

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์หรี่แสงชนิดเซลฟ์ออสซิลเลตแบบใหม่ สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

A Novel Dimmable Self-Oscillating Electronic Ballast for Fluorescent Lamps

สมภพ ขงพิศาลภพ ชีระศักดิ์ เสภาภรณ์ มงคล กงศ์หิรัญ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

ในอดีตที่ผ่านมางานวิจัยด้านวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์หรี่แสงชนิดเซลฟ์ออสซิลเลตสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ยังมีไม่มากนัก หรือมีวิธีการที่ยังไม่เหมาะสมในการนำมาใช้จริงในทางปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์หรี่แสงชนิดเซลฟ์ออสซิลเลตแบบใหม่ ที่ใช้การปรับช่วงเวลาที่มีออสซิลเลตทำงานในสภาวะไม่อิ่มตัว และช่วง storage time ของทรานซิสเตอร์กำลัง ในการปรับคาบเวลาของการสับสวิตช์เพื่อเพิ่มความถี่ทำงานและทำให้สามารถหรี่แสงได้ วงจรที่เสนอนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น มีความเรียบง่าย ใช้อุปกรณ์น้อย มีการแยกอิสระทางไฟฟ้ากับส่วนของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า และใช้สัญญาณหรี่แสงตามมาตรฐาน 1 – 10V ในขณะที่ยังคงรักษาจุดเด่นของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลฟ์ออสซิลเลตแบบดั้งเดิมไว้ได้

คำสำคัญ : บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์, เซลฟ์ออสซิลเลต, การหรี่แสง, หลอดฟลูออเรสเซนต์

Abstract

In the past, very few researches on dimmable self-oscillating electronic ballast for fluorescent lamps have been proposed. Also, these researches mostly proposed the dimming methods which are not practical. Therefore, this paper proposes the novel dimmable self-oscillating electronic ballast. The proposed dimming method uses the adjustment of the duration time of unsaturable self-oscillating transformer and the storage time of power transistor to vary switching period and reduce ballast's operating frequency. Finally, the lamp can be dimmable. The proposed dimming circuit has many advantages such as the simple circuit with low-component count, electrical isolation between dimming and power converter circuits of ballast, and the compatibility with 1-10V standard voltage of dimming command. In addition, it is still maintaining the features of traditional self-oscillating electronic ballast.

Key words : Electronic Ballast, Self-Oscillating, Dimming, Fluorescent Lamp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟฟ้าที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและราคาถูก แต่เดิมนั้นหลอดฟลูออเรสเซนต์จะถูกขับเคลื่อนด้วยบัลลาสต์ชนิดขดลวดแกนเหล็ก ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าขึ้น นอกจากนี้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยังสามารถเพิ่มคุณสมบัติในการหรี่แสงให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ด้วย ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในบางบริเวณที่ไม่จำเป็นต้องให้หลอดทำงานที่เต็มพิกัดกำลัง หรืออาจมีความต้องการแสงสว่างที่ปรับเปลี่ยนตามพฤติกรรมของผู้ใช้ เช่น ทางเดิน ห้องน้ำสาธารณะ ลานจอดรถ ป้ายโฆษณา ฯลฯ

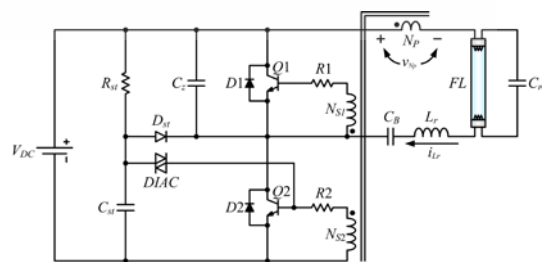
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลตนั้นมีข้อดีหลายประการคือ ใช้กลไกเซลล์ฟอสซิลเลตในการสร้างสัญญาณขับสวิตซ์ทำให้ใช้อุปกรณ์น้อยจึงมีต้นทุนต่ำและการขับแบบเซลล์ฟอสซิลเลตเป็นวิธีการที่มีความเชื่อถือได้สูง แต่การตัดแปลงบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลตให้สามารถหรี่แสงได้นั้นมีการนำเสนอไม่มากนัก [1-3] โดยทุกงานวิจัยมีหลักการพื้นฐานเหมือนกันคือการปรับกระแสสร้างแรงแม่เหล็กในหม้อแปลงเซลล์ฟอสซิลเลต ซึ่งส่งผลให้การทำงานของบัลลาสต์เปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามวงจรที่นำเสนอในงานวิจัยเหล่านี้ยังคงมีข้อด้อยอยู่ที่สัญญาณหรือวิธีการในการหรี่แสงไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ ใน [1] วงจรหรี่แสงต้องการแหล่งจ่ายจากภายนอกเพื่อใช้เป็นกระแสในการขับสวิตซ์ของบัลลาสต์ หากต้องการควบคุมบัลลาสต์เป็นจำนวนมากจะต้องมีแหล่งจ่ายที่จ่ายกระแสได้มากตาม อีกทั้งแรงดันที่ใช้ควบคุมการหรี่แสงจะแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าที่หลอด ซึ่งตรงข้ามกับสัญญาณตามที่นิยมใช้กัน ใน [2] ใช้การปรับค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่อขนานอยู่กับขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงเซลล์ฟอสซิลเลต ทำให้ในทางปฏิบัติไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง และใน [3] ได้ทำการแยกหม้อแปลงขับสวิตซ์ออกเป็นสองชุดและเพิ่มขดลวดเข้าไปอีกหนึ่งขดสำหรับหม้อแปลงแต่ละชุดเพื่อป้อนกระแสไฟตรงเข้ามาสร้างแรงแม่เหล็กเสริมหรือ

หักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในวงจรเรโซแนนซ์ วิธีการนี้แม้ว่าจะทำให้สามารถหรี่แสงได้ แต่ต้องการกระแสไฟตรงในปริมาณที่สูงพอที่จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กไปหักล้างกับส่วนที่เกิดจากกระแสเรโซแนนซ์ได้ ซึ่งกระแสส่วนนี้ถูกดึงมาจากตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง อีกทั้งการแยกหม้อแปลงขับสวิตซ์ออกเป็นสองชุด ทำให้เสียจุดเด่นในด้านความเชื่อถือได้ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลตไป

งานวิจัยนี้เป็นการนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลตมาปรับปรุงเพื่อให้มีความสามารถในการหรี่แสงได้ โดยยังคงจุดเด่นของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลตไว้ วงจรควบคุมการหรี่แสงที่ได้นำเสนอใช้อุปกรณ์ราคาถูกเพียงไม่กี่ชิ้น สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการหรี่แสงคือแรงดันไฟฟ้า 1 – 10 V ซึ่งเป็นสัญญาณมาตรฐานในการหรี่แสงของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง นอกจากนี้วงจรควบคุมยังมีการแยกอิสระทางไฟฟ้ากับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า ทำให้มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและอุปกรณ์ควบคุมการหรี่แสง และยังทำให้สามารถใช้สัญญาณควบคุมเดียวกัน ไปต่อเข้ากับบัลลาสต์ที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าคนละเฟสกันได้

2. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลต

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลตมีโครงสร้างตามรูปที่ 1 มีข้อดีคือ มีความเชื่อถือได้สูง มีวงจรที่เรียบง่าย ใช้อุปกรณ์น้อย และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ หลักการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลต ได้มีการวิเคราะห์และอธิบายไว้โดยละเอียดใน [4]



รูปที่ 1: บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีโครงสร้างเป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเรโซแนนซ์แบบกึ่งบริดจ์ เมื่อ $C_B \gg C_r$ ความถี่ทำงาน ω_s มีค่ามากกว่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร และผลจากความต้านทานของขดลวดแคโทดซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความต้านทานของหลอด จะสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ตามรูปที่ 2 หากพิจารณาแรงดันขาเข้าของวงจรเรโซแนนซ์เฉพาะความถี่มูลฐานจะได้

$$v_i = \frac{2V_{DC}}{\pi} \sin(\omega_s t) \quad (1)$$

และค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันขาเข้าจะเท่ากับ

$$V_i = \frac{2V_{DC}}{\sqrt{2}\pi} = 0.45V_{DC} \quad (2)$$

ขนาดของแรงดันตกคร่อมหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเท่ากับ

$$|V_{Lamp}| = \frac{V_i}{\sqrt{(1-u^2)^2 + (u/Q)^2}} \quad (3)$$

ขนาดของกระแสที่ไหลผ่านหลอด

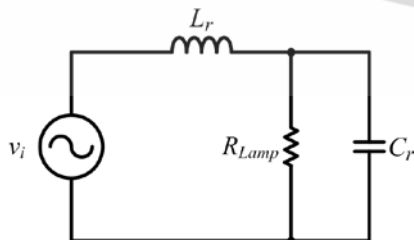
$$|I_{Lamp}| = \frac{V_i}{R_{Lamp} \sqrt{(1-u^2)^2 + (u/Q)^2}} \quad (4)$$

และกำลังไฟฟ้าที่ตัวหลอด

$$|P_{Lamp}| = \frac{V_i^2}{R_{Lamp} ((1-u^2)^2 + (u/Q)^2)} \quad (5)$$

เมื่อ $u = \omega_s / \omega_0$ โดยที่ ω_s คือความถี่ทำงานของบัลลาสต์ $\omega_0 = 1/\sqrt{L_r C_r}$ คือความถี่ธรรมชาติของวงจรเรโซแนนซ์ และตัวประกอบคุณภาพ $Q = R_{Lamp} \sqrt{C_r/L_r}$

จะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลผ่านหลอดและกำลังไฟฟ้าที่หลอดจะแปรผกผันกับความถี่ทำงาน ดังนั้นการหรี่แสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็คือการลดปริมาณกระแสที่



รูปที่ 2: วงจรสมมูลของส่วนวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเรโซแนนซ์แบบกึ่งบริดจ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซล์ฟอสซิลเลต

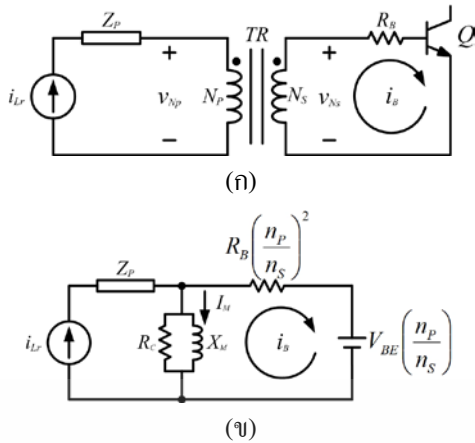
ไหลผ่านหลอดและทำให้กำลังไฟฟ้าที่หลอดลดลงจึงทำได้ด้วยการเพิ่มความถี่ทำงานให้กับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะขึ้นกับ 3 ปัจจัยได้แก่ 1 ค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในวงจรเรโซแนนซ์ 2 คุณลักษณะของหม้อแปลงเซลล์ฟอสซิลเลตซึ่งจะทำงานในลักษณะที่มีการอิ่มตัว และ 3 คุณลักษณะของทรานซิสเตอร์กำลังที่ใช้เป็นอุปกรณ์สวิตช์

อย่างไรก็ตามในการกำหนดค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะต้องเลือกเพื่อให้ได้ค่าความถี่เรโซแนนซ์และตัวประกอบคุณภาพที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นปัจจัยหลักที่เหลือที่จะกำหนดความถี่ทำงานจึงอยู่ที่ ช่วงเวลาที่หม้อแปลงเซลล์ฟอสซิลเลตทำงานอยู่ในสภาวะที่ยังไม่อิ่มตัว และค่า storage time ของทรานซิสเตอร์

3. วิธีการหรี่แสงที่นำเสนอ

จากหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการหรี่แสงหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มความถี่ทำงานให้กับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า และสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ใช้สัญญาณขับแบบเซลล์ฟอสซิลเลต ความถี่ทำงานสามารถกำหนดได้โดย

1. ช่วงเวลาที่หม้อแปลงเซลล์ฟอสซิลเลตทำงานในสภาวะที่ยังไม่อิ่มตัว t_c เวลาในช่วงนี้จะขึ้นกับกระแสในวงจรเรโซแนนซ์ คุณลักษณะของแกนหม้อแปลงเซลล์ฟอสซิลเลต จำนวนรอบและค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ และความต้านทานที่ฝั่งทุติยภูมิ รูปที่ 3 (ก) แสดงวงจรสมมูลในส่วนของวงจรขับแบบเซลล์ฟอสซิลเลต โดยกระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ N_p ของหม้อแปลงเซลล์ฟอสซิลเลตคือกระแส i_L เมื่อทำการโอนย้ายความต้านทาน R_B ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์และแรงดันตกคร่อมรอยต่อ เบส-อิมิตเตอร์ มาอยู่ทางฝั่งปฐมภูมิ จะได้วงจรสมมูลตามรูปที่ 3 (ข) สังเกตได้ว่าเมื่อค่าความต้านทาน R_B มีค่าสูงขึ้น จะทำให้กระแสในส่วนที่ไปสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetizing Current) I_M สูงขึ้นด้วย ทำให้แกนหม้อแปลงอิ่มตัวเร็วขึ้น คาบเวลา t_c จึงลดลง



รูปที่ 3: วงจรสมมูลของวงจรขับเซลล์ฟอสซิลเลต (ก) ขณะที่ยังคงค่า R_B และ V_{BE} ในฝั่งทุติยภูมิ (ข) เมื่อทำการโอนย้ายค่าต่างๆมาไว้ทางฝั่งปฐมภูมิ

2. ช่วงเวลาสะสมของทรานซิสเตอร์ t_s ซึ่งจะขึ้นกับกระแสเฉลี่ยที่ไหลเข้าขาเบส (forward base current) I_{bf} , กระแสเฉลี่ยที่ไหลออกจากขาเบส (reversed base current) I_{br} , อัตราขยายของทรานซิสเตอร์ β , กระแสเฉลี่ยที่ไหลเข้าขาคอลเลคเตอร์ (collector current) I_C และช่วงเวลาไมนอร์ตีแครี่เรียรี่ (minority carrier life time) τ_e ของทรานซิสเตอร์ [5] โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$t_s = \tau_e \ln \left(\frac{\frac{I_{br}}{I_{bf}} + 1}{\frac{I_{br}}{I_{bf}} + \frac{I_C}{\beta I_{bf}}} \right) \quad (6)$$

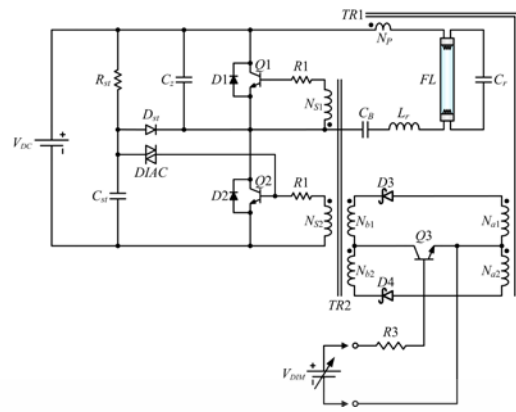
เนื่องจาก τ_e และ β จะขึ้นกับทรานซิสเตอร์ที่เลือกใช้ และ I_C คือค่าเฉลี่ยของ i_{Lr} ในช่วงที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ การปรับช่วงเวลา t_s จึงขึ้นอยู่กับ I_{bf} และ I_{br} โดยที่

$$I_{bf} = \frac{V_{Ns} - V_{BE}}{R_B} \quad (7)$$

และ
$$I_{br} = \frac{V_{BE}}{R_B} \quad (8)$$

เมื่อ V_{Ns} คือแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ, V_{BE} คือแรงดันตกคร่อมรอยต่อของขาเบสและอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ และ R_B คือความต้านทานที่จำกัดกระแสที่ไหลเข้าออกขาเบสของทรานซิสเตอร์ การปรับช่วงเวลา t_s จึงทำได้โดยการปรับค่าของ V_{Ns} ซึ่งทำให้ I_{bf} มีการเปลี่ยนแปลงตาม

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลตที่มีวงจรซึ่งทำหน้าที่เป็นกลไกในการเพิ่มค่าความต้านทานทางฝั่งทุติยภูมิของหม้อแปลง



รูปที่ 4: วงจรของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเซลล์ฟอสซิลเลตที่นำเสนอ

เซลล์ฟอสซิลเลตและลดขนาดของแรงดัน V_{Ns} เพื่อลดคาบเวลา t_c และ t_s ตามลำดับโดยมีวงจรตามรูปที่ 4 มีหลักการทำงานคือ เมื่อทำการปรับแรงดัน V_{DIM} จะทำให้กระแสขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_3 เปลี่ยนแปลงตาม

$$I_{B3} = \frac{(V_{DIM} - V_{BE,Q3})}{R_{B3}} \quad (9)$$

ที่กระแส I_{B3} ต่างกันจะทำให้กระแสสูงสุดที่ Q_3 ขอมให้ไหลผ่าน $I_{CS,Q3}$ มีค่าต่างกัน เมื่อกระแส $I_{C,Q3} > I_{CS,Q3}$ ทรานซิสเตอร์ Q_3 จะทำงานในย่าน active region ทำให้แรงดันตกคร่อมขาคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ $V_{CE,Q3}$ มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ $I_{C,Q3}$ เพิ่มขึ้น และสามารถแทนที่ทรานซิสเตอร์ Q_3 ด้วยความต้านทานได้โดย

$$R_{CE,Q3} = \frac{V_{CE,Q3}}{I_{C,Q3}}$$

ซึ่งค่าความต้านทานนี้เป็นความต้านทานทางฝั่งทุติยภูมิของหม้อแปลงเซลล์ฟอสซิลเลต TR_1 จากที่ได้กล่าวมาแล้วเมื่อค่า $R_{CE,Q3}$ เพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสสร้างเส้นแรงแม่เหล็กของหม้อแปลง TR_1 เพิ่มขึ้นทำให้หม้อแปลงเข้าสู่ภาวะอิ่มตัวเร็วขึ้น และคาบเวลา t_c มีค่าลดลง นอกจากนั้นเนื่องจาก

$$V_{Nb} = V_{Na} - V_f - V_{CE,Q3} \quad \text{โดยที่ } V_{Na} = \frac{N_a}{N_p} V_{Np} \quad \text{จะได้ว่า}$$

$$V_{Ns} = \frac{N_s}{N_b} V_{Nb} = \frac{N_s}{N_b} (V_{Na} - V_f - V_{CE,Q3}) \quad (10)$$

เมื่อ N_p, N_a, N_b, N_s คือจำนวนรอบของขดลวดซึ่งมีค่าคงที่ V_{Np} คือแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิซึ่งจะขึ้นกับกระแสที่ไหลอยู่ในวงจรเรโซแนนซ์ และ V_f คือ

แรงดันตกคร่อมไดโอด D3 และ D4 ขณะนำกระแส

เอ็กสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นในเชิงพาณิชย์ให้นำการตีพิมพ์การฉีกทึ้ง หรือการนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ไว้

การเปลี่ยนแปลงค่าของ $V_{CE,Q3}$ จึงเป็นตัวกำหนดค่าของ V_{Ns} และส่งผลต่อ I_{bf} และ t_s ตาม (6) และ (7)

เมื่อกำหนดให้ t_z คือช่วงเวลาที่เหลือในคาบการสับสวิตช์ซึ่งมีค่าก่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับ t_c และ t_s

$$\text{จะได้ว่า } f_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{2(t_c + t_s + t_z)}$$

$$\text{และ } \omega_s = 2\pi f_s = \frac{\pi}{(t_c + t_s + t_z)} \quad (11)$$

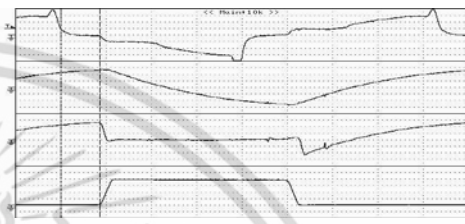
เมื่อทำการปรับ V_{DIM} จะทำให้ค่า t_c และ t_s เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งส่งผลให้ความถี่ทำงานของบัลลาสต์ฯ มีการเปลี่ยนแปลงทำให้กำลังไฟฟ้าที่โหลดจะเปลี่ยนตาม วงจรที่ได้นำเสนอมาจึงสามารถหรีแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ด้วยหลักการดังกล่าว

4. ผลการทดลอง

ต้นแบบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์หรีแสงชนิดเซลล์ฟอสซิลเลตที่ได้นำเสนอได้ถูกสร้างขึ้นสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8-36W โดยมีค่าของอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรดังนี้ $V_{DC} = 400V$ $L_r = 3.5mH$ $C_r = 8.2nF$ $C_B = 100nF$ $C_z = 1nF$ $R1 = R2 = 2.7\Omega$ $R3 = 33k\Omega$ ทรานซิสเตอร์เบอร์ ST13007DFP ซึ่งมี anti-parallel diode รวมอยู่ภายใน สำหรับ $Q1$, $Q2$, $D1$ และ $D2$ ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC817 สำหรับ $Q3$ Schottky Diode เบอร์ MBRS120T3G สำหรับ $D3$ และ $D4$ $n_p = 3$ $n_{a1} = n_{a2} = 6$ $n_{b1} = n_{b2} = 5$ $n_{s1} = n_{s2} = 4$

เมื่อนำบัลลาสต์ต้นแบบที่ได้มาทำการทดสอบการทำงาน ได้ผลการทดลองตามรูปที่ 5-6 โดยในรูปที่ 5 ได้แสดงช่วง storage time (t_s) ของทรานซิสเตอร์ $Q2$ ที่มีค่าลดลงเมื่อ V_{DIM} ลดลง ผลการทดลองในส่วนนี้ได้ช่วยสนับสนุนทฤษฎีของหลักการหรีแสงที่ได้นำเสนอในส่วนที่ 3 จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลา t_z จะมีค่าคงที่ประมาณ $1\mu s$ ไม่เปลี่ยนแปลงตามแรงดัน V_{DIM} และความถี่ทำงาน f_s ดังนั้นช่วงเวลาที่เหลือใน 1 คาบเวลาทำงานจึงเป็น $t_c = \frac{T_s}{2} - t_s - t_z$ จากรูปที่ 5 ช่วงเวลา $t_s = 4.3\mu s$ และ $3.15\mu s$ ส่วนช่วงเวลา $t_c = 15.24\mu s$ และ $7.86\mu s$ เมื่อ $V_{DIM} = 10V$ และ $1V$ ตามลำดับ

รูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ เมื่อแรงดัน V_{DIM} มีลักษณะเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม 0 - 10V สังเกตได้ว่า กระแสที่ไหลผ่านหลอด และกำลังไฟฟ้าที่หลอด เป็นส่วนที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดัน V_{DIM} อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนแรงดันตกคร่อมหลอดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความเป็น negative resistance ของหลอดฟลูออเรสเซนต์



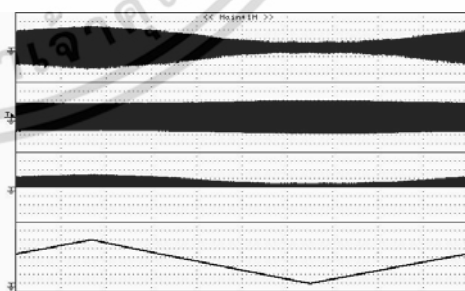
(ก)



(ข)

รูปที่ 5 : รูปคลื่นขยายของสัญญาณแรงดัน v_{Np} (0.5V/div) กระแส i_L (0.2A/div) กระแส $i_{C,Q2} - i_{D1}$ (0.2A/div) และแรงดัน $v_{CE,Q1}$ (100V/div) เรียงจากบนลงล่าง และแกนนอนเท่ากับ $0.5\mu s/div$ เมื่อ

(ก) $V_{DIM} = 10V$ (ข) $V_{DIM} = 1V$



รูปที่ 6 : รูปคลื่นของกระแส i_{Lamp} (0.2A/div) แรงดัน v_{Lamp} (100V/div) กำลังไฟฟ้าที่หลอด P_{Lamp} (20W/div) และแรงดัน V_{DIM} (2V/div) เรียงจากบนลงล่าง และแกนนอนเท่ากับ $1s/div$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลการทำงานของบัลลาสต์ดัดแปลงแบบที่แรงดัน

V_{DIM} มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10V

| V_{DIM} (V) | t_s (μ s) | f_s (kHz) | I_{Lamp} (mA) | V_{Lamp} (V) | P_{Lamp} (W) | P_{IN} (W) | Lux @1m |
|------------------|---------------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| 10 | 4.30 | 24.5 | 325 | 99.5 | 32.1 | 36 | 393 |
| 9 | 4.25 | 25.5 | 311 | 99.8 | 30.8 | 35 | 384 |
| 8 | 4.20 | 26.7 | 296 | 100.9 | 29.5 | 34 | 375 |
| 7 | 4.06 | 28.3 | 277 | 102.5 | 28.1 | 32 | 353 |
| 6 | 3.81 | 30.5 | 252 | 105.5 | 26.2 | 30 | 332 |
| 5 | 3.67 | 32.9 | 225 | 108.2 | 24.1 | 28 | 295 |
| 4 | 3.56 | 35.6 | 193 | 112.0 | 21.3 | 25 | 240 |
| 3 | 3.40 | 38.9 | 150 | 117.6 | 17.4 | 22 | 203 |
| 2 | 3.16 | 41.1 | 105 | 124.8 | 12.9 | 17 | 173 |
| 1 | 3.15 | 41.6 | 92 | 127.2 | 11.5 | 16 | 155 |

ตารางที่ 1 แสดงผลการทำงานของดัดแปลงบัลลาสต์หรือแสงที่ได้นำเสนอ โดยแสดงค่าของความถี่ทำงาน (f_s) กระแส RMS ที่ไหลผ่านหลอด (I_{Lamp}) แรงดัน RMS ที่ตกคร่อมหลอด (V_{Lamp}) กำลังไฟฟ้าที่ตัวหลอด (P_{Lamp}) กำลังไฟฟ้าขาเข้าของบัลลาสต์ (P_{IN}) และค่าความสว่างที่ระยะห่างจากหลอด 1 เมตร เมื่อทำการปรับแรงดัน V_{DIM} ตั้งแต่ 1 – 10V

6. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์หรือแสงชนิดซิงเกิลเซลล์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งได้จากการดัดแปลงบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดซิงเกิลเซลล์แบบดั้งเดิม โดยการเพิ่มค่าความต้านทานให้กับทางฝั่งทุติยภูมิของหม้อแปลงเซลล์ซิงเกิลเซลล์ ทำให้กระแสสร้างแรงแม่เหล็กของหม้อแปลงสูงขึ้นและหม้อแปลงอิ่มตัวเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการลดกระแสขั้วเบสของทรานซิสเตอร์กำลัง ทำให้ช่วงเวลาสะสมของทรานซิสเตอร์ลดลง ทั้งสองปัจจัยนี้ทำให้คาบเวลาในการสับสวิตช์ลดลงและความถี่ทำงานของบัลลาสต์สูงขึ้น และด้วยโครงสร้างของวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้า

เรโซแนนซ์อนุกรมโพลขงาน เมื่อความถี่ทำงานสูงขึ้น อัตราขยายแรงดันขาออกจึงลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่หลอดฟลูออเรสเซนต์และแสงที่หลอดให้ออกมาลดลงในที่สุด

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท ไคโนอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Tao, Q. Zhao, F. C. Lee and N. Onishi, "Self-Oscillating Electronic Ballast with Dimming Control," IEEE Power Electronics Specialist Conference, 2001, 17 – 21 June, pp. 1818–1823.
- [2] A. Seidal, F. Bisogno, H. Pinheiro, and R. Pavao, "Self-Oscillating Dimmable Electronic Ballast," IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2003, Vol. 50, No. 6, pp. 1267 – 1274
- [3] Samuel S. M. Chan, Henry S. H. Chung, and S.Y. Hui, "Design and Analysis of an IC-Less Self-Oscillating Series Resonant Inverter for Dimmable Electronic Ballast," IEEE Transactions on Power Electronics, 2005, Vol. 20, No. 6, pp. 1450 – 1458
- [4] Yuch-Ru Yang, Chern-Lin Chen, "Steady-State Analysis and Simulation of a BJT Self-Oscillating ZVS-CV Ballast Driven by a Saturable Transformer," IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1999, Vol. 46, No. 2, pp. 249 – 260
- [5] B. G. Streetman, "Solid-State Electronic Devices," Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- [6] Yongpisanpop, S., Sapaklom, T. and Konghirun, M., "A Novel Dimmable Self – Oscillating Electronic Ballast," ECTI-CON 2009. 6th International Conference on, 6-9 May 2009, pp. 122 – 125.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้