

การศึกษาการเกิดสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมในวงจรสวิตช์ที่สมดุลและไม่สมดุล  
A STUDY ON COMMON-MODE NOISE GENERATION IN BALANCED AND UNBALANCED  
SWITCHING CIRCUIT

เทิดศักดิ์ อินทโชติ<sup>1</sup> ชุมพล ปทุมมาเกษร<sup>1</sup> กิตติศักดิ์ วาดสันทัต<sup>1</sup>  
Terdsak Intachot<sup>1</sup> Chumpon Patummakasorn<sup>1</sup> Kittisak wadsuntud<sup>1</sup>

**บทคัดย่อ**

วงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไป เช่นในวงจรสวิตช์แบบ High-side ซึ่งมีลักษณะของความไม่สมดุลของอิมพีแดนซ์ที่สายส่ง, อิมพีแดนซ์แหล่งจ่ายและอิมพีแดนซ์โหลดวัดเทียบกับเฟรมกราวด์ ซึ่งลักษณะความไม่สมดุลนี้เป็นผลทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงดันเกิดขึ้นที่แหล่งจ่ายไฟตรงและที่โหลด แรงดันที่ไม่สมดุลนี้จะผลิตสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วม (Common-mode noise) ไหลลงเฟรมกราวด์ไปยังโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line Impedance Stabilization Network : LISN) ในขณะที่แอคทีฟสวิตช์ทำการ “ON” และ “OFF” วงจร งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์และการทดลองพิจารณาสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมที่มาจากผลของความไม่สมดุล กลไกการเกิดสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมอธิบายโดยวงจรสมมูลของการตัดและต่อของแอคทีฟสวิตช์ ในส่วนของการลดสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมเสนอโดยวิธีการสมดุลวงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์ การแสดงการเกิดสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมจากวงจรที่ไม่สมดุลจากผลการทดลองและการลดสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมได้อย่างมากจากการสมดุลวงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์แสดงโดยผลจากการทดลอง

**คำสำคัญ:** วงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์ที่ไม่สมดุล วงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์ที่สมดุล การเกิดสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมบนสายตัวนำ สายส่งที่ไม่สมดุล

**ABSTRACT**

General switching converter such as the simple high-side switching circuit inherently has unbalanced characteristics of impedance of transmission path, voltage at dc source and load terminals with respect to the frame ground. These unbalanced characteristic effects are the cause of unbalanced voltages at both dc source and load terminals. These unbalanced voltages will produce common-mode noise flowing through frame ground to the LISN during the active switch turn-off and on. This paper presents the analytical and experimental consideration of common-mode noise generation due to the unbalanced effect. The mechanism of common-mode noise generation due to unbalanced effect can be explained by equivalent circuit in both turn-off and turn-on time of the active switch. For common-mode noise reduction, the method for balancing the switching converter is also presented. Common-mode noise generated due to the effect of circuit imbalance is clarified by the

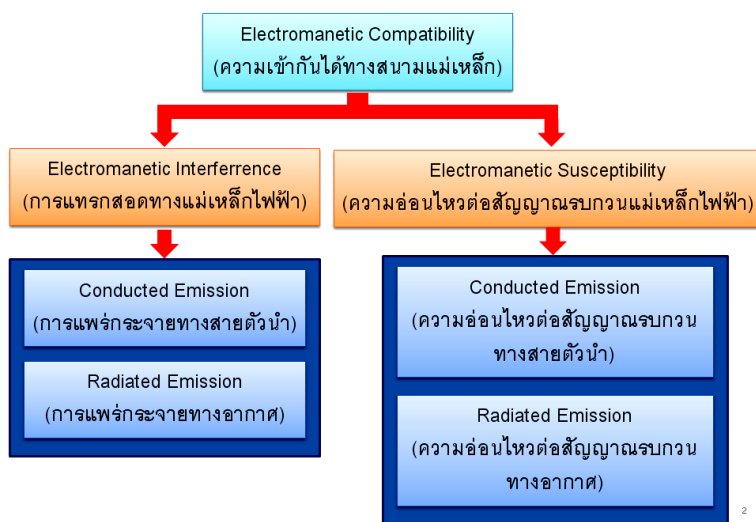
<sup>1</sup> อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์  
ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี e-mail: terdsak.int@gmail.com

experimental results. The balanced switching converter can greatly reduce the common-mode noise is also confirmed by the experimental results.

**Keywords:** Unbalanced switching converter, Conductive common-mode noise generation, Balanced switching converter, Unbalanced transmission path.

## บทนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่อง ทั้งในทางด้านการงานวิจัยและงานทางด้านภาคอุตสาหกรรม โดยอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในบ้านเรือนและทางโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้วงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งวงจรสวิตชิงเป็นแหล่งกำเนิดของการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนบนสายตัวนำ (Conducted EMI) ที่มีสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วม (Common mode noise) เป็นส่วนประกอบหลัก เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นๆ ไม่ผ่านมาตรฐานความเข้ากันทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility) ความสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวนบนสายตัวนำ สัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วม และความเข้ากันทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของความเข้ากันได้ทางสนามแม่เหล็ก

สัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าบนสายตัวนำ ซึ่งยังความสับสนและยังไม่ชัดเจน ดังนั้นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าบนสายตัวนำจึงเป็นความกังวลในวิศวกรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และการวิเคราะห์กลไกการเกิดของสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมในวงจรสวิตชิงจึงมีความจำเป็น

Ninomiya ได้นำเสนอโมเดลความถี่สูงของสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมในวงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ เขาได้แสดงการทำงานของสวิตช์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน แต่โมเดลนี้ยังไม่ได้พิจารณาเรื่องของความไม่สมดุลของวงจร (T. Ninomiya:1980), (T. Ninomiya,1985)

Qian ได้เสนอสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมที่เกิดจากกระแสแบบโหมตร่วมของทุกๆ โหนดในวงจรสวิตชิง ซึ่งในการที่จะสมดุลกระแสทุกตัวนั้นเป็นไปด้วยความยุ่งยาก (Qian Z.M., 1999), (Qian Z.M., 2000)

เมื่อเร็วนี้ Ninomiya (2003), Ninomiya (2003) ได้พยายามที่จะสมดุลวงจรสวิตซ์คอนเวอร์เตอร์ (Boost converter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วม แสดงให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมนั้นเป็นผลมาจากวงจรที่ไม่สมดุล

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ และทดลองการเกิดของสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมในวงจรสวิตชิงในมุมมองของวงจรที่ไม่สมดุล เพราะในวงจรที่ไม่สมดุลทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมประสิทธิภาพการลดสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมบนสายตัวนำด้วยการสมดุลวงจรยืนยันได้จากผลการทดลอง

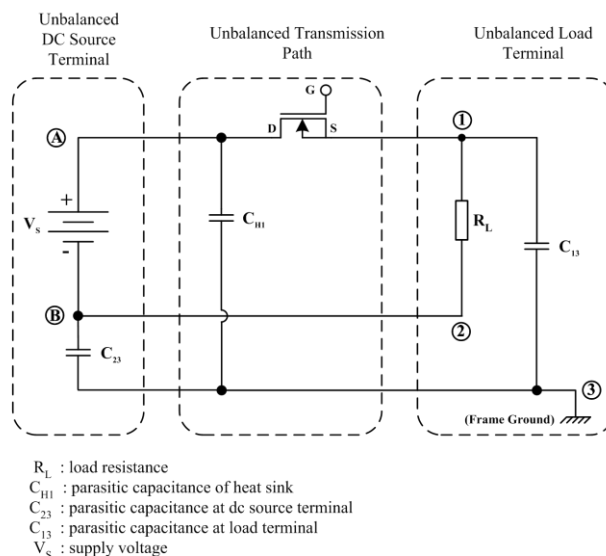
### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากลไกการเกิดสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมในวงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์
2. เพื่อวิเคราะห์สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในวงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ที่สมดุลและไม่สมดุล

### วิธีดำเนินการวิจัย

วงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่สมดุลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบ High-side สวิตซ์เป็นเพาเวอร์ MOSFET ต่อกับโหลดความต้านทาน แสดงดังในรูปที่ 2 จากรูปที่ 2 จะเกิดความไม่สมดุล 3 แบบในวงจร

- (ก) ความไม่สมดุลที่สายส่ง (Transmission line imbalanced),
- (ข) ความไม่สมดุลที่แหล่งจ่าย (DC source terminals imbalanced)
- (ค) ความไม่สมดุลที่โหลด (Load terminals imbalanced)

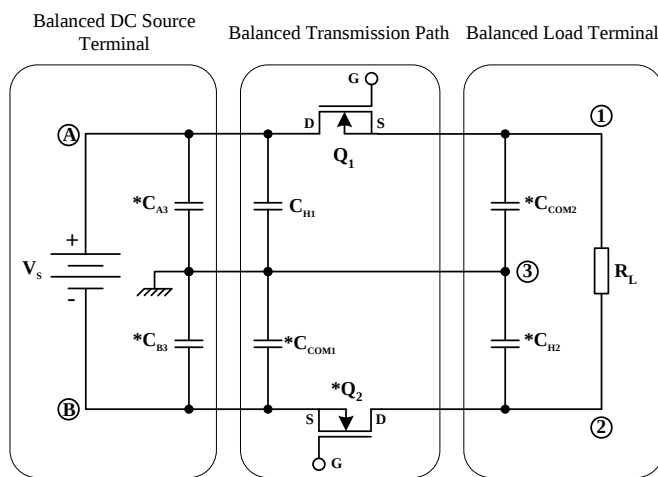


รูปที่ 2 แสดงวงจรสมดุลของวงจรสวิตชิงที่ไม่สมดุล

ความไม่สมดุลที่สายส่งเป็นคุณลักษณะที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของแอดทีฟสวิตช์ต่อความถี่ที่ดับบลิวเอ็ม และผลของการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของ sending line จากค่าจาก High to Low หรือ Low to High ในขณะที่อิมพีแดนซ์ของ returning line มีค่าคงที่ ทำให้อิมพีแดนซ์ของ sending line กับ returning line เทียบกับเฟรมกราวด์เกิดการไม่สมดุล จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนแบบโหมดร่วมเกิดมาจากการที่แอดทีฟสวิตช์ทำการ “On” และ “Off” วงจร

ความไม่สมดุลที่แหล่งจ่ายไฟตรงและที่โหลดเป็นความไม่สมดุลแบบขนาน ความไม่สมดุลที่แหล่งจ่ายไฟตรงมาจากตัวเก็บประจุแฝง  $C_{23}$  ที่อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟตรงจุด B กับเฟรมกราวด์ ส่วนความไม่สมดุลที่โหลดเป็นสาเหตุมาจากตัวเก็บประจุแฝง  $C_{13}$  ที่อยู่ระหว่างโหลดจุด 1 และเฟรมกราวด์

ส่วนวงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่สมดุลที่ใช้ในการทดลองมีโครงสร้างวงจรแสดงดังรูปที่ 3



\* is used to indicate the component added into the converter unbalanced circuit for balancing the three parts of circuit,  $C_{A3}$  and  $C_{B3}$ ,  $C_{COM1}$  and  $Q_2$ ,  $C_{COM2}$  and  $C_{H2}$  that are used to balanced the dc source terminal, transmission line and load terminal, respectively.

รูปที่ 3 แสดงวงจรสมมูลของวงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ที่สมดุล

## ผลการวิจัย

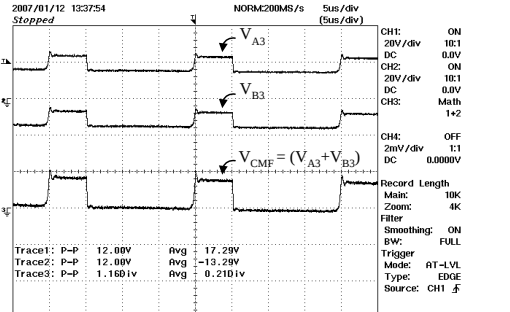
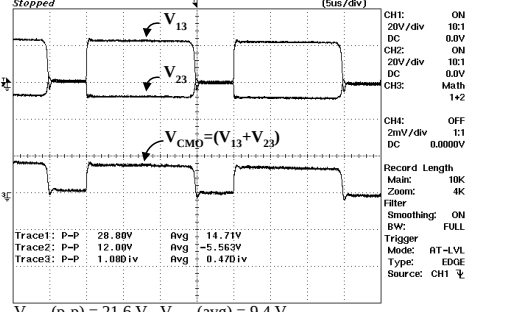
แรงดันสัญญาณรบกวนแบบโหมดร่วมจะเกิดขึ้นเวลาที่สวิตช์ turn-on และ turn-off (จาก transmission path unbalanced) ซึ่งจะทำให้เกิดการชาร์จและดิสชาร์จ กระแสไหลผ่านเฟรมกราวด์ กลไกการเกิดสัญญาณรบกวนแบบโหมดร่วมพิจารณาได้จากวงจรสมมูลของวงจรที่ไม่สมดุลเมื่อแอดทีฟสวิตช์ turn-on และ turn-on

Figure 1 shows the equivalent circuit diagram of a transmission line. The circuit includes a voltage source  $V_s$  connected to a series impedance  $Z_{CIR}$  (sending line impedance). The circuit is divided into two main sections by a central node (3). The top section contains a capacitor  $C_{H1}$  in series with a parallel combination of capacitor  $C_{13}$  and a load resistor  $R_L$ . The bottom section contains a parallel combination of capacitor  $C_{23}$  and a series impedance  $Z_{RTN}$  (returning line impedance). Currents are labeled:  $i_{dm}$  is the total current from the source;  $i_{cm}$  is the current through  $C_{H1}$ ;  $i_{dm1}$  is the current through  $R_L$ ; and  $i_{dm2}$  is the current through  $C_{23}$ . The diagram also shows nodes 1, 2, 3, and 4, and a dashed oval around  $C_{H1}$  and  $C_{13}$ .

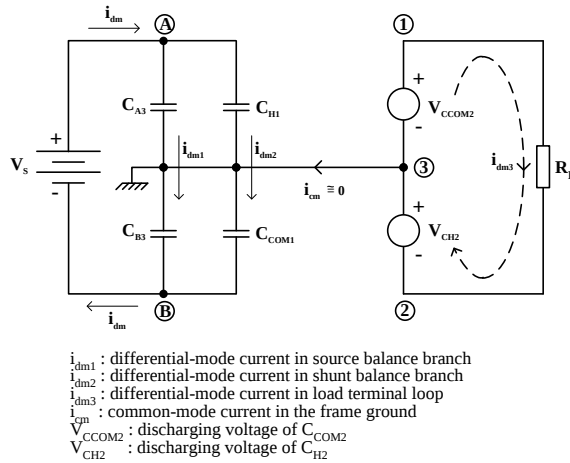
$Z_{CIR}$  : sending line impedance  
 $Z_{RTN}$  : returning line impedance

5

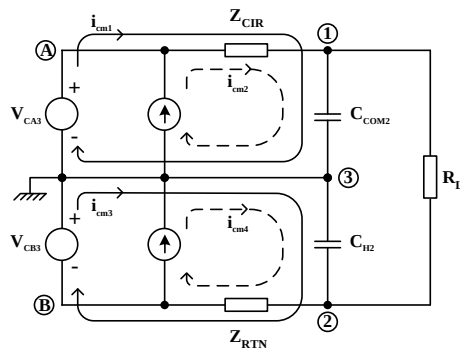
ตารางที่ 1 แสดงการวิเคราะห์สวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่สมดุล

| ขณะที่ MOSFET (Q <sub>1</sub> ) turn-off                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ขณะที่ MOSFET (Q <sub>1</sub> ) turn-on                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Z_{32} = \frac{1 + R_L C_{13} S}{S(C_{13} + C_{23} + C_{13} C_{23} R_L S)}$ $Z_{AB} = \frac{(1 + SC_{H1} Z_{32})}{SC_{H1}}$ $I_{dm} = \frac{V_S}{Z_{AB}} = \frac{V_S SC_{H1}}{1 + SC_{H1} Z_{32}}$ $V_{A3} = I_{dm} Z_{CH1} = \frac{V_S}{1 + SC_{H1} Z_{32}} \quad (1)$ $V_{3B} = -V_{B3} = I_{dm} Z_{32} = V_S \cdot \frac{SC_{H1} Z_{32}}{(1 + SC_{H1} Z_{32})} \quad (2)$ $ V_{A3}  >  V_{3B}  \quad (3)$ <p>สมการที่ 3 แสดงความไม่สมดุลของแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟตรง เป็นผลทำให้เกิดแรงดันสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมคือ</p> $V_{CMF} = (V_{A3} + V_{B3}) \quad (4)$ <p>โดยที่ V<sub>CMF</sub> คือ แรงดันสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมวัดเทียบกับเฟรมกราวด์ และสามารถวัดโดยออสซิลโลสโคปดังในรูป 6</p>  <p>V<sub>CMF</sub>(p-p) = 23.2 V, V<sub>CMF</sub>(avg) = 4.2 V</p> | $i_{dm} = i_{dm1} + i_{dm2}$ $Z_{12} = \frac{R_L (C_{13} + C_{23})}{C_{13} + C_{23} + R_L C_{13} C_{23} S}$ $I_{dm} = \frac{V_S}{Z_{CIR} + Z_{RTN} + Z_{12}}$ $I_{dm2} = I_{dm} \cdot \frac{R_L C_{13} C_{23} S}{C_{13} + C_{23} + R_L C_{13} C_{23} S}$ $V_{13} = Z_{C13} (I_{dm2} + I_{cm}) = \frac{1}{SC_{13}} (I_{dm2} + I_{cm}) \quad (6)$ $V_{32} = -V_{23} = I_{dm2} Z_{C23} = I_{dm2} \frac{1}{SC_{23}} \quad (7)$ $ V_{13}  >  V_{23}  \quad (8)$ <p>เมื่อ Z<sub>C13</sub> = Z<sub>C23</sub></p> <p>สมการที่ 8 แสดงการไม่สมดุลแรงดันของโหลดที่เกิดจากแรงดันสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วม ดังสมการ</p> $V_{CMO} = (V_{13} + V_{23}) \quad (9)$ <p>โดยที่ V<sub>CMO</sub> คือ แรงดันสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมวัดเทียบกับเฟรมกราวด์ และสามารถวัดโดยออสซิลโลสโคปดังในรูป 7</p>  <p>V<sub>CMO</sub>(p-p) = 21.6 V, V<sub>CMO</sub>(avg) = 9.4 V</p> |
| <p>รูปที่ 6 แสดงแรงดันแบบโหมตร่วม (V<sub>CMF</sub>) เมื่อ MOSFET (Q<sub>1</sub>) turn-off</p> $V_{AB} = (V_{A3} - V_{B3}) \quad (5)$ <p>เมื่อ V<sub>AB</sub> คือ แรงดันโหมตผลต่างที่คร่อมแหล่งจ่ายไฟตรง</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>รูปที่ 7 แสดงแรงดันแบบโหมตร่วม (V<sub>CMO</sub>) เมื่อ MOSFET (Q<sub>1</sub>) turn-on</p> $V_{12} = (V_{13} - V_{23}) \quad (10)$ <p>เมื่อ V<sub>12</sub> คือ แรงดันโหมตผลต่างที่คร่อมโหลด</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

รูปที่ 8 และรูปที่ 9 ใช้ในการวิเคราะห์วงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่สมดุล ใน 2 สถานะคือขณะที่สวิตช์ MOSFET  $Q_1$  และ  $Q_2$  turn-on และ turn-off ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์วงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ที่สมดุล ใน 2 สถานะ แสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 8 แสดงวงจรสมมูลของวงจรสวิตชิงที่สมดุล  
เมื่อ MOSFET ( $Q_1$  and  $Q_2$ ) turn-off



$$Z_{CIR} = Z_{RTN} = Z_o^2 / \Delta Z, \quad Z_o: \text{characteristic impedance of transmission path}$$

$\Delta Z$  : transition impedance of active switch

$i_{cm1}$  : common-mode current in the upper loop

$i_{cm3}$  : common-mode current in the lower loop

$i_{cm2}$  : common-mode current from parasitic capacitance of heat sink ( $C_{H1}$ )

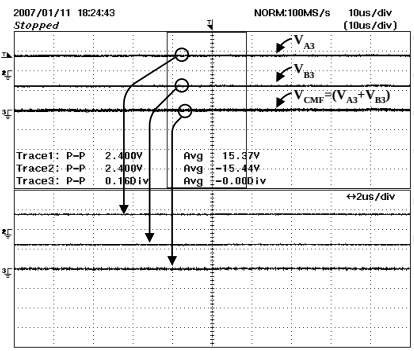
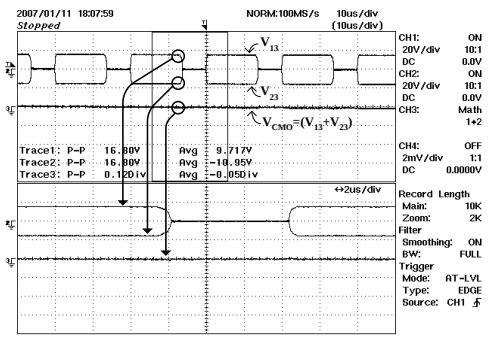
$i_{cm4}$  : common-mode current from compensation capacitance ( $C_{COM1}$ )

$V_{CA3}$  : discharging voltage of source balance capacitor ( $C_{A3}$ )

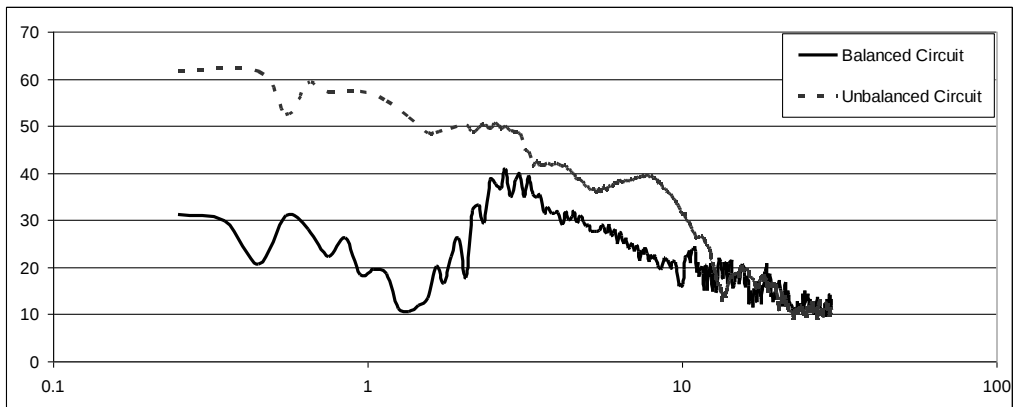
$V_{CB3}$  : discharging voltage of source balance capacitor ( $C_{B3}$ )

รูปที่ 9 แสดงวงจรสมมูลของวงจรสวิตชิงที่สมดุล  
เมื่อ MOSFET ( $Q_1$  and  $Q_2$ ) turn-on

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์สวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ที่สมดุล

| ขณะที่ MOSFET (Q <sub>1</sub> and Q <sub>2</sub> ) turn-off                                                                                                                                                                                                        | ขณะที่ MOSFET (Q <sub>1</sub> and Q <sub>2</sub> ) turn-on                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $V_{A3} = i_{dm} \cdot Z_{A3} = i_{dm} \frac{1}{S(C_{A3} + C_{H1})} \quad (11)$                                                                                                                                                                                    | $V_{13} = Z_{COM2} (i_{cm1} + i_{cm2}) \quad (15)$                                                                                                           |
| $V_{3B} = -V_{B3} = i_{dm} \cdot Z_{B3} = i_{dm} \frac{1}{S(C_{B3} + C_{COM1})} \quad (12)$                                                                                                                                                                        | $V_{32} = -V_{23} = Z_{CH2} (i_{cm3} + i_{cm4}) \quad (16)$                                                                                                  |
| $ V_{A3}  =  V_{B3}  \quad (13)$                                                                                                                                                                                                                                   | $ V_{13}  =  V_{23}  \quad (17)$                                                                                                                             |
| $V_{CMF} = (V_{A3} + V_{B3}) = 0 \quad (14)$                                                                                                                                                                                                                       | $V_{CMO} = (V_{13} + V_{23}) = 0 \quad (18)$                                                                                                                 |
| <p>โดยที่ <math>Z_{A3} = Z_{B3}</math> และ <math>(C_{A3} + C_{H1}) = (C_{B3} + C_{COM1})</math></p>                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                              |
| <p>สมการที่ 13 แสดงการสมดุลที่แหล่งจ่ายแรงดัน (<math>V_{A3}=V_{B3}</math>) เมื่อแรงดันแบบโหมตร่วมที่เกิดขึ้นระหว่างเฟรมกราวมีค่าเป็นศูนย์ <math>V_{CMF}</math> สามารถวัดได้โดยดิจิตอลออสซิลโลสโคปดังในรูปที่ 10</p>                                                |                                                                                                                                                              |
| <p>ในวงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ที่สมดุล ขณะที่ (Q1 and Q2) turn-on <math>V_{13}</math> และ <math>V_{23}</math> จะมีขนาดที่เท่ากัน แต่จะกลับเฟสกัน จึงทำให้สัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วม (<math>V_{CMO}</math>) มีค่าเป็นศูนย์ และสามารถวัดได้โดยออสซิลโลสโคปดังในรูป 11</p> |                                                                                                                                                              |
|                                                                                                                                                                                  |                                                                           |
| <p>รูปที่ 10 แสดงแรงดันแบบโหมตร่วม (<math>V_{CMF}</math>) ที่เกิดจากการสมดุลวงจรคอนเวอร์เตอร์ เมื่อ MOSFET (Q1 and Q2) turn-off</p>                                                                                                                                | <p>รูปที่ 11 แสดงสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วม (<math>V_{CMO}</math>) ที่เกิดจากวงจรสวิตชิงคอนเวอร์เตอร์ที่สมดุล เมื่อสวิตช์ (Q1 and Q2) turn-on มีค่าใกล้ศูนย์</p> |

สเปกตรัมความถี่ของกระแสโหมตร่วมบนสายตัวนำ เปรียบเทียบระหว่างวงจรสวิตชิงที่ไม่สมดุลกับวงจรสวิตชิงที่สมดุล จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนแบบโหมตร่วมในวงจรสวิตชิงที่สมดุลจะลดลงถึง 30 dBμV ที่ความถี่ต่ำตั้งแต่ 1 MHz และลดลงประมาณ 10 dBμV ที่ความถี่ระหว่าง 1 MHz ถึง 10 MHz ดังแสดงรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณรบกวนโหมดร่วมในวงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์ที่ไม่สมดุลกับวงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์ที่สมดุล

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ในวงจรสวิตช์คอนเวอร์เตอร์ทั่วไปจะมีองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการไม่สมดุล อยู่ 3 ส่วน คือ แหล่งจ่ายไฟตรง , ส่วนของสายส่ง และที่โหลด สัญญาณรบกวนที่เกิดในวงจรสวิตช์ที่ไม่สมดุลมีสาเหตุมาจากการ On และ Off ของแอกทีฟสวิตช์ซึ่งก็จะทำให้เกิดการชาร์จและดิสชาร์จกระแสที่ตัวเก็บประจุแฝง แล้วกระแสนี้จะไหลผ่านส่วนที่ไม่สมดุลจึงเกิดความไม่สมดุลของแรงดันที่แหล่งไฟตรงและความไม่สมดุลของแรงดันที่โหลดในขณะที่สวิตช์ turn-off และ on ผลของแรงดันที่ไม่สมดุลนี้จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (กระแส) โหมดร่วมไหลผ่านเฟรมกราวด์ไปยัง LISN

### ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยเป็นการวัดค่าแรงดันที่แสดงของความสมดุลของแรงดันที่ขั้วแหล่งจ่ายและที่ขั้วโหลดเป็นหลักซึ่งสามารถวัดด้วยออสซิลโลสโคป เพื่อที่จะได้การวิเคราะห์ที่ดีขึ้นอาจต้องเพิ่มการวัดความสมดุลของกระแสโหมดร่วมที่ออกมาขั้วแหล่งจ่ายด้วย ซึ่งจะเป็นงานที่จะทำต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร. โยธิน เปรมปรางษ์รัตน์ และ Prof. Dr. Shuichi Nitta ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสอง ผู้ที่เป็นแบบอย่างอาจารย์ของข้าพเจ้า ที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะการแก้ปัญหาต่างๆแก่ตัวข้าพเจ้า จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบคุณศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (ศทอ.) ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการทำวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

Ninomiya,T (1980). Common-Mode Noise Generation in a DC-to-DC Converter, *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. ASE-16, No.2 March , pp. 130-137.

- Ninomiya,T (1985). Surge and Noise Generation in Forward DC-to-DC Converter, *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, Vol. ASE-21, No. 5, pp. 619-630.
- Ninomiya,T, (2003). Balanced Switching Converter to Reduce Common-mode Conducted Noise, *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, pp. 1095-1099.
- Ninomiya,T (2004).Mechanism of Common-mode Noise Reduction in Balanced Boost Switching Converter, *IEEE Proc. Int Conf. Power Electronics Specialists Conference*, June, pp. 1115-1120.
- Qian,ZM. (1999). A Study of Common-Mode Noise in Switching Power Supply from a Current Balancing Viewpoint, *in Proc. IEEE APEC*, pp. 621-625.
- Qian,ZM. (2000). Novel Boost PFC with Low Common-mode EMI: Modeling and Design, *in Proc. IEEE APEC*, pp.178-181.