

投稿類別：工程技術類

篇名：

DIY－低週波電療器

作者：

王冠淮。國立彰化師大附工附設進修學校。電機科三年忠班
楊凱米。國立彰化師大附工附設進修學校。電機科三年忠班
陳俊維。國立彰化師大附工附設進修學校。電機科三年忠班

指導老師：

鄭旺泉 老師

陳怡誠 老師

壹●前言

一、研究動機

因爲一場工安意外事件，導致直屬學長的手臂神經受傷，必須每星期去做低週波電療復健，雖然在現代生活中，低週波電療醫療設備已經逐漸普及化，不過一台小型的低週波電療器價格卻不便宜，且設計上對人體會產生電解效應的缺點，因此嘗試以『容易取得』和『價格便宜』的零件，並改善電解效應的電路設計一台小型低週波電療器。

二、實作流程

(一)材料及設備

(二)原理

(三)理論數據

(四)實作測試

(五)對照理論數據與實際量測

貳●正文

一、材料及設備

(一)實驗設備

編號	名稱	單位	數量	備註
1	示波器	台	1	含引線
2	積體電路燒錄器	台	1	
3	電源供應器	台	1	含引線
4	麵包板	個	1	
5	剝線鉗	支	1	電子用
6	尖嘴鉗	支	1	電子用
7	斜口鉗	支	1	電子用

(二)實驗材料

編號	名稱	單位	數量	備註
1	微電腦單晶片	個	1	AT89C2051
2	按鍵開關	個	3	
3	電阻形電感	個	1	1mH
4	NPN 電晶體	個	3	2N5551
5	PNP 電晶體	個	2	2N5401
6	二極體	個	3	1N4148
7	電解質電容	個	1	10uF
8	電解質電容	個	1	100uF
9	陶瓷電容	個	2	20pF
10	陶瓷電容	個	1	0.1uF
11	石英晶體	個	1	12MHz
12	高壓電容	個	1	250V－0.1uF
13	電阻器	個	1	1/4W－220 Ω
14	電阻器	個	2	1/4W－470 Ω
15	電阻器	個	1	1/4W－1k Ω
16	電阻器	個	1	1/4W－2.2k Ω
17	電阻器	個	5	1/4W－10k Ω

二、原理

(一)電療

人體會產生一種電流，稱為生物電流，來使人體細胞維持正常工作，當人體有受傷、疾病、勞累，電流就會產生異變，使細胞受損。所以我們將產生一個與人體細胞，相接近的生物電流，對細胞有著針對性的刺激作用，治療肌肉性等疾病。

(二)製作概要

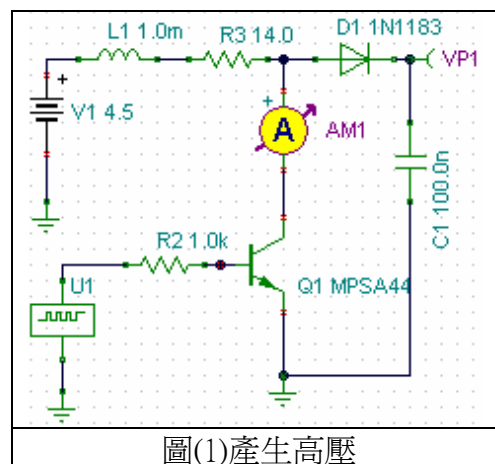
利用電感特性，儲存電流，再將其電流導入人體穴道進而刺激穴道，而電壓大小的調整由充電的次數來控制，並由外接按鍵選擇強度。波形週期的各種模式透過程式設計由外接按鍵控制。此外一般市售的電療儀有「**低頻電極下容易產生電解作用，容易引起組織的灼傷，患者比較不能做長期、高劑量之治療。**」的缺點（高里企業有限公司產品資料），因此在電路設計中，特別針對此一缺點做了改善，將電流方向不斷換向，免除電解作用。

(三)產生高壓

我們以電感來產生高壓，當U1輸出High，Q1電晶體導通，電感便開始儲存電能，等到U1輸出LOW，Q1電晶體開路，電流無法往下流，此時 D1二極體因順向而導通，電感電流向電容充電，得到所需要之高壓。利用電感電流導通時間即可控制在電感上之電流大小。其公式如下：

「電感儲能公式： $I(t) = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t}{L/R}})$ 」

(李文源、盧正川、旗立理工研究室，2006)

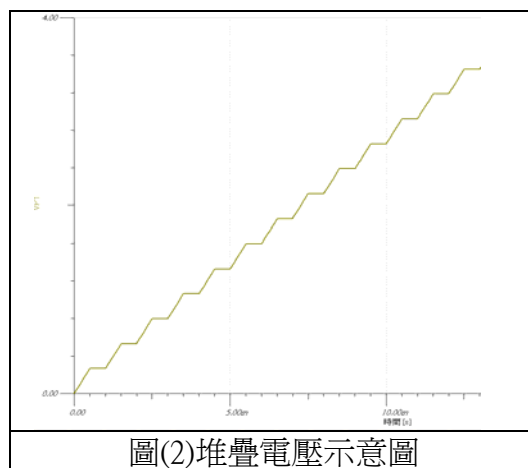


圖(1)產生高壓

利用電感儲能公式及電容儲能公式，可以求出所產生的高壓值為何，其轉換公式如下：

「電能轉移公式： $\frac{1}{2} \times C \times V^2 = \frac{1}{2} \times L \times I^2$ 」(李文源、盧正川、旗立理工研究室，2006)

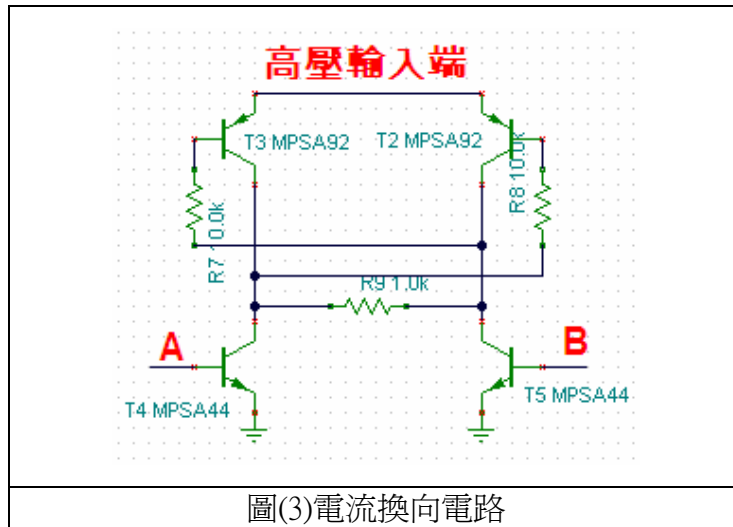
不過以市售之電感器儲能，電感之繞線電阻將形成最大電流的限制，因而阻礙電容充電最高電壓，所以我們採用堆疊充電的方式如圖(2)，分多次小電流充電的方式將電感上的電能轉移到電容上，使電容上的電壓不斷升高，電容上的電壓如圖(2)所示，堆疊至足夠電壓以後，再導入人體穴道。



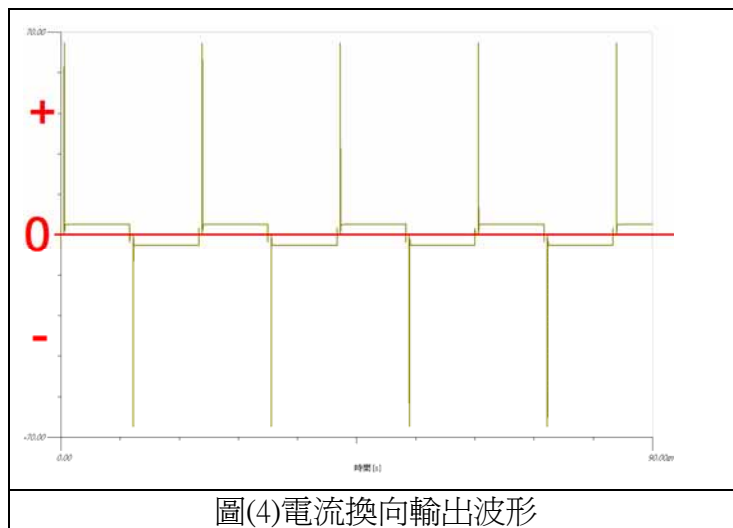
圖(2)堆疊電壓示意圖

(四)克服電解作用

爲了改進高里企業有限公司產品說明文件裏「低頻電極下容易產生電解作用，容易引起組織的灼傷，患者比較不能做長期、高劑量之治療」的缺點，我們設計如圖(3)的電壓換向控制電路。



圖(3)中，在AB端利用單晶片程式來控制，A與B同一時間只有一方導通，經由此方法來控制電流流向，並且得到輸出波形如圖(4)所示。



三、理論數據

下表是以『歐姆定律公式』、『電感儲能公式』和『電能轉移公式』，計算出電容上堆疊的電壓。

表格(一)電壓大小計算數據(充電電壓 V=4.5V)					
電感值(L)	電感內阻(RL)	電容值(C)	脈衝時間 τ	L/R 時間常數	最大電流 (Imax)
1mH	14 Ω	0.1 μ F	40us	71.429 μ S	321.43mA
堆疊次數	τ 時後電感的電流	電容最高峰值電壓	堆疊次數	τ 時後電感的電流	電容最高峰值電壓
1 次	0.13783 A	14 V	26 次	0.13783 A	70 V
2 次	0.13783 A	19 V	27 次	0.13783 A	72 V
3 次	0.13783 A	24 V	28 次	0.13783 A	73 V
4 次	0.13783 A	28 V	29 次	0.13783 A	74 V
5 次	0.13783 A	31 V	30 次	0.13783 A	75 V
6 次	0.13783 A	34 V	31 次	0.13783 A	77 V
7 次	0.13783 A	36 V	32 次	0.13783 A	78 V
8 次	0.13783 A	39 V	33 次	0.13783 A	79 V
9 次	0.13783 A	41 V	34 次	0.13783 A	80 V
10 次	0.13783 A	44 V	35 次	0.13783 A	82 V
11 次	0.13783 A	46 V	36 次	0.13783 A	83 V
12 次	0.13783 A	48 V	37 次	0.13783 A	84 V
13 次	0.13783 A	50 V	38 次	0.13783 A	85 V
14 次	0.13783 A	52 V	39 次	0.13783 A	86 V
15 次	0.13783 A	53 V	40 次	0.13783 A	87 V
16 次	0.13783 A	55 V	41 次	0.13783 A	88 V
17 次	0.13783 A	57 V	42 次	0.13783 A	89 V
18 次	0.13783 A	58 V	43 次	0.13783 A	90 V
19 次	0.13783 A	60 V	44 次	0.13783 A	91 V
20 次	0.13783 A	62 V	45 次	0.13783 A	92 V
21 次	0.13783 A	63 V	46 次	0.13783 A	93 V
22 次	0.13783 A	65 V	47 次	0.13783 A	94 V
23 次	0.13783 A	66 V	48 次	0.13783 A	95 V
24 次	0.13783 A	68 V	49 次	0.13783 A	96 V
25 次	0.13783 A	69 V	50 次	0.13783 A	97 V

四、實作測試

在第一次抉擇電感，一開始分別使用工形電感和電阻形電感來量測阻抗，可得知工形電感的品質因素較好(品質因素：電感值越高，內阻值越小)，越接近理想的電阻，因為工形電感得訂製，不容易取得，且即使工形電感阻抗較小，但要一次就充足夠的電壓必需在電感上產生較大的電流，所以必須使用功率型電晶體才行，如此不僅效率不高，成本也將提昇，所以我們還是決定以電阻形電感來完成，並以多次小電流堆疊充電的方式來得到足夠的電壓。

表格(二)品質因素	
電感值	電感內阻
100mH (工形電感)	84
50mH (電阻形電感)	150
10mH (電阻形電感)	42
1mH (電阻形電感)	14

單晶片堆疊程式

```

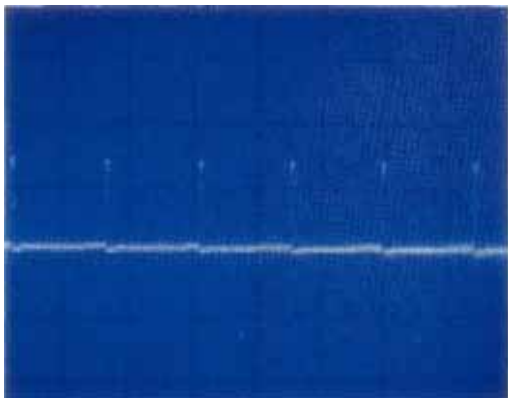
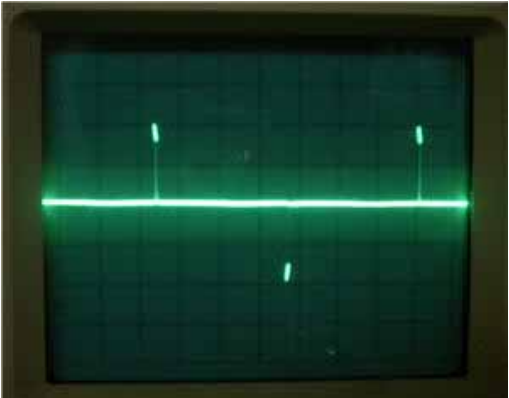
void pulse()
{
    unsigned char pulse_count, delay_n_12us;
    for(pulse_count=0; pulse_count<rstrength[strength]; pulse_count++)
    {
        delay_n_12us=0;
        pulse_out=1;           //輸出送出Hi延遲40us
        while(delay_n_12us<12)
        {
            delay_n_12us++;
        }
        delay_n_12us=0;
        pulse_out=0;           //輸出送出Lo延遲40us
        while(delay_n_12us<10)
        {
            delay_n_12us++;
        }
    }
    //將所得到的高壓輸出至正確的換相電晶體
    if(phase_control==0)
    {
        phase0=1;
        //延遲一段時間後，將換電晶體關掉，因為此時delay_n_12us=100，所以約為220us
        delay_n_12us=100;
        while(delay_n_12us>0)
        {
            delay_n_12us--;
        }
        phase0=0;
        phase_control=1;      //改變換相值，以利下次正確換相
    }
    else
    {
        phase1=1;
        //延遲一段時間後，將換電晶體關掉，因為此時delay_n_12us=100，所以約為220us
        delay_n_12us=100;
        while(delay_n_12us>0)
        {
            delay_n_12us--;
        }
        phase1=0;
        phase_control=0;      //改變換相值，以利下次正確換相
    }
}

```

我們依市售常見的模式決定5種輸出模式的波形，其示意圖如下。

模式	波形圖
Mod1	<p>功能一波形</p>
Mod2	<p>功能二波形</p>
Mod3	<p>功能三波形</p>
Mod4	<p>功能四波形</p>
Mod5	<p>功能五波形</p>

在實際實驗中，我們因為有電流換向電路，所以產生的不是單一方向的電流，而是電流方向每次更替的換向電流，與市售產品輸出波形比較如下。

	
<p>圖(5)市面上的電療器波形(未換向) 資料來源：高里企業有限公司產品資料</p>	<p>圖(6)自製的電療器波形(有換向)</p>

五、對照理論數據與實際量測

表格(三)理論數據比照實際量測								
堆疊次數	理論值	實際量測值(V)	堆疊次數	理論值	實際量測值(V)	堆疊次數	理論值	實際量測值(V)
1	14	14.4	18	58	50	35	82	64.5
2	19	19	19	60	51	36	83	65
3	24	23	20	62	52	37	84	66
4	28	26	21	63	53	38	85	66.5
5	31	28.5	22	65	54	39	86	67
6	34	31	23	66	55	40	87	67.5
7	36	33	24	68	56	41	88	68
8	39	35	25	69	57	42	89	69
9	41	37	26	70	58	43	90	69.5
10	44	38.5	27	72	59	44	91	70
11	46	40	28	73	60	45	92	70.5
12	48	42	29	74	60.5	46	93	71
13	50	43.5	30	75	61	47	94	72
14	52	45	31	77	62	48	95	72.5
15	53	46	32	78	62.5	49	96	73
16	55	47	33	79	63	50	97	73.5
17	57	48.5	34	80	63.5			

參●結論

- 一、電解作用：以本電路所使用的方法成功地製做出電流換向方式的低週波電療器，可以改善市售電療器單一電流方向對人體產生電解效應的缺點。
- 二、理論數據與實際數據：在對照實際值與計算值後，發現到計算值與實際值剛開始誤差不大，在堆疊次數提高，誤差值也跟著變大，到50次時差值高達23.5伏特，所以我們推論應該是在電感上的內阻與二極體上消耗掉。
- 三、單晶片：單晶片是個好用的零件，如果不使用單晶片的話，不知道要多大的電路，才能完成這些動作，而且要增加模式和增加強度，只需要更改程式就可以了，方便性與『價格便宜』，都達到了我們想要的成果。

肆●引註資料

- 一、李文源、盧正川、旗立理工研究室編著(2006)。基本電學I。台北市：旗立資訊股份有限公司
- 二、李文源、盧正川、旗立理工研究室編著(2006)。基本電學II。台北市：旗立資訊股份有限公司
- 三、高里企業有限公司產品資料。2010年11月3日，取自
http://www.supermt.com.tw/store_image/TENS/tens_application.pdf