ที่ ศธ ๐๕๗๔/ว.๐๔๔๖

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
๘๓๓ ถนนพระรามที่ ๑
แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน
กรุงเทพมหานคร ๑๐๓๓๐

๑๕ มีนาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอแจ้งผลการพิจารณาบทความการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๑๐

เรียน นายสัญชัยยะ ผสมกุศลศีล

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเพื่อเข้าร่วมงาน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๑๐ (The 10th Conference of Electrical Engineering Network : EENET 2018) ซึ่งจะจัดขึ้นระหว่างวันที่ ๑ ถึง ๓ พฤภาคม ๒๕๖๑ ณ โรงแรม ราชศุภมิตร (อาร์ เอส โฮเต็ล) ตำบลท่ามะขาม อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี ในหัวข้อเรื่อง

" A Technique for Efficiency Increasing of Inside Lighting System with High Intensity Discharge Lamp for Energy Saving Equipment Control using Fuzzy Logic Controllers "

ในการนี้ คณะกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๑๐ มีความยินดีที่จะเรียนให้ท่านทราบว่า บทความเรื่องดังกล่าวได้ **ผ่านการพิจารณา** โดยผู้ทรงคุณวุฒิให้นำเสนอแบบปากเปล่า (Oral Presentation) ในการการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๑๐

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพพานโต)
ประธานกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 10

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
โทร. ๐-๒๑๐๔-๙๐๙๙ ต่อ ๘๐๐๓
โทรสาร ๐-๒๑๐๔-๙๐๙๘

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10th Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพระบบแสงสว่างภายในอาคารของหลอดดิสชาร์จความเข้มสูง ด้วยอุปกรณ์ประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

A Technique for Efficiency Increasing of Inside Lighting System with High Intensity Discharge Lamp for Energy Saving Equipment Control using Fuzzy Logic Controllers

สัญชัยยะ ผสมกุศลศีล

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

1761 ถ.พัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทร.0-2321-6930-9 Fax :0 -2321-4444

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับเทคนิคการประหยัดพลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารของหลอดดิสชาร์จความเข้มสูงที่ใช้อุปกรณ์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวควบคุมแสงโดยใช้ตัวควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในระบบแสงสว่าง ซึ่งจะเริ่มจากการออกแบบและวิเคราะห์วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรมที่ต่อโหลดขนานแบบกึ่งบริดจ์ของอุปกรณ์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นคำนวณค่าความต้านทานเทียบเคียง แรงดันและกระแสเอาท์พุทและควบคุมกระแสผ่านหลอดด้วยความถี่ของบัลลาสต์ ซึ่งค่าความต้านทานเอาท์พุทของบัลลาสต์มีค่าสูง ในย่านสมรรถนะความเข้มแสงสูง ในบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการประหยัดพลังงานโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก ซึ่งจะนำไปใช้ในระบบแสงสว่างที่มีค่าพารามิเตอร์หลอดเป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้นี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดดิสชาร์จความเข้มสูงได้ 140 ลูเมนต่อวัตต์โดยสามารถลดกำลังสูญเสียที่หลอดได้ 20 % และลดการใช้กระแสไฟฟ้าได้มากกว่า 80 % จึงสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 35 %

คำสำคัญ : ประหยัดพลังงาน , ฟัซซี่ลอจิกคอนโทรล, ระบบแสงสว่าง

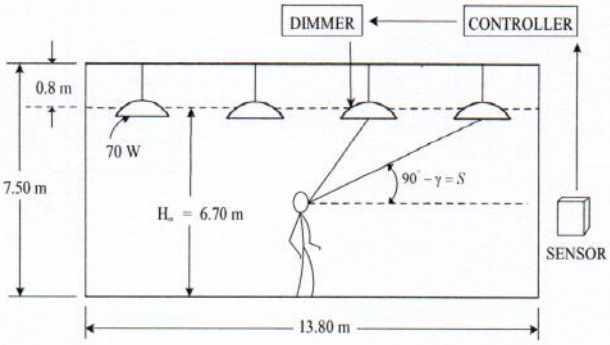
Abstract

This research paper presents a technique for energy saving of the inside lighting system for high intensity discharge (HID) lamps with lighting control of an electronic dimming ballast using a fuzzy logic controller(FLC) to efficiency increases. The design and analysis of a series-resonant parallel loaded inverter (SRPLI) of a half bridge of an electronic dimming ballast. The lamp equivalent resistance, the output voltage and the normalized output current with respect to frequency control of lamp were calculated. In this paper, the energy saving by using a fuzzy logic controller is applied to the lighting systems in which the lamp parameters of the component values for lighting efficiently of HID lamps and low power loss 20 % and current loss more 80 %. The energy saving consumed by the lamps was reduced at 35 %.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างของหลอดดิสชาร์จความเข้มสูงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อต้องการมีอายุการใช้งานที่นานและมีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงกว่าหลอดไส้ การประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างจะต้องรักษาระดับความสว่างของหลอดและคุณภาพของแสงสว่าง เพราะว่าประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลงเพียงเล็กน้อยก็อาจไม่คุ้มกับค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ในขณะค่าใช้จ่ายสำหรับการปรับปรุงระบบแสงสว่างให้เหมาะสม และการประหยัดพลังงานหมายถึงเป็นการลดต้นทุน ดังนั้นจึงนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 35 % และยังคืนผลกำไรให้กับผู้ลงทุนได้ในอัตราผลตอบแทนที่สูงเพราะหากใช้งานมากเท่าไรยิ่งมีกำไรดีขึ้น ในบทความวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกในระบบแสงสว่างเพื่อควบคุมความสว่างภายในอาคารให้พอเหมาะกับสภาวะการทำงาน ควบคุมความถี่ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องมีประสิทธิภาพที่ดีจึงสามารถนำไปออกแบบและควบคุมการประหยัดพลังงานได้

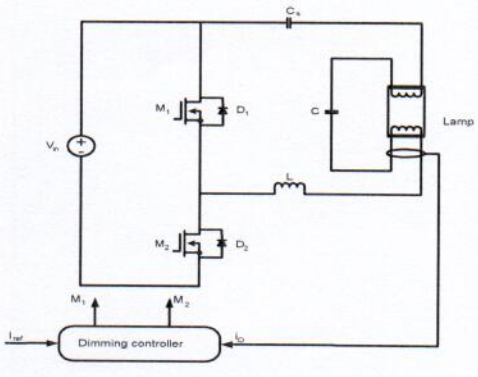
รูปที่ 1 ชนิดของหลอดดิสชาร์จความเข้มสูง: HID



รูปที่ 2 ระบบควบคุมความสว่างภายในห้องของหลอด HID ที่มีมุมวิกฤต

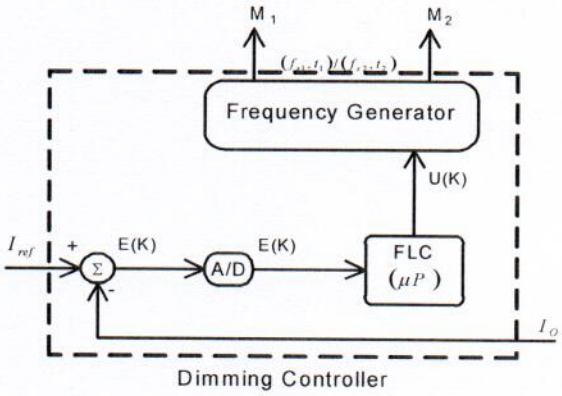
2. การออกแบบวงจรระบบ

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ 50 หรือ 60 เฮิร์ตให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงมีค่าระหว่าง 25 ถึง 50 กิโลเฮิร์ตเพื่อป้อนให้กับหลอด HID ซึ่งอุปกรณ์บัลลาสต์ส่วนใหญ่จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรมที่ต่อโหลดขนานแบบกึ่งบริดจ์(SRPLI) โดยแรงดันเอาท์พุทของวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม กระแสไฟฟ้าสลับจากแหล่งจ่ายจะถูกเรียงกระแสและกรองเพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงของวงจร ซึ่งตัวกำเนิดความถี่จะผลิตสัญญาณความถี่สูง จะขับดันตัวทรานซิสเตอร์ไวให้ทำงานสลับกันโดยมีขดลวดบัลลาสต์ทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าและตัวเก็บประจุร่อมหลอดทำหน้าที่กำหนดความถี่และการสตาร์ท ในการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะใช้เป็นตัวป้อนกลับเข้าสู่วงจรภายนอกที่แรงดันอินพุทของบัลลาสต์มีค่ามากกว่าย่านวัด [1]



รูปที่ 3 ไดอะแกรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยฟัซซี่ลอจิกคอนโทรล

บล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3 จะประกอบด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นตัวกำเนิดความถี่หลักมูลของแรงดันและตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่มีวงจรกึ่งบริดจ์ และการควบคุมกำลังในวงจร SRPLIนี้ มีการทำงานสวิทช์ M_1 และ M_2 ในภาคแรงดันศูนย์ ซึ่งจะประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่ควบคุมกระแสผ่านหลอด Lและตัวเก็บประจุ C เป็นทางผ่านของกระแสเผาไส้หลอด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหลอดและลดลงของคลื่นรบกวนแม่เหล็ก โดยกำลังเอาท์พุทสามารถควบคุมความถี่สวิตช์ซึ่งได้



รูปที่ 4 บล็อกฟังก์ชันของการตัวควบคุม FLC

รูปที่ 4 แสดงไดอะแกรมตัวควบคุมวงจรสมมูลของความถี่หลักมูลกับตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก(FLC)ที่ใช้หลอดเป็นตัวควบคุมสัญญาณกระแส I_0 และเปรียบเทียบค่า I_{ref} ถึงแหล่งกำเนิดสัญญาณผิดเพี้ยน $E(t)$ เพื่อ อยู่ในกระบวนการ FLC และตัวควบคุมสัญญาณเอาท์พุท $U(k)$ สามารถควบคุมความถี่ f_{S1} และ f_{s2} ณ เวลา t_1 และ t_2 ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดสูงสุดและต่ำสุดได้ [2] ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมความสว่างควรออกแบบตัวแปรควบคุมความสว่างในทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดโดยคำนึงถึงผลแสงสว่างจากภายนอกด้วย

3. การวิเคราะห์วงจร SRPLI แต่ละโมเดล

จากวงจรดังรูปที่ 3 คือวงจรกึ่งบริดจ์ SRPLI สามารถเขียนแทนโดยวงจรเทียบเคียง เมื่อสวิตช์ M_1, M_2, D_1และ D_2ต่อเข้ากับวงจร L-C แล้วจ่ายไฟตรงผ่านตัวเก็บประจุC_S วัดสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมด้วยแหล่งจ่ายแรงดันความถี่หลักมูล V_{DC} โดยทั่วไปหลอด HID จะมีลักษณะค่าไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อใช้หลอดกับค่าความถี่สูงกระแสผ่านหลอดและแรงดันคร่อมหลอดจะสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น โดยประมาณมีรูปคลื่นใกล้เคียงรูปคลื่นซายน์ ดังนั้นจึงวิเคราะห์ในแต่ละโมเดลเพื่อให้มีคุณภาพสูงเพียงพอแล้วแทนหลอดด้วยความต้านทานเทียบเคียง R_{lamp} สามารถหาดังนี้

$$R_{lamp} = \frac{V_O}{I_O} = R_S + \frac{V_H}{I_O} = \frac{V_O R_S}{V_O - V_H} \quad (1)$$

เมื่อ

V_o และ I_o คือ ค่าแรงดันและกระแสของหลอดนำไปใช้งานหาแรงดันเอาท์พุท จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$V_{O(n)} = \frac{1}{\sqrt{\left(1-\omega_n^2\right)^2 + \omega_n^2 Z_{O(n)}^2 \left(\frac{V_{H(n)} - V_{O(n)}}{V_{O(n)}}\right)^2}} \quad (2)$$

เมื่อ

$$V_{O(n)} = \left|\frac{V_{O(j\omega)}}{V_{S(j\omega)}}\right| \quad , \quad \omega_n = \frac{\omega}{\omega_O}$$

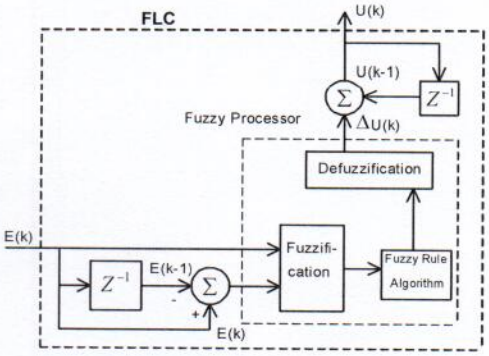
หากระแสเอาท์พุท จากสมการดังนี้

$$I_{O(n)} = \frac{|I_O(j\omega) // R_S|}{|V_S(j\omega)|} = \frac{|V_O(j\omega) // R_S|}{R_{lamp} / V_S(j\omega)} = \frac{V_{O(n)}}{R_{lamp(n)}} \quad (3)$$

เมื่อ $R_{lamp(n)} = R_{lamp} / |R_S|$ ค่ากระแสเอาท์พุท $I_{O(n)}$ เทียบกับความถี่หลักมูล ω_n ต่อ $Z_{O(n)}, V_S(j\omega)$ แทนองค์ประกอบของรูปคลื่นแรงดัน $V_{DC}, V_O(j\omega)$ แทนแรงดันของวงจรและ $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$

4. การจำลองระบบด้วยฟัซซี่ลอจิกคอนโทรล

การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่จะต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับฟัซซี่ เพื่อกำหนดโครงสร้างและหลักการทำงานของตัวควบคุมฟัซซี่ โดยจะต้องมีการกำหนดลักษณะความหมายให้แตกต่างกันคือเป็นสมาชิกและไม่เป็นสมาชิก การสร้างฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่จะนิยมใช้เป็นรูปสามเหลี่ยม(Triangular) เพราะสะดวกการเขียนโปรแกรมในทางปฏิบัติซึ่งแสดงดังรูปที่ 6



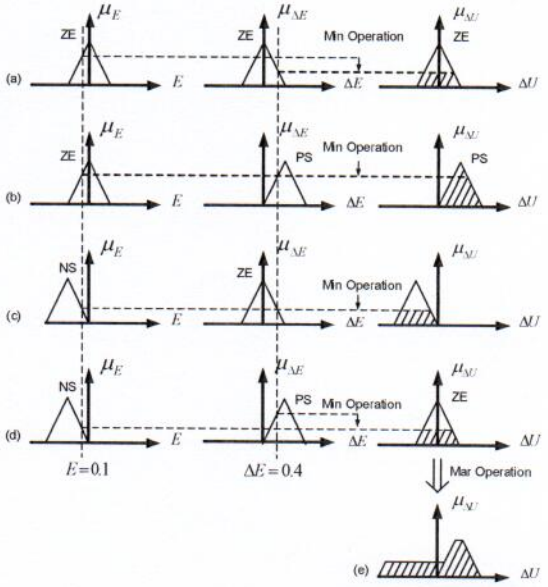
รูปที่ 5 บล็อกฟังก์ชันของ FLC

FLC ใช้ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมดังแสดงในรูปที่ 5 กำหนดตัวแปรปรับค่าผิดพลาดของกระแสหลอด $E(k)$ และ $\Delta E(k)$ คือผลต่างอินพุทของกระบวนการฟัซซี่(FP) เมื่อ $U(k)$ คือสัญญาณควบคุมเอาท์พุท และ $\Delta U(k)$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมฟัซซี่ หาความสัมพันธ์จากสมการดังนี้

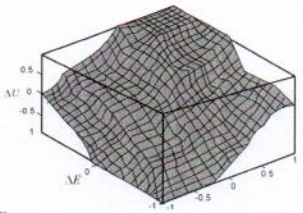
$$\Delta E(k) = E(k) - E(k-1) \quad (4)$$

$$\Delta U(k) = U(k) - U(k-1) \quad (5)$$

$$U(k) = U(k-1) + \Delta U(k) \quad (6)$$



รูปที่ 6 กราฟฟิกแทนการอนุมานฟังก์ชันเชิงฟัซซี่อัลกอริทึม



รูปที่ 7 เส้นโค้งพื้นผิวควบคุมของ FLC สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

กฎที่ 1 : IF E is PB AND ΔE is ZE THEN ΔU is PB.

กฎที่ 2 : IF E is PS AND ΔE is ZE THEN ΔU is PS.

กฎที่ 3 : IF E is NB AND ΔE is ZE THEN ΔU is NB.

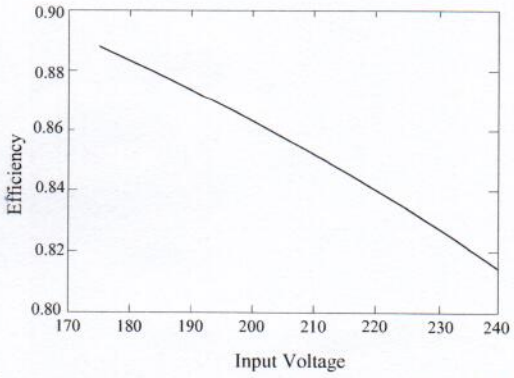
กฎที่ 4 : IF E is NS AND ΔE is ZE THEN ΔU is NS.

5. ผลทดสอบ

จากผลทดสอบดังรูปที่ 11 แสดงรูปคลื่นกระแสหลอด I_O ที่มีความแตกต่างกันโดยค่ายอดของรูปคลื่นกระแสจะลดลงในระดับต่างๆ ดังนั้นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะควบคุมกระแส I_O กำหนดค่าตัวแปรควบคุมสัญญาณได้ที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Cos α)สูง จึงลดการใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่า 80 % คือกินกระแสไฟฟ้าน้อยลง ทำให้สายไฟและขั้วหลอดมีความร้อนสะสมขณะใช้งานลดลง จึงทำให้บัลลาสต์มีอายุการใช้งานที่

ยาวนานขึ้น เมื่อมีการควบคุมด้วย FLC ในช่วงเวลาที่ใช้หลอด HID จากข้อมูลพื้นที่ใช้หลอดพบว่าพลังงานที่ใช้ก่อนเปลี่ยนบัลลาสต์จะเท่ากับ 2,550 kWh/ปี พลังงานที่ใช้หลังเปลี่ยนบัลลาสต์เท่ากับ 850 kWh/ปี ดังนั้นใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า จึงช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 3600 บาท/ปี หรือประมาณ 35 % ผลจากรูปที่ 9 แสดงค่าประสิทธภาพความส่องสว่างของหลอด HID เมื่อมีการใช้งาน และรูปที่ 10 แสดงผลประสิทธิภาพความสว่างของหลอด HID ขณะผ่านตัวเซนเซอร์โดยการควบคุมด้วย FLC จึงต้องใช้ FLC มาประยุกต์กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งความถี่จะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับกระแสหลอดระหว่างที่ได้รับการปรับในแต่ละช่วงความถี่ และการปรับเปลี่ยนความเข้มแสงของหลอดในย่านความเข้มแสงต่ำ โดยการปรับช่วงความถี่จะพบว่า ถ้าการเปลี่ยนความถี่มีค่ามากไปในย่านความเข้มแสงต่ำ จะมีผลทำให้หลอดดับ

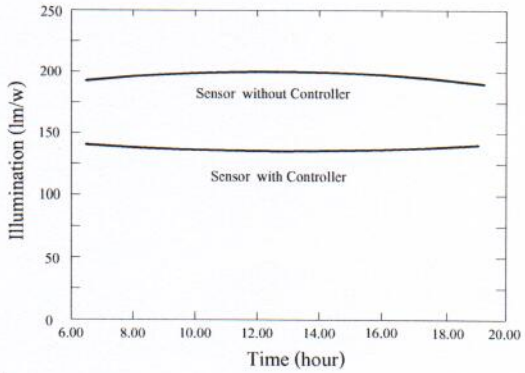
รูปที่ 8 การติดตั้งดวงโคมของหลอด HID ภายในอาคาร



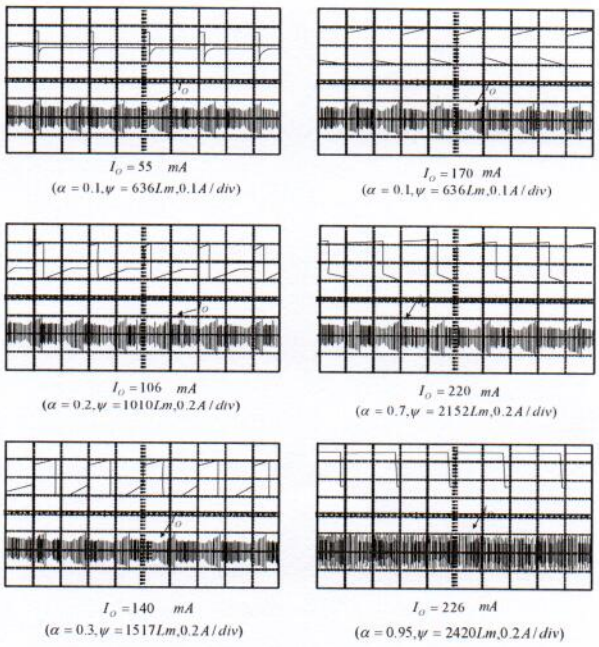
รูปที่ 9 ประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างในขณะมีการใช้แรงดันที่หลอด

6. บทสรุป

การทำงานของหลอด HID จะให้ความสว่างประมาณ 65-150 ลูเมนต่อวัตต์ โดยการปล่อยประจุที่มีความเข้มสูงเป็นแสงสีขาว มีอายุการใช้งานที่ยาวนานประมาณ 24,000 ชั่วโมง จึงนิยมติดตั้งในบริเวณขนาดใหญ่ที่ต้องการการส่องสว่างต่อเนื่อง ผลจากการทดสอบและผลวิเคราะห์วงจร SRPLI โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก FLC กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จึงพบว่าบัลลาสต์จะทำงานที่ค่าความถี่สูง (25-50 kHz) และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอด HID จากผลทดสอบสามารถลดกำลังสูญเสียที่หลอดลงได้ 20 % และลดกำลังการสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ 65 % โดยการเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ธรรมดาที่แสงสว่างออกมาเท่ากัน



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพความสว่างของหลอด HID ขณะผ่านตัวเซนเซอร์



รูปที่ 11 รูปคลื่นการวัดของกระแสหลอด HID ในแต่ละช่วง

เอกสารอ้างอิง

[1] ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์ และคณะฯ, " การควบคุมความสว่างภายในและการประหยัดพลังงานด้วยตัวควบคุม ฯ ",การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON-26), 6-7 พฤศจิกายน 2546.

[2] C. Ehrlich, "The performance of sensor lighting control using FLC," *Energy and Buildings*, vol.34, issue 9, pp.883-889, 2016.