.469	6.54	1. 當電池下降到約 0.455V 以下時，無法透過焦耳感應法驅動 LED。
30	1.247	48.34	150	0.596	14.7	230	0.455	5.11	2.總放電時間超過 230 分鐘。
60	1.001	38.24	180	0.530	10.35				
90	0.825	29.02	210	0.481	7.32				

表 2　振盪頻率與混繞 10 圈殘留電壓、電流關係

項次	殘留電壓(V)	輸出電流(mA)	振盪頻率(KHz)
1	1.521	56.42	45.18
2	1.402	53.00	47.59
3	1.307	50.11	49.72
4	1.214	46.51	52.09
5	1.105	42.72	54.75
6	1.018	38.88	57.68
7	0.902	32.6	62.44
8	0.806	27.88	68.13
9	0.709	22.09	76.62
10	0.604	15.05	93.05
11	0.526	9.87	115.1
12	0.504	8.59	124.2
13	0.464	5.97	0

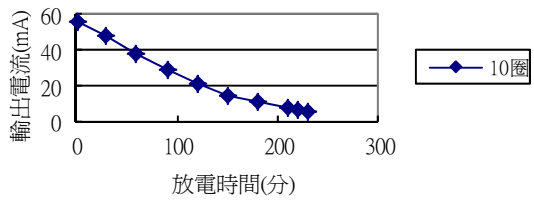
(3) 繪製殘留電壓隨時間變化關係如圖 5-1-13；輸出電流隨時間變化關係如圖 5-1-14；振盪頻率隨殘留電壓下降的變化關係如圖 5-1-15；振盪頻率隨輸出電流下降的變化關係如圖 5-1-16。

圖5-1-13 超電容殘留電壓與放電時間

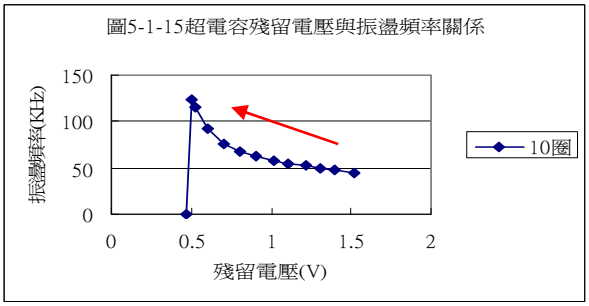


【討論】
超電容的殘留電壓隨著放電時間呈指數遞減的現象；下降至 0.45(V)以後才無法透過焦耳感應法升壓後對外供電。

圖5-1-14 超電容輸出電流與放電時間關係

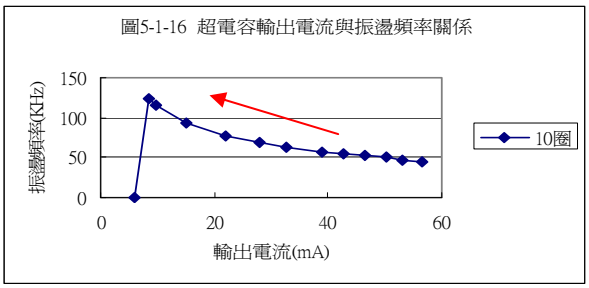


【討論】
超電容透過焦耳感應法對供電的輸出電流一樣也是呈現指數遞減的現象。



【討論】

電晶體的振盪頻率則是隨著殘留電壓下降而上升，這個現象引起我們很大的興趣，我們認爲這可能和電晶體的工作特性與鐵芯的磁場變化有關。



【討論】

振盪頻率一樣也是隨著輸出電流的下降而上升，而且當殘留電壓與輸出電流降到一個程度後，電晶體不再振盪，整體線路便不再工作了。

3. 比較混繞不同圈數影響：

(1) 我們改用線徑 0.35mm 混繞小鐵芯 **20 圈**，測量超電容殘留電壓、輸出電流隨時間有無不同變化的情形，同樣只摘錄每隔 30 分鐘所記錄的數據如表 3，同時紀錄電壓下降時的振盪頻率變化，如表 4。

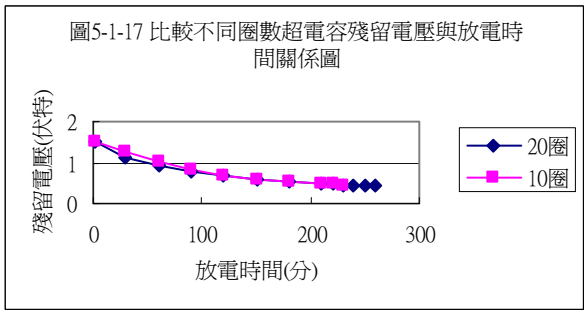
表 3 混繞 20 圈的超電容殘留電壓、輸出電流隨時間變化情形

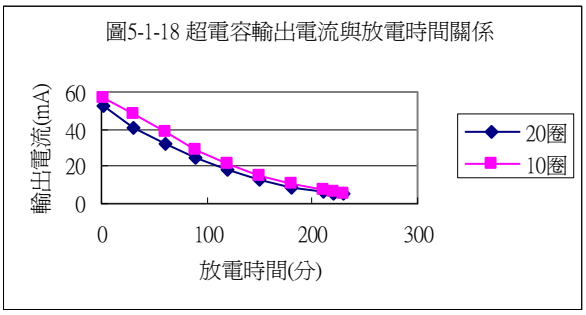
時間(分)	電壓(V)	電流(mA)	時間(分)	電壓(V)	電流(mA)	時間(分)	電壓(V)	電流(mA)	註：
0	1.501	52.56	150	0.583	12.55	240	0.454	4.75	1. 當電池下降到約 0.436V 以下時，無法透過焦耳感應法驅動 LED。 2.總放電時間約 260 分。
30	1.128	41.12	180	0.525	8.99	250	0.445	4.22	
60	0.925	32.14	210	0.484	6.33	260	0.436	3.75	
90	0.777	24.31	220	0.473	5.83				
120	0.662	17.82	230	0.463	5.25				

表 4 振盪頻率與混繞 20 圈殘留電壓、電流關係

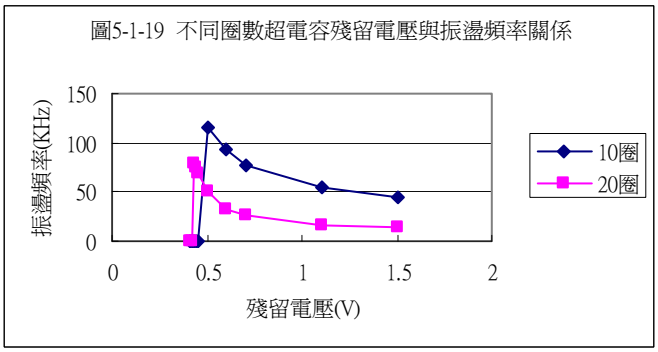
項次	殘留電壓(V)	輸出電流(mA)	振盪頻率(KHz)
1	1.502	52.5	13.42
2	1.114	39.82	16.41
3	0.706	19.82	25.78
4	0.601	13.72	33.13
5	0.499	7.38	50.85
6	0.483	6.33	55.57
7	0.452	4.56	68.78
8	0.445	4.22	72.5
9	0.441	3.97	74.88
10	0.432	3.9	80.03
11	0.425	3.86	0
12	0.418	3.78	0
13	0.413	3.69	0

(2) 比較混繞 10 圈與 20 圈的殘留電壓隨時間變化關係如圖 5-1-17；輸出電流隨時間變化關係如圖 5-1-18；振盪頻率隨輸出電壓下降的變化關係如圖 5-1-19。





【討論】混繞較多圈數時，超電容的殘留電壓與輸出電流一開始會下降較快，但截止電壓卻比較低，放電時間會比較長。



【討論】
相同殘留電壓值時，混繞較多圈數造成的電晶體振盪頻率較低，這是因為 V_{L2} 的感應電壓會較高，所以才能讓電源端的截止電壓再降低一點。

4. 根據「電磁感應現象」中的「法拉第定律」可知，感應電動勢與磁通量的變化率及線圈數有關，本步驟發現纏繞線圈數愈多可以造成的鐵芯磁通量變化愈明顯，所以影響了 $V_{BT1}+V_{L2}$ 的整體暫態電壓。
5. 我們認為線徑、繞法以及鐵芯環的尺寸、形狀等因素的影響均值得做進一步的深入探討。
6. 發現示波器上的「**責任週期**」(Duty cycle)，如圖 5-1-20 所示，也可以直接使用電錶測量，所以便將這個可能與轉換效率有關的因素加入後面的討論中。

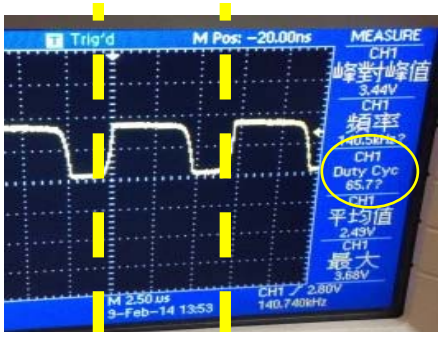


圖 5-1-20　示波器波形放大圖

二、探討影響「焦耳小偷(Joule Thief)線路」榨出乾電池電力的因素

根據步驟一的模擬「焦耳小偷(Joule Thief)線路」，我們發現圈數、繞法及鐵心尺寸與形狀均會影響暫態升壓 Vo、振盪頻率 f 及責任週期 D。

經過討論，我們認爲責任週期(工作時間比)會與能量轉換效率(機械效率 e 值)有關；而振盪頻率 f(仟次/秒)則是指透過此線路每秒可以轉換多少次，隨著榨電的時間愈長，就可以不斷地取出電力。不過**由於還要考慮負載端所需的工作電壓，因此也不見得振盪頻率高就是比較好，有時候我們需要的是可工作的電壓，例如將廢電池的電榨到電容來儲存，電壓值就比較重要，但是若只是要讓 LED 發亮，所需的電壓反而不用太高。**

以下我們就分別針對圈數、線徑、繞法(如圖 5-2-1 至 5-2-2)、鐵芯尺寸及形狀等因素來探討全新 1.5V 乾電池透過「焦耳感應法」放電時的暫態升壓 Vo 大小、振盪頻率 f 及責任週期 D 變化情形。

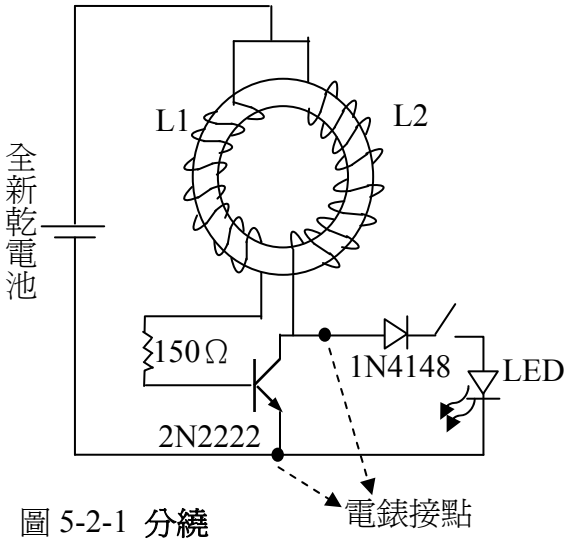


圖 5-2-1 分繞

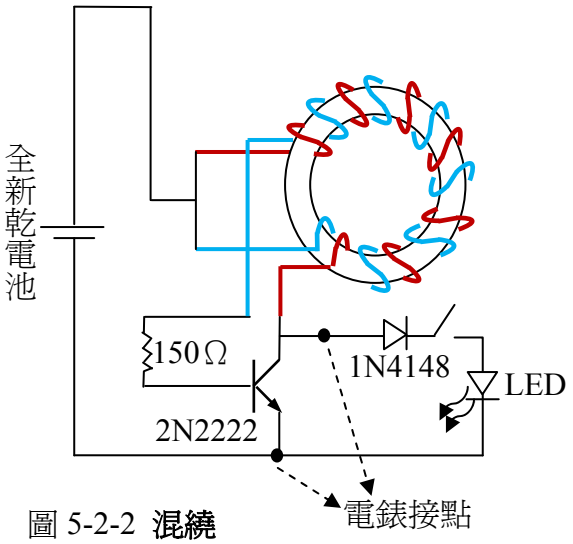


圖 5-2-2 混繞

(一) **圈數、繞法與鐵芯**對「焦耳小偷(Joule thief)線路」榨出乾電池電力的影響

讓 L1、L2 線圈圈數及纏繞密度相同，測量小、大及筒型鐵心纏繞不同圈數與線徑，以及不同纏繞方式的榨出電力情形，結果如下：

1. 探討**圈數與線徑**對榨出電力的影響

(1) 【操縱變因】：圈數；【控制變因】：線徑--0.24mm、繞法--分繞、磁環--小鐵芯環

全新乾電池電壓維持在 1.58(V)，測量結果如表 5。

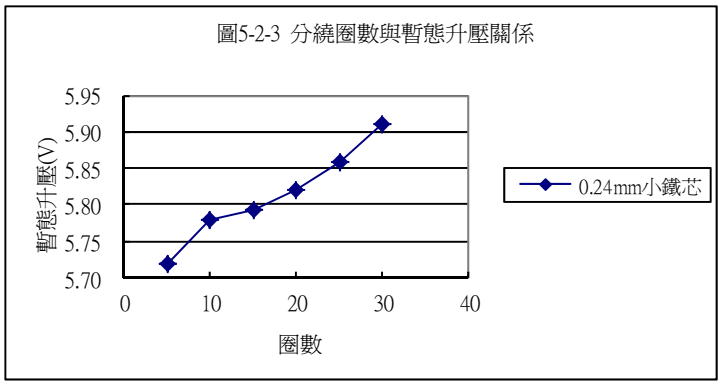
表 5　線徑 0.24mm 分繞不同圈數在小鐵芯環的各項輸出結果

分繞圈數	振盪頻率 f (KHz)	責任週期 D (%)	暫態升壓 Vo(V)
30	15.00	28.50	5.91
25	15.86	27.50	5.86
20	24.71	28.00	5.82
15	25.67	28.90	5.79
10	86.51	27.30	5.78
5	151.60	33.10	5.72

【註】

$Vo = V_{電池} + V_{感}$

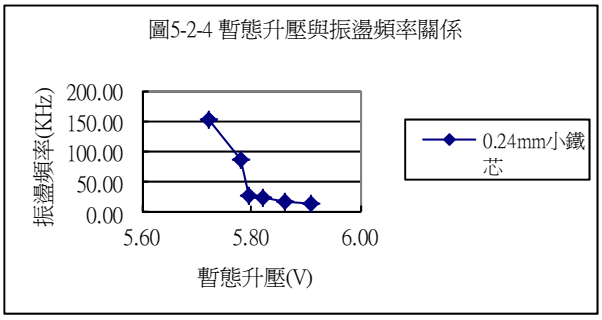
(2) 比較分繞**不同圈數**對暫態升壓的影響，結果如圖 5-2-3 所示。

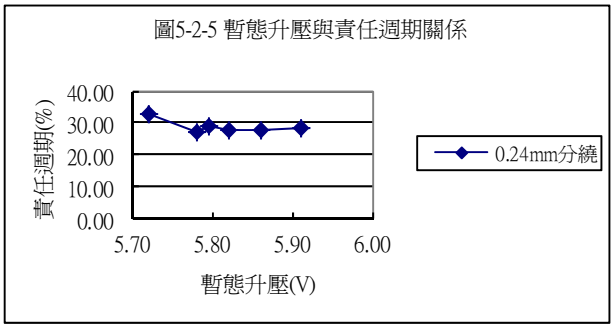


【討論】

結果發現，圈數愈多，暫態升壓愈高。因爲電源端改爲使用電壓穩定的全新乾電池，**$V_{池}$(BT1)固定**，所以暫態升壓 Vo 應該是隨著線圈 L2 的感應電壓 $V_{感}$(L2)一起上升的。

(3) 分析暫態升壓對振盪頻率及責任週期的影響如圖 5-2-4 至圖 5-2-5，結果和先前步驟一之(二)－2—(3)相同，振盪頻率會明顯地隨暫態升壓的增加而下降；而責任週期也是隨暫態升壓的增加而下降，但下降幅度愈來愈不明顯，維持在 27~29%附近。





【討論】

發現暫態升壓降低時的責任週期較高，反之如果需要較高的暫態升壓來對負載端放電，則瞬間能量轉換效率會稍差一點，也就是可能要花比較久的時間取出較多的電力；如果只是需要足夠的負載電壓即可，則圈數不用繞太多，雖然暫態升壓有限，反而可以快速地取出能量。

(4) 想要了解線徑是否對榨出電力也有影響，更換線徑爲 0.35 mm，重複步驟 1-(1)並與線徑 0.24mm 進行比較：

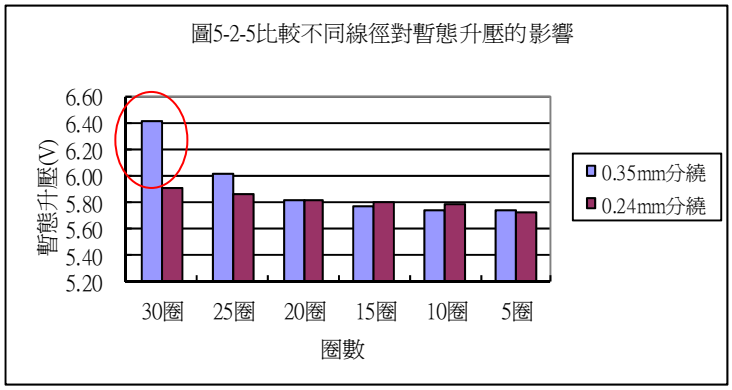
【操縱變因】：圈數；【控制變因】：線徑--0.35mm、繞法--分繞、磁環--小鐵芯環

全新乾電池電壓維持在 1.58(V)，測量結果如表 6。

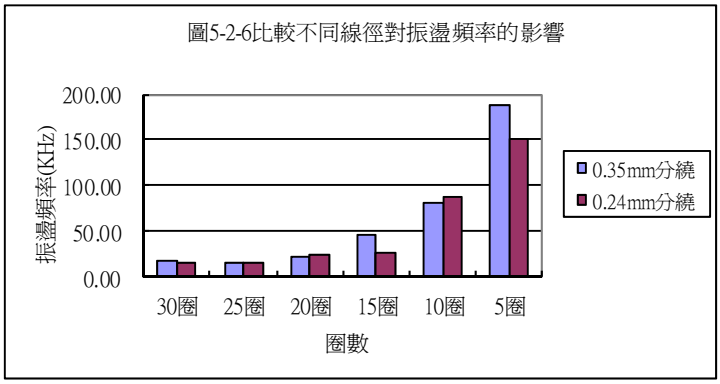
表 6 線徑 0.35mm 分繞不同圈數在小鐵芯環的各項輸出結果

分繞圈數	振盪頻率 f (KHz)	責任週期 D (%)	暫態升壓 Vo(V)
30	16.36	27.70	6.42
25	15.48	27.60	6.01
20	21.81	29.40	5.82
15	46.28	26.60	5.77
10	80.84	29.20	5.74
5	188.30	32.70	5.74

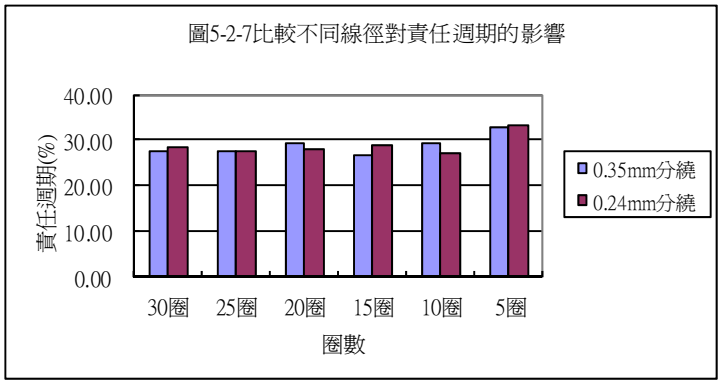
(5) 比較**不同線徑**的差異，如圖 5-2-5 至圖 5-2-7 所示。



【討論】
發現不同線徑在低圈數的時候對於暫態升壓的影響不大，但是圈數達 30 圈時，纏繞線徑 0.35mm 時可能有部分疊繞的關係，單位長度的線圈密度較高，磁力線變化較大，所以 $V_{感}$(L2) 較大，造成暫態升壓有明顯升高。



【討論】
同樣地，當暫態升壓變大，振盪頻率會下降，但是線徑造成的差異不大，纏繞 5 圈時，線徑 0.35mm 的振盪頻率則有明顯的升高，。



【討論】
責任週期的部份則較不受線徑及纏繞圈數的影響。

2. 探討**不同繞法**對榨出電力的影響

(1) 【操縱變因】：圈數。

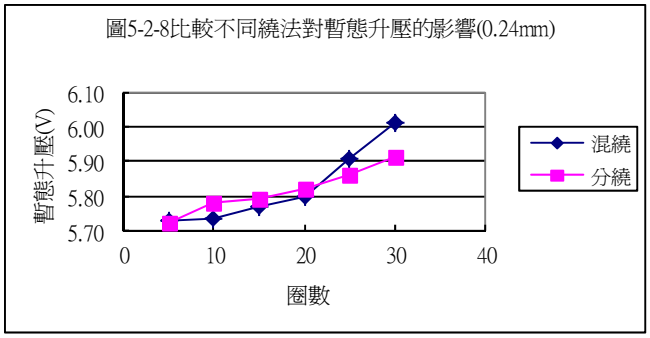
【控制變因】：線徑--- 0.24mm、繞法---**混繞**、磁環---小鐵芯環

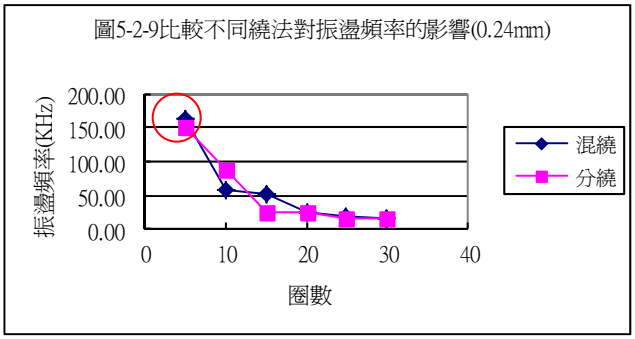
全新乾電池電壓維持在 1.58(V)，測量結果如表 7。

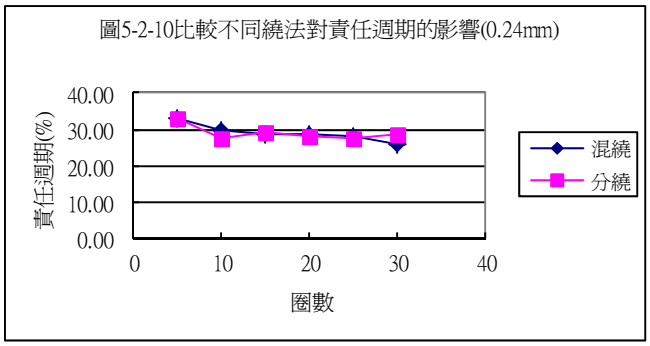
表 7 線徑 0.24mm 混繞不同圈數在小鐵芯環的各項輸出結果

混繞圈數	振盪頻率 f (KHz)	責任週期 D (%)	暫態升壓 Vo(V)
30	16.82	26.10	6.01
25	18.05	28.20	5.91
20	23.47	28.38	5.80
15	50.10	28.80	5.77
10	58.50	29.60	5.74
5	163.30	32.80	5.73

(2) 利用表 5 和表 7，比較不同繞法對暫態升壓、振盪頻率、責任週期的影響，結果如圖 5-2-8 至圖 5-2-10 所示。







【討論】

比較分繞與混繞的榨電情形，發現差異並不大；纏繞圈數爲 5 圈時，均會使頻率快速地拉高到 150KHz 以上。

(3) 【操縱變因】：圈數。

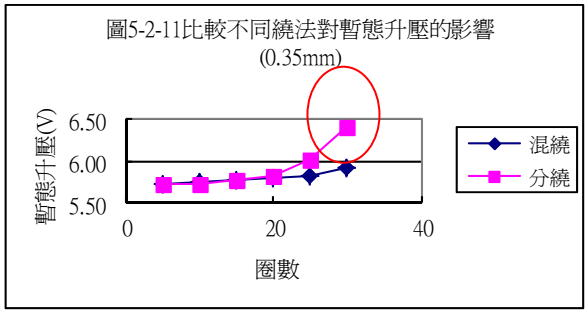
【控制變因】：線徑--- 0.35mm、繞法---混繞、磁環---小鐵芯環

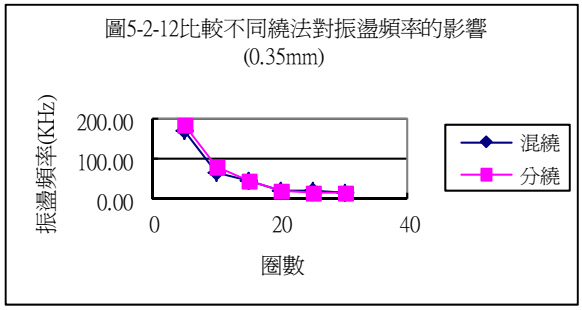
全新乾電池電壓維持在 1.58(V)，測量結果如表 8。

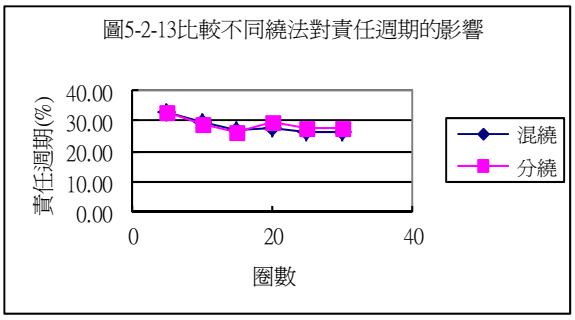
表 8 線徑 0.35mm 混繞不同圈數在小鐵芯環的各項輸出結果

混繞圈數	振盪頻率 f (KHz)	責任週期 D (%)	暫態升壓 Vo(V)
30	14.30	26.20	5.93
25	20.07	26.30	5.81
20	20.41	27.60	5.80
15	46.20	26.80	5.77
10	66.33	29.40	5.75
5	170.70	33.20	5.74

(4) 利用表 6 和表 8，同樣比較用線徑 0.35mm 混繞和分繞不同圈數對暫態升壓、振盪頻率、責任週期的影響，結果如圖 5-2-11 至圖 5-2-13 所示。







【討論】

發現差異仍然不大；比較有趣的是 0.35mm 在**分繞 30 圈時暫態升壓明顯較高，這可能和線徑較粗，因爲空間不夠造成部分疊繞所致**，後面需要針對疊繞做進一步討論。

3. 探討**鐵芯環**對榨出電力的影響

(1) 【操縱變因】：圈數。

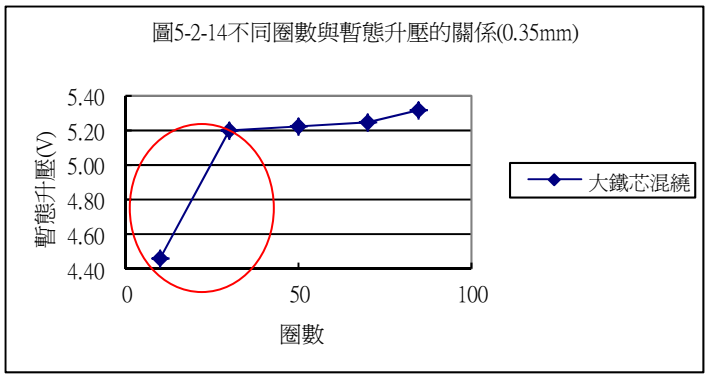
【控制變因】：線徑--- 0.35mm、繞法---混繞、磁環---大鐵芯環

全新乾電池電壓維持在 1.58(V)，測量結果如表 9。

表 9 線徑 0.35mm 混繞不同圈數在大鐵芯環的各項輸出結果

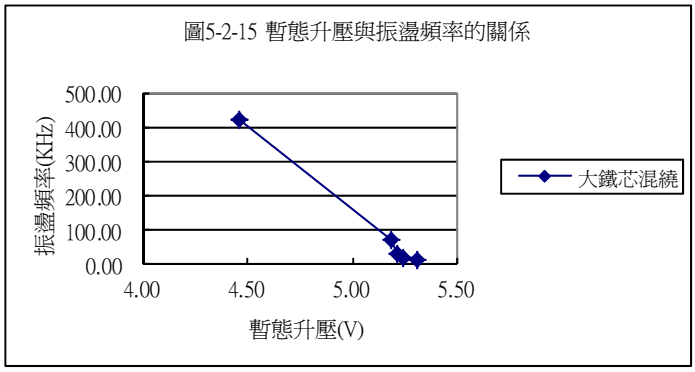
混繞圈數	振盪頻率 f (KHz)	責任週期 D (%)	暫態升壓 Vo(V)
85	10.38	25.20	5.31
70	15.38	25.60	5.25
50	29.07	26.10	5.21
30	69.21	27.20	5.19
10	418.70	34.80	4.46

(2) 繪製大鐵芯環纏繞不同圈數與暫態升壓的關係如圖 5-2-14，並且同樣分析暫態升壓對振盪頻率及責任週期的影響如圖 5-2-15 至圖 5-2-16 所示。



【討論】

由於要讓尺寸較大的鐵芯產生較大的磁場變化需要纏繞較多圈數，因此發現纏繞圈數太低時，暫態升壓突然下降很多（不超過 5 伏特）。



【討論】

大鐵芯纏繞 10 圈時，因圈數太少會導致暫態升壓過低，反而造成振盪頻率異常升高。可以看出暫態升壓與頻率之間有明顯的連動關係。

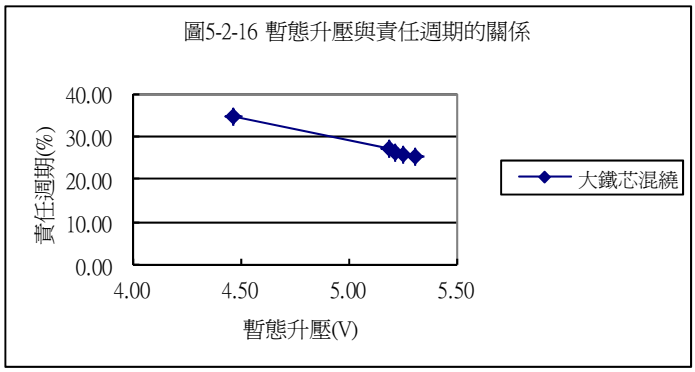


圖5-2-16 暫態升壓與責任週期的關係

【討論】

隨著振盪頻率在低圈數時的異常升高，責任週期居然會跟著提高到 30%以上。

我們認為在這段時間內如果轉換次數愈多，每一次轉換時對外放電的時間比例變大，相對會提高取出能量的效率。

【小結】

圈數愈多，暫態升壓愈高，但振盪頻率會變低；**線徑粗細**在**分繞多圈時**會**因鐵芯尺寸的限制**有明顯影響，這是因為**出現疊繞現象**時會增強磁通量變化率。

雖然振盪頻率及責任週期在低暫態電壓的瞬間能量轉換效率會變高，但是能夠驅動外界負載端所需的工作電壓卻相對不足，因此表現出「**魚與熊掌，不可兼得**」的物理特性與應用上的考量。

(3) 比較混繞同圈數之大、小鐵芯取出電池電力的差異，整理如表 10，繪製比較暫態升壓、振盪頻率及責任週期如圖 5-2-17 至 5-2-19 圖，可以發現其實小鐵心的升壓效果反而比較好。

表 10 比較混繞 10 圈及 30 圈大小鐵芯的各項輸出結果

混繞圈數	鐵芯大小	振盪頻率 f (KHz)	責任週期 D (%)	暫態升壓 Vo(V)
30	大	69.21	27.20	5.19
	小	14.30	26.20	5.93
10	大	418.70	34.80	4.46
	小	66.33	29.40	5.75

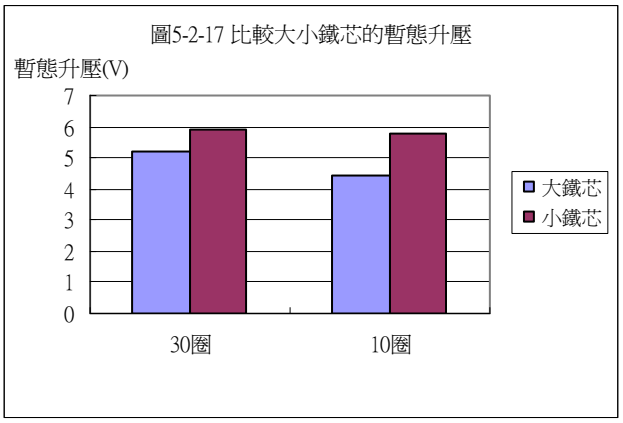


圖5-2-17 比較大小鐵芯的暫態升壓

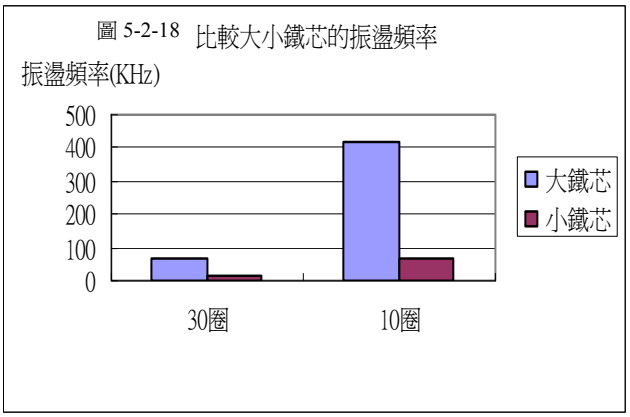
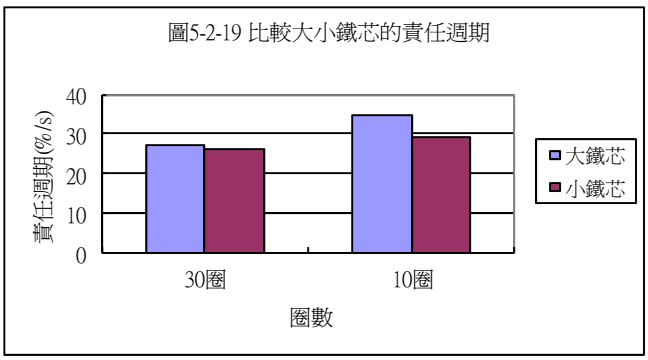


圖 5-2-18 比較大小鐵芯的振盪頻率



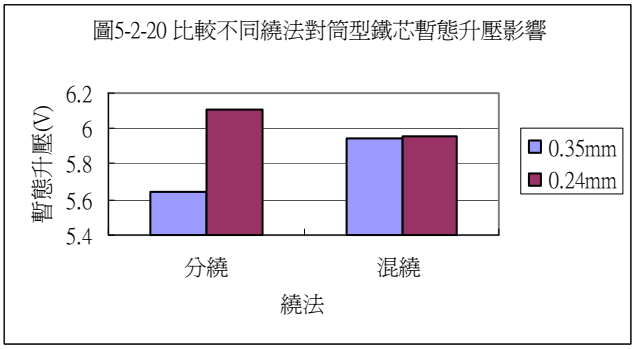
【討論】

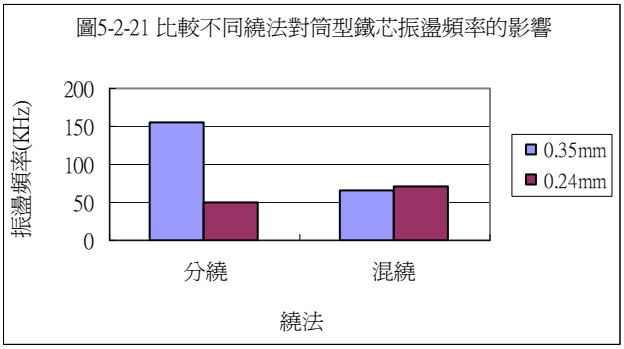
如果要透過「焦耳感應法」升壓，那麼因爲尺寸的限制造成所能纏繞的圈數是有限的，根據比較的結果，我們發現以纏繞小鐵芯較佳。因爲如果使用大鐵芯的話，反而需要纏繞更多的圈數才能達到預期的升壓效果，這樣會耗費較多的線材。

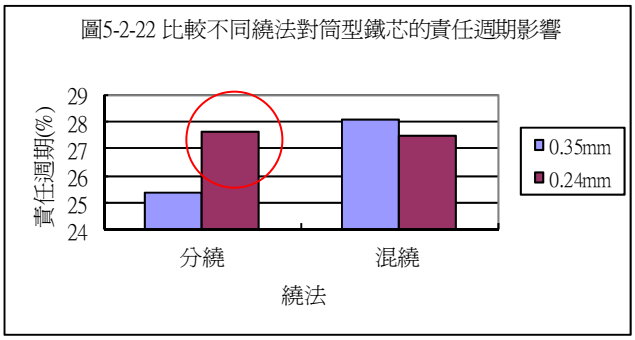
(4)固定 L1、L2 線圈的圈數均爲 15 圈，測量不同線徑分繞或混繞筒型鐵芯時，對全新乾電池榨出電力的情形如表 11，並且比較繞法對筒型鐵芯暫態升壓、振盪頻率及責任週期的影響如圖 5-2-20 至圖 5-2-22 所示。

表 11　L1、L2 線圈均繞 15 圈，不同線徑分繞或混繞筒型鐵芯的各項輸出結果

線徑(mm)	繞法	振盪頻率 f (KHz)	責任週期 D (%)	暫態升壓 Vo(V)
0.35	分繞	154.80	25.40	5.64
0.35	混繞	65.97	28.10	5.95
0.24	分繞	51.21	27.60	6.11
0.24	混繞	70.59	27.50	5.96



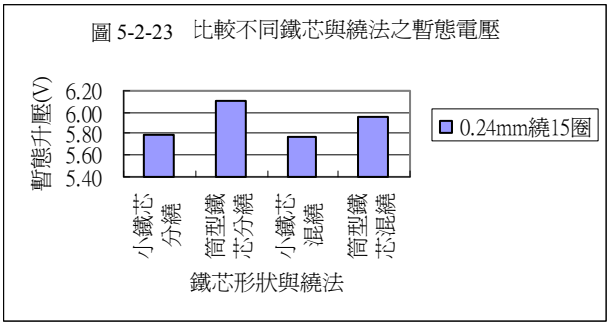


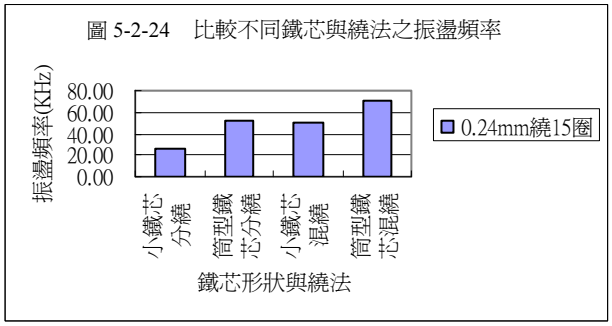


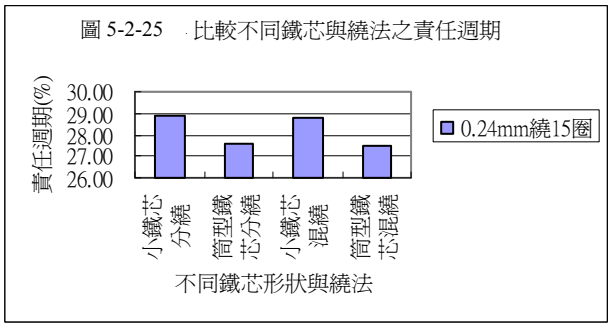
【討論】

發現用 0.24mm 分繞筒型鐵芯的升壓效果較好；用 0.35mm 分繞筒型鐵芯的責任週期並沒有隨著振盪頻率升高而升高。

(5)比較同樣線徑 0.24mm 繞 15 圈的兩種型態鐵芯取出電力的差異如圖 5-2-23 至圖 5-2-25 所示。







【討論】

若是考量暫態輸出電壓的需求，則纏繞圈數爲 15 圈時以筒型鐵芯爲佳；振盪頻率均以筒型鐵芯爲高，但是發現不管是分繞還是混繞，筒型鐵芯的責任週期均較低。

(二) **圈數比與疊繞**對「焦耳小偷(Joule thief)線路」榨出乾電池電力的影響

基於前面步驟的結果與討論，我們整理了以下幾個利用「焦耳感應法」榨出乾電池電力的問題：

Ⅰ. 在乾電池電壓值變動不大的前提下，要有較高的暫態輸出電壓來將電池的電存到電容去，就**必須提高 L2 端的線圈數**。

Ⅱ. 大鐵芯需要纏繞的圈數較多，而筒型鐵芯內徑太小限制了可以纏繞的圈數。

Ⅲ. 若是想要直接且快速地將電池的電耗掉，其實只要繞較少圈數讓振盪頻率及責任週期拉高即可。

綜合以上的分析，因此決定固定線徑 0.35mm，嘗試以大、小鐵芯採分繞的方式改變 L2 的圈數，希望了解不同圈數比對暫態升壓、振盪頻率及責任週期的影響。

1. 【操縱變因】：不同圈數比；【控制變因】：線徑 0.35mm、小鐵芯環、分繞(小心地並排纏繞使其不出現疊繞的情形)。

(1) 以線徑 0.35mm 於小鐵芯兩側分繞不同比例的線圈數，測量對全新乾電池(輸入電壓約 1.58V)榨出電力的情形如表 12。

表 12 線徑 0.35mm 於小鐵芯兩側分繞不同比例線圈數的各項輸出結果

L1 線圈數 (0.35mm)	L2 線圈數 (0.35mm)	線圈比 β 值＝N_{L2}/N_{L1}	振盪頻率 f (KHz)	責任週期 D (%)	暫態升壓 Vo(V)
8	8	1	136.70	29.50	5.70
8	16	2	33.40	21.90	7.53

8	24	3	20.22	20.20	7.79
8	32	4	15.50	20.10	7.95
8	40	5	15.04	20.90	8.14
8	48	6	13.82	22.70	8.25

(2) 繪製不同圈數比(β 值)和暫態升壓、振盪頻率及責任週期的關係圖如圖 5-2-26 至圖 5-2-28 所示。

圖5-2-26 圈數比對暫態升壓的影響

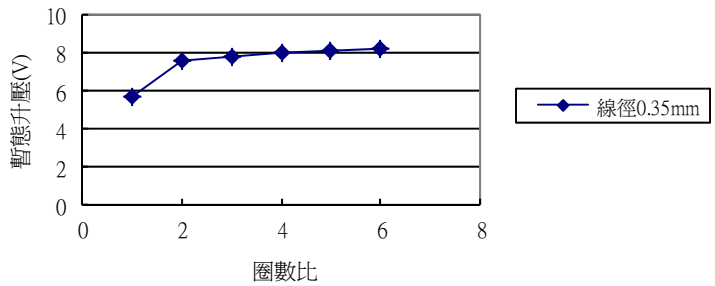


圖5-2-27 圈數比對振盪頻率的影響

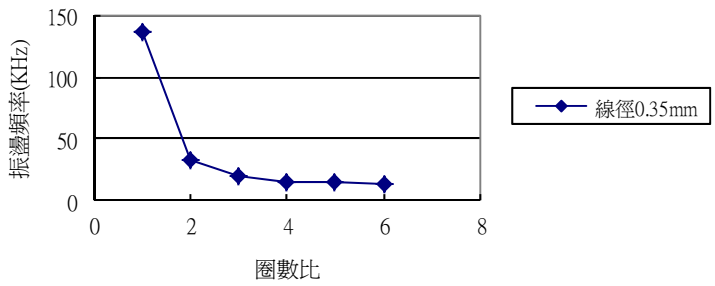
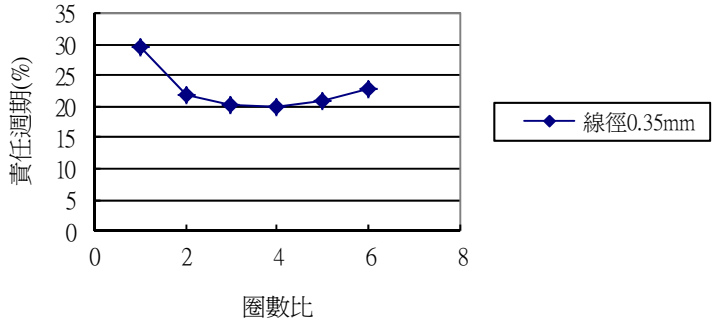


圖5-2-28 圈數比和責任週期的影響



【討論】

1.爲了增加 L2 的圈數，故意先將 L1 的圈數降至 8 圈(太低不易產生足夠的磁力線數去感應 L2 線圈)，我們發現改變 L2 線圈的線圈數的確能大幅提高暫態升壓，圈數比爲 6 的時候，已經出現高達 8.25 伏特的對外供電電壓，圈數比爲 1 的時候則一如前面步驟，暫態升壓值約爲 5~6 伏特左右。

2. 振盪頻率一樣是與暫態升壓呈現負相關的現象。

3. 較爲特別的是，責任週期雖然不像之前兩線圈圈數相同之測量結果(27~29%左右)，下降至 20%附近，但是並沒有隨振盪頻率增加而小幅增加的現象，反倒是在圈數比升高時也微幅的上升。

4. 可惜的是，因爲小鐵芯內外徑尺寸的限制，只能做到比值爲 6 的數據，而且 L2 線圈已開始出現部份疊繞的現象。

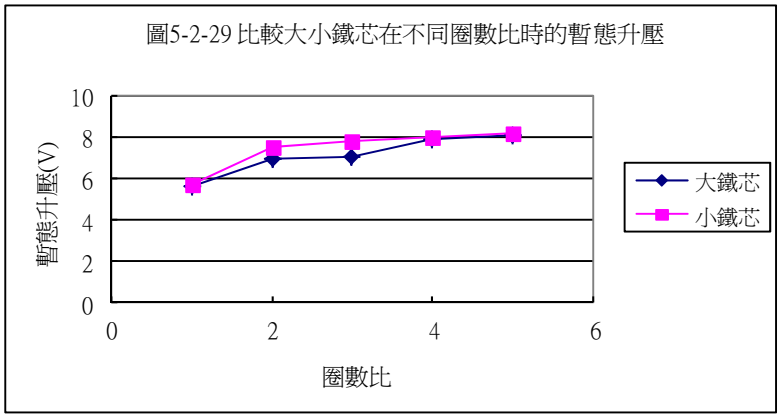
2. 【操縱變因】：不同圈數比；【控制變因】：線徑 0.35mm、大鐵芯環、分繞(注意並排纏繞且不出現疊繞情形)。

(1) 重複步驟(二)-1 於大鐵芯兩側分繞不同比例的線圈數，測量對全新乾電池(輸入電壓約 1.58V)榨出電力的情形如表 13。

表 13 線徑 0.35mm 於大鐵芯兩側分繞不同比例線圈數的各項輸出結果

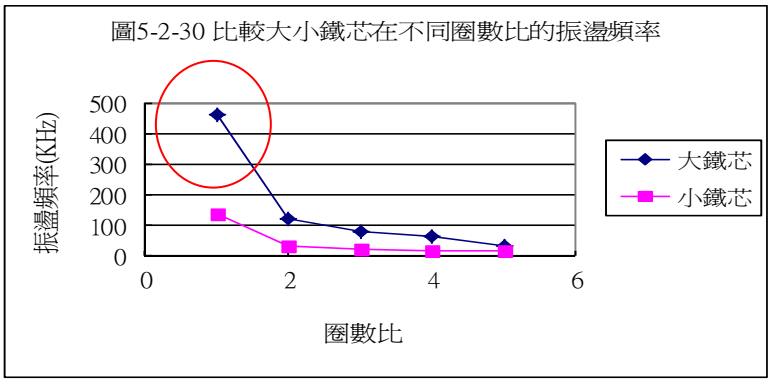
L1 線圈數 (0.35mm)	L2 線圈數 (0.35mm)	線圈比 β 值＝N_{L2}/N_{L1}	振盪頻率 f (KHz)	責任週期 D (%)	暫態升壓 Vo(V)
10	10	1	463.10	31.50	5.58
10	20	2	122.30	22.30	6.94
10	30	3	79.57	21.40	7.00
10	40	4	65.10	22.10	7.94
10	50	5	30.32	23.30	8.06

(2) 比較不同圈數比(β 值)時，大小鐵芯的各項表現如圖 5-2-29 至圖 5-2-31 所示。



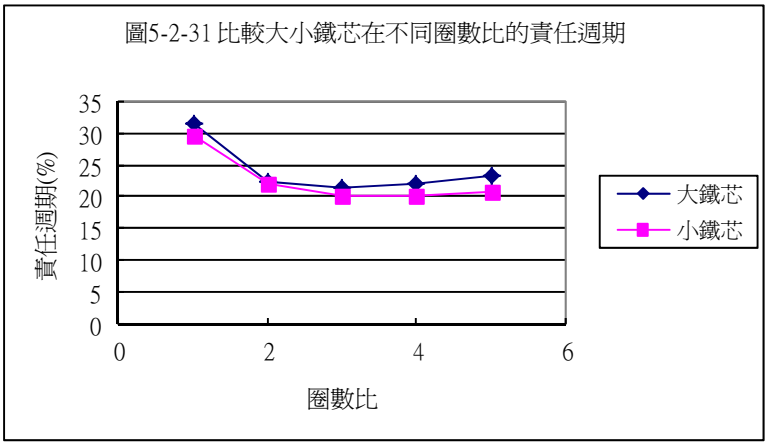
【討論】

因爲大鐵芯的內徑較大，可繞圈數較多，因此 L1 線圈固定纏繞 10 圈，然後增加 L2 線圈的圈數後，發現大小鐵芯的圈數比和輸出電壓的變化及趨勢均大同小異，表示不管鐵芯尺寸，圈數比的確可以做爲調整輸出電壓的主要考量因素。



【討論】

和前面用 0.24 線徑混繞大鐵芯的實驗結果相似，纏繞圈數 10 圈(β 值＝1)時，暫態電壓變得比較低之外(4.5~5.5V)，振盪頻率皆會異常地升高到 400KHz 以上。



【討論】

不管大小鐵芯，責任週期同樣都出現沒有隨振盪頻率增加而小幅增加的現象，反倒是在圈數比(β 值)在某一個極值之後會出現隨暫態電壓的升高而微幅的上升。

3. 利用大鐵芯進一步觀察**疊繞**是否的確有增大升壓的效果

(1) 由於之前小鐵芯纏繞多圈時發現部份的疊繞會增加升壓的效果，所以針對大鐵芯的 L2 線圈於增加圈數時採用疊繞的方式，重複前面 2 的實驗，看看各種圈數比的升壓效果有沒有差異，紀錄各項數據如下表 14。

表 14　大鐵芯的 L2 線圈於增加圈數時採用疊繞方式的各項輸出結果

L1 線圈數 (0.35mm)	L2 線圈數 (0.35mm)	線圈比 β 值＝N_{L2}/N_{L1}	震盪頻率 f (KHz)	責任週期 D (%)	暫態升壓 Vo(V)
10	20	2	181.90	22.50	7.41
10	30	3	98.80	22.10	7.77
10	40	4	38.56	23.90	7.61
10	50	5	44.33	26.10	6.23

(2) 比較大鐵芯**疊繞**和之前**沒有疊繞 (以下簡稱並繞)**在不同圈數比的差異，如圖 5-2-32 至圖 5-2-34 所示。

圖5-2-32 比較疊繞和並繞對暫態電壓的影響

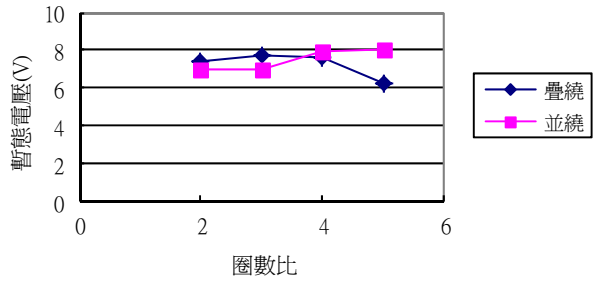
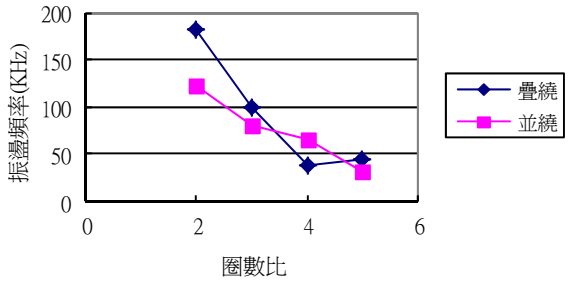


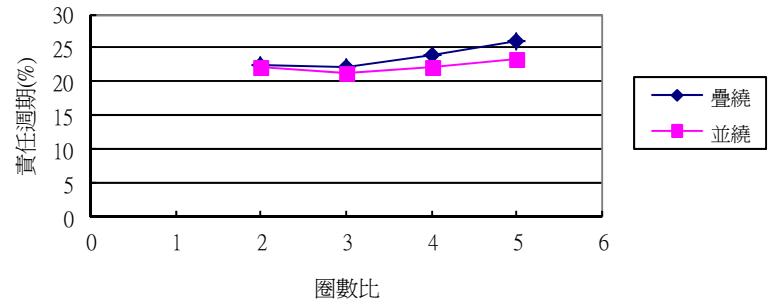
圖5-2-33 比較疊繞與並繞對振盪頻率的影響



【討論】

圈數比爲 2~3 的時候，疊繞時的確因增加單位長度的線圈密度而有較大的電磁感應來讓 L2 感受到較大的磁通量變化，因而有較高的暫態升壓效果。不過隨著 L2 圈數的增加變成疊繞的積厚之後，疊到較上層的線圈反而因爲與鐵芯的距離變遠了，電流磁效應反而不強，所以圈數比大於 4 以後，暫態升壓反而降了下來。

圖5-2-34 比較疊繞與並繞對責任週期的影響



【討論】

發現疊繞的確在圈數比升高時有較明顯的責任週期上升趨勢。

三、比較「機械法」與「焦耳感應法」榨出的乾電池電力

在研究進行的過程中，有夥伴曾經提出：「為何不直接將廢電池串聯起來？像是拿三個約 1 伏特左右的廢電池串聯不就有大約 3 伏特的電來讓 LED 發亮嗎？幹嘛還要用焦耳感應法呢？」，當時則有另一位成員反駁說：「這樣的取出後在組裝的手動過程是很麻煩！」，所以我們就一直在想：「有沒有可以不靠焦耳感應法，也可以簡易地切換電池的串接方式呢？」，我們找到一種叫做「波段開關」的東西，解決了我們的問題，並創造出一種可以讓電池增壓的機械切換裝置，以下我們把這種升高電壓的方式叫做「機械法」，並和「焦耳感應法」做比較。

(一) 設計製作「機械法」切換開關

利用圖 5-3-1 的「波段開關」結合原始的想法繪製成電路如圖 5-3-2。

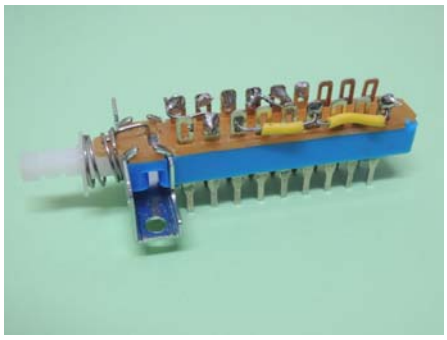


圖 5-3-1　波段開關

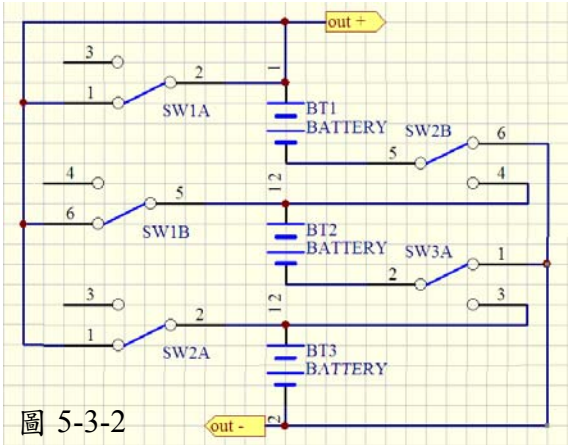


圖 5-3-2

(二) 製作「整合型」廢電池電力榨乾裝置

經過充份的討論，發現若是要將榨出的乾電池電力先儲存在電容裡面，只要電池有較高的電壓就可以充電到較低的電容裡去，直到兩者的電壓平衡為止，所以電池應該可先以並聯的方式對電容做**第一階段的充電**；然後利用「機械法」的切換開關將電池瞬間改成串聯狀態，透過電壓的再度上升，便可以進行**第二階段的充電**；接著利用前面實驗效果最好的分繞小鐵芯，透過「焦耳感應法」再進行**第三階段的充電**。

根據我們的設計請人製作出一個「**整合型的廢電池電力榨乾裝置**」，電路如圖 5-3-3 所示。電路板上恰可以安裝 5 顆電容一起充電(如圖 5-3-4)。

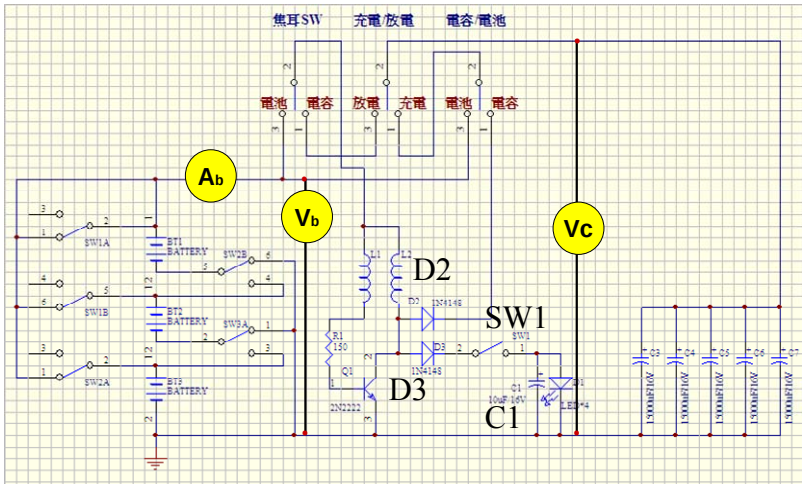


圖 5-3-3

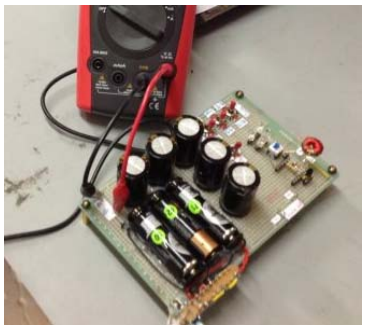


圖 5-3-4

圖 5-3-3 的電路設計中，D2 和 D3 這兩顆二極體的功能爲避免電流逆向的單行道管制元件，電容 C1(10μF)則是可快速暫存電能以及放電給 D1(發光二極體 LED)來確認能量的轉換是否成功的設計；切斷開關 SW1 後，就可經由上方的開關將電能存到右方的電容堆裡面去。

我們利用三顆廢電池串連後，進行焦耳感應法榨電的測試，透過圖 5-3-3 中 V_b 和 A_b 的電錶，可以記錄由電池輸入的電流、電壓如圖 5-3-5 至圖 5-3-6 所示，再根據 P=IV，則進一步可得到由電池輸入的功率與時間關係圖(如圖 5-3-7)。Vc 則是可以記錄充電一段時間後輸出到電容的電壓變化情形(如圖 5-3-8)，並利用 $1/2CV^2$ 計算存入電容的總能量如圖 5-3-9，由輸入功率隨時間變化關係圖(如圖 5-3-7)曲線下面積可以計算出，利用電池輸出 665 秒的能量約爲 12 焦耳，此時輸出到電容的能量爲 2.3 焦耳，整體機械效率約爲 19% (計算式：e＝2.3/12≒19%)，如圖 5-3-10 示波器的 CH2 訊號所示，電流經線圈 L1 至電晶體 B 極的過程中，因線圈、磁阻、電阻及電晶體等元件的熱效應所致，會產生能量的耗損，無法全部取出。

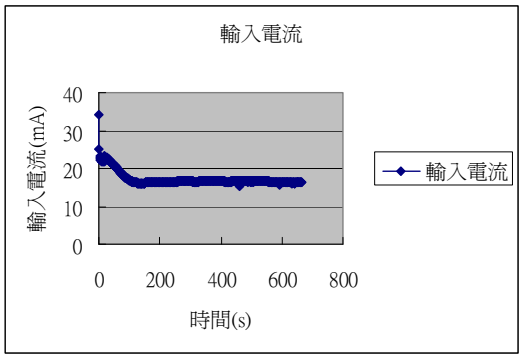


圖 5-3-5

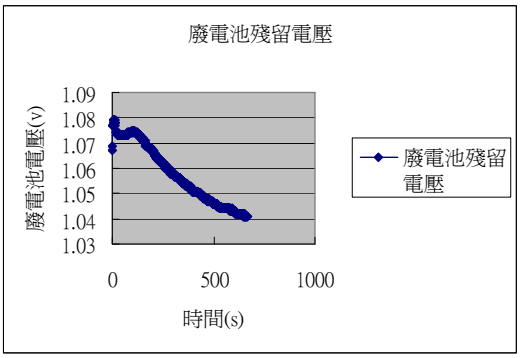


圖 5-3-6

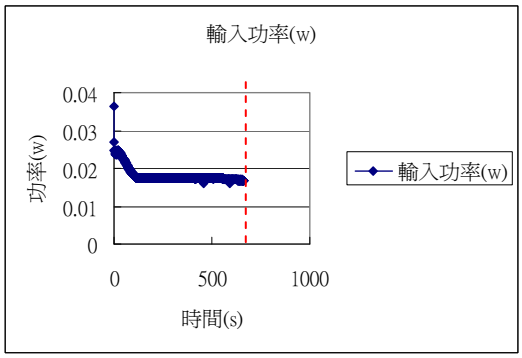


圖 5-3-7

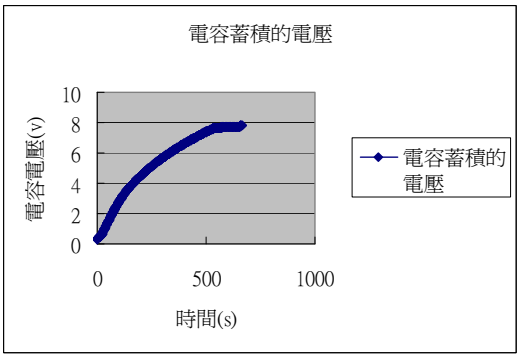


圖 5-3-8

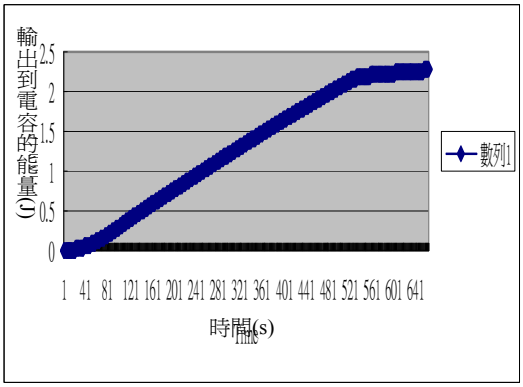


圖 5-3-9

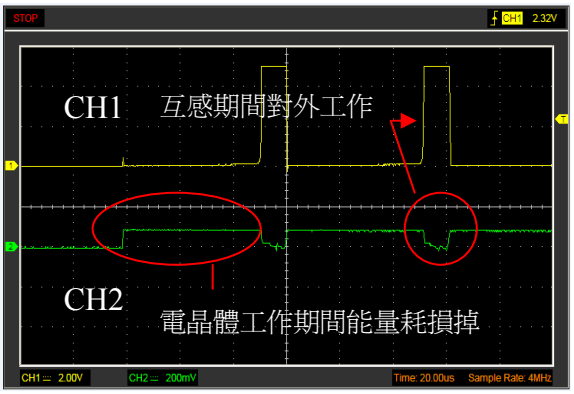


圖 5-3-10

(三) 蒐集並分類廢電池

1. 蒐集廢電池

我們發現當乾電池的電壓稍有不穩的時候，因爲無法維持電器正常的工作效果，常會把它換掉後丟棄，例如學校會議室的無線麥克風便常爲了維持好的發聲品質而被更換電池，其實拆下來的電池應該還殘留很多電力。

我們向學校總務處及學務處申請廢電池回收筒內的乾電池來量測殘留電壓如表 15：

表 15　回收筒內乾電池的殘留電壓與分類

廢電池殘電測量表及分類類型 第 I 類型：1.3V 以上、第 II 類型：0.8V~1.3V、第 III 類型：0.4V~0.8V；第 IV 類型：失效電池											
編號	電壓(v)	類別	編號	電壓(v)	類別	編號	電壓(v)	類別	編號	電壓(v)	類別
1	1.415	I	29	0.000	IV	57	1.649	I	85	1.555	I
2	1.571	I	30	1.415	I	58	1.382	I	86	1.526	I
3	0.000	IV	31	1.579	I	59	0.000	IV	87	1.549	I
4	1.384	I	32	1.542	I	60	1.358	I	88	0.000	IV
5	0.804	II	33	1.653	I	61	1.397	I	89	0.985	II
6	1.006	II	34	1.361	I	62	1.359	I	90	1.599	I
7	1.343	I	35	1.388	I	63	0.690	III	91	1.527	I
8	1.597	I	36	1.418	I	64	0.946	II	92	1.504	I
9	1.397	I	37	1.342	I	65	0.000	IV	93	0.031	IV
10	1.666	I	38	1.439	I	66	0.642	III	94	1.427	I
11	1.391	I	39	1.385	I	67	0.434	III	95	0.777	III
12	0.501	III	40	0.569	III	68	0.025	IV	96	0.422	III
13	1.590	I	41	1.083	II	69	1.652	I	97	1.524	I
14	0.817	II	42	1.422	I	70	1.645	I	98	1.560	I
15	1.374	I	43	1.404	I	71	1.354	I	99	1.353	I
16	-0.397	IV	44	1.368	I	72	1.053	II	100	0.154	IV
17	1.613	I	45	1.524	I	73	1.626	I	101	1.504	I
18	1.383	I	46	1.439	I	74	1.590	I	102	1.060	II
19	1.599	I	47	1.590	I	75	1.341	I	103	1.248	II
20	1.369	I	48	0.000	IV	76	1.563	I	104	1.616	I
21	0.000	IV	49	1.384	I	77	1.504	I	105	1.563	I
22	0.426	III	50	1.353	I	78	1.400	I	106	0.237	IV
23	1.363	I	51	1.531	I	79	1.621	I	107	1.069	II
24	0.001	IV	52	1.590	I	80	1.052	II	108	1.504	I
25	1.533	I	53	1.573	I	81	0.811	II	109	1.189	II
26	1.419	I	54	1.611	I	82	1.062	II	110	0.000	IV
27	1.599	I	55	1.388	I	83	-0.034	IV	111	0.001	IV
28	1.603	I	56	0.398	III	84	0.811	II	112	1.539	I

2. 分類蒐集到廢電池結果，依殘留電壓值的高低將待榨電池分為三類：

第Ⅰ類型：1.3(V)以上共 72 顆

第Ⅱ類型 0.8(V)~1.3(V) 共 15 顆

第Ⅲ類型 0.4(V)~0.8(V)共 9 顆

第Ⅳ類型失效電池共 16 顆

(四) 測量並比較「並聯」、「串聯」與「焦耳感應法」三階段榨出電力的結果

1. 因為第Ⅲ類型 0.4(V)~0.8(V)只有 9 顆，所以第Ⅰ及第Ⅱ類型同樣地也隨機取樣 9 顆來進行三階段榨出電力的研究，測量過程如圖 5-3-11 至圖 5-3-12 所示。

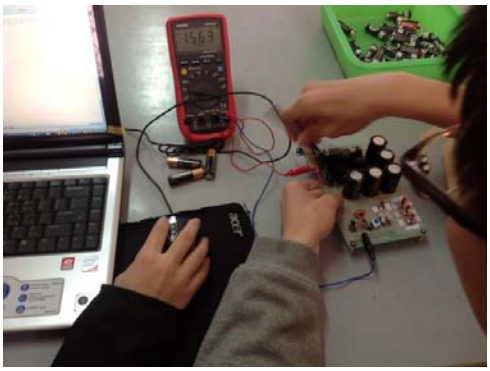


圖 5-3-11

圖 5-3-12

2. 以每三個廢電池做一組進行三階段的電力取出，紀錄結果如下表 16。

表 16 三階段廢電池殘留電力的取出結果

組別	電池編號			Vc_{I}	Vc_{II}	Vc_{III}
Ⅰ-1	7	20	23	1.36	4.05	8.02
Ⅰ-2	34	37	44	1.36	4.05	8.01
Ⅰ-3	50	62	71	1.35	4.05	7.97
			平均	1.36	4.05	8
Ⅱ-1	80	82	89	1.04	3.08	7.94
Ⅱ-2	41	64	72	1.01	2.94	7.92
Ⅱ-3	102	107	84	0.95	2.76	7.91
			平均	1	2.93	7.92
Ⅲ-1	12	22	40	0.47	1.37	5.32
Ⅲ-2	63	66	67	0.62	1.45	5.58
Ⅲ-3	63	66	67	0.63	1.76	5.84
			平均	0.57	1.53	5.58

【說明】

1. Ⅰ-1 代表第Ⅰ類型第一組
2. Vc_{I}代表第一階段並聯三顆廢電池對電容充電後的電壓
3. Vc_{II}代表第二階段串聯三顆廢電池對電容充電後的電壓
4. Vc_{III}代表第三階段焦耳感應升壓後對電容充電後的電壓

3. 爲什麼前面 1.5V 的全新乾電池經過最佳化線圈的焦耳感應後能升壓到 8.25V，但是第三類型的廢電池串聯後同樣也是達到 1.5V，卻無法升壓到同樣的大小呢？我們認爲這是因爲廢電池內部的化學反應接近飽和(也可以說是電池的內阻變大)，導致對外放出的電流變小，因而無法讓 L2 區產生較高的感應電壓。
4. 利用表 16 中的平均值計算各組別三階段充入電容的能量，整理如表 17。繪圖比較各類型廢電池在不同階段榨出能量的百分比，如圖 5-3-13 所示。

表 17 計算各組別三階段充入五顆電容的能量

組別	第一階段存入能量 $Ec_{I}=\frac{1}{2}C\,Vc_{I}^{2}\times5$	第二階段存入能量 $Ec_{II}=(\frac{1}{2}C\,Vc_{II}^{2}-\frac{1}{2}C\,Vc_{I}^{2})\times5$	第三階段存入能量 $Ec_{III}=(\frac{1}{2}C\,Vc_{III}^{2}-\frac{1}{2}C\,Vc_{II}^{2})\times5$
第 I 類型	0.0695(J)	0.545(J)	2.330(J)
第 II 類型	0.040(J)	0.280(J)	2.310(J)
第 III 類型	0.010(J)	0.075(J)	1.160(J)

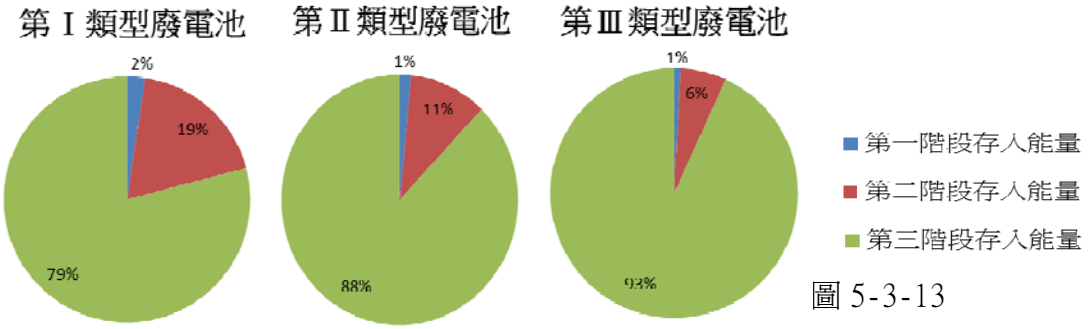


圖 5-3-13

【討論】由圖 5-3-13 可知透過第三階段的焦耳感應法所榨出的能量比例最高，且**廢電池殘留電壓愈低的類型，焦耳感應法在榨出能量的貢獻比例愈大**。進一步利用表 17 計算焦耳感應法與機械法榨出能量的比值，結果如下：第 I 類型 2.330/(0.0695+0.545)=3.79、第 I 類型 2.310/(0.04+0.28)=7.22、第 III 類型 1.16/(0.01+0.075)=13.65。由此可知，**焦耳感應法在榨出廢電池電力的過程中，擔負極重要的功能**。

5. 實際榨出廢電池的電力

將搜集到的 112 顆廢電池依此榨電程序按各類型每 3 顆一組進行電力的取出，計算及整理各組取出能量如下表 18。

表 18 計算及整理各組取出的能量

組別	Vc_{III}(V)	Ec_{III}(J)	組別	Vc_{III}(V)	Ec_{III}(J)	組別	Vc_{III}(V)	Ec_{III}(J)	組別	Vc_{III}(V)	Ec_{III}(J)
I -1	8.02	2.40	I -9	8.22	2.55	I -17	7.77	2.25	II -1	7.94	2.35
I -2	8.01	2.40	I -10	8.14	2.50	I -18	7.98	2.40	II -2	7.92	2.35
I -3	7.97	2.40	I -11	8.05	2.45	I -19	8.15	2.50	II -3	7.91	2.35
I -4	8.12	2.49	I -12	8.06	2.45	I -20	8.35	2.60	II -4	7.67	2.20
I -5	8.24	2.55	I -13	8.11	2.45	I -21	8.06	2.45	II -5	7.88	2.35
I -6	8.11	2.45	I -14	7.85	2.30	I -22	8.08	2.45	III -1	5.32	1.05
I -7	8.34	2.60	I -15	7.98	2.40	I -23	7.87	2.35	III -2	5.58	1.15
I -8	7.94	2.35	I -16	8.21	2.55	I -24	8.07	2.45	III -3	5.84	1.30

本次 112 顆廢電池利用此裝置總共約可榨出約 75 焦耳的電能。經過推算約需要 4,800,000 顆廢電池才能累積到一度(kWh)的電力？！這個結果讓我們感覺實在不符經濟效益。如果用圖 5-3-14 來做類比，**原本採用一般電容(15000μF，16V)來儲存**榨出的**電力**，即使可以將電壓提高到電容的耐壓值 16V 那麼高，**最多也不過是存入 0.24(C)的電量及 1.92(J)電能**而已(計算式如：Q=0.015×16=0.24(C)；E=1/2×0.015×16^2=1.92(J))，更何況到目前我們所設計出來的較佳化焦耳感應線圈，只能將電池的電壓提升到 8V 左右而已，因此**並沒有真正榨乾廢電池的電力**。

我們認為要進一步榨乾廢電池的電力有以下幾個可行的方向：

Ⅰ、並聯更多的一般電容(但可能要耗費較多的時間)。

Ⅱ、選擇耐電壓值較低，但容量很大的電容。

Ⅲ、**強化線圈與鐵芯的互感效果**或是**改變電晶體的型號與功率**，一方面拉高暫態升壓，另一方面藉由電流的放大，加快充電的速率（但因電流熱效應的關係轉換效率會變差)。

選用超電容(350F，2.7V)來嚐試儲電，最多應可儲存 945(C)的電量及 1275.75(J)的電能(計算式如：Q=350×2.7=945(C)；E=1/2×350×2.7^2=1275.75(J))。雖然其耐電壓值並不高，但只要源源不絕地將殘電榨到超電容之中，就能將廢電池的殘電榨得比較乾淨，如圖 5-3-15 所示。

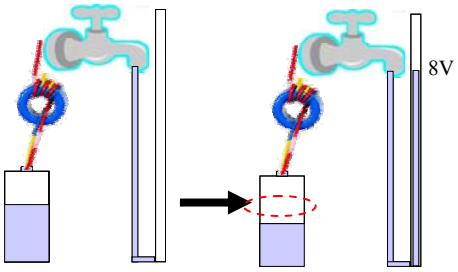


圖 5-3-14

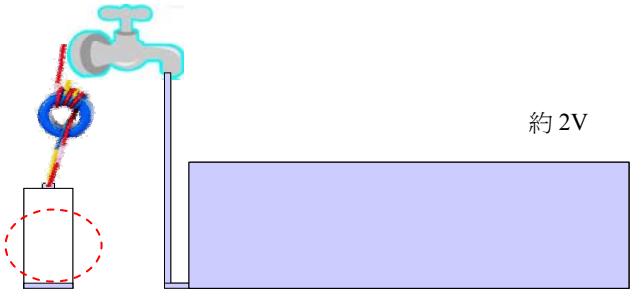


圖 5-3-15

隨機選取一顆廢電池(電壓 1.54V)測量經焦耳感應法對超電容(350F/2.7V)充電的電容電壓與充電時間關係，發現需要費時約 **64.4 小時**才將超電容的電壓充到 1.94(V)，榨出的能量約有 **658.63(J)**(計算式：E=1/2×350×1.94^2=658.63(J))，若用前面的機械效率 20%~30%反推，其實**廢電池應該至少還有 2000~3000(J)**的能量，所以若要榨乾廢電池電力並將以儲存，可以使用「**超電容**」這類的奈米電子元件。

另一方面，我們又繞了一顆圈數比為 12(L1：8 圈，L2：96 圈)的大鐵芯，電晶體改用高功率型(型號：**TIP31C**)，B 極串接一可變電阻(VR-5K)，用麵包版實際組裝電路如圖 5-3-16，用示波器觀察可以進一步提高的電壓，發現居然可以在**未接負載的情況下，利用一顆廢電池便能輸出約 300 伏特左右**(示波器顯示數據如圖 5-3-17)，效果非常驚人。

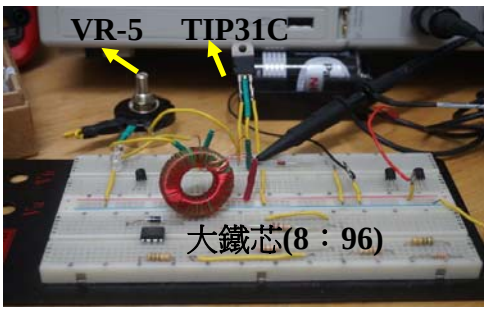


圖 5-3-16

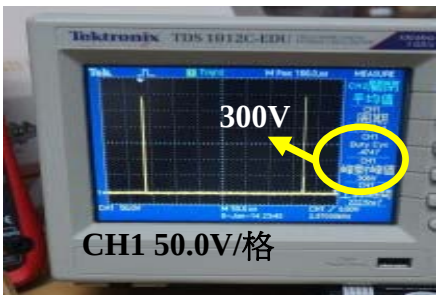


圖 5-3-17

比較不同互感效果與電晶體型號對超電容的充電速率如圖 5-3-18 所示，發現**強化**線圈與鐵芯的**互感效果**並且選擇**高功率的電晶體**，的確**能快速地完成**超電容的**充電**。

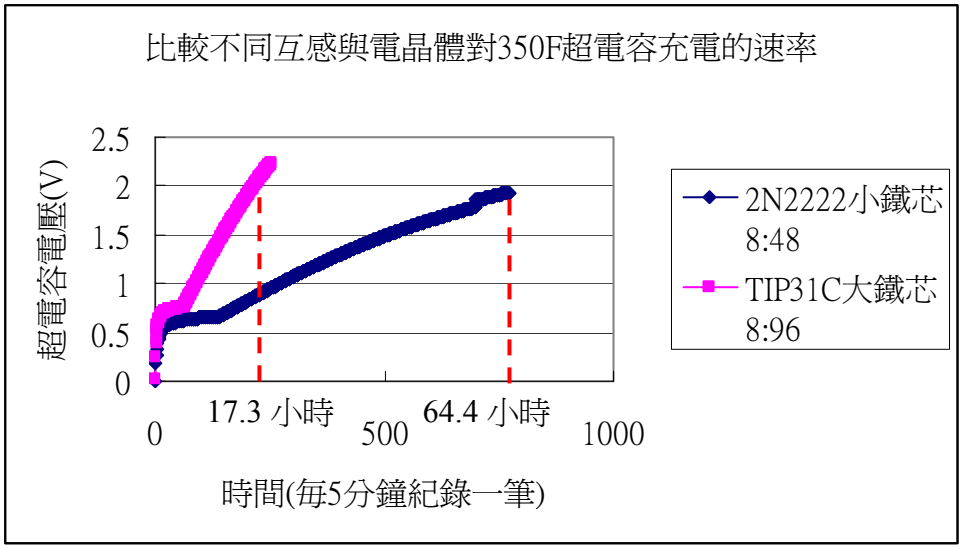


圖 5-3-18

四、榨出電力的應用

根據前面的實驗結果，證實廢電池內還是有殘餘電力的。若是積少成多的話，並且將取出的電力放給耗電功率較小的電器用品，應該仍然是有應用的價值。經過討論，我們認爲像是低功率的 LED 燈具（如夜間綠能小壁燈），或是一顆電池就可以讓它運作很久的壁鐘等，都可以利用廢電池榨出的電力來延長工作的時間。

(一) 製作「假電池」

有一位組員提到：「爲什麼一定要將榨出的能量先儲存起來再利用呢？我們難道不能一邊榨出電力一邊用掉嗎？這樣會不會比較能將廢電池的價值利用到一個極致呢？」，所以我們產生了製作「假電池」讓廢電池起死回生的創意想法。

我們將軟木棍切成和三、四號乾電池一樣的大小（如圖 5-4-1），兩端插上圖釘當電極，剛好可以放入壁鐘的電池盒內（如圖 5-4-2），將廢電池放入焦耳小偷線路中，時鐘的秒針便會開始恢復轉動（如圖 5-4-3）；透過整合型榨電裝置則是可以不斷地取出電力存到電容，再放電給需要適當電壓的電器（如圖 5-4-4），反覆地將廢電池的電榨出來用。

圖 5-4-1

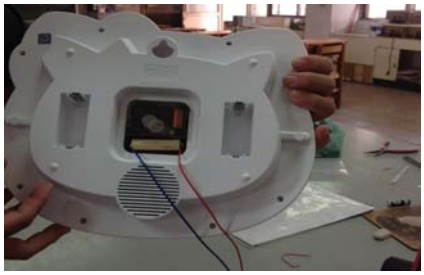


圖 5-4-2

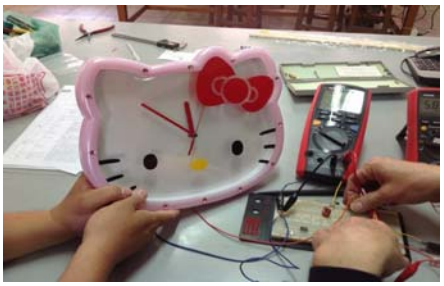


圖 5-4-3

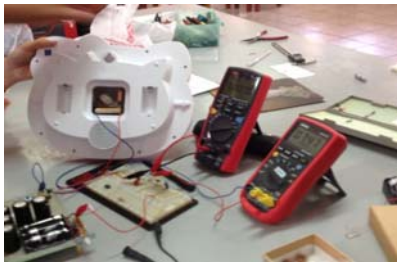


圖 5-4-4

（二） 將榨出電力存到超電容後再對小夜燈放電

將原 110V-0.15W 的 LED 小夜燈改成直流輸入(如圖 5-4-5)，串聯 1(KΩ)的歐姆電阻後，利用充好的六顆 100F2.7V 的超電容經串聯後對小夜燈放電，組裝線路如圖 5-4-6 所示。

圖 5-4-5 改裝小夜燈

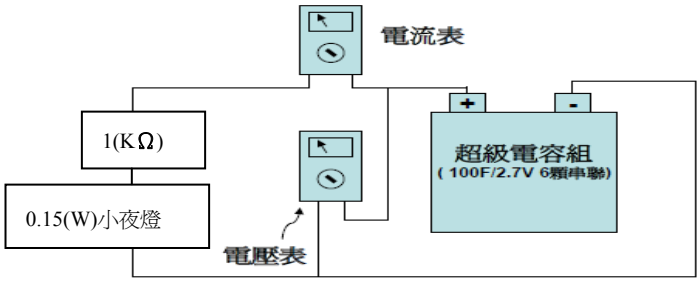
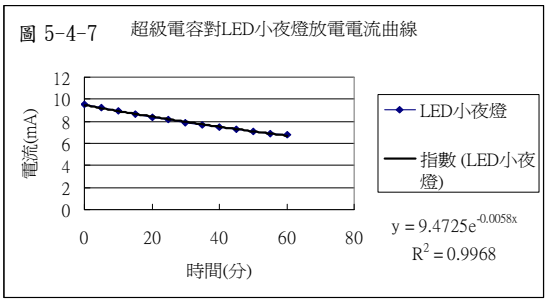
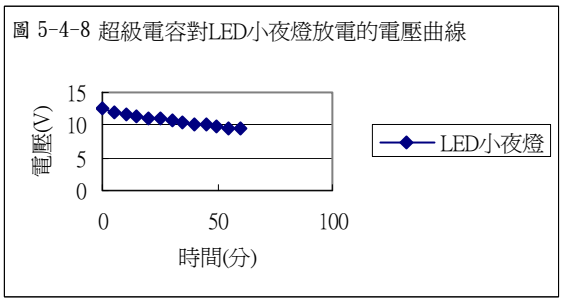


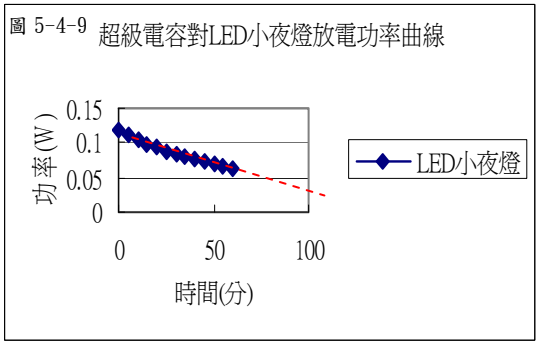
圖 5-4-6 小夜燈放電線路圖

1.繪製電流、電壓與放電時間關係如圖 5-4-7 及圖 5-4-8 所示。





2.繪製放電功率與放電時間關係如圖 5-4-9 所示。



【討論】

計算 6 顆超級電容最大可儲存的能量爲 E=1/2x100x2.7x2.7x6＝2187(J)，若充飽後全部放電給 0.15W LED 小夜燈的話，由圖 5-4-9 功率隨時間變化所涵蓋的面積計算，點亮時間可達 10 小時之久。

$0.12\times t\times 3600/2 = 2187 \rightarrow t \fallingdotseq 10.125(hr)$

陸、結論

一、經網路查詢得知一般廢電池的回收流程如圖 6-1 所示，我們認為可以在廢乾電池分類之前先依各電池的型號與不同的外型先做殘留電力的榨出手續，然後再進行分類。

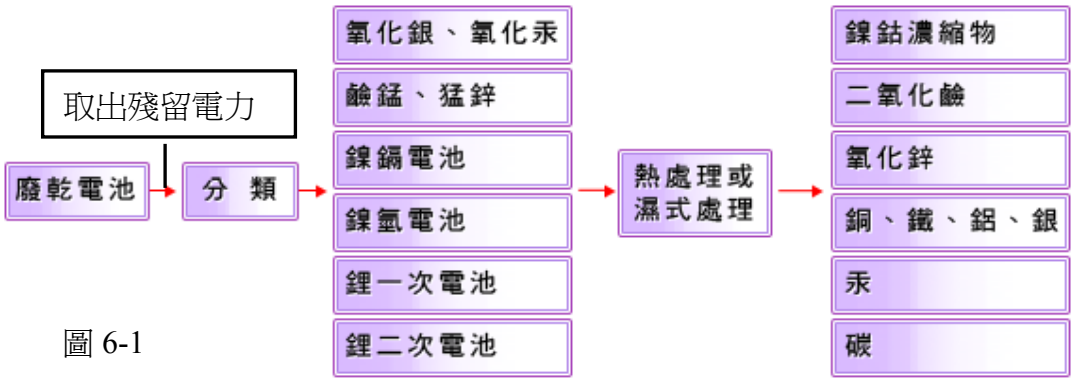


圖 6-1

二、由於網路上關於「焦耳小偷線路」的資料，大都是教人如何製作以及展示可以產生的效果，並沒有針對各項變因配合相對應的物理原理來做深入的探討。本研究針對有興趣的問題以及未來想要應用的範圍，發展出一系列的探究歷程如圖 6-2 所示：

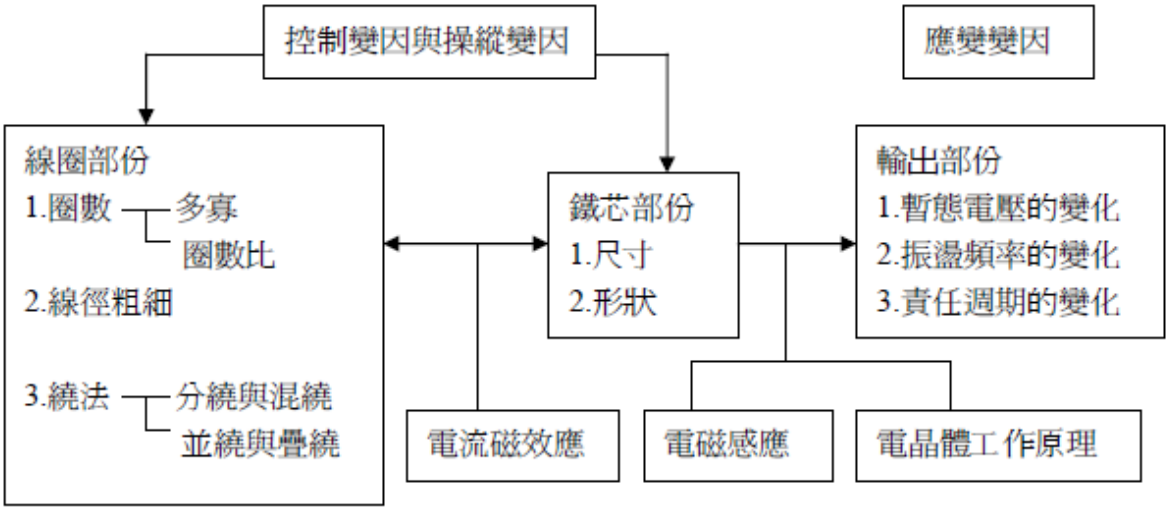


圖 6-2

研究結果發現：

(一) 圈數愈多，暫態升壓愈高；暫態升壓越高，振盪頻率越來越低；責任週期則與互感作用有關。

(二) 線徑在圈數較少時對暫態升壓不會有太大的影響，但是圈數達 30 圈時，因為使用纏繞線徑為 0.35mm 時，部分的疊繞會造成暫態升壓有明顯升高。

(三) 纏繞圈數較少時，會因為纏繞的鬆緊度不夠好，導致電流磁效應不夠強烈，電磁感應便隨之減弱造成暫態升壓不足，同時間振盪頻率也出現明顯的升高。

(四) 發現 L1、L2 圈數相同時，混繞與分繞並不會有很明顯的差別。

(五) 要讓尺寸較大的鐵芯產生足夠的磁場變化需要纏繞較多的線圈材料，並且發現纏繞圈數太低時，無法有效產生電磁感應，暫態升壓突然下降很多。

(六) 筒型鐵芯效果比小鐵芯好，但可繞圈數有限，無法進一步升高廢電池的電壓。

(七) 不同圈數比的確會影響升壓的效果與責任週期，但有時責任週期並未因 L2 線圈的圈數增加而下降，反而有同步上升的趨勢，此現象應該與互感作用的反應時間有關，是值得未來深入探討的問題。

(八) 若要將榨出的電力儲存到電容應以增加拉高暫態電壓爲主，若是要採取「現榨現放」的方式，反倒是不一定要繞太多圈。

(九) 發現適度疊繞也很重要，但要考慮「積厚效應」，未必增加單位長度的線圈密度就一定產生較好的效果。

(十) 暫態電壓與振盪頻率的關係應與電晶體的工作特性及互感作用有關，強化線圈與鐵芯的互感效果或是改變電晶體的型號、功率與基極電流，可顯著地提高電壓。

三、發現用普通電容儲存廢電池榨出的殘留電力，並沒有辦法完全將廢電池榨乾。當廢電池與電容的電壓平衡時，就不能再將電力充入電容裡；增加電容數量或是改爲超電容便可以取出更多電力，但是要花費更多的時間。要累積一定的有用電力需回收非常多的廢電池才行，不過積少成多仍是有開發的價值，並且可以避免堆放廢電池發生短路起火的潛在危險。

四、利用「假電池」的廢電池起死回生術將殘留電力現榨現用是可行且很有創意的想法。

五、回收的廢電池電力可以應用在功率較低的綠能電器用品上。

柒、參考資料

一、郭重吉等(民 103)。*生活中的電與磁*。國民中學自然與生活科技三下。臺南市：南一書局企業股份有限公司。

二、TSCR。***Making a joule thief step by step***。2013 年 8 月 20 日，取自：http://dandtfordandt.files.wordpress.com/2012/08/joule-thief-0-6.pdf。

三、承德科技股份有限公司。*電池的常用技術術語*。2013 年 9 月 15 日，取自：http://www.chentech.com.tw/html/qa/02.aspx?kind1=13&kind2&ix=6。

四、台中市政府環境保護局再生製品網。*廢電池回收處理流程*。2014 年 1 月 15 日，取自：http://recycle.tcepb.gov.tw/97recyclable/product_8.asp。

五、環保法規查詢系統。*廢乾電池回收貯存清除處理方法及設施標準*。2014 年 1 月 15 日，取自：http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/search/LordiDispFull.aspx?ltype=16&lname=0140。

六、新華社(2002)。*新聞背景：國外如何回收處理廢電池？*。2014 年 1 月 15 日，取自：http://www.people.com.cn/BIG5/huanbao/56/20020707/770236.html。

七、mengwen 的筆記。***CH25 電容器與電容***。2014 年 2 月 4 日，取自：http://phys.thu.edu.tw/~mengwen/UniversityPhysics/Halliday-problem/Note-physics-CH25.pdf。

【評語】030111

1. 合作的議題很有意義。

2. 變因較多，可以深入探討會更佳。

3. 有名的焦耳小偷電路的具體展示，作者透過改善電路結構增加實用性。

4. 有趣且具有實用價值的研究。可以進一步構想應用價值。同學合作性亦佳。

5. 很棒的構想，值得推廣。