

和差調變日光燈調光電子安定器之研製 A Study of Dimmable Electronic Ballast for Fluorescent Lamps by Sigma-Delta Modulation

¹陳宏良 ¹朱仁貴 ²胡立民 ¹蘇育弘

¹Hung-Liang Chen, ¹Ren-Guey Chu, ²Li-Ming Hu, and ¹Yu-Hung Su

¹黎明技術學院電機工程系

¹Department of Electrical Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

²光啟高中電機電子群

²Group of Electronic and Electrical Engineering, Paul Hsu Senior High School

摘要

本研究提出以和差調變控制概念來實現群組式非對稱脈波寬調變控制器，主要目的在於消除日光燈在低照度時所產生的輝紋現象，同時又可得到調光的目標。目前發展的調光技術多利用單晶片控制器，但由於其成本較高，又容易受到環境溫度的影響而產生不穩定的現象，市場接受度不高。為了解決這樣的問題，本計畫提出和差調變控制器的作法，其架構簡單，且採用類比電路不易受環境影響。和差調變控制可使得日光燈在低亮度時燈管電流偶次諧波成份增加，以藉此消除輝紋現象。本研究實際製作一 10W 電子安定器並利用和差調變控制來達成群組式非對稱脈波寬調變。實驗結果證明本文所提之方案的確能將螢光燈調光由 0%~100% 的亮度時，過程中不會產生輝紋現象。

關鍵字：和差調變、群組式非對稱脈波寬調變、輝紋現象

ABSTRACT

To realize a group-asymmetrical PWM controller by sigma-delta modulation (SDM) for dimmable electronic ballast is explored. The proposed SDM can make the fluorescent lamp dimmable and eliminate striations when the luminance of the fluorescent lamp is low. A single chip was used to realize a group-asymmetrical PWM controller with more cost. The proposed approach makes the controller easier to implement. A 10W SDM electronic ballast for fluorescent lamp is implemented. The luminance of the fluorescent lamp can be dimmed between 0% and 100% without striations.

Keywords: sigma-delta modulation (SDM), digital group-asymmetrical PWM, and striation.



1. 前言

電燈的發明開啟光明的世代，打破日夜的疆界，人類的活動自此不再受到時間的限制，引領人類進入另一種層次的生活型態。百年以來，照明技術不斷的精進，對人類的發展產生了深遠的影響。

雖然隨著時代的演變，各式各樣的燈具因應不同的需求被發明而使用，但在新世代的燈源在真正被廣泛使用之前，日光燈仍是人們最為普遍且最喜愛的照明用具。在傳統日光燈具當中，為提供高壓點亮燈管，並限制電流避免燈管燒毀而使用安定器(ballast)。傳統安定器由於其矽鋼片結構及低頻操作之特性，使得機構沉重、效率低落且存在有為人所詬病的閃爍的問題，於是電子安定器成為上述問題的解決方案[1-5]。電子安定器的存在除了解決了效率與低頻閃爍的問題，更提升了點燈的速度，對於分秒必爭的現實世界來說，這無疑是一項非常大的使用誘因。即便如此，能源短缺的今日，這般的優越特性仍無法滿足今日的需求。為節省能源希望能做到的是，依需求來適當調整日光燈亮度。因此調光技術已成為日光燈電子安定器的發展重點。傳統調光技術已能輕易地達到調光目的，但關鍵的問題在於低亮度下日光燈管所產生的輝紋(striation)現象，使得螢光燈的實際有效的調光範圍相當有限。為改善此現象，因此有群組式非對稱脈波寬調變之技術[6-15]之提出。但群組式非對稱脈波寬調變一般以單晶片方式

實踐，其成本相對較高，同時因熱衍生出不穩定之問題，因此本研究提出以和差調變[16-17]取代傳統群組式非對稱脈波寬調變之作法以消除螢光燈在低亮度時所產生的輝紋現象。

2. 電子安定器工作原理

日光燈自發明以來，因為其照明範圍大、壽命長及較佳的發光效率，受到廣泛的使用。但其啟動時間隨使用次數而拉長，低頻操作所衍生的閃爍問題仍免不了為人所垢病。為了解決上述的問題，電子安定器因應而生。

圖1所示為日光燈電子安定器的基本架構圖，其主要結構包含三個部份：整流器、換流器及諧振電路。整流器的功能在於提供交直流電力的轉換，以提供後級換流器所需的直流電源，換流器則是將直流電源再次轉換成交流電力，但頻率提升至數十kHz以上。最後藉由諧振電路以諧振的方式產生高壓點亮燈管，並於燈管點亮後提供穩定的電流，穩定照明。

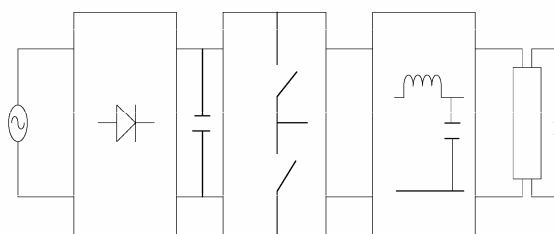


圖 1 日光燈電子安定器基本架構

本研究負載為低功率日光燈，因此換流器採用半橋電路的架構，諧振電路則採用串聯諧振形式，諧振電路包含電感與電容元件，藉由電感和電



容中能量相互傳遞來產生共振的效果，諧振電路一般可分為串聯諧振與並聯諧振兩種。以日光燈的驅動而言，主要是產生高壓啟動及提供近似弦波電壓持續供電，因此採用串聯諧振較佳。

一般日光燈管在正常供電之情形下，其燈管發光情形應均勻分布，但現實情形發現，燈管處在低亮度狀態時，由於燈管的跨壓隨時間呈現週期性變化，其電流也隨時間產生波動，以致於使得燈管內自由電子的速度忽快忽慢，撞擊水銀蒸氣激發不可見光線，再撞擊螢光壁所產生可見光線呈現強弱分明之態勢，形成一環一環之光圈，這種輝紋現象對於照明會產生不均勻的後果，不利於正常的照明。輝紋現象產生的主因是因為燈管電壓僅存在奇次諧波成分，在低照度時，會突顯電子流動之速差，而形成螺旋狀條紋。為解決上述問題，目前以群組式非對稱脈波寬調變的控制技術最為有效。其作法是在諧振電路輸入端，除了提供可調變脈波寬度高頻電源外，並在高頻載波中加入低頻訊號，以改變燈管電流單頻特性，最重要的是產生偶次諧波成份以避免單一脈波中僅存的奇次諧波突顯產生輝紋，使日光燈在低亮度時仍然可以穩定地發光。但由於以單晶片方式實踐，其成本相對較高，同時因熱衍生出不穩定之問題，因此本研究提出以和差調變取代傳統群組式非對稱脈波寬調變之作法，以簡單的類比電路執行，架構簡單，成本低廉。

3.和差調變

本論文提出以類比式和差調變電路建構非對稱脈波，依其特性使得產生之脈波含偶次諧波成分。這種調變電路架構分成三個部分：差動積分電路、取樣保持電路及二階量化器(比較器)。其調變做法是藉由自成閉迴路架構，採週期性積分迴路控制模式操作，如圖 2 所示。

就結構而言，這種調變控制器自成閉迴路型式，因此會因為回授的特性，使得其產生的調變信號 v_q 平均值就等於參考輸入信號 v_s 的平均值，故只要能控制輸入信號 v_s 波形，則可得任意波形輸出。和差調變控制器將想要追蹤的參考輸入信號 v_s 轉換成一連串的正負脈波信號 v_q ，以驅動換流器

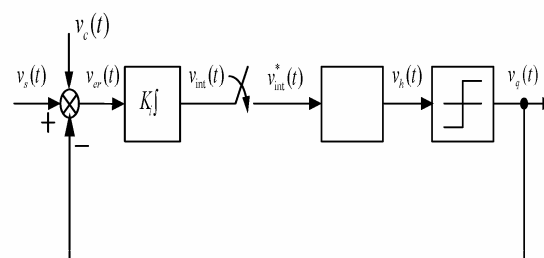


圖 2 和差調變控制器方塊圖

功率級開關。所產生的正負串列脈波數量，取決於參考輸入信號 v_s 的大小。除此之外，由於追蹤參考輸入的特性，使得調變輸出脈波寬度會隨參考輸入大小而產生變化，且其頻率也會隨參考輸入信號 v_s 大小而產生改變，也因此使得脈波頻譜不單純只有奇次諧波成份存在，通常調變之後，諧波頻譜分散而不固定，整體高頻諧波成份會被壓



低，以較為均勻的方式分布。若考慮諧波成份，根據傅立葉級數分析，換流器輸出電壓 $v_o(t)$ 可表示為

$$v'_o(t) = \sum_{n=1}^{\infty} V'_{on} \sin \frac{2n\pi}{T_r} t \quad (1)$$

其中 V'_{on} 代表 $v'_o(t)$ 之第 n 次諧波振幅，且可以表示為

$$V'_{on} = \sum_{i=1}^p \frac{V_{di}}{n\pi} \left[2 \cos \frac{2n\pi(t_{i,0} + T_s)}{T_r} - \cos \frac{2n\pi t_{i,0}}{T_r} - \cos \frac{2n\pi(t_{i,0} + N_i T_s)}{T_r} \right] \quad (2)$$

根據(1)及(2)式可繪製換流器和差調變後諧波分布圖，如圖 3 所示。

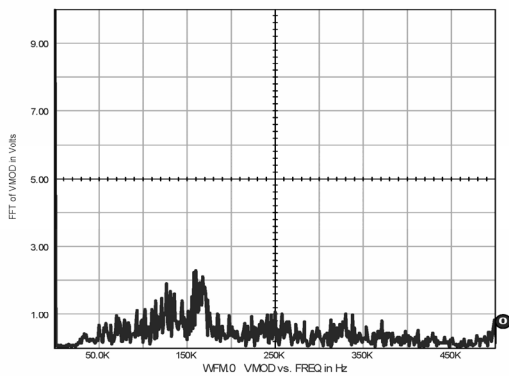


圖 3 和差調變諧波分布情形

4.設計實例

本研究為驗證理論可行，完成一部 10W 之和差調變日光燈調光式電子安定器之設計實例。設計規格訂定如下：

- (1)輸入電壓 $V_{ac}=110V$ 。
- (2)日光燈管：中國電器 FL10D 型號。
- (3)調光範圍：亮度 0%~100%。

為確保實驗結果不受外在環境光源影響，建構量測環境如圖 4 所示，其中燈光中心與照度計距離為 45cm，僅以調光日光燈為環境光源。

調整後照度與輸出功率之量測結

果如表 1 所示。高照度(627 lux)情形下實測圖如圖 5 所示，低照度(12 lux)情形下實測圖如圖 6 所示，實驗結果顯示照度在 21 lux 以上，調光情形均勻，輝紋現象確實改善。但當照度低於 21 lux(含)時，雖無輝紋現象但燈管已無法均勻點亮，而呈現放電不足現象。

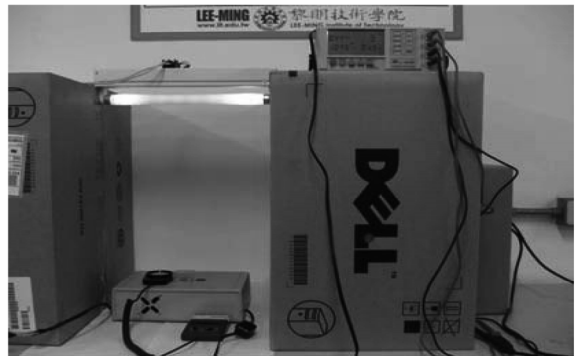


圖 4 實驗環境照片



圖 5 高照度(627 lux)實測



圖 6 低照度(12 lux)實測



表 1 實測結果

實驗說明：			
1.燈光中心與照度計距離 45cm			
2.使用可調式照明設備當環境光源			
照度 (lux)	輸入電壓 (V)	Watt	Amp
627	107.3	26	0.49
464	107.3	20	0.4
331	108	18	0.36
213	108.2	16	0.34
41	108.1	12	0.26
21	108.2	12	0.26
13	107.6	11	0.24
12	108.5	9	0.21

5. 結論

本研究提出以和差調變取代傳統非對稱群組脈波寬調變控制器，使日光燈在低亮度時不會產生輝紋現象及降低音頻干擾，同時可以排除使用單晶片進而降低使用成本及減少環境溫度對電子安定器的影響，提高系統的穩定度。實驗結果顯示調光 0%~100% 的亮度過程中不會產生輝紋現象。

即便如此，本研究所製作之調光式電子安定器仍有部分需進一步改進的地方，其中在低照度下消除輝紋後，衍生出燈管照明不均的問題是未來亟需改善的首要目標。未來研究將著重在於低照度時如何確保燈管內電場維持穩定以提供均勻的照明。

6. 誌謝

本研究承華育機電企業有限公司

(計畫編號：P0980069)之產學合作計劃贊助，謹此誌謝。

7. 參考文獻

1. M. K. Kazimierczuk and W. Szaraniec, "Electronic ballast for fluorescent lamps," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 8, no. 4, pp. 386–395, 1993.
2. E. Gluskin, "High harmonic currents in fluorescent lamp circuits," *IEEE Trans. Ind. App.*, vol. 26, no. 2, pp. 347–351, 1990.
3. E. Deng and S. Cuk, "Single stage, high power factor, lamp ballast," in *Proc. IEEE APEC'94*, vol. 1, pp. 441-449, 1994.
4. M. K. Kazimierczuk, "Class d voltage-switching mosfet power amplifier," in *Proc. IEEE Elec. Power App.*, vol. 138, pp. 285-296, 1991.
5. E. Gluskin, "Circuits and systems expositions: the fluorescent lamp circuit," *IEEE Trans. Cir. Sys.*, vol. 46, no. 5, pp. 529-544, 1999.
6. G. C. Hsieh, W. H. Liu, C.H. Lin, and H.I Hsieh, "Asymmetrical group-pulse-width-modulated technique for eliminating striation in the dimmable fluorescent lamps", *IEEE IECON'01*, vol. 2, pp. 1090-1095, 2001.
7. D. H. Jang, G. H. Choe, and M. Ehsani, "Asymmetrical PWM technique with harmonic elimination



- and power factor control in AC choppers,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 10, no. 2, pp. 175-184, Mar. 1995.
8. P. K. Jain, A. St-Martin, and G. Edwards, “Asymmetrical pulse-width -modulated resonant DC/DC converter topologies,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 11, no. 3, pp. 413-422, May 1996.
 9. D. H. Seo, O. J. Lee, and J. S. Park, “Asymmetrical PWM flyback converter,” in *Proc. IEEE PESC’00*, vol. 2, pp. 848-852, 2000.
 10. M. Schulz and U. Ingrad, “ Acoustic kink instability in an argon discharge,” *The Physics of Fluids*, vol. 10, no. 5, pp. 1031-1036, 1967.
 11. F. F. Chen, *Introduction to plasma physics*, New York: Plenum Press, 1974.
 12. H.L Witting, “Acoustic resonance in cylindrical high-pressure arc discharges,” *J. of Appl. phys.*, vol. 49, no. 5, pp. 2680-2683, 1978.
 13. R. J. Zollweg, “Arc instability in mercury and metal halide arc lamps,” *J. of the Illum. Eng. Soc.*, pp. 90-94 , 1979.
 14. G. C. Hsieh, and J. F. Yan, “Group-asymmetrical PWM controller for dimmable fluorescent lamp ballast without striation and thermostat effect,” in *Proc. IEEE IECON’05* , pp.6-10 , 2005.
 15. G. C. Hsieh, C. H. Lin and B. J. Yu, “Harmonized strategy for breaking the acoustic resonance in the fluorescent lamp,” in *Proc. IEEE PESC’98*, pp. 2041-2046, 1998.
 16. P. M. Aziz, H. V. Sorensen, and J. Van Der Spiegel, “An Overview of Sigma-Delta Converters,” *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 13, No. 1, pp. 61-84, Jan. 1996.
 17. G. C. Hsieh, and H. L. Chen, “Analytic Modeling and Realization for Sigma-Delta-Modulated Power Amplifier,” *IET Power Electron.*, Vol. 2, No. 5, pp. 496-507, 2009

