

台灣二〇〇二年國際科學展覽會

科 別：物理科

作品名稱：向沒電的日子說再見—談功率因數

學 校：臺北市私立靜心國民中學

作 者：陳映彤

作者簡介



作者，陳映彤，生於民國七十五年，目前住在臺北市，就讀於台北私立靜心國民中學三年級。平長喜好音樂、繪畫、羽毛球、參觀博物館或到處去玩。個性內向，不善言辭。擅長鋼琴、繪畫、寫作及數學，對電腦繪圖、歌唱、物理和化學有興趣。目前想要學的是 painter 和日文。

英文摘要(Abstract)

Fluorescent lamps shine our lives everywhere. However, traditional fluorescent lamps are inductive loads and produce a phase angle between voltage and current when connected to an alternating power supply, which leads to considerable electricity losses. This project uses parallel capacitors with the fluorescent lamp to compensate the phase difference between current and voltage, and thus reduces power consumption. In the study the impedance of a CFL (Compact Fluorescent Lamp) bulb has been measured and compensated with corresponding capacitance. Finally, the power consumption reduction is verified with experimental results.

中文摘要

日光燈是我們最常用的照明設備。傳統的日光燈是屬於電感性的負載，接上電源後其電壓與電流的波形會產生異相位的問題，造成無效功率。本研究是以簡單而且經濟的方法在日光燈的兩端並聯電容器以改善其電流落後電壓的情形，減少無效功率，降低電力的消耗。研究中測量日光燈的等效阻抗，並加以相應的補償電容，從電路實驗中觀察，得到功率修正的結果。

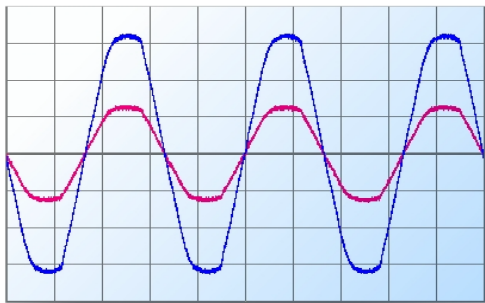
研究報告

壹、研究動機

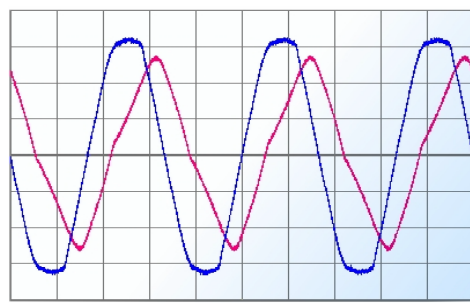
曾經在課堂上看到電壓與電流同相的波形圖(如圖一)，於是產生了疑惑：有沒有不同相位的呢？如果有是如何造成的呢？可以改變何種因素使它變回同相位嗎？電壓與電流的相位波形相同時，有何優缺點呢？波形不相同時，又會產生什麼影響呢？此問題引起了我的研究的興趣。

貳、研究目的

一般使用照明燈具，以白熾燈系列與日光燈系列為主。而日光燈因其照明面積比白熾燈泡為廣，更為大家普遍的使用。傳統的日光燈因其內部有一變壓器，是屬於電感性的負載，此負載會造成電壓與電流產生一相位移(如圖二)，而且電流落後電壓一個相角，產生無效功率，造成電力的增加。本研究希望藉由電容器的使用來減少電壓與電流的相角，以降低日光燈所產生的無效功率，提高功率的利用率，使生活中的耗電量減低，以節省能源。



圖(一)電壓與電流同相位



圖(二)電壓與電流異相位

參、研究過程

電的裝置中屬於電感性的負載有變壓器、電動機、感熱型電熱器、熔接機及傳統的日光燈等之負載，一般而言，使用銅導線或線圈製作成的設備均為電感性的負載。以變壓器為例，變壓器接上電源後，通過的電流可分為二部份：一為激磁電流(或稱無效電流)落後外加電壓 90 度；二為有效電流以產生電力者，與外加電壓同相位。有效電流與外加電壓之乘積稱為有效電力 (kW)；無效電流與外加電壓之乘積稱為無效電力 (kVAR)，依定義：功率因數 (Power Factor) 就是有效電流與總電流之比值或有效電力與視在功率 (kVA)之比值，即：

$$\text{功率因數 (PF)} = I_r \cos \theta / I_T = \text{kW/kVA} = \cos \theta$$

因此當有效電流與總電流相同時，即表示功率因數為 1，所以發電場所發出來的電全部可供給我們的負載來使用。表(一)中列出一般常用器具之概略功率因數的值。

表(一) 一般常用器具之概略功率因數的值

負載種類	功率因數
白熾燈泡 (及熱線電爐)	1.0
日光燈 (及水銀燈) 未附功率因數改善者	0.5
附有功率因數改善者	0.8 - 0.95
霓虹燈	0.5 - 0.7
單相電動機 (1/20 - 3 HP)	0.5 - 0.75 (全載時)
三相感應電動機 1 - 10 HP	0.75 - 0.85 (全載時)
10 - 50 HP	0.84 - 0.89 (全載時)

依據現行電價，用戶每月用電之平均功率因數不及 80% 時，每低 1% ，該月份電費應增加千分之三。超過 80% 時，每超過 1% ，該月份電費 (但不包括超約附加費) 減少千分之一點五。因此提高功率因數不僅可節省用電量，並且可獲得減少電費的實質利益。

如何來提高功率因數呢？一般的負載大都為電感性的負載，例如旋轉類的電器--馬達或是線圈所做成的設備--變壓器等都是造成功率因數降低的原因。依據參考資料[1]所提，可利用電容器來提高功率因數。由表(一)中發現未附功因改善者的日光燈其功率因數只有 0.5，此意義為電力公司發出來的電只有 50%被電日光燈所利用，另外 50%就浪費掉了。因此更引發了研究的興趣。

日光燈是我們每天必須的照明設備，舉凡家裏、工廠、學校及醫院等等，若能提高功率因數，省下一些電力，那每一個用戶省下點點，全國將可節省多少電力呢？

為了研究方便，選用取得較為容易之日光燈，並且研究的結果比較能夠予以實現在日常生活中，因此以圖(三)之傳統式之日光燈作為研究的對象，首先分析日光燈的構造，傳統是以鐵心及線圈來組成安定器，此安定器為電感性的負載，亦是造成功率因數降低的原因，依參考資料[1]假設日光燈整個的阻抗為 $Z_L = R + jX_L$ ，通過的電流為 I ，則日

光燈所消耗的電力為

$$S_L = I^2 \times Z_L = I^2 \times (R + jX_L) = P + jQ_L$$

其中

$$P = I^2 \times R$$

$$Q_L = I^2 \times X_L$$

視在功率 $|S_L| = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$

其中 S_L 為複功率
 P 為有效功率，
 Q_L 為無效功率，

日光燈加上電容後其阻抗為

$$Z = R + jX_L - jX_C = R + jX$$

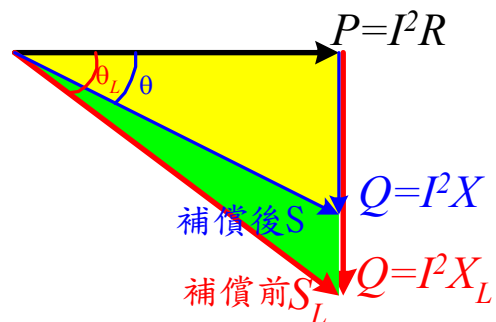
其中 Z 為補償後之電路阻抗
 X 為補償後之電路電抗

因此加上電容補償後，電路的電抗會小於未補償前 ($jX = jX_L - jX_C < jX_L$)；當通過的電流不變時

$$S = I^2 \times Z = I^2 \times (R + jX) = P + jQ$$

其中 $Q = I^2 \times X$

由電抗產生的無效電力會變小，即可達到節省電力的目的。電容補償前後的功率變化可由圖(四)表示，



以某一單相 120V，15W 之負載為例，該負載未裝設電容器前之功率因數為 0.5，試求將功率因數提升至 0.95 時，則應裝設若干 μf 的電容器？

利用參考資料[1]之公式計算：

因改善前功率因數 $\cos\theta_L = 0.5$

改善後功率因數 $\cos\theta = 0.95$

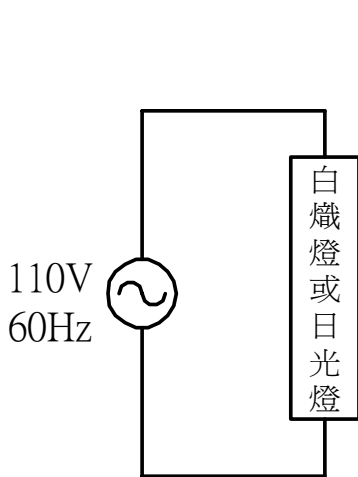
電容器需補償的無效電力為：

$$C(\text{kVAR}) = P[\tan\theta_L - \tan\theta] = 15\text{W} \times [\tan(\cos^{-1}0.5) - \tan(\cos^{-1}0.95)] \\ = 15\text{W} \times 1.4 = 21\text{VAR}$$

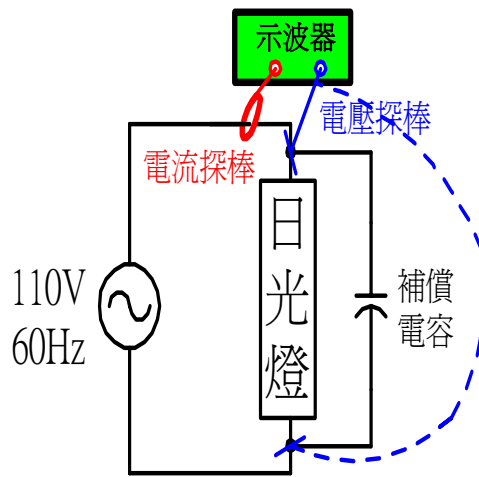
低壓電容器在 120V 單位換算 $1\text{VAR} = 0.1842\mu\text{f}$

故得 $= 21 \times 0.1842 = 3.86\mu\text{f} \approx 3.3\mu\text{f}$ (依製造規格取整數)

有了理論的依據，即可以開始做實驗，以傳統式的圓形日光燈作為實驗的負載，電路連接如圖(五)所示



圖(五)實驗的接線圖



圖(六)量測日光燈的實驗接線圖

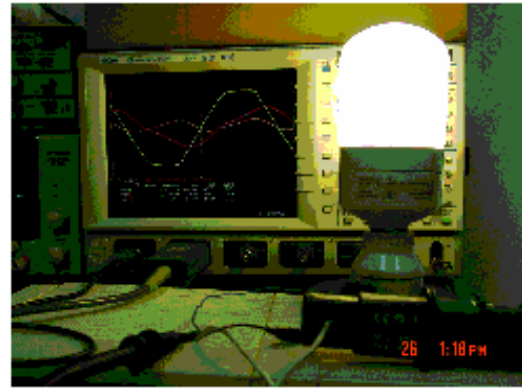
為了量測波形，借用台北科技大學電機系的實驗設備，並且經由實驗室負責老師的指導，量取白熾燈與傳統式的日光燈在使用電容器補償前、後的波形，並紀錄實驗的數據。

實驗負載的規格：白熾燈泡 — 東亞 110 伏特、60 赫茲、20 瓦
圓形日光燈—三菱 120 伏特、60 赫茲、15 瓦

白熾燈泡及日光燈未加補償電容器的測試電路依圖(五)之接線圖接線，實體的量測實驗，如圖(七)、(八)所示。日光燈加上補償電容器的測試電路依圖(六)之接線圖接線，實體的量測實驗，如圖(九)所示。利用 Lecroy LT344 儲存式示波器、AP015 電流探棒及 PP006 電壓探棒量取電流、電壓及有效功率的數值。量測的數值，如表(二)；量測波形如圖(十二)至(十九)。



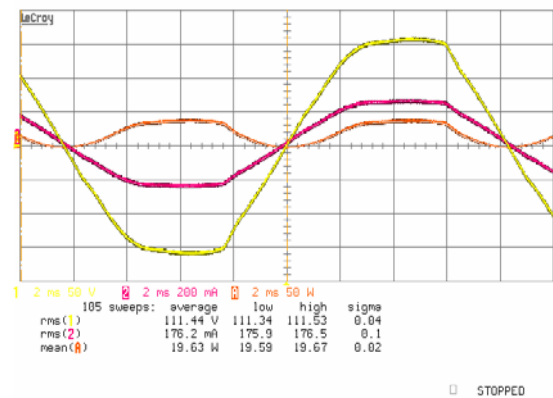
圖(七) 白熾燈泡的量測實驗



圖(八) 日光燈未加電容的量測實驗



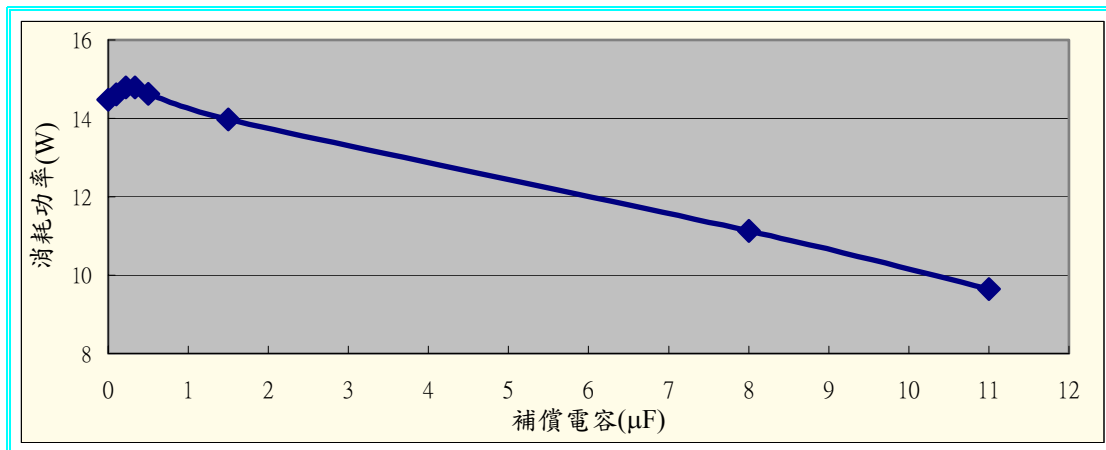
圖(九) 日光燈連接補償電容的量測實驗



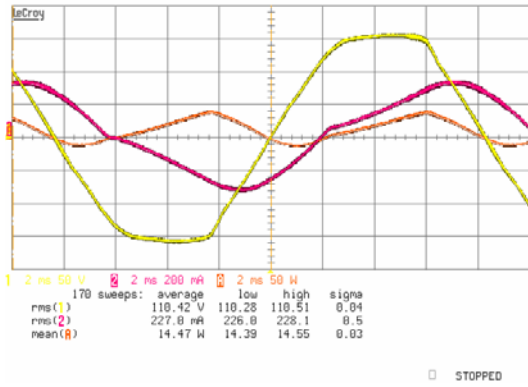
圖(十) 白熾燈泡的量測波形

表(二) 日光燈補償不同電容時量測的數值

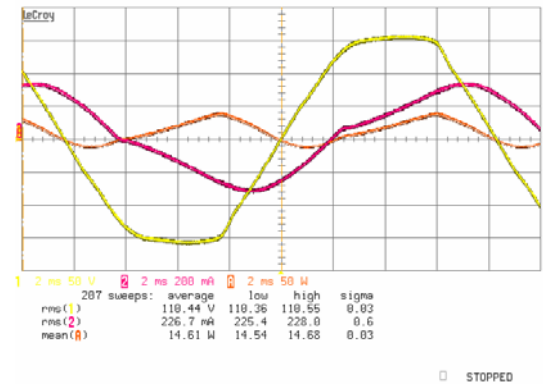
電容值	無補償	0.1 μ F	0.22 μ F	0.33 μ F	0.5 μ F	1.5 μ F	8 μ F	11 μ F
輸入電壓(V)	110.4	110.4	110.4	110.3	109.9	109.7	110.5	110.4
輸入電流(mA)	227.0	226.7	230.1	230.4	223.8	180.1	214.4	347.7
消耗功率(W)	14.47	14.61	14.79	14.79	14.63	13.97	11.13	9.65



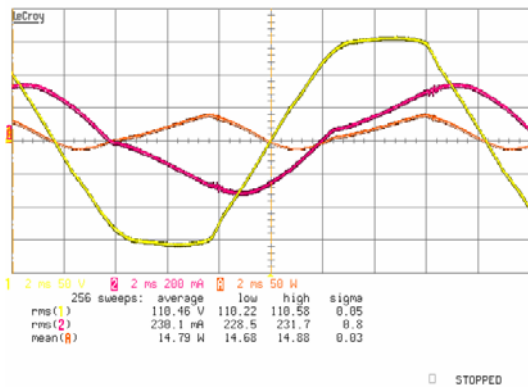
圖(十一) 日光燈之消耗功率與補償電容值的關係圖



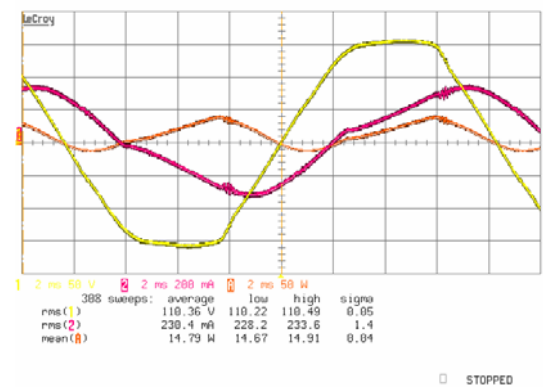
圖(十二) 未加電容時的量測波形



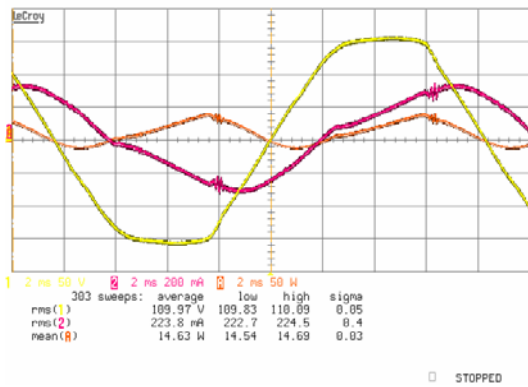
圖(十三) 電容為 0.1 μ F 時的量測波形



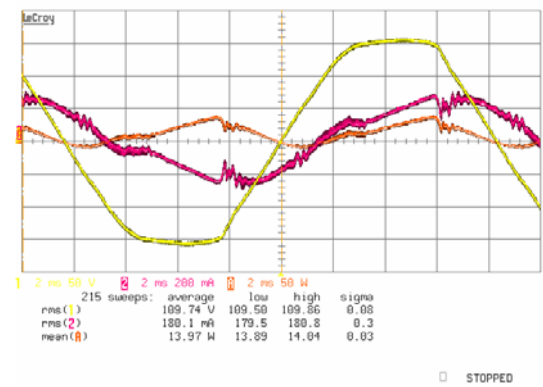
圖(十四) 電容為 0.22 μ F 時的量測波形



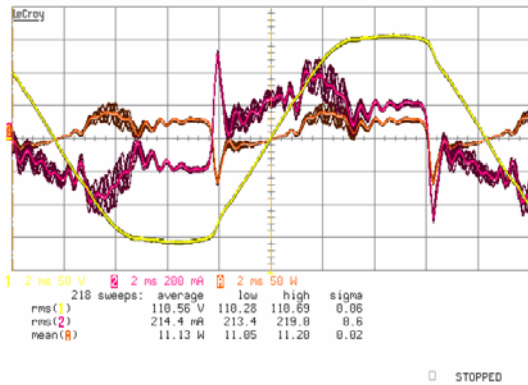
圖(十五) 電容為 0.33 μ F 時的量測波形



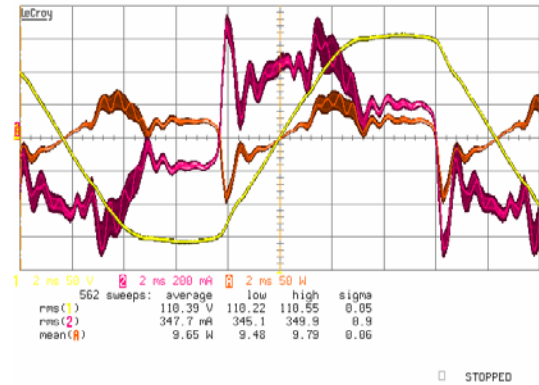
圖(十六) 電容為 0.5 μ F 時的量測波形



圖(十七) 電容為 1.5 μ F 時的量測波形



圖(十八) 電容為 8 μ F 時的量測波形



圖(十九) 電容為 11 μ F 時的量測波形

肆、討論及應用

一般家庭使用照明燈具，以白熾燈系列與日光燈系列為主，日光燈與白熾燈泡之比較，如表(三)所示。白熾燈之色溫度低，屬於暖色性光源，優點為演色性佳，也就是色彩的還原性較好。缺點為效率不佳，較為耗電。一般多使用在點燈時間短，或是需要高照度的地點。日光燈原屬高色溫度，冷色性光源，由於製造技術進步，暖色的燈管市面上已可購得。其優點為效率佳，較省電。缺點為演色性較差。由於日光燈較白熾燈省電約 70%，所以近來家庭白熾燈多改為省電又美觀之燈泡型日光燈。

表(三) 日光燈與白熾燈泡之比較

種類	日光燈			白熾燈泡		
規格	10W	15W	30W	40W	60W	100W
消費電力 (W)	13.5	20.5	38.0	40	60	100
適用場所	欲光亮明快的場所			需要暖和感覺的場所		
	點燈時間較長的場合			點燈時間很短暫的場所		
	點滅不頻繁的場所			開關頻繁的場所		

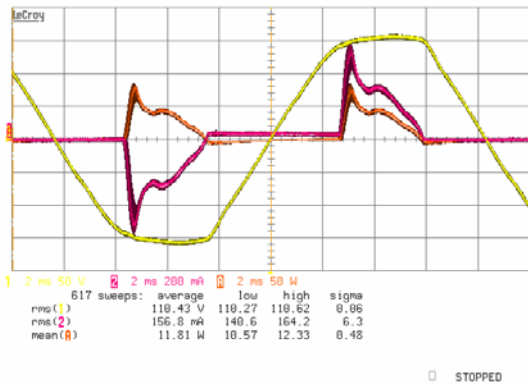
由於環保意識高漲，發電廠的建造已有困難，電力的使用日趨不足，如何節省電力，亦是當前的要務。而照明用電約佔總用電量的 12~15%，預估每年成長約 10%。以目前國產 40 瓦單管傳統鐵心式高功率型或普通型安定器日光燈具為例，耗電約為 45~53 瓦，而新型省電高頻電子式安定器日光燈僅約 36 瓦，兩者比較後者可大幅省電約 30%，若再加上使用高頻燈管所提高 10~20% 的光度輸出，則其省電效益更大。

電子式安定器日光燈採用電力電子的技術，使日光燈的用電能更節省。表(四)中為比較傳統式安定器與電子式安定器的各項優缺點，雖然電子式安定器日光燈的特性優於傳統式安定器的日光燈，但是目前售價仍然比傳統式安定器的日光燈高出許多，這也是電子式安定器日光燈尚不能大量推廣的最大主因。

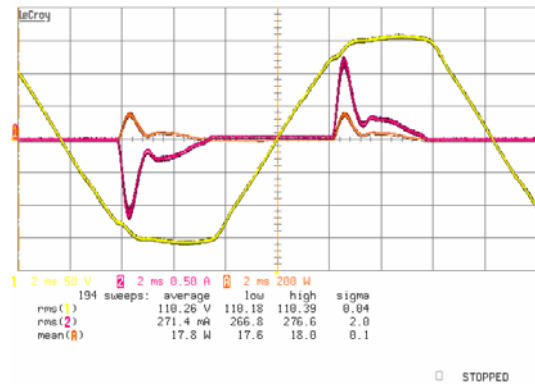
表(四) 傳統式安定器與電子式安定器之比較

種類	傳統式安定器	電子式安電器
工作率頻	50/60Hz	20K~50KHz
啓動器	需用	免用
正常點燈燈光	閃爍	不閃爍
電壓變動燈光	閃爍	不閃爍
點燈時間	3 秒	立即亮
溫昇	高	低
功率因素	0.5	0.95
安全性	缺乏保護迴路	燈管壞自動斷路，可用緊急照明
結構性	體積大且重	尺寸小，重量輕
電感	大	小
光源照明效率	100%	112%
設計結構	單純	精密

圖(二十)、(二十一)為另外兩種市售的 15 瓦及 20 瓦電子式省電日光燈量測波形，由圖中可看出電流波形發生嚴重的畸變，但是其只消耗 11.81 瓦及 17.8 瓦的電力，所以電子式省電日光燈節省電力消耗是無庸置疑的。表(五)為比較白熾燈泡與傳統日光燈與電子式省電燈泡之省電情形。



圖(二十) 國際牌 15 瓦省電燈泡量測波形



圖(二十一) 艾德蒙 20 瓦省電燈泡量測波形

表(五) 白熾燈泡、日光燈與電子式省電燈泡之省電情形比較

規 格	東亞-白熾燈泡 110V、20W	東亞-比利神童 115V、17W	國際牌省電燈泡 110V、15W	艾德蒙3U省電燈泡 115V、20W
輸入電壓(V)	114.44	110.15	110.43	110.26
輸入電流(mA)	176.2	325.1	156.8	271.4
消耗功率(W)	19.63	18.45	11.81	17.8
省電率(%)	1.85	-8.52	21.26	11

伍、結論

由本研究中之測試數據可知，利用電容器可減少電壓與電流的相位差，減少電力的消耗。改善功率因數的省電裝置 (如電容器等)，都是減少無效電力 (VAR)，但是如果供給電容量超過時，又會形成部份電容性的無效電流，而降低原來的省電效果。欲達到省電的最佳效益，當依用電負載的連續性程度與非連續性程度等不同需求的特性，將所欲裝置的電容器加以周詳設計分組，並運用各種有效控制方式，使能適時適量供給各用電設備所需的無效電力。:

由表(二)之實驗數據中可了解，當電容越大時，確有降低無效電力的效果，因此若能於傳統的日光燈中加入適當的電容器，即可達到提高功率因數以節省用電量的成效。但由圖(十八)及(十九)中發現，電流波形發生嚴重的變形，此一問題會造成電源的干擾，應再修正電路以防止電流的變形。

由圖(二十)及(二十一)中的波形顯示電子式的省電日光燈，雖然電流波形有嚴重的失真現象，但其省電的效果卻非常突出。因此爲了提高能源使用的效益，應提倡使用電子式的省電日光燈。

陸、參考資料

- [1] 何君揚等，『基本電學』,高立圖書公司
- [2] 國立編譯館，國民中學理化第三冊
- [3] 電力電子技術雙月刊，第 62 期
- [4] 台灣電力公司，節約用電常識—照明設備篇
- [5] 經濟部能委會，『選燈有方法、省電有一套』，能源報導 2001 年 9 月號