

วงจรขับหลอด High Power LED ด้วยวงจร SEPIC Converter และปรับความสว่างได้ที่มีขนาดเล็กและราคาถูก

สันติชัย หงษ์เวียงจันทร์

ธวัชชัย ทองเหลี่ยม

สัญญา ควรคิด

โปรแกรมวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

โปรแกรมวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

โปรแกรมวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

E-mail: santichai_087@hotmail.com

E-mail: tony_tct@yahoo.com

E-mail: sanykuo@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ ได้นำเสนอวงจรขับหลอด high power LED และสามารถปรับความสว่างได้ โดยที่วงจรขับหลอดมีขนาดเล็กและมีราคาถูก งานวิจัยนี้ได้อาศัยหลักการของวงจร SEPIC converter มาออกแบบและสร้างวงจรขับหลอด high power LED จำนวน 10 หลอด ต่อเป็น 2 แถว แถวละ 5 ดวง แรงดันของวงจรขับแอลอีดีมีค่าเท่ากับ 17.1 V และกระแสเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 700 mA IC TL494 ถูกต่อเป็นวงจรควบคุมวงจรขับหลอดเพื่อรักษาระดับแรงดันคงที่ จากผลที่ได้ทำการทดลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรมีค่าเท่ากับ 17.1 V, กระแสเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 800 mA และวงจรสามารถปรับความสว่างได้ตั้งแต่ 0 lux – 560 lux ที่ความสูง 3 เมตร

Abstract

This paper proposed high power LED drive and brightness dimmable, which designed in low cost and compact. The proposed circuit is designed based on SEPIC converter circuit technique, which controlled output voltage by IC TL494 circuit. High power LED circuit used 10 lamps, implemented by 5 parallels and 2 series. The output voltage equal to 17.1 V and output current equal to 700 mA. The experimental result of the proposed circuit show output voltage and output current is 17.1 V and 800 mA, respectively. The high power LED drive circuit can be adjusted from 0 lux to 560 lux (height = 3 m).

คำสำคัญ

คำ แอลอีดีกำลังสูง, วงจรทบแรงดัน, วงจรขับหลอด high power LED, ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

1. บทนำ

ปัญหาโลกร้อน และปัญหาด้านพลังงานเป็นปัญหาระดับโลกที่ทุกประเทศให้ความสนใจและมีการประชุมระดับนานาชาติเพื่อมีข้อตกลงในการลดการใช้พลังงาน และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อุปกรณ์ที่ให้แสงสว่างในปัจจุบัน

คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) ซึ่งหลอดแสงสว่างดังกล่าวมีข้อดีคือสามารถให้ความสว่างที่มาก และเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. แต่ข้อเสียของหลอดดังกล่าวมาคือใช้กำลังวัตต์ต่อความสว่างสูงจึงทำสิ้นเปลืองพลังงาน และกำลังสูญเสียได้ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งส่งผลทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน จากข้อเสียดังกล่าวจึงได้มีการวิจัยเพื่อใช้อุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงานและลดความร้อนอย่างต่อเนื่อง

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับหลอดแอลอีดีเพื่อให้มีความสว่างเพิ่มมากขึ้นโดยที่ กำลังการสูญเสียไม่ได้เพิ่มขึ้นมาก โดยเริ่มมีการนำไปใช้แทนหลอดที่ให้ความสว่างที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน [1 - 3] ซึ่งในอนาคตหลอด high power LED นั้น มีแนวโน้มที่จะสามารถให้ความสว่าง 90-100 lm/W และสามารถนำไปใช้แทนหลอดที่ให้ความสว่างในระบบแสงสว่างที่ใช้ในปัจจุบันได้ทั้งหมด ข้อดีของหลอด high power LED [3] คือ

- ประสิทธิภาพของแสงสว่างของ high power LED มากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อให้ความสว่างเท่ากัน
- high power LED สามารถใช้ได้ยาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง ซึ่งใช้ได้นานกว่าหลอดทั่วไป
- อุณหภูมิของหลอด 15 °C/W
- high power LED ไม่มีการใช้โพรทอ ซึ่งเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาสภาวะเรือนกระจก

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดแสงสว่าง

Lighting Source	Power (W)	Luminous Flux (lm)	Efficiency (lm/W)
Fluorescent	40	150	80
High Power LED	1.2	45	45

คุณสมบัติของหลอดแสงสว่างชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ high power LED แสดงในตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพของ high power LED ซึ่งสูงกว่าหลอดแสงสว่างที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

จากข้อดีที่ได้กล่าวมา แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของ high power LED ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ให้แสงสว่างมากและใช้กำลังงานต่ำ ดังนั้น มีงานวิจัยที่นำ high power LED มาใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ สำหรับไฟส่องสว่างของรถยนต์ [4] และได้มีงานวิจัยนำ high power LED มาใช้สำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างตามถนนหรือทางเดิน [5 - 8] งานวิจัย [9,10] ได้ออกแบบวงจรขับหลอด high power LED และออกแบบวงจรสำหรับปรับความสว่างได้

จากปัญหาของหลอดแสงสว่างดังที่ได้กล่าวมา งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและสร้างวงจรขับหลอด high power LED ที่มีราคาถูกเพื่อใช้ในระบบส่องสว่างภายในห้องและสามารถปรับความสว่างได้ โดยนำวิธีการของวงจรเซปิค คอนเวอร์เตอร์ (SEPIC Converter) มาออกแบบเป็นวงจรขับหลอด high power LED และใช้วงจร TL494 ควบคุมการทำงานของวงจร SEPIC Converter เพื่อให้มีแรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับ high power LED ได้ตามที่ออกแบบไว้

2. หลอด High power LED

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ high power LED ชนิด LXHL-PW01 จากบริษัท LUMITED แสดงในรูปที่ 1 แรงดันตกคร่อม high power LED มีค่า 3.42 V และมีกระแสคงที่ 350 mA และมีกำลัง 1 W high power led มีความสว่างประมาณ 30 lm หากเพิ่มกระแสให้ไหลผ่านแอลอีดีมากขึ้น high power LED สามารถสว่างได้สูงสุด 45 lm

ปัญหาที่สำคัญสำหรับการออกแบบวงจรขับหลอด high power LED คือ ขณะที่แอลอีดีทำงาน high power LED ได้เปลี่ยนกำลังสูญเสียเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งในการออกแบบวงจรที่ดีต้องออกแบบวงจรขับ high power LED ที่ให้แอลอีดีสามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70 °C



รูปที่ 1 แสดงหลอด high power LED [2]

2.1 คุณสมบัติของหลอด High power LED

คุณสมบัติที่สำคัญของหลอด high power LED เพื่อนำมาใช้ออกแบบวงจรขับคือ ค่าแรงดันและกระแส ซึ่งแรงดันทั่วไปที่หลอด high power LED ใช้มีค่าเท่ากับ 3.42 V และมีกระแสทั่วไปเท่ากับ 350 mA

3. การออกแบบวงจรขับหลอดที่นำเสนอ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ชุดไฟฟ้าส่องสว่างมีจำนวน high power LED 10 ดวง ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

- จำนวน high power LED 10 ดวง ต่อเป็น 2 แถว แถวละ 5 ดวง ดังนั้น แรงดันและกระแสเอาต์พุตที่วงจรขับหลอด high power LED ต้องจ่ายให้มีค่าเท่ากับ

$$V_o = 3.42 \times 5 = 17.1V \tag{1}$$

และ $I_o = 700mA \tag{2}$

- จากแรงดันเอาต์พุตที่คำนวณได้ถูกนำมาหาค่าดีวีดีไซเคิลล์ได้ดังนี้

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_s + V_{out} + V_D} \tag{3}$$

$$D = \frac{17.1V + 0.7V}{12V + 17.1V + 0.7V} \tag{4}$$

$$D = 59$$

ดังนั้น ค่าดีวีดีไซเคิลล์มีค่าเท่ากับ $D = 0.59\%$

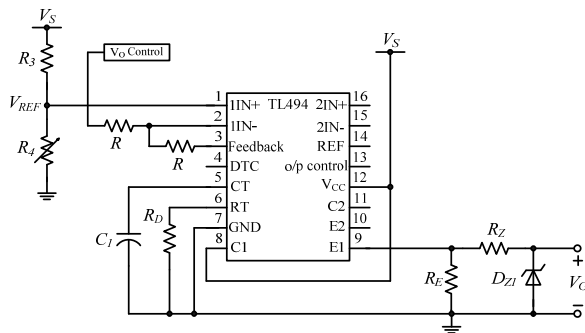
- จากค่าดีวีดีไซเคิลล์ที่ได้ และกระแสที่หลอด high power LED ต้องการถูกนำไปหาค่าอินดักแตนซ์และค่าคาปาซิแตนซ์จากสมการ

$$L_{1a} = L_{1b} = \frac{V_s D_{max}}{2 \times \Delta I_L f_{SW}} \quad (5)$$

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT} D}{\Delta V_C \times 0.5 \times f_{SW}} \quad (6)$$

โดยที่ I_{OUT} คือกระแสที่ไหลผ่านแอลอีดีที่สูงที่สุด และ ΔV_C คือค่า ripple ของแรงดันเอาต์พุตของวงจรชดเชย high power LED

จากการคำนวณได้ค่า $L_{1a} = L_{1b} = 266 \mu H$ และ $C_{OUT} = 330 \mu F$



รูปที่ 4 แสดงวงจรควบคุมวงจรถดเชย

4. วงจรควบคุมวงจรถดเชย

รูปที่ 4 แสดงวงจรควบคุมวงจรถดเชยได้ใช้ IC TL494 ทำหน้าที่กำเนิดแรงดันพัลส์สวิชเพื่อป้อนให้กับวงจรถดเชยนำสวิตช์มอสเฟตในวงจร SEPIC Converter ซึ่งวงจรถดเชยได้ออกแบบให้กำเนิดพัลส์สวิชที่มีความถี่ 40 kHz

การควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรถดเชย high power LED ได้กำหนดให้แรงดันอ้างอิงที่ $V_{REF} = 2.5 V$ เพื่อเปรียบเทียบแรงดันป้อนกลับที่ถูกแบ่งแรงดันเอาต์พุต (V_O -

Control) ของวงจรถดเชย ถ้าแรงดันป้อนกลับน้อยกว่าแรงดันอ้างอิงที่ 1 TL494 ทำการจ่ายแรงดันพัลส์สวิชให้มี duty cycle สูงขึ้น และถ้าแรงดันป้อนกลับมากกว่าแรงดันอ้างอิงที่ 1 TL494 ทำการจ่ายแรงดันพัลส์สวิชให้มี duty cycle ลดลง

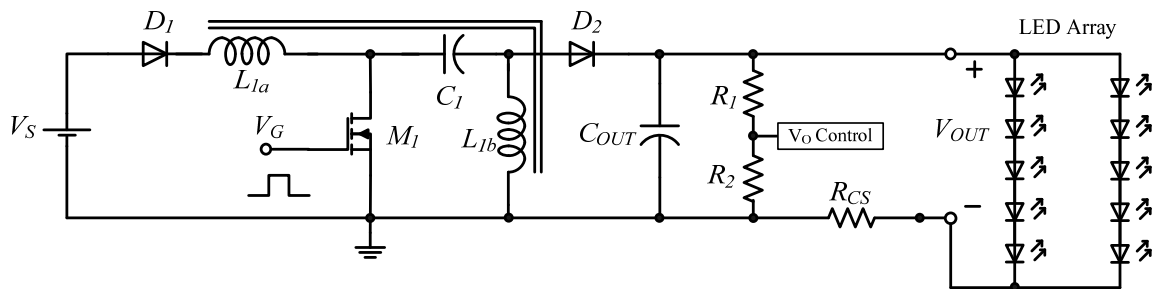
การปรับความสว่างสามารถทำได้โดยการปรับแรงดัน V_{REF} ด้วยการปรับค่าความต้านทาน เมื่อเราปรับค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดัน V_{REF} มีค่าเพิ่มขึ้น ผลที่ได้จากการปรับค่าแรงดันอ้างอิงจะทำให้ความสว่างของหลอด high power LED มีความสว่างลดลง ในขณะที่เราลดแรงดันอ้างอิง หลอด high power LED มีความสว่างลดลง

5. ผลการทดลอง

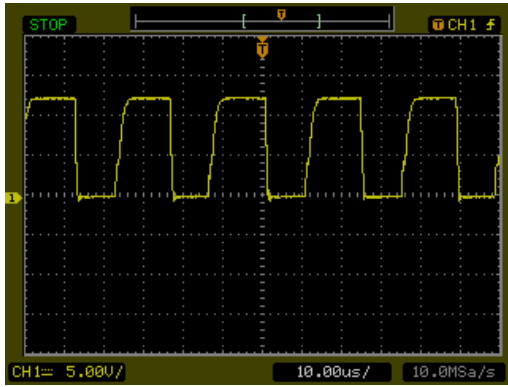
งานวิจัยนี้ได้ทำการลองวงจรถดเชย high power LED เพื่อพิสูจน์การทำงานของวงจรถดเชยที่ได้ออกแบบ จากผลการทดลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรถดเชย high power LED มีค่าเท่ากับ 17.1 V และกระแสเอาต์พุตของวงจรถดเชยมีค่าเท่ากับ 800 mA

รูปที่ 7 แสดงสัญญาณ PWM ของวงจรถดเชย IC TL494 ซึ่งมี duty cycle ในช่วง 0% - 59% วงจรถดเชยที่ควบคุมวงจรถดเชย และทำการปรับค่าแรงดันอ้างอิงลดลง ส่งผลให้สัญญาณ PWM มี duty cycle ลดลง ซึ่งส่งผลให้ความสว่างของหลอด high power LED ลดลง

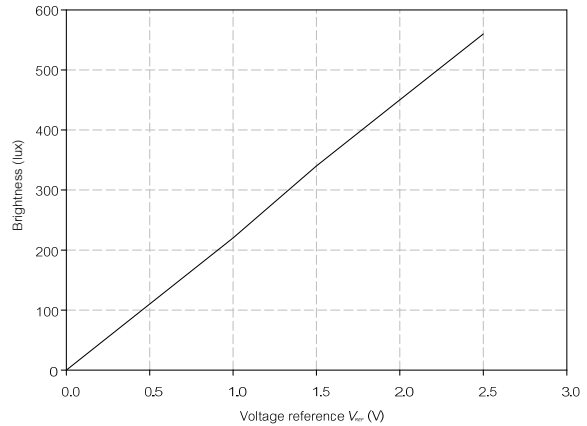
ในการทดลองความสว่างของหลอด หลอดส่องสว่างไฟที่มีความสูง 3 เมตร ให้ความสว่างได้ 560 Lux และสามารถให้ความสว่างได้พื้นที่ 12 ตารางเมตร



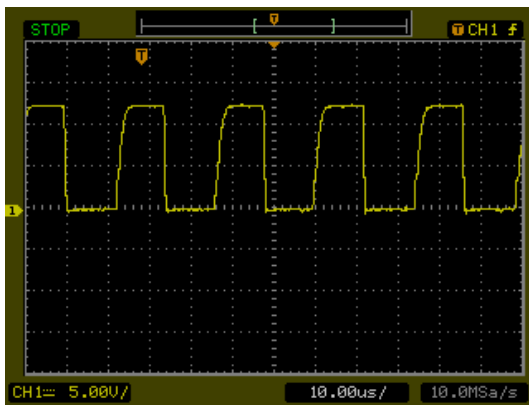
รูปที่ 3 วงจรถดเชย high power LED



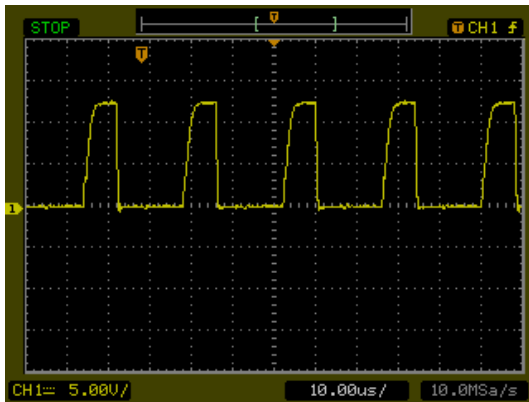
(ก)



รูปที่ 6 กราฟความสว่างกับแรงดันที่ปรับค่า



(ข)



(ค)

รูปที่ 5 สัญญาณ PWM ของ TL494 (ก) ขณะปรับแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 2.5 V, (ข) ขณะปรับแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 2 V และ (ค) ขณะปรับแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 1 V

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับแรงดันปรับค่า จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันอ้างอิง ชุดหลอด high power LED มีความสว่างเพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 7 แสดงชุดไฟฟ้าส่องสว่างที่อยู่ในขณะทำการทดลอง ชุดไฟฟ้าส่องสว่างนี้ประกอบไปด้วยวงจรขับชุดหลอด, วงจรควบคุม และชุดหลอด high power LED ซึ่งมี 10 หลอด โดยหลอดทั้งหมดอยู่บนแผ่นปริ้นและติดอยู่บนแผ่นระบายความร้อนเพื่อป้องกันความเสียหายของแอลอีดีอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นขณะแอลอีดีทำงาน



รูปที่ 7 แสดงชุดไฟฟ้าส่องสว่างขณะทำการทดลอง

6. สรุปผลงานวิจัย

บทความนี้เป็นการนำเสนอวงจรขับชุด high power LED และสามารถปรับความสว่างได้ ซึ่งการออกแบบวงจรขับชุดหลอดได้ใช้วงจร SEPIC Converter และใช้ IC TL494 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรขับชุดหลอด จากผลที่ได้ทำการทดลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรมีค่าเท่ากับ 17.1 V, กระแสเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 800 mA และวงจรสามารถปรับความสว่างได้ตั้งแต่ 0 – 560 Lux (ความสูง 3 m)

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม สนับสนุนทุนวิจัยโครงการทุนวิจัยอาจารย์ร่วมนักศึกษาปริญญาตรีประจำปีการศึกษา 2552

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. A. Steigerwald, J. C. Bhat, D. Collins, R. M. Fletcher, M. O. Holcomb, M. J. Ludowise, P. S. Martin and S. L. Rudaz, "Illumination with Solid State Lighting Technology", IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics vol. 8, no. 2, pp. 310-320, March/April 2002.
- [2] LED Magazine review (www.ledsmagazine.com), issue 8 October 2005.
- [3] Applications Notes of LUMILEDS, (www.Lumileds.com)
 - Custom LUXEON Design Guide
 - Assembly Information LUXEON Emitter
 - Thermal Design Using LUXEON Power Light Sources
- [4] L. S. B. Marques, Edilson Minerio S. Jr, F. L. M. Antunes and A. J. Perin, "Step Down Current Controlled DC-DC Converter to Drive a High Power Led Matrix Employed in an Automotive Headlight". In: Oitavo Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, 2005, Recife. Proceedings of the 8th COBEP, 2005. v. Único. p. 474-478.
- [5] Y. K. Cheng and K. W. E. Cheng, "General Study for using LED to replace traditional lighting devices", International Power Electronic systems and applications, 12-14 Nov 2006, pp. 173-177.
- [6] S. Ye, F. Greenfeld and Z. Liang, "Design Consideration of a High Power Factor SEPIC Converter for High Brightness White LED Lighting Applications", Specialists Conference Power Electronics PESC 15-19 June 2008, pp. 2657-2663.
- [7] W. J. B. Heffernan, L. P. Frater, and N. R. Watson, "LED Replacement for Fluorescent Tube Lighting", Australasian Universities Power Engineering conference, AUPEC 9-12 Dec 2007, pp. 1-6.
- [8] R. Guan, D. Tian, and X. Wang, "Design and Implementation of LED Daylight Lamp Lighting System", International Conference on Electronic Packaging Technology and High Density Packaging, 28-31 July 2008, pp. 1-3.
- [9] H. J. Chiu, Y. K. Lo, J. T. Chen, S. J. Cheng, C. Y. Lin and S. C. Mou, "A High-Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Application", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 57, No 2, February 2010, pp. 735-743.
- [10] J. Garcia, M. A. Dalla-Costa, J. Cardesin, J. M. Alonso and M. Rico-Secades, "Dimming of High Brightness LEDs by Means of Luminous Flux Thermal Estimation", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol 24, No 4, April 2009, pp. 1107-1114.