

紅外線電暖器功率減半輸出研究

標準檢驗局台南分局 技士 許經杭
技士 洪飛良
技正 林昆平

前言

冬天一到，大家常會買個電暖器來暖冬，傳統電暖器一般均使用正比溫度係數電阻發熱片 PTC(Positive Temperature Constant)來產生輻射熱，不過前年，市面上卻出現一種新型紅外線電暖器，本體置有 800 瓦、400 瓦、旋轉功能等按鈕，以控制電熱輸出，發熱片代以鹵素燈管及反射凹板，外形酷似雷達，可上下調整高度，可 180 度旋轉方向，內部電路基板甚至簡單到，只用二極體作功率減半控制，據說成本是傳統五分之三，價格卻可賣到 1.5 倍，台灣目前已有十幾家工廠在生產，大賣場甚至賣到缺貨，但這種紅外線電暖器的半功率輸出，卻有點問題，第一點是用二極體作半波整流輸出功率，真的只有一半功率嗎？第二點，二極體能承受像電暖器這種大功率輸出電流嗎？有沒有危險性？爲了保護消費者權益，本文特別針對上述疑義，加以量測解析，希望對國內電暖器製造商的知識水平有所助益。

1. 新型紅外線電暖器構造

傳統電暖器輻射熱容易擴散，消費者取暖可能要等上一段時間，尤其房室過大，時間越久，是其致命傷，但新型紅外線電暖器卻不然，微紅可見光除增加房室氣氛外，輻射熱經由淺碟型反射板聚焦傳送(有點類似凹面鏡反射原理)，效果遠勝同功率 PTC 電熱組，且功率減半輸出更僅由二極體進行控制，構成主件有鹵素燈管、碟型輻射熱反射板、二極體、傾倒開關。圖 1 及圖 2 顯示其外觀差異，圖 3 爲使用大功率二極體作半功輸出控制，圖 4 鹵素燈組及輻射熱反射板結構，圖 5 溫控面板操作顯示全載輸出 800W，半載輸出 450W 並附有定時器。



圖 1 傳統 PTC 陶瓷電暖器



圖 2 新型紅外線鹵素燈管電暖器

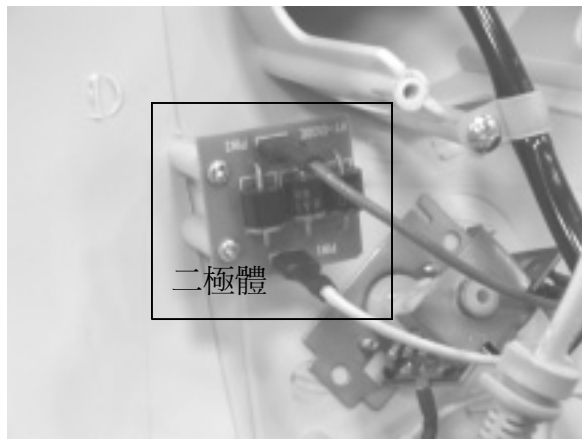


圖 3 二極體扮演功率減半輸出控制

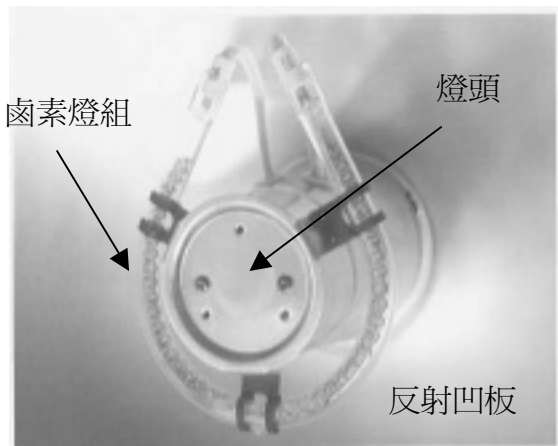


圖 4 圓形鹵素燈組及輻射熱反射板

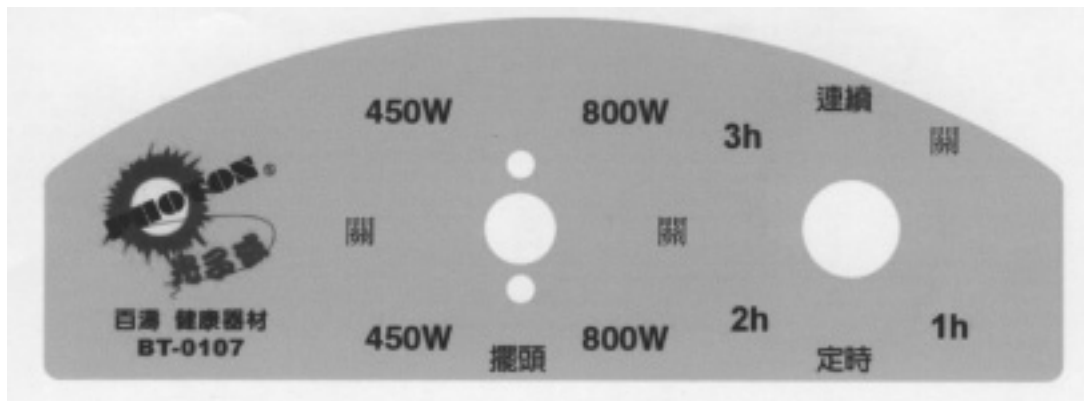


圖 5 鹵素燈電暖器溫控面板

2. 功率輸出控制電路解析

紅外線電暖器功率輸出電路如圖 6 所示，全功率輸出時，電源經由左按鈕開關直接起動鹵素燈；半功率輸出時，則經由中按鈕開關透過二極體起動鹵素燈，其間最大差別在有沒有經過二極體；至於第三按鈕只是控制同步馬達來轉動電暖器。為了研究二極體功率減半輸出特性，我們先考慮一組閘流體半波整流電路及其相關資訊，這包括電源輸入波形 $V_s - t$ 、整流實際輸出波形 $V_o - t$ 、整流理想輸出波形 $V_o' - t$ ，整體如圖 7 所描述，其特性歸納如下：

[特性 1] 閘流體 SCR 導通需具備二個條件

第一個條件「輸入端電壓 V_s 需大於輸出端電壓 V_o (ie: $V_s - V_o > 0$)」。

第二個條件「有觸發信號輸入 (設觸發導通電壓波形電角 α 度)」。

[特性 2] 整流平均電壓值 V_o' 可由式 1 求得；將 $\alpha \sim \pi$ 實際輸出波形能量 $V_o - t$ ，打散在理想輸出波形 $V_o' - t$ 週期 2π 內，即可算出式 2。

[特性 3] 二極體不似閘流體有觸發點，其導通電角 $\alpha = 0^\circ$ ，因此只要滿足第一個條件，半波整流電路即可導通，式 2 可改寫成 式 3。

[特性 4] 二極體為一非線性元件，整流側若沒加裝濾波電容，容易在輸出側產生漣波，使得輸出實際平均值會比 $0.45V_s$ 大一點。

[特性 5] 依式 4 實功率計算公式，不管鹵素燈管阻抗為何，使用二極體進行功率減半，其基頻 60Hz 半功永遠是基頻 60Hz 全功的 0.2025 倍，而非 0.5 倍（一半）。

[特性 6] 鹵素燈管內的燈絲為一螺旋結構，故不似傳統 PTC 電熱片只有電阻，還會有電感效應，功因不可能為 1。

[特性 7] 整流側雖引發諧波電流，但諧波電流仍以熱方式在鹵素燈絲發散掉。

以上論點將在第三節量測，加以證實。

$$\frac{A}{T} = \frac{V_o' \times \Delta t}{T}, \Delta t = T = 2\pi \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V_o' &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}V_s \sin(wt) dwt \\ &= \frac{\sqrt{2}V_s}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin(wt) dwt \\ &= 0.225 V_s (1 + \cos \alpha) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\alpha = 0^\circ \quad V_o' = 0.45 V_s \quad (3)$$

$$\begin{aligned} P_o' &= \frac{V_o'^2}{R} = 0.2025 \frac{V_s^2}{R} \\ &= 0.2025 P_{\text{全功率}} \end{aligned} \quad (4)$$

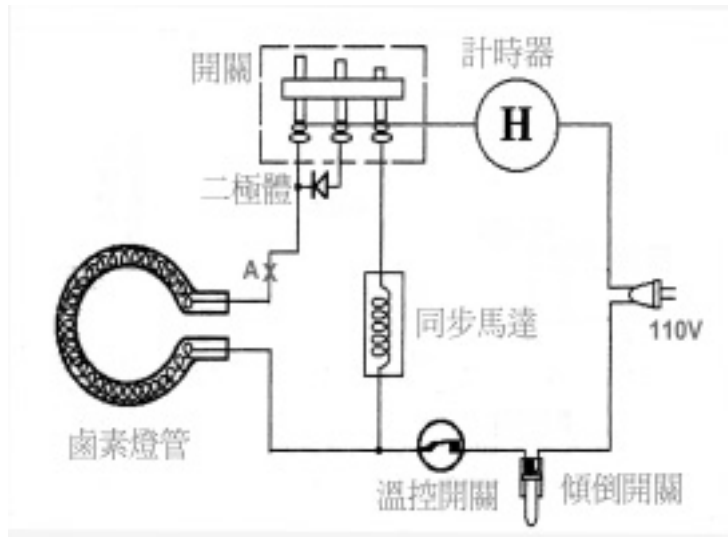


圖 6 鹵素燈型電暖器功率輸出電路架構

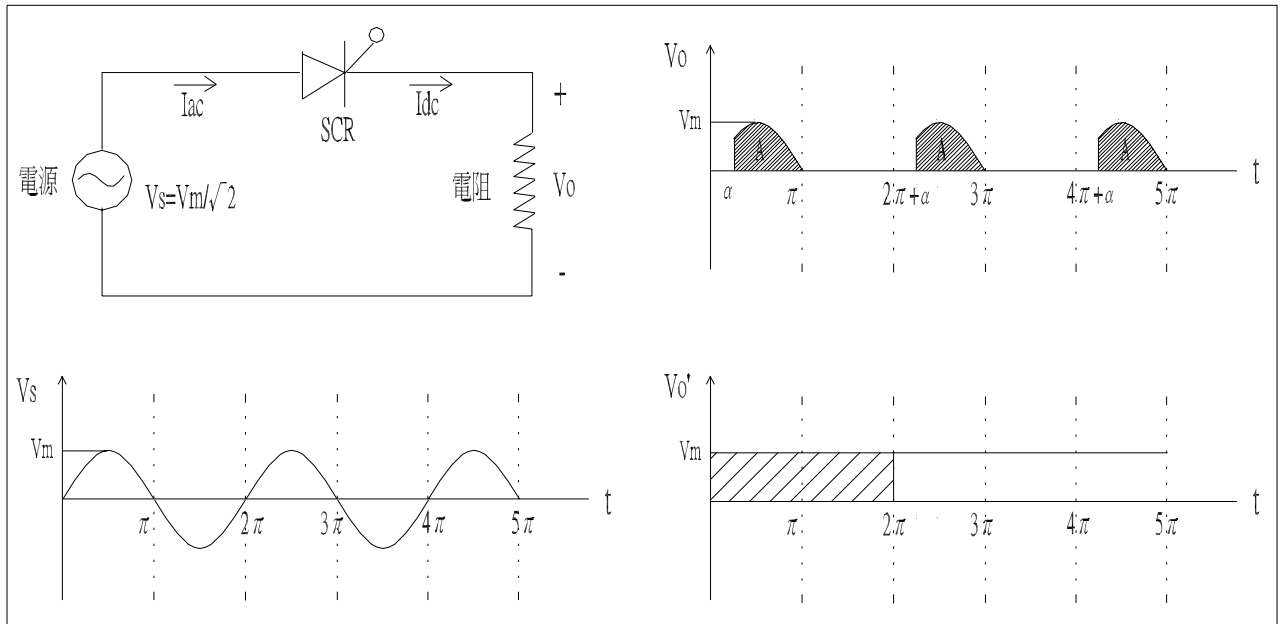


圖 7 閘流體控制半波整流電路

3.輸出功率量測

此次量測採用日製 HIOKI 8806 多用途電力分析儀，在二極體輸出端 A 點進行實測(圖 6 及圖 8)，量測採長時取樣，以確保實驗精確性，並就 800W 電暖器之全載與半載兩種狀況，進行輸出操作，量測與分析如下：

[狀況一] 電暖器全載輸出(未經二極體)

表 1 ~ 表 2 顯示量測結果，將各項取樣值作平均數，並整理成表 3，五點加以說明：

- (1)電源輸入 110V，輸出端量測 110V。
- (2)額定負載電流 6.4A。
- (3)輸出端輸出功率為 703VA。
- (4)鹵素燈絲以螺旋結構置於鹵素燈管內，會產生電阻及電抗效應，造成輸出實功 682W，虛功 170VAR，功因 0.97，其中輸出功率未達 800VA，可能鹵素燈管長度不夠所致。
- (5)負載電流未流經任何非線性元件，故無雜訊電流產生。

[狀況二] 電暖器半載輸出(經二極體半波整流)

表 4 ~ 表 7 顯示量測結果，將各項取樣值作平均數，整理成表 8，概略說明四點：

- (1)電源輸入 110V 並經二極體半波整流，輸出端實測值 57.8V，若以式 3 計算，理論值應為 50V，考慮大功率二極體非線性元件產生漣波成份，故其實測值應比理論值稍高，式 1 ~ 式 3 應無誤。
- (2)半載輸出負載電流 6.4A(包含基波電流及雜訊電流)，其中基波電流 3.8A，雜訊 120Hz、240Hz、360Hz 分別為 1.61A、0.44A、0.26A，輸出側綜合雜訊失真高達 45.53%，主要原因為漣波效應造成。
- (3)半載消耗實功 174W(60Hz)，以式 4 計算，理論值應為 138W，實測值比理論值大了 36W，誤差原因可能為二極體溫升引起整流電壓變動有關。另螺旋結構鹵素燈絲功因 0.93、總實功 212W、總虛功 84VAR，二次諧波 36W，三次諧波 9W，造成總輸出功率 228VA，與預定半載輸出 351.5VA (703VA/2)，足足少了 123.5VA，故使用二極體作功率減半確實有問題，若再加上廠商沒有品管好鹵素燈管長度，實際輸出功率與面板標示差距更大，恐有欺騙消費者之嫌。
- (4)因二極體整流輸出漣波，其輸出端綜合諧波電流經計算為 1.9A。



圖 8 功率量測情形

time: '03-12-25 10:10:07	T-RMS (CH1)	T-RMS (CH2)	WA	P-FACTOR
12-25 10:10:07	110 V	6.7 A	+704.3 VA	-0.972
12-25 10:10:28	110 V	6.5 A	+717.2 VA	-0.972
12-25 10:10:52	110 V	6.4 A	+708.5 VA	-0.972
12-25 10:11:14	110 V	6.4 A	+701.4 VA	-0.973
12-25 10:11:37	110 V	6.4 A	+701.8 VA	-0.968
12-25 10:11:59	110 V	6.4 A	+701.2 VA	-0.967
12-25 10:12:22	110 V	6.4 A	+700.3 VA	-0.972
12-25 10:12:44	110 V	6.4 A	+700.0 VA	-0.970
12-25 10:13:07	110 V	6.4 A	+701.5 VA	-0.968
12-25 10:13:28	110 V	6.4 A	+699.5 VA	-0.968
12-25 10:13:52	110 V	6.4 A	+703.8 VA	-0.970
12-25 10:14:14	110 V	6.4 A	+698.4 VA	-0.974
12-25 10:14:37	110 V	6.4 A	+702.1 VA	-0.968
12-25 10:14:59	110 V	6.4 A	+700.7 VA	-0.968
12-25 10:15:22	110 V	6.4 A	+703.9 VA	-0.968
12-25 10:15:44	110 V	6.4 A	+701.6 VA	-0.968
12-25 10:16:07	110 V	6.4 A	+703.7 VA	-0.968
12-25 10:16:29	110 V	6.3 A	+698.3 VA	-0.967
12-25 10:16:52	110 V	6.4 A	+698.0 VA	-0.968
12-25 10:17:14	110 V	6.4 A	+698.7 VA	-0.967

* HARM * RMS-RATIO CH2 VALUE					
x20 freq:59.9Hz					
N		N		N	
1	100.00%	11	0.00%	21	0.00%
2	0.00%	12	0.00%	22	0.00%
3	0.04%	13	0.00%	23	0.00%
4	0.04%	14	0.00%	24	0.00%
5	0.30%	15	0.13%	25	0.00%
6	0.00%	16	0.04%	26	0.00%
7	0.00%	17	0.04%	27	0.00%
8	0.00%	18	0.00%	28	0.00%
9	0.00%	19	0.00%	29	0.00%
10	0.00%	20	0.00%	30	0.00%
T-RMS		THD-F		THD-R	
6.41 A		0.34%		0.34%	

表 1. 電壓、電流、消耗功率、功因

表 2. 諧波電流成份

評估項目	測量平均值	備註
1.輸出電壓(V)	110 V	• 同電源電壓Vs (詳表1 T-RMS (CH1))
2.全載電流(A)	6.4 A	• f=60HZ (詳表1 T-RMS (CH2))
3.額定消耗功率S1(VA)	703 VA	• f=60HZ (詳表1 VA)
4.功因PF	0.97	• 印證 第二節 論點6 (詳表1 P-FACTOR)
實功P1(W)=S1 x PF	682 W	• f=60HZ (計算: 703VA x 0.97)
虛功Q1(VAR)= $\sqrt{(S1^2 - P1^2)}$	170 VAR	• f=60HZ (計算: $\sqrt{(703^2 - 682^2)}$)
5.雜訊電流(A)	0A	• 綜合雜訊失真THD-F=0.34% (詳表2)

表 3 電壓、電流、消耗功率、功因、諧波電流平均量測值(全載)

time: '03-12-25 09:43:35	T-RMS (CH1)	T-RMS (CH2)	VA	P-FACTOR
12-25 09:43:35	56 V	4.1 A	+233.5 VA	-0.938
12-25 09:43:57	57 V	4.1 A	+231.0 VA	-0.945
12-25 09:44:20	53 V	3.7 A	+193.9 VA	-0.943
12-25 09:44:42	59 V	4.0 A	+233.2 VA	-0.948
12-25 09:45:05	59 V	4.1 A	+243.9 VA	-0.937
12-25 09:45:27	54 V	3.6 A	+194.9 VA	-0.939
12-25 09:45:50	61 V	4.1 A	+251.0 VA	-0.945
12-25 09:46:12	57 V	3.9 A	+221.2 VA	-0.948
12-25 09:46:35	54 V	3.7 A	+202.9 VA	-0.939
12-25 09:46:57	56 V	3.7 A	+205.5 VA	-0.936
12-25 09:47:20	60 V	4.1 A	+243.8 VA	-0.947
12-25 09:47:42	54 V	3.8 A	+204.1 VA	-0.936
12-25 09:48:05	57 V	3.8 A	+213.2 VA	-0.931
12-25 09:48:27	64 V	4.2 A	+272.3 VA	-0.935
12-25 09:48:50	61 V	3.9 A	+237.0 VA	-0.969
12-25 09:49:12	59 V	4.0 A	+235.6 VA	-0.949
12-25 09:49:35	57 V	3.9 A	+221.1 VA	-0.929
12-25 09:49:57	60 V	4.1 A	+242.9 VA	-0.948
12-25 09:50:20	60 V	4.2 A	+252.2 VA	-0.938
12-25 09:50:42	59 V	4.0 A	+232.5 VA	-0.930

表 4. 電壓、電流、消耗功率、功因

time: '03-12-25 09:30:49							
* HARM * CH2 VALUE							
x20 freq:65.0Hz							
N	I	N	I	N	I	VALUE	
1	3.80	A11	0.09	A21	0.05	A31	0.02
2	1.61	A12	0.08	A22	0.03	A32	0.03
3	0.14	A13	0.08	A23	0.04	A33	0.02
4	0.44	A14	0.06	A24	0.03	A34	0.03
5	0.15	A15	0.08	A25	0.05	A35	0.01
6	0.26	A16	0.04	A26	0.03	A36	0.02
7	0.10	A17	0.06	A27	0.03	A37	0.02
8	0.13	A18	0.05	A28	0.02	A38	0.02
9	0.08	A19	0.05	A29	0.02	A39	0.02
10	0.11	A20	0.04	A30	0.02	A40	0.02
T-RMS		THD-F		THD-R			
4.18 A		45.53%		41.44%			

表 5. 雜訊電流成份

time: '03-12-25 09:43:35	WATT	var	POWER (1)	POWER (2)
12-25 09:43:35	-219.4 W	+79.95 var	-165.6 W	-49.38 W
12-25 09:43:57	-219.9 W	+74.22 var	-168.1 W	-49.38 W
12-25 09:44:20	-183.1 W	+63.72 var	-143.1 W	-39.36 W
12-25 09:44:42	-221.3 W	+73.80 var	-161.9 W	-38.75 W
12-25 09:45:05	-228.8 W	+84.50 var	-179.8 W	-47.50 W
12-25 09:45:27	-183.1 W	+65.55 var	-142.5 W	-38.38 W
12-25 09:45:50	-297.5 W	+81.39 var	-205.6 W	-30.63 W
12-25 09:46:12	-210.0 W	+89.46 var	-157.5 W	-48.13 W
12-25 09:46:35	-190.6 W	+69.43 var	-149.1 W	-41.25 W
12-25 09:46:57	-192.5 W	+72.00 var	-150.0 W	-41.25 W
12-25 09:47:20	-230.3 W	+77.34 var	-208.1 W	-23.13 W
12-25 09:47:42	-190.3 W	+71.23 var	-149.8 W	-41.25 W
12-25 09:48:05	-198.8 W	+77.09 var	-144.4 W	-53.13 W
12-25 09:48:27	-295.0 W	+85.48 var	-242.5 W	-1.250 W
12-25 09:48:50	-205.3 W	+116.7 var	-183.8 W	+0.000 W
12-25 09:49:12	-223.8 W	+73.72 var	-189.8 W	-34.36 W
12-25 09:49:35	-205.6 W	+81.23 var	-149.8 W	-55.00 W
12-25 09:49:57	-230.6 W	+76.12 var	-205.0 W	-25.00 W
12-25 09:50:20	-241.9 W	+71.29 var	-217.5 W	-24.36 W
12-25 09:50:42	-208.4 W	+101.0 var	-180.6 W	-11.25 W

表 6. 總實虛功、基頻及二次雜訊實功

time: '03-12-25 09:43:35	POWER (3)	POWER (4)	POWER (5)	POWER (6)
12-25 09:43:35	-4.375 W	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:43:57	-1.250 W	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:44:20	-625.0mW	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:44:42	+0.000 W	-625.0mW	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:45:05	-625.0mW	-1.250 W	-625.0mW	+0.000 W
12-25 09:45:27	-1.250 W	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:45:50	+0.000 W	+0.000 W	-1.250 W	+0.000 W
12-25 09:46:12	-4.375 W	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:46:35	-1.250 W	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:46:57	-625.0mW	-625.0mW	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:47:20	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:47:42	-1.250 W	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:48:05	-1.250 W	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:48:27	-10.00 W	-1.250 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:48:50	-18.75 W	-3.750 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:49:12	+0.000 W	-625.0mW	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:49:35	-1.875 W	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:49:57	+0.000 W	-625.0mW	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:50:20	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W	+0.000 W
12-25 09:50:42	-22.50 W	-4.375 W	-7.500 W	-1.250 W

表 7. 三、四、五、六次雜訊實功

評估項目	測量平均值	備註
1.半波整流輸出電壓Vo'(V)	57.8 V	<ul style="list-style-type: none"> • 印證 第二節 特性 1、2、3、4 (詳表4 T-RMS (CH1)) • 理論值 $V_o' = 0.45 V_s = 0.45 \times 110 = 50V$
2.半載電流(A)	4.1A	<ul style="list-style-type: none"> • (詳表4 T-RMS (CH2))及(詳表5 雜訊電流) • 成份含基波I1=3.8A及N=2~40次諧波電流

3.半載基頻實功P1(W)	174W	<ul style="list-style-type: none"> •印證 第二節 特性 4,5 (詳表6 POWER(1)) •理論值 $P_{\text{半載}} = 0.2025 P_{\text{全載}} = 0.2025 \times 682W = 138W$
2次諧波實功P2(W)	36W	<ul style="list-style-type: none"> •印證 第二節 特性 7 (詳表6 POWER(2))
3次諧波實功P3(W)	9W	<ul style="list-style-type: none"> •印證 第二節 特性 7 (詳表7 POWER(3))
總功率S(VA)	228VA	<ul style="list-style-type: none"> •$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ (詳表4 VA)
總功因PF	0.93	<ul style="list-style-type: none"> •印證 第二節 特性 6 (詳表4 P-FACTOR)
總實功P(W)=S x PF	212 W	<ul style="list-style-type: none"> •$P = \sqrt{P1^2 + P2^2 + P3^2 + P4^2 + \dots}$ (詳表6 WATT)
總虛功Q(VAR)= $\sqrt{S^2 - P^2}$	84 VAR	<ul style="list-style-type: none"> •$Q = \sqrt{Q1^2 + Q2^2 + Q3^2 + Q4^2 + \dots}$ (詳表6 VAR)
4.綜合雜訊電流(A)=I1 x THD-F	1.9A	<ul style="list-style-type: none"> •綜合失真THD-F=45.53% , I1=3.8A (詳表5)

表 8 電壓、電流、功率、功因、雜訊電流平均量測值(半載)

4. 結論

由上面分析與量測，我們已發現使用二極體作功率減半控制，實際輸出只有五分之一而非一半，應用在家電產品的半功輸出上，效果將有所爭議，消費者在使用上需特別注意。另依電磁相容第二部標準 IEC555-2(諧波篇) 第四節「對設備的一般要求與限制」，使用二極體作大功率減半控制，是不被准許的，尤其應用在發熱器具的控制上，只怕一旦電磁相容第二部公佈實施，全世界二極體控制功率減半電器，全部不合格，國內已辦理此類型驗證登錄之電暖器製造商，可能還要回到 PTC 發熱片結構上去動腦筋，或者將此型電暖器的鹵素燈組增加為兩組，只是如此一來，成本將無法和傳統電暖器競爭，至於是否有其它廉價的半功率校正電路設計，歡迎國內電子電路基板設計製造商與這些電暖器製造商聯絡，說不定還可申請專利，大賺世界的錢。