

# การลดสัญญาณรบกวนในสายตัวของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อลดการใช้วงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ภาคอินพุต

## Conducted Noise Reduction in Electronic Ballast with Low Component Input Filter

จักรชัย เรืองปรีชา นนทวัฒน์ จุลเดชะ โยธิน เปรมปราณีรัชต์

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและความคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันได้มีการนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีกว่าหลายประการของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์แบบขดลวด จากการศึกษาพบว่า เมื่อบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานจะสร้างสัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา และสัญญาณรบกวนนั้นอาจไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำให้การทำงานของอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบมีความผิดพลาดหรือเกิดความเสียหายได้ บทความฉบับนี้จึงนำเสนอ วิธีการลดสัญญาณรบกวน โหมดผลร่วมในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 14 W x 1 หลอด ด้วยวิธีการจัดสมดุลให้กับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดการใช้วงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ภาคอินพุต ส่วนการลดสัญญาณรบกวน โหมดผลต่าง ใช้ตัวเก็บประจุ snubber และตัวเก็บประจุ X (C<sub>X</sub>) รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบเชิงประสิทธิภาพทางด้านค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า อันเนื่องมาจากการแก้ไขปัญหาด้านสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยวิธีการดังกล่าวมา โดยทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์และผลการจัดสมดุลให้กับวงจรโดยอาศัยผลจากการทดลอง

**คำสำคัญ:** การลดสัญญาณรบกวน, สัญญาณรบกวน โหมดผลร่วม, การจัดสมดุล, บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ T5

### Abstract

Nowadays, high frequency electronic ballasts, instead of iron core ballasts, are increasingly used to drive fluorescent lamps because there are many advantage characteristics comparing with the core type. In practical, when the electronic ballast is operating, it will generate the electromagnetic interference (EMI) in the environment to interfere the electrical and electronics equipment. The operation of their equipment is malfunction or damaged. This paper presents the common-mode noise reduction in electronic ballast circuit of fluorescent lamp T5 (14 W x 1 lamp) by using balancing method with low component of input filter. In addition, the differential-mode noise is reduced by a capacitor snubber and a capacitor C<sub>X</sub>. The performance of electronic ballast is analyzed to investigate the effect of common-mode noise reduction. The proposed method is clarified by the experimental results.

**Key words:** Noise reduction techniques, Common-mode noise, Balancing circuit, T5 electronic ballast.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

หากจะพูดถึงคู่แข่งตลอดกาลของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเป็นหลอดไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการให้แสงสว่างเราก็นึกถึง บัลลาสต์ อุปกรณ์ที่ถือกำเนิดและอยู่เคียงข้างหลอดฟลูออเรสเซนต์ตลอดระยะเวลากว่า 60 ปีมาแล้ว มาถึงวันนี้เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สร้างเป็นบัลลาสต์ที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงที่เรียกกันว่า “บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์” จากวิวัฒนาการของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ [1] บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ถูกสร้างขึ้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของบัลลาสต์แบบขดลวด โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของวงจรคือ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC to AC Converter : Inverter) ทำหน้าที่ในการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเพื่อจุดไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์ เมื่อบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานจะสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้อาจไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ทำให้การทำงานของอุปกรณ์ เครื่องมือหรือระบบมีความผิดพลาดหรือเกิดความเสียหายได้ ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการจำกัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ไม่ให้มีสูงเกินขีดจำกัดตามที่มาตรฐานกำหนดหรือที่เราเรียกกันว่า การทดสอบความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility : EMC)

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบไปด้วยสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม (Common-Mode noise : CM) และสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (Differential-Mode noise : DM) การลดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าคือการลดสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม (CM) หรือสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (DM) หรือทั้งสองโหมดให้น้อยลง กลไกการเกิดสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (DM) ในวงจรเพาเวอร์สวิตซ์ซึ่งโดยทั่วไปได้อธิบายไว้แล้วในรายละเอียด[2-3] สำหรับวงจรที่ไม่สมดุลนั้น สัญญาณรบกวนโหมดผลรวมจะรั่วไหลลงกราวด์ผ่านตัวเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นระหว่างสายตัวนำในวงจรกับเฟรมกราวด์ [4-7] อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม (CM) มี

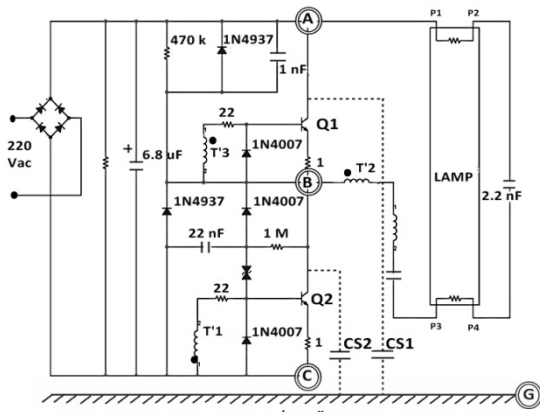
ความซับซ้อนมาก และกลไกการเกิดสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม(CM) ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นยังไม่สามารถอธิบายได้กระจ่างชัดนัก ดังนั้น

บทความฉบับนี้นำเสนอ การลดสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม (CM) ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 14W x 1 หลอด ด้วยการจัดสมดุลให้กับวงจร ในช่วงที่อุปกรณ์สวิตซ์ (ทรานซิสเตอร์) หยุดการทำงาน (Switching-Off Balancing) เพื่อลดการใช้วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลรวมที่ภาคอินพุทของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถลดสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมลงได้สูงสุดประมาณ 20 dB $\mu$ V ที่ความถี่ 43 kHz ส่วนการลดสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างใช้ตัวเก็บประจุสแน็บเบอร์และตัวเก็บประจุซีเอ็กซ์ (C<sub>X</sub>) ที่อินพุทของวงจรสามารถลดสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง(DM) ลงได้สูงสุดประมาณ 36 dB $\mu$ V ที่ความถี่ 108 kHz รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบเชิงประสิทธิภาพทางด้านค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ (Total Harmonics Distortion : THD), ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor : PF) อันเนื่องมาจากการแก้ไขปัญหาทางด้านสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยวิธีการดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์และผลการจัดสมดุลให้กับวงจรโดยอาศัยผลจากการทดลอง

## 2. ความไม่สมดุลในช่วงอุปกรณ์สวิตซ์หยุดการทำงาน (Switching-Off Unbalanced)

ความไม่สมดุลในช่วงอุปกรณ์สวิตซ์หยุดการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม แบ่งออกเป็น 2 ช่วงได้ ดังนี้คือ ช่วงที่ 1 Transistor (Q<sub>1</sub>) turn-off และช่วงที่ 2 Transistor (Q<sub>2</sub>) turn-off รายละเอียดแสดงได้ดังรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



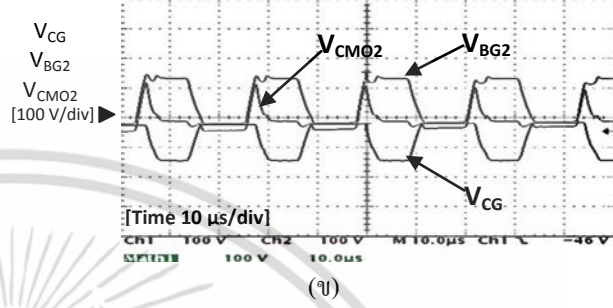
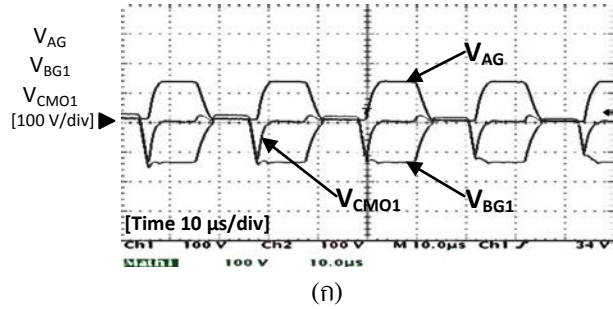
C<sub>S1</sub> : ตัวเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นในช่วง Q<sub>1</sub> turn-off  
 C<sub>S2</sub> : ตัวเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นในช่วง Q<sub>2</sub> turn-off

**รูปที่ 1** แสดงความไม่สมดุลในช่วงอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งหยุดการทำงาน

ช่วง Q<sub>1</sub> turn-off ค่าแรงดันโหมคผลรวม (Common-Mode Voltage Output: V<sub>CMO1</sub>) ระหว่างสายตัวนำ A เทียบกับเฟรมกราวด์คือ V<sub>AG</sub> มีความไม่สมดุล (ไม่เท่ากัน) กับค่าแรงดันโหมคผลรวมระหว่างสายตัวนำ B เทียบกับเฟรมกราวด์คือ V<sub>BG</sub> นั่นคือ V<sub>AG</sub> ≠ V<sub>BG</sub> เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันเทียบกับเวลา (dV/dt) สูง จึงเป็นเหตุให้เกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้ารั่วไหลลงกราวด์ผ่านตัวเก็บประจุแฝง (C<sub>S1</sub>) ในวงจร ส่วนช่วง Q<sub>2</sub> turn-off ค่าแรงดันโหมคผลรวม (V<sub>CMO2</sub>) ระหว่างสายตัวนำ C เทียบกับเฟรมกราวด์คือ V<sub>CG</sub> มีความไม่สมดุลกับค่าแรงดันโหมคผลรวมระหว่างสายตัวนำ B เทียบกับเฟรมกราวด์คือ V<sub>BG</sub> นั่นคือ V<sub>CG</sub> ≠ V<sub>BG</sub> เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันเทียบกับเวลา (dV/dt) สูง จึงเป็นเหตุให้เกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้ารั่วไหลลงกราวด์ผ่านตัวเก็บประจุแฝง (C<sub>S2</sub>) ในวงจร

**3. การวิเคราะห์วงจรเพื่อลดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Circuit Analyzing for EMI Noise Reduction)**

จากวงจรดังรูปที่ 1 ทำการวัดรูปคลื่นแรงดันสัญญาณรบกวนโหมคผลรวม (V<sub>CMO</sub>) เทียบกับเฟรมกราวด์ทั้ง 2 ช่วงเวลา คือ ช่วง Q<sub>1</sub> turn-off (V<sub>CMO1</sub>) และช่วง Q<sub>2</sub> turn-off (V<sub>CMO2</sub>) สามารถวัดได้โดยใช้ออสซิลโลสโคป ได้ผลการวัดดังรูปที่ 2 (ก) และ (ข)



$$V_{CMO1} = V_{AG} + V_{BG1} = +11.2 \text{ V (average)}$$

$$V_{CMO2} = V_{CG} + V_{BG2} = -12.1 \text{ V (average)}$$

**รูปที่ 2** แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่จุดต่างๆ ของวงจร (ก) ช่วง Q<sub>1</sub> turn-off, (ข) ช่วง Q<sub>2</sub> turn-off

**4. การลดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมคผลรวมด้วยการจัดสมดุลให้วงจร (EMI Noise Reduction by Balancing Technique)**

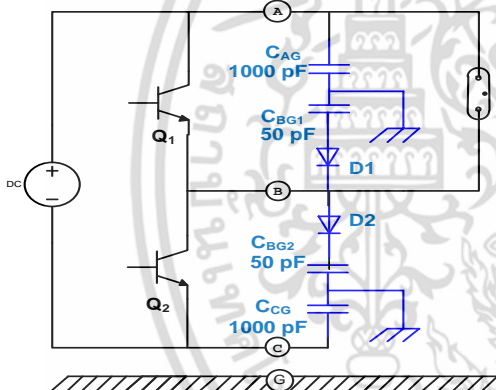
วงจรที่สมดุล (Balanced Circuit) คือ วงจรซึ่งประกอบไปด้วยตัวนำ 2 เส้นที่มีค่าความต้านทานเทียบกันกราวด์แล้วเท่ากัน จุดประสงค์ในการจัดสมดุล คือการทำให้แรงดันโหมคผลรวมที่เกิดขึ้นบนสายตัวนำทั้ง 2 เส้น มีขนาดเท่ากัน และนำมาหักล้างกัน จากผลการวัดในรูปที่ 2 (ก) และ (ข) ทำให้ทราบว่า แรงดันโหมคผลรวมที่เกิดขึ้นบนสายตัวนำทั้ง 2 เส้น ไม่สมดุล คือ V<sub>CMO1</sub> และ V<sub>CMO2</sub> ไม่เท่ากับศูนย์ การจัดสมดุลให้กับวงจรจึงต้องกระทำทั้ง 2 ช่วงเวลาดังนี้คือ

ช่วง Q<sub>1</sub> turn-off สามารถทำการจัดสมดุลได้ โดยนำตัวเก็บประจุมาต่อรวมบนสายตัวนำทั้ง 2 เส้นคือ สายตัวนำ A และสายตัวนำ B เพื่อทำการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำทั้งสอง แรงดันบนสายตัวนำ A และสายตัวนำ B รวมกันแล้วเท่ากับศูนย์หรือใกล้เคียง (และนำแรงดันมาหักล้างกันจากผลการวัดในรูปที่ 2 (ก) แรงดันโหมคผลรวมบนสายตัวนำ A (V<sub>AG</sub>) เป็นบวก แรงดันโหมคผลรวมบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

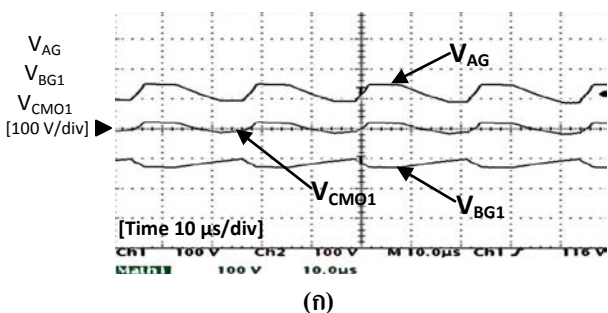
สายตัวนำ B ( $V_{BG1}$ ) เป็นทั้งลบและบวกสลับกัน จึงต้องนำไดโอด D1 มาใช้เพื่อเลือกเฉพาะแรงดันที่เป็นลบบนสายตัวนำ B และนำไปหักล้างกับแรงดันโหมดผลร่วมบนสายตัวนำ A ( $V_{AG}$ ) สามารถจัดสมดุลให้กับวงจรในช่วง  $Q_1$  turn-off ได้ดังรูปที่ 3

ช่วง  $Q_2$  turn-off สามารถทำการจัดสมดุลได้ โดยนำตัวเก็บประจุมาต่อร่วมบนสายตัวนำทั้ง 2 เส้นคือ สายตัวนำ B และสายตัวนำ C เพื่อทำการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำทั้งสอง และนำแรงดันมาหักล้างกัน จากผลการวัดในรูปที่ 2 (ข) แรงดันโหมดผลร่วมบนสายตัวนำ C ( $V_{CG}$ ) เป็นลบ แรงดันโหมดผลร่วมบนสายตัวนำ B ( $V_{BG2}$ ) เป็นทั้งลบและบวกสลับกัน จึงต้องนำไดโอด D2 มาใช้เพื่อเลือกเฉพาะแรงดันที่เป็นบวกบนสายตัวนำ B นำไปหักล้างกับแรงดันโหมดผลร่วมบนสายตัวนำ C ( $V_{CG}$ ) สามารถจัดสมดุลให้กับวงจรในช่วง  $Q_2$  turn-off ได้ดังรูปที่ 3

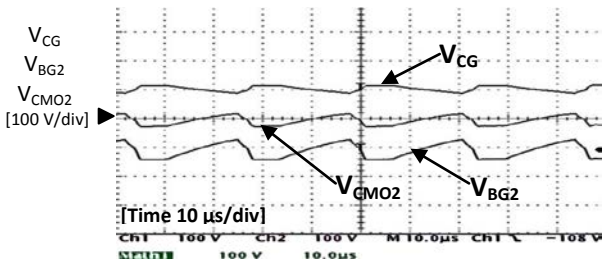


- $C_{AG}$  = ตัวเก็บประจุที่ต่อระหว่างสายตัวนำ A และ G
- $C_{BG1}$  = ตัวเก็บประจุที่ต่อระหว่างไดโอด D<sub>1</sub> และ G
- $C_{CG}$  = ตัวเก็บประจุที่ต่อระหว่างสายตัวนำ C และ G
- $C_{BG2}$  = ตัวเก็บประจุที่ต่อระหว่างไดโอด D<sub>2</sub> และ G
- D<sub>1</sub> = ไดโอดที่ต่อระหว่างสายตัวนำ B และ  $C_{BG1}$
- D<sub>2</sub> = ไดโอดที่ต่อระหว่างสายตัวนำ B และ  $C_{BG2}$

รูปที่ 3 วงจรอย่างง่ายสำหรับแสดงการลดสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม (CM) ด้วยการจัดสมดุลในช่วงสวิตช์ขั้วหยุดการทำงาน



(ก)



(ข)

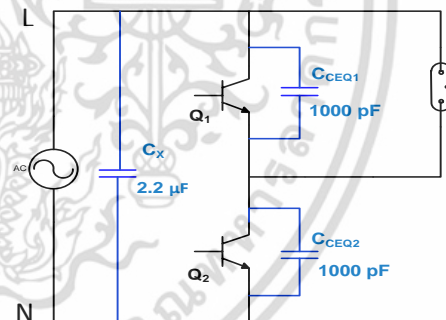
$$V_{CMO1} = V_{AG} + V_{BG1} = +1.1 \text{ V (average)}$$

$$V_{CMO2} = V_{CG} + V_{BG2} = -1.2 \text{ V (average)}$$

รูปที่ 4 ผลการวัดแรงดันโหมดผลร่วมหลังจากทำการจัดสมดุลให้วงจร(ก) ช่วง  $Q_1$  turn-off, (ข) ช่วง  $Q_2$  turn-off

### 5. การลดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลต่าง (Differential-Mode Noise Reduction)

วิธีการลดสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (DM) สามารถทำได้โดยใช้ตัวเก็บประจุสนับสนุนเบอร์ที่ต่อที่ขา C และ E ของ  $Q_1$  ( $C_{CEQ1}$ ) และ  $Q_2$  ( $C_{CEQ2}$ ) รวมถึงการใช้ตัวเก็บประจุซีเอ็กซ์ ( $C_X$ ) ต่อที่อินพุต(L-N) ของวงจรดังรูปที่ 5



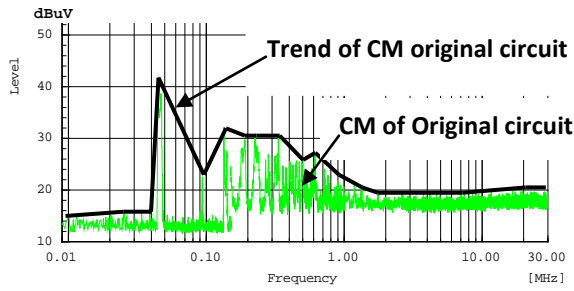
- $C_{CEQ1}$  = ตัวเก็บประจุที่สนับสนุนเบอร์ที่ต่อระหว่างขา C และ E ของ  $Q_1$
- $C_{CEQ2}$  = ตัวเก็บประจุที่สนับสนุนเบอร์ที่ต่อระหว่างขา C และ E ของ  $Q_2$
- $C_X$  = ตัวเก็บประจุแบบเอ็กซ์ที่ต่อระหว่าง L และ N ที่อินพุต

รูปที่ 5 วงจรอย่างง่ายสำหรับแสดงวิธีการลดสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (DM) ด้วยการใส่ตัวเก็บประจุสนับสนุนเบอร์และตัวเก็บประจุซีเอ็กซ์ ( $C_X$ )

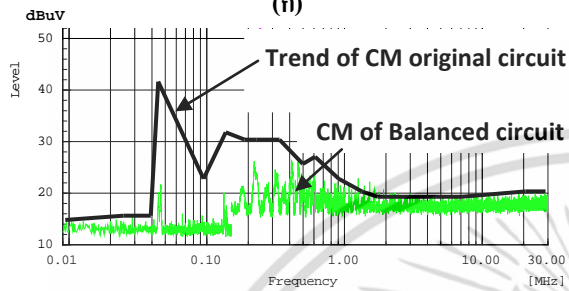
### 6. การตรวจสอบผลการจัดสมดุลด้วยการทดลอง

ทำการวัดสเปกตรัมความถี่ของกระแสสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม และโหมดผลต่าง โดยใช้โพรบวัดกระแสความถี่สูงต่อร่วมกับ EMI Receiver โดยใช้โพรบวัดกระแสความถี่สูงคล็องที่สายตัวนำ L-N ที่อินพุตของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

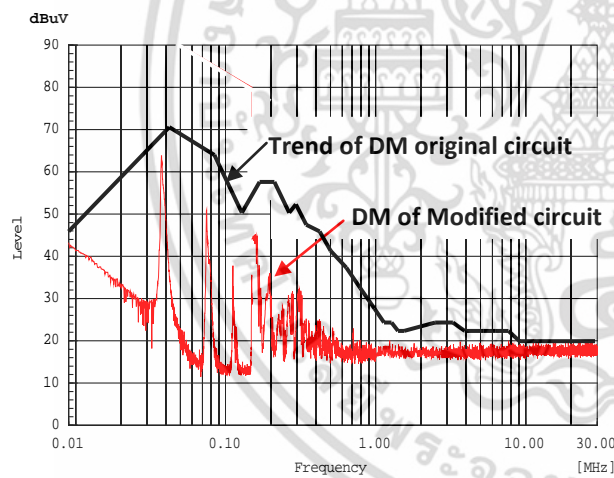


(ก)



(ข)

รูปที่ 6 แสดงผลการวัดสเปกตรัมความถี่ของกระแสสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม (ก) ก่อนจัดสมดุล, (ข) หลังจากทำการจัดสมดุลให้วงจร



รูปที่ 7 แสดงผลการวัดสเปกตรัมความถี่ของกระแสสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของวงจรแบบดั้งเดิมร่วมกับวงจรที่ทำการแก้ไข (ใช้ตัวเก็บประจุสนับสนุนเบอร์ร่วมกับตัวเก็บประจุซีเอ็กซ์)

รูปที่ 6 (ก) และ (ข) แสดงผลการวัดสเปกตรัมความถี่ของกระแสสัญญาณรบกวน โหมดผลรวมก่อนทำการจัดสมดุล และหลังจากทำการจัดสมดุลตามลำดับ ส่วนรูปที่ 7 แสดงผลการวัดสเปกตรัมความถี่ของกระแสสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง หลังจากใช้ตัวเก็บประจุสนับสนุนเบอร์ร่วมกับตัวเก็บประจุซีเอ็กซ์ (C<sub>x</sub>) แก้ไขวงจรดังรูปที่ 5 จาก

ผลการวัดดังรูปที่ 6 และ 7 สามารถสรุปผลการลดสัญญาณรบกวน ได้ดังตารางที่ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ

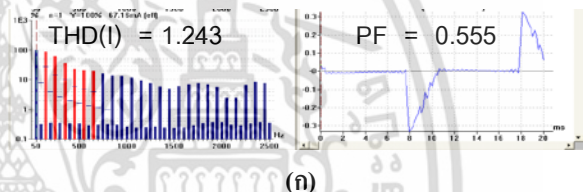
ตาราง 1.1 สรุปผลการลดสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม

Frequency	Original	Balanced	Result
43 kHz	42 dB $\mu$ V	22 dB $\mu$ V	-20 dB
104 kHz	34 dB $\mu$ V	20 dB $\mu$ V	-14 dB

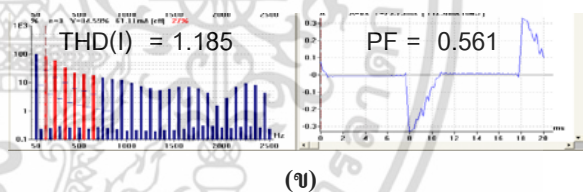
ตาราง 1.2 สรุปผลการลดสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

Frequency	Original	Modified	Result
75 kHz	62 dB $\mu$ V	51 dB $\mu$ V	-11 dB
108 kHz	56 dB $\mu$ V	20 dB $\mu$ V	-36 dB
120 kHz	50 dB $\mu$ V	32 dB $\mu$ V	-18 dB

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากการแก้ไขวงจร ทำการวัดค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ (THD) และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) ของวงจร ได้ผลการวัดดังรูปที่ 8



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 แสดงผลการวัด THD และ PF ของวงจร, (ก) ก่อนจัดสมดุล, (ข) หลังจากทำการจัดสมดุล

ตาราง 1.3 สรุปผลการวัดค่า THD หลังจากทำการแก้ไขวงจรด้วยวิธีการต่างๆ

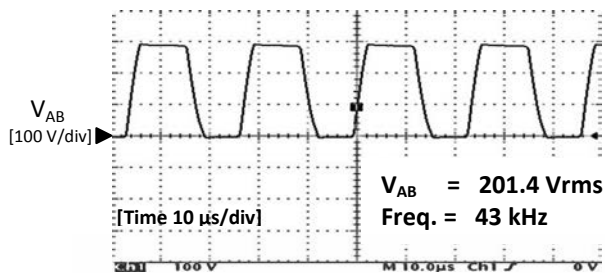
Technique	THD (Original)	THD (Modified)	Result
Balancing	1.243	1.185	-0.058
Snubber + C <sub>x</sub>		0.444	-0.799

ตาราง 1.4 สรุปผลการวัดค่า PF หลังจากทำการแก้ไขวงจรด้วยวิธีการต่างๆ

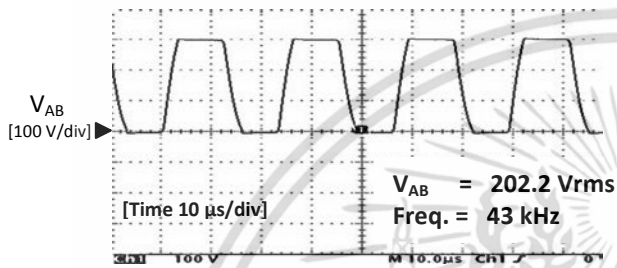
Technique	PF (Original)	PF (Modified)	Result
Balancing	0.555	0.561	0.006
Snubber + C <sub>x</sub>		0.262	-0.293

หลังจากทำการแก้ไขวงจรด้วยวิธีการต่างๆ ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด (หลอดฟลูออเรสเซนต์)

คือ  $V_{AB}$  เพื่อดูผลกระทบต่อโหนดอื่นเนื่องมาจากการแก้ไข  
วงจรด้วยวิธีการจัดสมดุล ได้ผลการวัดดังรูปที่ 9



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 แรงดันตกคร่อมโหนดของวงจร ( $V_{AB}$ ), (ก) ก่อน  
จัดสมดุล, (ข) หลังทำการจัดสมดุล

## 7. สรุปผลการทดลอง

วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในบทความฉบับนี้ มีความไม่สมดุลในช่วงที่ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  หยุดการทำงาน จากการจัดสมดุลให้วงจร พบว่าสามารถลดค่า  
ยอดของสเปกตรัมความถี่ของกระแสสัญญาณรบกวน  
โหนดผลรวมลงได้สูงสุดประมาณ 20 dB $\mu$ V ที่ความถี่ 43  
kHz (ซึ่งเท่ากับความถี่สวิตซ์ของวงจร) อีกทั้งยังสามารถ  
ช่วยลดค่า THD ลงและเพิ่มค่า PF ให้กับวงจร ค่า  
แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหนดหลังจัดสมดุลยังคงใกล้เคียง  
กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหนดก่อนจัดสมดุล ส่วนการ  
ใช้ตัวเก็บประจุสลับเบอร์ร่วมกับตัวเก็บประจุซีเอ็กซ์  
สามารถลดค่ายอดของสเปกตรัมความถี่ของกระแส  
สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหนดผลต่างลงได้สูงสุด  
ประมาณ 36 dB $\mu$ V ที่ความถี่ 108 kHz (ซึ่งเป็นความถี่ที่  
ใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์โมนิกที่ 3 ของความถี่สวิตซ์ของ  
วงจร) อีกทั้งยังสามารถช่วยลดค่า THD ลงได้แต่กลับทำให้  
ค่า PF ลดลง

## 8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก “สถาบันบัณฑิต  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) สำนักงาน  
พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สัญญารับทุน  
เลขที่ TG-11-22-51-099M

## 9. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมศักดิ์ โลหะศาสตร์, “บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์  
นวัตกรรมเพื่อการประหยัดพลังงาน ตอนที่ 1,”  
วารสารเซมิคอนดักเตอร์, ฉบับที่ 298, หน้า 185 –  
193, กุมภาพันธ์, 2550.
- [2] T. Ninomiya, "Common-Mode Noise Generation  
in a DC-to-DC Converter," IEEE Trans. on  
Aerospace and Electronic Systems, Vol. ASE-16,  
No.2, pp. 130-137, March, 1980.
- [3] T. Ninomiya, "Mechanism of Common-mode  
Noise Reduction in Balanced Boost Switching  
Converter," IEEE Proc. Int Conf. Power  
Electronics Specialists Conference, pp. 1115-  
1120, June, 2004.
- [4] M. Shoyama, G. Li., and T. Ninomiya, "Balanced  
Switching Converter to Reduce Common-Mode  
Conducted Noise," IEEE Trans. Ind. Electron., pp.  
1095–1099, 2003.
- [5] N. Mutoh, J. Nakashima, and M. Kanesaki,  
“Multilayer Power Printed Structure Suitable for  
Controlling EMI Noises Generated in Power  
Converters,” IEEE Trans. Ind. Electron., pp.  
1085–1094, 2003.
- [6] G. Antonini, S. Cristina, and A. Orlandi, “EMC  
Characterization of SMPS Devices,” IEEE Trans.  
Electromagnetic Compatibility, pp. 300–309,  
1996.
- [7] F.Y. Shih, D.Y. Chen, Y.P. Wu, and Y.T. Chen,  
“A Procedure for Designing EMI Filters for AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line Applications,” IEEE Trans. Power Electron.,  
pp. 170–181, 1996.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้