



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาการลดการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศจาก
คอนเวอร์เตอร์โดยวิธีปรับสมดุลวงจร

A STUDY ON REDIATED EMISSION ON REDUCTION FROM
CONVERTER USING CIRCUIT-BALANCE

นิमित บุญภิรมย์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2552

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี ขอขอบพระคุณท่าน รองศาสตราจารย์ ดร. โยธิน เปรมปราณีรัตน์ ที่ให้คำปรึกษาตลอดการทำวิจัย และขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยศรีปทุมอย่างสูงที่ให้โอกาส เวลา และสนับสนุนงบประมาณทั้งหมดในการทำวิจัยนี้

คุณประโยชน์สิ่งใดที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้จัดทำขออุทิศให้บิดรมารดา และบูรพคณาจารย์ ต่อไป

ผู้ทำวิจัย

กุมภาพันธ์ พ.ศ.2553



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย : การศึกษาการลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ผ่านอากาศจากคอนเวอเตอร์โดยวิธีปรับสมดุลวงจร

ผู้วิจัย : นาย นิमित บุญภิรมย์

หน่วยงาน : สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการศึกษาการลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศของคอนเวอเตอร์โดยการปรับสมดุล วัตถุประสงค์ของการศึกษาจะเป็นการลดสัญญาณรบกวนโหมคร่วม ด้วยการปรับความสมดุลให้กับคอนเวอเตอร์ ศึกษาสาเหตุของความไม่สมดุลของคอนเวอเตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว แบ่งประเภทของความไม่สมดุลวงจรคอนเวอเตอร์เป็นแบบไม่สมดุลแอกทิฟและไม่สมดุลพาสซีฟ วิเคราะห์การเหนี่ยวนำของแรงดันรบกวนโหมคร่วมและกระแสรบกวนโหมคร่วมปรับความสมดุลในคอนเวอเตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวโดยใช้คอนเวอเตอร์แบบสวิตช์คู่และคอนเวอเตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์ ตามลำดับ ทดลองวัดรูปคลื่นของแรงดันรบกวนโหมคร่วมเปรียบเทียบทั้งสามชนิด โดยการใช้คอนเวอเตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก วัดหาค่าแรงดันเอาต์พุทของคอนเวอเตอร์ วัดหาค่าแรงดันคลื่นที่ตกคร่อมตัวสวิตช์ของคอนเวอเตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวและสวิตช์คู่ทดลองวัดสเปคตรัมของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำและผ่านอากาศ จากคอนเวอเตอร์ทั้งสามชนิด ภายในห้องทดสอบมาตรฐานจากผลการทดลองการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ คอนเวอเตอร์แบบสวิตช์คู่สามารถลดการแพร่กระจายในระดับความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 30 เมกะเฮิรตซ์ ประมาณ 20 เดซิเบล คอนเวอเตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์สามารถลดการแพร่กระจาย ทั้งย่านความถี่ต่ำ ตั้งแต่ 0.15 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 1 เมกะเฮิรตซ์ประมาณ 10 เดซิเบล และความถี่สูงย่านความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 30 เมกะเฮิรตซ์ ประมาณ 30 เดซิเบล ส่วนการแพร่กระจายผ่านอากาศ คอนเวอเตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์ จะมีการรบกวนน้อยลง และการแพร่กระจายจะลดลง เหลือ ตลอดจน ประมาณ 10 เดซิเบล

คำสำคัญ : การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ คอนเวอเตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว คอนเวอเตอร์แบบสวิตช์คู่ คอนเวอเตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์

Research Title : A Study on Radiated Emission on Reduction from Converter using Circuit-Balance

Name of Researcher : Mr. Nimit Boonpirom

Name of Institution : Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University

Year of Publication : B.E. 2553

Abstract

The study on radiated emission on reduction from converter using circuit balance is proposed. The objective is to reduce a common mode noise emission by balancing circuit the converter. This study focuses on the effect of imbalance single switch converter, categories the imbalance circuit and balance converter circuit into active and passive structure, to analyst the common mode noise voltage and differential mode noise current. Moreover, the double switches converter and hybrid balance converter are employed to improve the imbalance circuit of single switch converter. The time domain experimental results of each convert show the improvement of waveform of output voltage, stress switching devices voltage and common mode noise voltage of each converter. In addition, the spectrum of conducted emission testing results of double switch converter and hybrid balance converter show the achievement of spectrum reduction as: 10 dB. appoximately in range 1MHz-30 MHz. on double switch converter and 20 dB. in range 0.15MHz-30 MHz. approximately on hybrid balance converter respectively. Finally, the spectrum of radiated testing results of each converter also illustrate the successful of spectrum reduction as: 10 dB. in range 10 MHz.- 1GHz. Approximately.

Keywords : Conducted Noise Emission, Radiated Noise Emission, Single Switch Converter, Double Switch Converter and Hybrid balance Converter.

สารบัญ

1	บทนำ.....	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	1.3 คำถามการวิจัย	2
	1.4 สมมุติฐานการวิจัย	2
	1.5 ขอบเขตการวิจัย	2
	1.6 นิยามศัพท์	3
2	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
	2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย	6
	2.2 การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	7
	2.3 การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำ.....	9
	2.4 การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ.....	9
	2.5 การแพร่กระจายของกระแสบกววน โหมดต่าง.....	10
	2.6 การแพร่กระจายของกระแสบกววน โหมดร่วม.....	12
	2.7 คุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ.....	15
	2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
3	ระเบียบวิธีการวิจัย	20
	3.1 แนวคิดและการปรับความไม่สมดุลของคอนเวอเตอร์.....	20
	3.2 ความไม่สมดุลของคอนเวอเตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว.....	23
	3.3 ความสมดุลแบบแอกทีฟของคอนเวอเตอร์แบบสวิตช์คู่.....	27
	3.4 การปรับความสมดุลของคอนเวอเตอร์แบบสวิตช์คู่โดยใช้การปรับสมดุล แบบไฮบริดจ์.....	30
4	การทดลองและผลการทดลอง.....	35
	4.1 การทดลองวัดคลื่นแรงดันและกระแสของคอนเวอเตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว และคอนเวอเตอร์สวิตช์คู่.....	35

สารบัญ (ต่อ)

4.2	อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง.....	36
4.3	การทดลองที่ 1 การวัดค่ารูปคลื่นของแรงดันเอาต์พุตที่ขั้วโหลดและ กระแสที่โหลด.....	37
4.4	การทดลองที่ 2 การวัดค่ารูปคลื่นของแรงดันเอาต์พุตที่ขั้วโหลดและ แรงดันระหว่างขาเดรนและซอสของมอสเฟตที่ใช้เป็นสวิตช์.....	41
4.5	การทดลองที่ 3 การวัดรูปคลื่นของแรงดันรบกวนโหมคร่วมที่ขั้ว คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวและคอนเวอร์เตอร์แบบสมดุล ไฮบริดจ์.....	43
4.6	การทดลองวัดการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ.....	47
4.7	การทดลองวัดการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ...	51
5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	57
	บรรณานุกรม.....	59
	ประวัติย่อผู้เขียน.....	61

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	รายละเอียดการทดลองการวัดเพื่อเปรียบเทียบรูปคลื่นแรงดันและกระแสอาทิตย์พุกที่ โหลระหว่างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวและวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ สวิตช์คู่.....	36
4.2	ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการทดลอง.....	36



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 การเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบแกนในลักษณะต่าง ๆ.....	8
2.2 เส้นทางการเดินของกระแสบริเวณโหมดต่าง.....	11
2.3 การส่งผ่านสนามแม่เหล็กของกระแสบริเวณ โหมดต่าง.....	12
2.4 เส้นทางการเดินของกระแสในการเชื่อมต่อสัญญาณแบบโหมดร่วม.....	13
2.5 วงจรสมมูลของแหล่งจ่ายและสมมูลโหลด.....	15
2.6 ทิศทางการไหลของกระแสบริเวณ โหมดร่วมและกระแสบริเวณ โหมดต่าง.....	16
2.7 ทิศทางการไหลของกระแสบริเวณ โหมดร่วมและกระแสบริเวณ โหมดต่าง.....	16
2.8 ห้องทดสอบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ.....	18
2.9 เสาอากาศที่ใช้ในการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศในห้อง ทดสอบ.....	18
3.1 แนวคิดของความสมดุลและไม่สมดุลของวงจรคอนเวอเตอร์.....	21
3.2 คอนเวอเตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว.....	23
3.3 วงจรสมมูลของความไม่สมดุลของวงจรคอนเวอเตอร์ แบบสวิตช์เดี่ยว.....	25
3.4 วงจรสมมูลของความสมดุลของวงจรคอนเวอเตอร์ แบบสวิตช์คู่.....	28
3.5 โครงสร้างของคอนเวอเตอร์แบบสวิตช์คู่.....	29
3.6 โครงสร้างของคอนเวอเตอร์ที่มีการปรับความสมดุลแบบไฮบริดจ์.....	31
3.7 โครงสร้างของคอนเวอเตอร์แบบสวิตช์คู่โดยใช้การปรับความสมดุลแบบ ไฮบริดจ์.....	33
4.1 วงจรคอนเวอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	38
4.2 แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์และกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ในสภาวะเปิด.....	39
4.3 แรงดันที่ขั้วโหลดและกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ในสภาวะปิด.....	40
4.4 แรงดันที่ขั้วโหลดและแรงดันที่ตกคร่อมไดรฟ์ของมอเตอร์ขณะสวิตช์เปิด.....	42
4.5 แรงดันที่ขั้วโหลดและแรงดันที่ตกคร่อมไดรฟ์ของมอเตอร์ขณะสวิตช์ปิด.....	43

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.6 แรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์และกระแสที่ไหลผ่านตัวสวิตช์.....	45
4.7 ภาพขยายเพื่อหาคาบเวลาเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกคร่อมสวิตช์ในและกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ขณะที่สวิตช์เปิด.....	46
4.8 โครงสร้างของการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ.....	47
4.9 เครื่องมือวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ.....	48
4.10 สเปกตรัมของสัญญาณรบกวนโหมมต่างและโหมมร่วม.....	49
4.11 สเปกตรัมของสัญญาณรบกวนโหมมร่วมคอนเวอร์เตอร์แบบสมมูลไฮบริดจ์.....	50
4.12 โครงสร้างของการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศในห้องปฏิบัติการทดสอบการแพร่กระจาย.....	52
4.13 โครงสร้างของการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศในห้องปฏิบัติการทดสอบการแพร่กระจาย.....	52
4.14 สเปกตรัมการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว.....	53
4.15 สเปกตรัมการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่.....	54
4.16 สเปกตรัมการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสมมูลไฮบริดจ์.....	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นับว่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้เสมอในบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าจากเครื่องจักรกลไฟฟ้าจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์อุปกรณ์จำพวกสื่อสารหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอนเวอร์เตอร์ผลกระทบของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแพร่กระจายรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์สื่อสารบริเวณใกล้เคียงหรือบริเวณที่อาจจะส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปถึงจะมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดกับการทำงานของอุปกรณ์และอาจทำให้ชำรุดเสียหายได้รวมถึงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอาจจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์ ถ้าจำนวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมีปริมาณมากและได้รับผลกระทบเป็นเวลานาน

คอนเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าจำพวกอิเล็กทรอนิกส์กำลังประเภทหนึ่ง ที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านกำลังหรือขับเคลื่อนอุปกรณ์ไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าทั้งขนาดกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ทั้งระบบไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ คอนเวอร์เตอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดขนาดและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งเป็นการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแบบดั้งเดิม เป็นที่ทราบคืออยู่แล้วว่าผลของการใช้เทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะมีผลกับคุณภาพของระบบไฟฟ้าทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์และทำให้การการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คอนเวอร์เตอร์ก็เป็นอุปกรณ์ประเภทดังกล่าว ที่สร้างผลกระทบกับคุณภาพระบบไฟฟ้าอย่างยิ่งการทำงานของคอนเวอร์เตอร์จะทำการเปิดปิดวงจรย่านความถี่สูงด้วยการขับเคลื่อนแบบพัลส์วามอดูเลชัน(Pulse Width Modulation: PWM)และจะส่งผ่านกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ไปยังโหลดด้วยการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาสั้นๆ นี้จะส่งผลทำให้เกิดการรั่วไหลของกระแสรบกวนโหมคร่วม ระหว่างค่าประจุแฝง (Parasitic Capacitance) ซึ่งเป็นค่าประจุภายในของอุปกรณ์สวิตซิ่ง กับเฟรม กราวด์ กระแสรบกวนโหมคร่วมนี้ จะทำให้เกิดกระแสไหลวนสูงขึ้นระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับของคอนเวอร์เตอร์หลายรูป ผลของความแตกต่างระหว่างค่ากระแสรบกวนโหมคร่วมในแต่ละรูป จะทำให้เกิดกระแสรบกวนโหมคร่วมต่างขึ้น กระแสรบกวนโหมคร่วมและกระแสรบกวนโหมคร่วมนี้ เป็นสาเหตุหลักในการสร้างสัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านในตัวนำ(Conducted Emission) ไหลกลับไปสู่ระบบไฟฟ้ารบกวนระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ที่อยู่ข้างเคียง และเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านไปสู่อากาศ (Radiated Emission) ด้วยเช่นกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อพัฒนาวิธีการลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศในวงจรคอนเวอร์เตอร์
- เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ ในคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว และ คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่
- เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของกระแสรบกวน โหมดร่วมที่มีผลต่อการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำและการแพร่กระจายผ่านอากาศ

1.3 คำถามการวิจัย

ผลของการปรับปรุงความสมดุลเพื่อลดกระแสรบกวน โหมดร่วม จะมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศหรือไม่อย่างไร และ กระแสรบกวนโหมดต่างและกระแสรบกวนโหมดร่วมมี ผลต่อการแพร่กระจายคลื่นรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำและมีผลต่อการกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ หรือไม่อย่างไร

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

การปรับปรุงความสมดุลเพื่อลดกระแสรบกวน โหมดร่วม นอกจากจะมีผลทำให้การแพร่ของคลื่นรบกวนกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำลดลงและส่งผลให้การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศลดลงอีกด้วย และการปรับความสมดุลของวงจรคอนเวอร์เตอร์ เป็นการลดค่ากระแสรบกวน โหมดร่วม ซึ่งมีบทบาทสำคัญของการเกิดการแพร่กระจายของคลื่นรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองชนิด

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- กลุ่มเป้าหมายหรือประชากร

คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่และคอนเวอร์เตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์

- เนื้อหาของการวิจัย

- ก. สร้างคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว ขนาด 300 วัตต์ เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 200 วัตต์ 30 โวลต์
- ข. สร้างคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่ ขนาด 300 วัตต์ ขับเคลื่อนโหลดเช่นเดียวกับข้อ ก.

ค. สร้างคอนเวอร์เตอร์แบบสมมูลไฮบริดจ์ ขับเคลื่อนโหลดเช่นเดียวกันกับข้อ ก.
ง. วิเคราะห์และทดลองการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำและทดสอบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศจากผลของกระแสบกวนโหมคร่วมเปรียบเทียบกันระหว่างในคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 3 แบบ ในศูนย์ทดสอบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามมาตรฐาน

ระยะเวลา

1 ปี

1.6 นิยามศัพท์

- **การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference :EMI)**

การเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference: EMI) จากการเปลี่ยนแปลงสถานะของแรงดัน และกระแสในวงจร ซึ่งมีผลมาจากแหล่งจ่ายความถี่สูงแบบสวิตชิง หรือการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของวงจร ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ผลจากการเปลี่ยนแปลงสถานะนี้จะเกิดการเชื่อมโยงของสายตัวนำในรูปแบบต่างๆ

- **การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ (Conducted Emission)**

จะเป็นการแพร่กระจายผ่านไปยังแหล่งจ่ายหลัก และย้อนกลับเข้าไปในโครงข่ายของระบบ ระบบส่งกำลังจะเป็นสัญญาณไซน์ คลื่นความถี่สูงนี้จะผสมเข้าไปในสัญญาณ ไซน์และไปรบกวนอุปกรณ์อื่น เช่นคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ทำให้อุปกรณ์ป้องกันนั้นไม่สามารถทำงานได้ตรงตามเป้าหมาย

- **การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ (Radiated Emission)**

การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ ผ่านอากาศ โดยตัวนำหรือตัวระบายความร้อน จะมีหน้าที่เป็นเสาอากาศส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงตั้งแต่ 30 MHz – 2GHz เมื่อมีตัวนำไฟฟ้า ของอุปกรณ์ใกล้เคียงก็จะทำหน้าที่เป็นเครื่องรับสัญญาณแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและเกิดการรบกวนเช่นเดียวกับกรณีแรก

- **การแพร่กระจายจากสัญญาณรบกวนโหมคร่วม (Common Mode Noise Emission)**

การเกิดสัญญาณรบกวนในโหมคร่วม เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของจังหวะการสวิตช์ ของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นสถานะการ เปิด และปิดของสัญญาณ PWM จะทำให้เกิดการรั่วไหล กระแสรบกวนโหมคร่วมผ่านค่าประจุแฝง (Parasite Capacitance) ของ อุปกรณ์สวิตซ์ลงสู่เฟรม กราวด์ หรือจะเป็นประจุแฝง ที่ตำแหน่งอื่นๆของวงจร เช่น ที่ขั้วของโหลด เป็นต้น

- **การแพร่กระจายจากสัญญาณรบกวนโหมคต่าง (Differential Mode Noise Emission)**

การเกิดสัญญาณรบกวนประเภทนี้จะเกิดขึ้นที่ตัวนำของสายส่งระหว่างตัวนำส่ง (Sending Line) และตัวนำกลับ (Returning Line) ทางเดินของการเกิดสัญญาณรบกวน จะมีลักษณะเป็น วงจรปิด หรือเป็นลูป เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะเกิดคลื่นแม่เหล็กคล้องและเชื่อมโยง ไปสู่วงจรใกล้เคียง การเชื่อมโยงชนิดนี้จะเป็นการเชื่อมโยงแบบการเหนี่ยวนำ (Inductive Coupling) แหล่งการกำเนิดสัญญาณจะเกิดจากสัญญาณหลักของวงจร การเปลี่ยนแปลงแรงดันของสัญญาณ นาฬิกา หรือ สัญญาณ PWM เป็นต้น

- **คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว (Single Switch Converter)**

คอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานแบบบักคอนเวอร์เตอร์ มีการติดตั้งสวิตช์หรืออุปกรณ์สวิตซ์ 1 ตัว ระหว่างแหล่งจ่ายและโหลดผ่านสายตัวนำส่ง (Sending Line) โดยที่สายตัวนำกลับ (Returning Line) ไม่มีการตัดตอน ทำให้เกิดความไม่สมดุล ในจังหวะการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ ซึ่งถือว่าเป็น สาเหตุสำคัญของการเกิดการไหลของกระแสรบกวนโหมคร่วม โดยทั่วไปอุปกรณ์สวิตซ์จะใช้ มอสเฟตกำลังหรือ ไอจีบีที ทำงานเปิดปิด แบบ chopper ด้วยสัญญาณ PWM ความถี่ประมาณ 10 - 100 kHz การจะเลือกใช้มอสเฟตกำลังหรือ ไอจีบีทีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน ถ้าเป็นการจ่าย โหลดกำลังสูง ๆ จะใช้ IGBT ส่วนถ้าโหลดกำลังต่ำ ๆ จะใช้มอสเฟตกำลัง ในงานวิจัยฉบับนี้ จะใช้ มอสเฟตกำลัง สัญญาณ PWM ขนาด 10 kHz

- **คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่ (Double Switch Converter)**

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานแบบบักคอนเวอร์เตอร์ มีการติดตั้งสวิตช์หรืออุปกรณ์สวิตซ์ 2 ตัวอาจจะใช้อุปกรณ์มอสเฟตกำลังหรือ IGBT ทำการตัดตอนวงจร 2 ตำแหน่ง คือ ติดตั้งระหว่าง สายตัวนำส่ง (Sending Line) กับ โหลด และที่สายตัวนำกลับ (Returning Line) ระหว่างโหลดกลับไป ที่แหล่งจ่าย ทำงานด้วยสัญญาณ PWM ในจังหวะที่พร้อมกันหรือชิงโครโนซ์ กัน เป็นการปรับ ความสมดุลแบบแอคทีฟ (Active Balance) ด้วยสวิตซ์ทั้งสองตัว มีผลทำให้กระแสรบกวนโหมค

ร่วมจะร่วไหลลงที่เฟรมกราวด์ พร้อม ๆ กัน และจะเกิดการหักล้างกันที่เฟรมกราวด์ในจังหวะเปิดและปิด ซึ่งเราถือว่าเป็นการทำงานแบบแอคทีฟ

- **คอนเวอร์เตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์ (Double Switch Converter with Hybrid Balance)**

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานแบบบัคคอนเวอร์เตอร์คล้ายกับคอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์คู่ทุกประการ คือมีการติดตั้งสวิทช์หรืออุปกรณ์สวิทช์ 2 ตัวด้วยมอสเฟตกำลัง ติดตั้งที่สายตัวนำส่ง (Sending Line) และ สายตัวนำกลับ(Returning Line) ทำงานด้วยสัญญาณ PWM จังหวะที่พร้อมกันเช่นกัน หรือที่เรียกว่าเป็นการปรับความสมดุลแบบแอคทีฟ(Active Balance) ด้วยสวิทช์ทั้งสองตัว นอกจากนี้จะมีการปรับสมดุลในส่วนของพาสซีฟ โดยการปรับค่าอิมพีแดนซ์ ระหว่างสายนำส่งและสายนำกลับที่แหล่งจ่าย ให้มีศักดาเท่ากัน โดยการเพื่ค่าระหว่างสายนำส่งและสายนำกลับด้วยการติดตั้งตัวประจุ ทั้งสองตำแหน่งทั้งส่วนแหล่งจ่ายและส่วนที่หน้าโหลด ให้เกิดความสมดุลเมื่อเทียบกับเฟรมกราวด์ จากผลของการสร้างสมดุลดังนี้จะทำให้กระแสรบกวนโหมคร่วมเกิดการหักล้างกันที่วงจรสมดุลที่แหล่งจ่าย และวงจรสมดุลที่โหลดได้เช่นเดียวกับการสมดุลของสวิทช์หรือแบบแอคทีฟ

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่จะวิจัย

ในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ นิยมใช้การควบคุมการทำงานด้วยการสวิตช์ที่ความถี่สูง เพื่อประโยชน์ของการลดการสูญเสียทางกำลังไฟฟ้า และสามารถลดขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้มีขนาดเล็กลงได้ แต่ในทางตรงกันข้าม ผลกระทบของความถี่สูงที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้เกิดการแผ่กระจายแม่เหล็กไฟฟ้าออกสู่ภายในวงจรและออกสู่ภายนอกอุปกรณ์ใกล้เคียง อาจจะแพร่ได้ในวิธีการต่าง ๆ เมื่ออุปกรณ์ใกล้เคียงที่มีค่าความไวในการรับสูง หรือมีความอ่อนแอต่อการต้านสัญญาณรบกวน ก็จะทำให้การความผิดพลาดของการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้น ตัวอย่างเช่น การทำงานของเครื่องมือแพทย์ ต้องการความแม่นยำในการทำงานสูง ถ้าเครื่องมือชิ้นนั้นไม่สามารถต้านการรบกวนได้ ก็จะเกิดอันตรายอย่างยิ่ง ถ้าเครื่องมือชิ้นนั้นได้รับสัญญาณรบกวนและทำงานผิดพลาด ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึง คำศัพท์ที่สำคัญของการศึกษาด้าน EMC โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็ก (Electromagnetic Compatibility: EMC) หมายถึง ความสามารถของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ ในการรับผลกระทบของการรบกวนคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำงานได้อย่างปกติ

- การแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference: EMI) หมายถึง การแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน โดยอาจมีการแพร่ผ่านตัวนำ (Conducted Emission) หรือแพร่ผ่านอากาศ (Radiated Emission)

- ความสามารถในการต้านทานการรบกวนคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Susceptibility หรือ Electromagnetic Immunity: EMS)

ลักษณะของการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI จะมีลักษณะการแผ่กระจายได้ 2 ทาง คือ การแผ่กระจายผ่านสายตัวนำ (Conducted Emission) อาจกล่าวได้ว่าการแผ่กระจายผ่านสายตัวนำนี้จะเป็นการแผ่กระจาย จากต้นเหตุของการรบกวนของกระแสรบกวนโหมคร่วม (Common mode noise current) และกระแสรบกวนโหมคต่าง (Differential mode current) ย้อนกลับเข้าไปในแหล่งจ่ายหลักของระบบ และส่งผลไปสู่บริเวณใกล้เคียงที่ใช้แหล่งจ่ายนี้ จากการเกิดในตัวนำ ถ้ากล่าวอย่างกว้าง ๆ จะเห็นได้ว่าทางเดินของสัญญาณรบกวนในตัวนำผ่านตัวนำ ถ้าเกิดลูปขึ้นและ ซึ่งเปรียบตัวนำจะทำหน้าที่เป็นเสาอากาศ เพื่อแผ่สัญญาณ

รบกวน สัญญาณรบกวนนี้ก็จะแปรสภาพเป็นสัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย ความถี่ของการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำจะมีย่านอยู่ระหว่าง 9 kHz - 30 MHz และการกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศจะอยู่ในย่าน 30 MHz - 1 GHz

2.2 การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

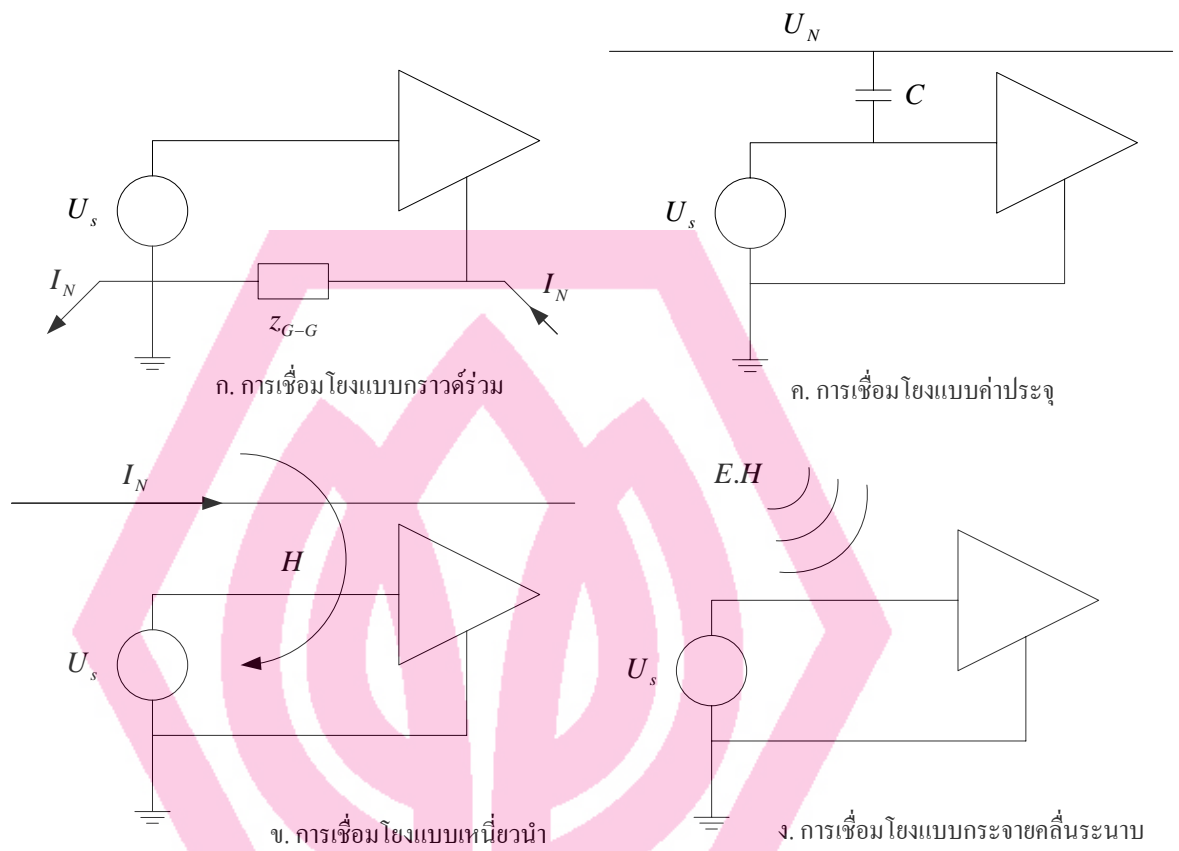
กลไกการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบนอุปกรณ์สามารถแบ่งแยกออกเป็น 4 แบบใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. การรบกวนอันมีสาเหตุจากความต่างศักย์ระหว่างกราวด์ของระบบ โดยปกติแล้วระบบหลายระบบที่นำมาต่อกันเพื่อทำงานร่วมกันจะใช้ระบบกราวด์ของตน การแยกหรือการใช้งานกราวด์ คนละระบบ เมื่อนำมาต่อเชื่อมกันจะทำให้เกิดความต่างศักย์ดกคร่อมระหว่างกราวด์ ขึ้น ผลของความต่างศักย์นี้ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กและเกิดการรบกวนทางแม่เหล็กขึ้น เราเรียกการรบกวนในโหมคนี้อันว่า Common Ground Impedance Coupling ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.1 ก

2. การรบกวนซึ่งมีสาเหตุมาจากกระแสไฟฟ้าสูงๆ ไหลผ่านตัวนำ และเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กคล้องล้อมรอบตัวนำ ตามแนวรัศมี และมีผลในการส่งพลังงานแม่เหล็กเชื่อมโยง (Mutual Coupling) ไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ตัวนำใกล้เคียง เราเรียกการรบกวนนี้ว่า Inductive Coupling ดังแสดงในรูป 2.1 ข.

3. การรบกวนอันมีสาเหตุมาจากแรงดันที่อยู่ใกล้เคียง เมื่อนำแหล่งกำเนิดที่มีแรงดันสูงๆ มาวางใกล้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จะทำให้มีความซึมซาบ แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดและวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะมีพฤติกรรม คล้ายกับตัวประจุที่มีอากาศเป็นไดอิเล็กตริก สามารถส่งสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟมายังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ เราเรียกการรบกวนนี้ว่า Capacitive Coupling ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.1 ค.

4. การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดนี้มีสาเหตุมาจากคลื่นระนาบ (Plane Wave) ซึ่งมีองค์ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เคลื่อนที่ไปรบกวนการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ข้างเคียง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.1 ง. เราเรียกการรบกวนนี้ว่า Radiated Field Coupling



ภาพประกอบที่ 2.1 การเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนในลักษณะต่าง ๆ

2.2.1 การเกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การเกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference: EMI) จากการเปลี่ยนแปลงสถานะของแรงดัน และกระแสในวงจร ซึ่งมีผลมาจากแหล่งจ่ายความถี่สูง แบบ สวิตชิง หรือการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของวงจร ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ผลจากการเปลี่ยนแปลงสถานะนี้ จะเกิดการเชื่อมโยงของสายตัวนำในรูปแบบต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว ถ้ามีการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กหรือเชื่อมโยงแบบเหนี่ยวนำ ก็จะทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณรบกวนใหม่คร่อม ถ้าเกิดการเชื่อมโยงแบบตัวประจุกระทำกับเฟรมกราวด์ จะเป็นการรบกวนแบบ โหมดต่าง ซึ่งจะได้นำเสนอในหัวข้อต่อไป ผลของการแพร่กระจายนี้จะส่งไปทางวงจรหรืออุปกรณ์ใกล้เคียงได้ 2 ทาง

- การแพร่กระจายของแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ (Conducted Emission)
- การแพร่กระจาย ของแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ (Radiated Emission)

2.3 การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ

จะเป็นการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านไปยังแหล่งจ่ายหลัก และย้อนกลับเข้าไปในโครงข่ายของระบบ ระบบส่งกำลังจะเป็นสัญญาณไซน์ คลื่นความถี่สูงนี้จะผสมเข้าไปในสัญญาณไซน์ และไปรบกวนอุปกรณ์อื่น เช่นคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ทำให้อุปกรณ์ป้องกันนั้นไม่สามารถทำงานได้ตรงตามเป้าหมาย

ในการแพร่กระจายของแม่เหล็กไฟฟ้าจากคอนเวอร์เตอร์ จะเกิดการแพร่กระจายผ่านไปยังแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของวงจร ย้อนกลับเข้าไปในระบบส่งกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้ในการประยุกต์ใช้คอนเวอร์เตอร์กับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม หรือ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม จะเกิดผลของการแพร่กระจายของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีขนาดแปรผันตามขนาดกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ระบบ ผลของการแพร่กระจายจะเชื่อมโยงไปสู่ระบบอื่น ๆ ข้างเคียงไปสู่ระบบที่มีความอ่อนไหว การการรบกวน เช่นระบบคอมพิวเตอร์ หรือ ระบบควบคุมต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม เกิดความคลาดเคลื่อนและความเสียหายต่อกระบวนการได้

กระแสรบกวนที่มีบทบาทสำคัญของการกำเนิดสัญญาณแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเป็นสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม(Common Mode Noise) เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงของสวิตช์ซึ่งจะเกิดการเชื่อมโยงกับ เฟรมกราวด์ ตัวประจุแสง ผ่านตัวระบายความร้อน ไหลลงสู่เฟรมกราวด์ นอกจากนี้ กระแสรบกวนโหมดร่วม นี้จะแปรสภาพไปเป็นกระแสรบกวนโหมดต่างอีกด้วย

การขจัดสัญญาณรบกวนในโหมดร่วมนี้ จะกระทำได้หลายวิธี เช่นการติดตั้งตัวเหนี่ยวนำหรือไอ้ค เป็นตัวกรองสัญญาณ ซึ่งจะมีผลเสียในการเกิด Inspection Loss และอาจเกิดการรีโซแนนซ์ จากความถี่ รีโซแนนซ์ ผ่านตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ติดตั้งได้ ซึ่งวิธีนี้ เป็นที่นิยมโดยทั่วไป

2.4 การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ

จากสาเหตุของการสร้างสัญญาณแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ นอกจากจะมีผลจากการแพร่กระจายกลับไปในระบบแล้ว การผ่านสายตัวนำยังมีผลทำให้เกิดการแพร่กระจายในรูปแบบคลื่นผ่านอากาศ โดยตัวนำหรือตัวระบายความร้อน จะมีหน้าที่เป็นเสาอากาศ ส่งคลื่นแทรกซ้อนของแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงตั้งแต่ 30 MHz – 2 GHz เมื่อมีตัวนำไฟฟ้า ของอุปกรณ์ใกล้เคียงก็จะทำหน้าที่เป็นเครื่องรับ สัญญาณการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและเกิดการรบกวนเช่นเดียวกับกรณีแรก

ในการคิดค้นวิธีการลดทอน การแพร่กระจายของแม่เหล็กไฟฟ้า มีด้วยกันหลายวิธี สรุปได้ดังต่อไปนี้

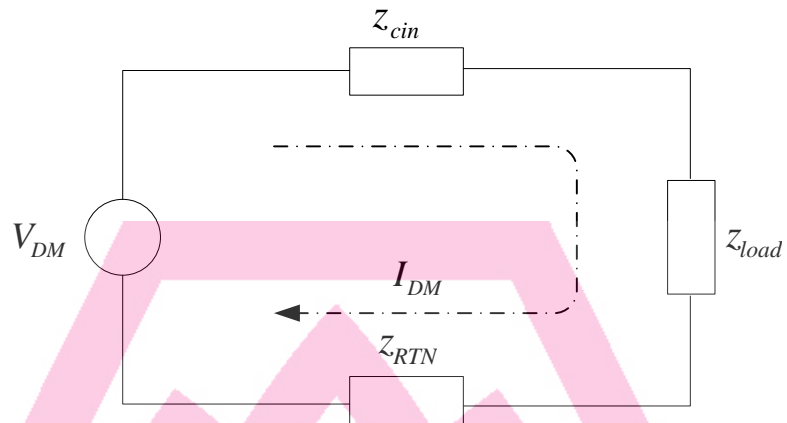
- การสร้างวัตถุปกปิด (Shielding)
- การต่อสายดิน (Grounding)
- การสร้างความสมดุล (Balancing)
- การกรองสัญญาณ (Filtering)
- การแยกส่วนวงจร (Isolation)
- การออกแบบสายตัวนำ (Cable design)
- เทคนิคการขจัดสัญญาณรบกวน (Cancellation Technique)

อย่างไรก็ตาม การลดทอน การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยวิธีการที่สรุปมาทั้งหมด มิได้หมายถึงการสามารถกำจัดได้หมดสิ้น เป็นเพียงแค่การลดทอนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ให้มีค่าต่ำลงจนถึงจุดที่ยอมรับได้หรือถึงจุดที่ไม่เกิดการรบกวน (Interference) กันเกิดขึ้นนั่นเอง และนอกจากนั้น การที่จะทำให้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าวลดลงจนถึงจุดที่ยอมรับได้นั้น อาจจะต้องทำหลายวิธีประกอบกัน

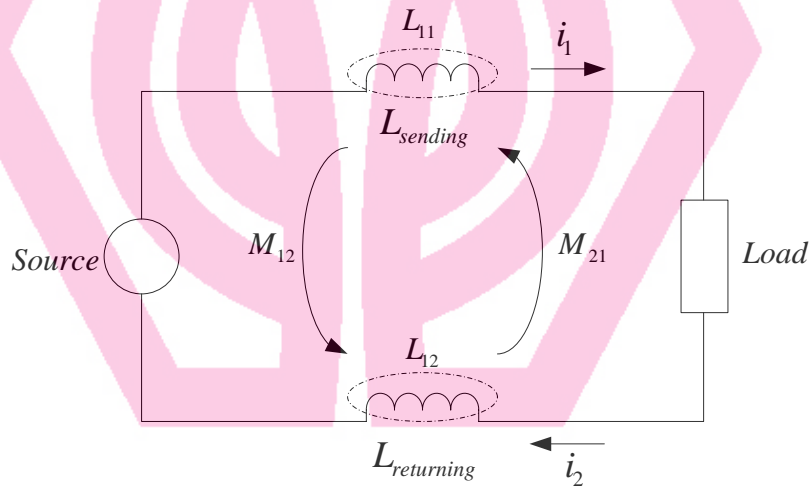
2.5 การแพร่กระจายของกระแสรบกวนโหมดต่าง

การเกิดสัญญาณรบกวนประเภทนี้จะเกิดขึ้นที่ตัวนำของสายส่งระหว่างตัวนำส่ง (Sending Line) และตัวนำรับ (Returning Line) ทางเดินของการเกิดสัญญาณรบกวน จะมีลักษณะเป็นวงจรปิด หรือเป็นลูป เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กกลิ้งและเชื่อมโยงไปสู่ วงจรใกล้เคียง การเชื่อมโยงชนิดนี้จะเป็นการเชื่อมโยงแบบการเหนี่ยวนำ (Inductive Coupling) แหล่งกำเนิดสัญญาณจะเกิดจากสัญญาณหลักของวงจร การเปลี่ยนแปลงแรงดันของสัญญาณ นาฬิกา หรือ สัญญาณ PWM เป็นต้น จากภาพประกอบที่ 2.2 แสดงถึง ทางเดินของกระแสรบกวนโหมดต่าง (I_{DM}) ที่ไหลอยู่ในลูประหว่างแหล่งจ่ายหลักและโหลด การลดสัญญาณ ประเภทนี้ อาจจะสามารถลดได้ด้วยการลด พื้นที่ของ หรือจำนวนลูปที่เกิดขึ้น

จากภาพประกอบที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าการเชื่อมโยงของสนามแม่เหล็กของตัวเหนี่ยวนำจากตัวนำ จะเกิดตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยง (Mutual Inductance: M)



ภาพประกอบที่ 2.2 เส้นทางการเดินของกระแสรบกวนโหมดต่าง



ภาพประกอบที่ 2.3 การส่งผ่านสนามแม่เหล็กของกระแสรบกวนโหมดต่าง

กำหนดให้

- M_{12} = ตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยงของตัวนำส่ง (เฮนรี่)
- M_{21} = ตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยงของตัวนำรับ (เฮนรี่)
- ψ_1 = เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ตัวนำส่ง (เวเบอร์)
- ψ_2 = เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ตัวนำรับ (เวเบอร์)
- ϕ = เส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งตัวนำ (เวเบอร์)
- N = จำนวนตัวนำที่เกิดสนามแม่เหล็ก
- L = ตัวเหนี่ยวนำที่สายตัวนำ

$$L = N \frac{\phi}{i} \quad (2.1)$$

$$\psi_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M_{21} \frac{di_2}{dt}$$

$$\psi_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M_{12} \frac{di_1}{dt}$$

จากกฎของฟาราเดย์ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็กแต่ละตัวนำ สามารถพิจารณาได้ในเชิงของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ที่ผิวปิด พื้นที่ A

$$V_N = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (2.2)$$

ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ในรูปของไซน์ จะสามารถพิจารณาได้

$$V_N = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (2.3)$$

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าตัวแปรสำคัญที่จะลดสัญญาณรบกวนในโหมดต่างนี้คือ การลดพื้นที่ผิว ปิด A หรือลดค่า B โดยการลดค่ากระแสรบกวนโหมดต่าง หรือลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของ กระแส $\left(\frac{di}{dt}\right)$

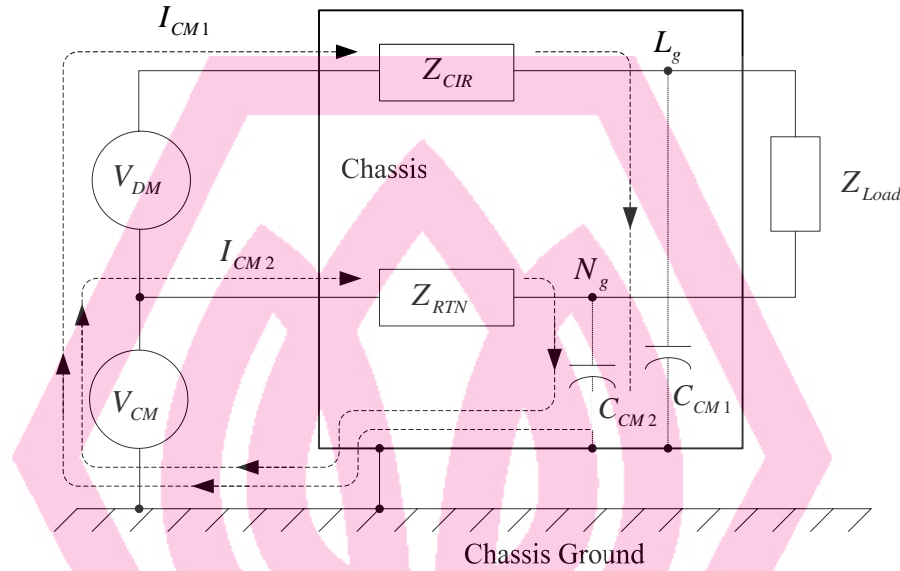
2.6 การแพร่กระจายของกระแสรบกวนโหมดร่วม

การเกิดสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของจังหวะการสวิตช์ ของ สัญญาณแม่เหล็ก เช่นสถานะการ เปิด และปิดของสัญญาณ PWM จะทำให้เกิดการรั่วไหลผ่าน ค่า ประจุแฝง (Parasite Capacitance) ของ อุปกรณ์สวิตซ์ ซึ่ง ลงสู่เฟรมกราวด์ หรือจะเป็นประจุแฝง ที่ ตำแหน่งอื่นๆของวงจร เช่น ที่ขั้วของโหนดเป็นต้น

ดังนั้นการเชื่อมโยงของสัญญาณประเภทนี้ จะเป็นการเชื่อมโยงผ่านตัวประจุ เกิดการเก็บ และการคายประจุเกิดขึ้น

จากภาพประกอบที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงทางเดินของกระแสรบกวนโหมดร่วม (I_{CM1} , I_{CM2}) ที่ไหลสู่เฟรมกราวด์ ทั้งจากสายตัวนำส่ง (Sending line) และสายตัวนำกลับ (Returning line) การรั่วไหลนี้เกิดจากการเชื่อมโยงค่าประจุแฝง (Parasitic) ของตัวสวิตซ์ในคอนเวอร์เตอร์หรือใน

อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ถูกเปลี่ยนแปลงด้วยความถี่ของกระแสหรือแรงดันในระดับสูง เช่น สัญญาณ PWM เป็นต้น ทางเดินหรือกิ่งของกระแสบกวนโหมคร่วมนี้ จะประกอบด้วยค่าอิมพีแดนซ์ ระหว่างกึ่งนี้กับเฟรมกราวด์



ภาพประกอบที่ 2.4 เส้นทางเดินของกระแสในการเชื่อมต่อสัญญาณแบบโหมคร่วม

ทำให้เกิดลูปของกระแสขึ้น แต่เมื่อกระแสไหลผ่านเฟรมกราวด์กลับไปแหล่งจ่าย จะเกิดความต่างศักย์ขึ้นด้วยอิทธิพลของค่าอิมพีแดนซ์ของเฟรมกราวด์ขึ้น แรงดันเหนี่ยวนำนี้เราจะเรียกว่าแรงดันรบกวนโหมคร่วม (V_{cm}) สมการพื้นฐานของการเกิด กระแสบกวนโหมคร่วม(i_{cm}) จะได้จากสมการพื้นฐาน

$$i_{cm} = c \frac{dv}{dt} \quad (2.4)$$

โดยที่

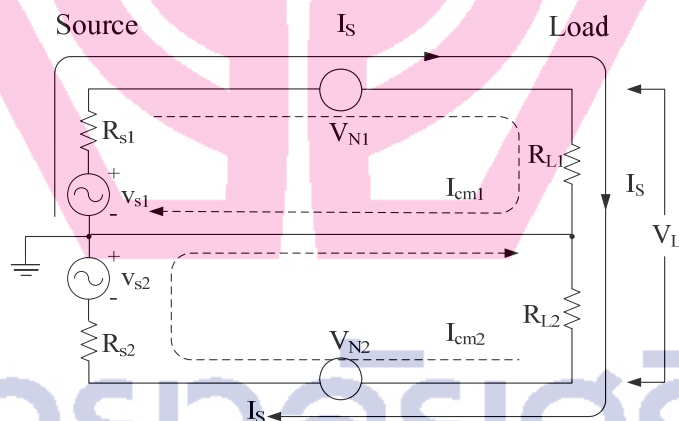
c = ค่าประจุแฝง

v = แรงดันของแหล่งจ่ายที่ถูกเปลี่ยนแปลงจาก PWM

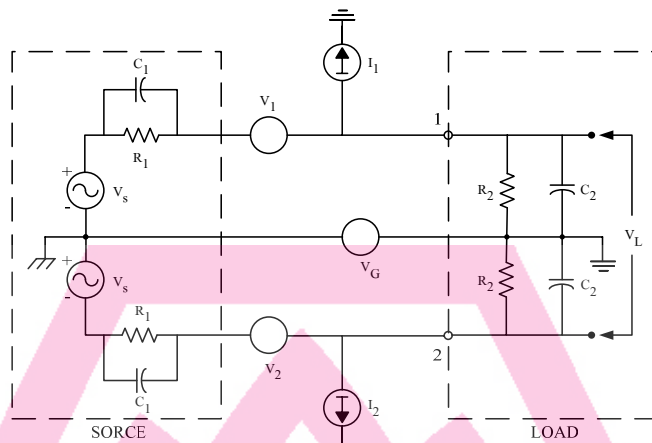
ถ้าพิจารณาจากสภาวะคงตัว

$$I_{cm-total} = I_{cm1} + I_{cm2} \quad (2.5)$$

เมื่อพิจารณาจากรูปของการไหลของกระแสบวกรวมจะเห็นได้ว่า กระแสทั้งสองจะมีเฟสที่ตรงกันข้าม ถ้ากระแสบวกรวมทั้งสองส่วนนี้มีค่าปริมาณที่เท่ากัน จะเกิดการหักล้างกันที่เฟรมกราวด์ ดังนั้นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้กระแสทั้งสองหักล้างกัน ก็คือ อิมพีแดนซ์ของลูปกระแสบวกรวมระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับ ต้องมีค่าเท่ากัน การที่ลูปทั้งสองมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากันนี้ เราจะเรียกว่าวงจรสมดุล ผลจากความสมดุลนี้จะสามารถลดทอนค่ากระแสบวกรวมได้ด้วยตัวเอง โดยที่ กระแสทั้งสองสามารถหักล้างกันได้ ทำให้ผลรวมของ $I_{cm-total} \rightarrow 0$ นอกจากนี้ การเกิดความไม่สมดุลของวงจรจึงถือเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดกระแสบวกรวม และค่าที่ไม่เท่ากันของกระแสบวกรวม ยังเป็นผลไปสู่การเกิดแรงดันบวกรวมต่างอีกด้วย ดังนั้นถือได้ว่าต้นเหตุที่สำคัญของการเกิดสัญญาณบวกรวม จะเริ่มต้นมาจาก สัญญาณบวกรวม การจัดสัญญาณบวกรวมนี้ทำได้หลายวิธี ซึ่งจะนำเสนอต่อไป



ก.



บ.

ภาพประกอบที่ 2.5 วงจรสมมูลของแหล่งจ่ายและสมมูลโหลด

ก. การไหลของกระแสรบกวนโหมคร่วม

ข. การสมมูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าและสมมูลโหลด

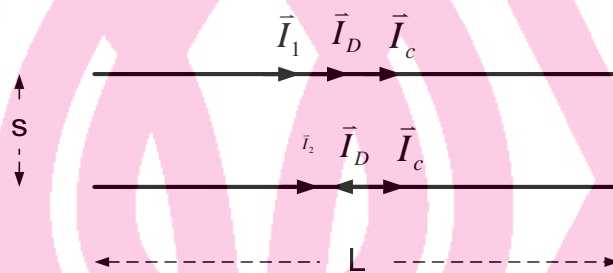
2.7 คุณสมบัติการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศ

การแพร่กระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลจากอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการแพร่กระจายผ่านตัวนำไฟฟ้าของแผ่นวงจรรวม และจากสายตัวนำต่อเชื่อมวงจร (PCB) ในมีสถานะเป็นสายอากาศโดยไม่มีวัตถุประสงค์ให้เป็นสายอากาศ และตัวระบบความร้อนของอุปกรณ์สวิตซ์ ซึ่งสามารถกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในลักษณะของการสะท้อนคลื่นของสายอากาศ ตามมาตรฐานการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของ FCC ได้กำหนดย่านความถี่ของการแพร่กระจายผ่านอากาศตั้งแต่ความถี่ 30 MHz จนถึง 1 GHz. โดย class B ในระยะความห่าง 3 เมตร แต่ class A จะพิจารณาในระยะห่างความห่างที่ 10 เมตร ส่วนมาตรฐาน CISPR 22 วัดในระยะความห่าง 10 เมตร โดยถือว่าระยะความห่าง 3 เมตรเป็นการวัดสนามระยะใกล้ (Near Field) และระยะความห่าง 10 เมตร เป็นการวัดสนามระยะไกล (Far Field) ระยะความถี่ด้านต่ำ คือ 30 MHz. จะมีความยาวคลื่น (Wave Length) 10 เมตร และความถี่ 1 GHz. ในความยาวคลื่น 30 เซนติเมตร โดยทั่วไปการพิจารณาการวัดในระยะใกล้จะมีความซับซ้อนมากกว่าระยะไกล

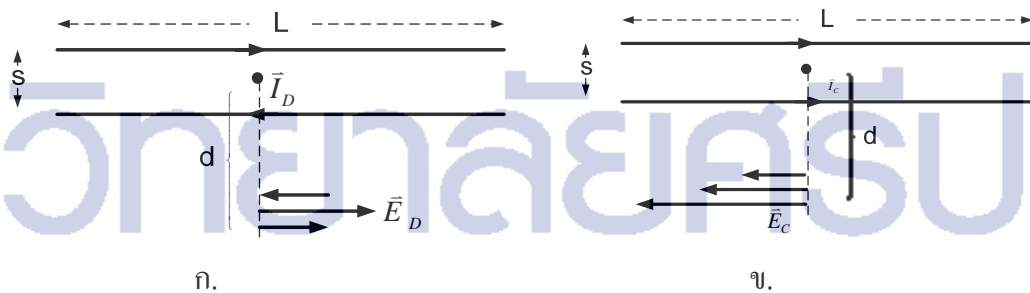
การเกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ จะมีผลมากจากการเกิดสถานะสายอากาศของตัวนำไฟฟ้าเกิดการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่พึงประสงค์ จากตัวนำไฟฟ้า จาก

ลายวงจรรวม(PCB) หรือเกิดจากตัวระบายความร้อน ดังนั้นแนวคิดของการลดการแผ่กระจายคือ การลดการเป็นสถานะสายอากาศไม่พึงประสงค์ของตัวนำที่เป็นสาเหตุของการแผ่กระจาย

2.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสรบกวนโหมดร่วมและกระแสรบกวนโหมดต่างกระแสรบกวนทั้งสองชนิดนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งของการเกิดการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งในตัวนำและผ่านอากาศ จากภาพประกอบที่ 2.6 แสดงทิศทางของกระแสรบกวนโหมดร่วม(Common mode noise current: \vec{I}_C) และกระแสรบกวนโหมดต่าง (Differential mode noise current: \vec{I}_D) และเกิดการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าในโหมดต่างและโหมดร่วมดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.7



ภาพประกอบที่ 2.6 ทิศทางการไหลของกระแสรบกวนโหมดร่วม และกระแสรบกวนโหมดต่าง



ภาพประกอบที่ 2.7 ทิศทางการไหลของกระแสรบกวนโหมดร่วม และกระแสรบกวนโหมดต่าง

- ก. การเกิดสนามไฟฟ้าของ กระแสรบกวนโหมดต่าง
- ข. การเกิดสนามไฟฟ้าของ กระแสรบกวนโหมดร่วม

การไหลของกระแสบวกรวมทั้งสองสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.6) และ(2.7) ตามลำดับ

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_C + \bar{I}_D \quad (2.6)$$

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_C - \bar{I}_D$$

$$\bar{I}_D = \frac{\bar{I}_1 - \bar{I}_2}{2} \quad (2.7)$$

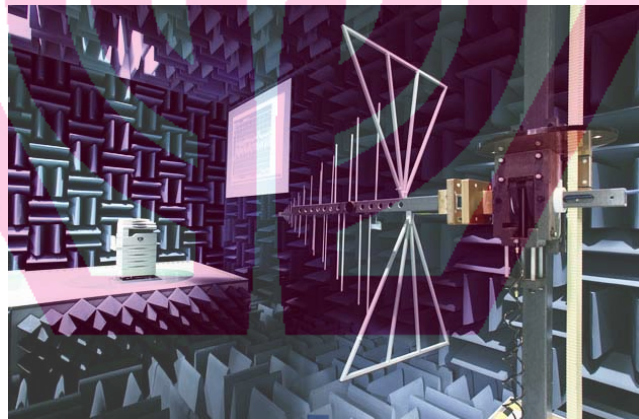
$$\bar{I}_C = \frac{\bar{I}_1 + \bar{I}_2}{2}$$

การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ ตามมาตรฐานสากลจะใช้โครงสร้างสำคัญของการวัดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าแตกต่างกันขึ้นกับชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ ขนาดของ EUT (Equipment Under Test) ซึ่งสามารถแบ่งโครงสร้างได้ดังนี้

- ผนังซีล เป็น โลหะซึ่งมีค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กสูง ใช้กันสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องทดสอบ
- ผนังเฟอร์ไรต์ เป็นออกไซด์ของโลหะหลายชนิด ใช้ในการดูดซับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีการสะท้อนภายในห้องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกดูดซับและไม่มี การสะท้อนในห้อง
- แผ่นโฟมผสมผงเฟอร์ไรต์จะถูกดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ต่ำ ภายในห้อง ไม่ให้เกิดการสะท้อน
- พื้นที่เป็นกรวดเหล็กแบบเรียบ ใช้ในการสะท้อนสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- สายอากาศจะถูกติดตั้งอยู่บนเสาอากาศเคลื่อนที่ได้ ความสูง 4 เมตร
- แท่นหมุน เป็นจานโลหะรัศมี 1.5 เมตร ถึง 3 เมตร ใช้ในการวางอุปกรณ์ทดสอบ สามารถปรับมุมการหมุนได้ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งที่ EUT แพร่สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าออกมามากที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.6 (ประสิทธิ์ ทัณฑุณี, โกรสร อัญชลีวรินทร์, 2549, หน้า 117) สายอากาศที่ใช้วัดสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ จะรับสัญญาณและป้อนเข้าสู่เครื่องวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Receiver) การทดสอบหมวดนี้จะเริ่มทดสอบที่ความถี่ตั้งแต่ 30 MHz.จนถึง 1 GHz. ตามมาตรฐานสากล สายอากาศที่นำมาใช้จะมีหลายชนิด เช่น สายแบบ Biconical แบบ Log-Periodic และแบบ Bi-Log เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างในภาพประกอบที่ 2.7



ภาพประกอบที่ 2.8 ห้องทดสอบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ



ภาพประกอบที่ 2.9 เสาอากาศที่ใช้ในการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศในห้องทดสอบ

ในงานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาการวัดการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศในระยะไกลจากผลของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากผลของกระแสรวมทอโมคร่วมที่ไหลในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวที่ไม่สมดุล และเกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ เหนี่ยวนำให้เกิดการแพร่กระจายผ่านอากาศเมื่อกระแสไหลผ่านตัวนำ แปรผลเป็นสายอากาศแพร่คลื่นสนามแม่เหล็กผ่านอากาศ ดังนั้นการปรับปรุงความสมดุลจึง

สามารถลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ และมีผลให้ลดการแพร่กระจายผ่านอากาศได้เช่นกัน ดังที่ได้นำเสนอในขอบเขตแล้ว

2.8 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสายส่งกำลังไฟฟ้าหรือในตัวนำที่เกิดจากคอนเวอร์เตอร์หรืออินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อน มักจะมีสาเหตุมาจากการแพร่กระจายจากสัญญาณรบกวนโหมคร่วมและสัญญาณรบกวนโหมคต่างที่เกิดจากการเปิดปิดของตัวสวิตช์ในคอนเวอร์เตอร์ด้วยความถี่สูง วิธีการจัดทำได้หลายวิธีเช่น การกรองด้วยตัวกรอง EMI (Richard Zhang, Xin Wu and Thimothy Wang, 2003) การใช้ตัวกรองเพื่อกรองสัญญาณ EMI ในการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพทางไฟฟ้า (Shikoski.J; Achkoski.R. and Rechkoska, 2000) การใช้ตัวกรองในแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซ์ชิ่ง เพื่อลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำและอากาศ (J. Mark Nave, 1991) ซึ่งวิธีการใช้ตัวกรอง จะมีผลในด้าน การเกิดรีโซแนนซ์ในความถี่ใดความถี่หนึ่งได้

การใช้ Common Mode Choke (W. Xin, M.H. Pong, Z.Y. Lu and Z.M.Qian, 2000) เป็นการใช้ตัวเหนี่ยวนำ เพื่อทำให้เกิดการหักล้างของกระแสรบกวนโหมคร่วม มีผลทำให้เพิ่มน้ำหนักและเพิ่มพื้นที่ของคอนเวอร์เตอร์ การใช้ตัวกรองที่เป็นอุปกรณ์พาสซีฟ (H.P. Yee, 1997; D. Cochrane, D.Y. Chen, D. Boroyevic, 2003) หรือ Insection loss (S. Nitta, T. Shimayama , 1990) และอาจทำให้การแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนจากตัวเหนี่ยวนำมากขึ้นกว่าเดิมได้เช่นกัน การใช้วิธีการลดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนโหมคร่วมโดยใช้หลักการสมมูลวงจรคอนเวอร์เตอร์ เช่น ในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบัส (S. Masahits, Ge Li, N. Tamotsu, 2003) และการจัดความสมดุลโดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์คู่และแบบสมมูลไฮบริดจ์ ซึ่งผู้เขียนเคยได้ทำการวิจัยแล้ว (นิमित บุญภิรมย์, 2550) แต่เป็นเน้นเพียงการลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ และการลดพลังงานสูญเสียของตัวสวิตซ์

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการพัฒนาจากส่วนเดิมเพิ่มขึ้น โดยปรับปรุงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของส่วนประกอบวงจรสมมูล และสมการสมมูลรูปใหม่ การวิเคราะห์การหักล้างทางขนาดและเฟสของแรงดันรบกวนโหมคร่วม และทำการทดลองวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ และ ผ่านอากาศ เพื่อพิสูจน์ผลของสาเหตุการแพร่กระจายจากผลการไหลของกระแสรบกวนโหมคร่วม ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งโหมคต่างและโหมคร่วม ถ้าวางจรมีความสมดุลแล้ว จะทำให้กระแสรบกวนโหมคร่วมลดลง การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กทั้งสองทางก็จะลดลงด้วย ซึ่งจะช่วยให้ลดขนาดของตัวกรองและอุปกรณ์ชดเชยต่างๆ ได้

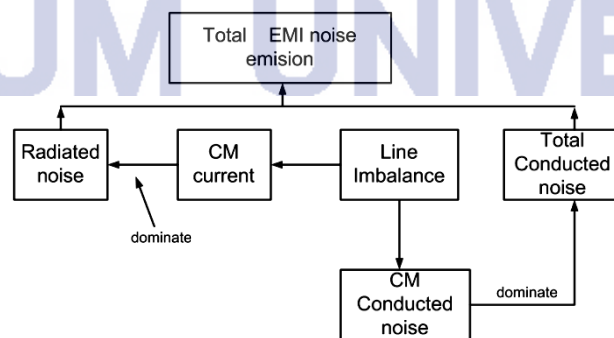
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 แนวคิดและการปรับความไม่สมดุลของวงจรคอนเวอร์เตอร์

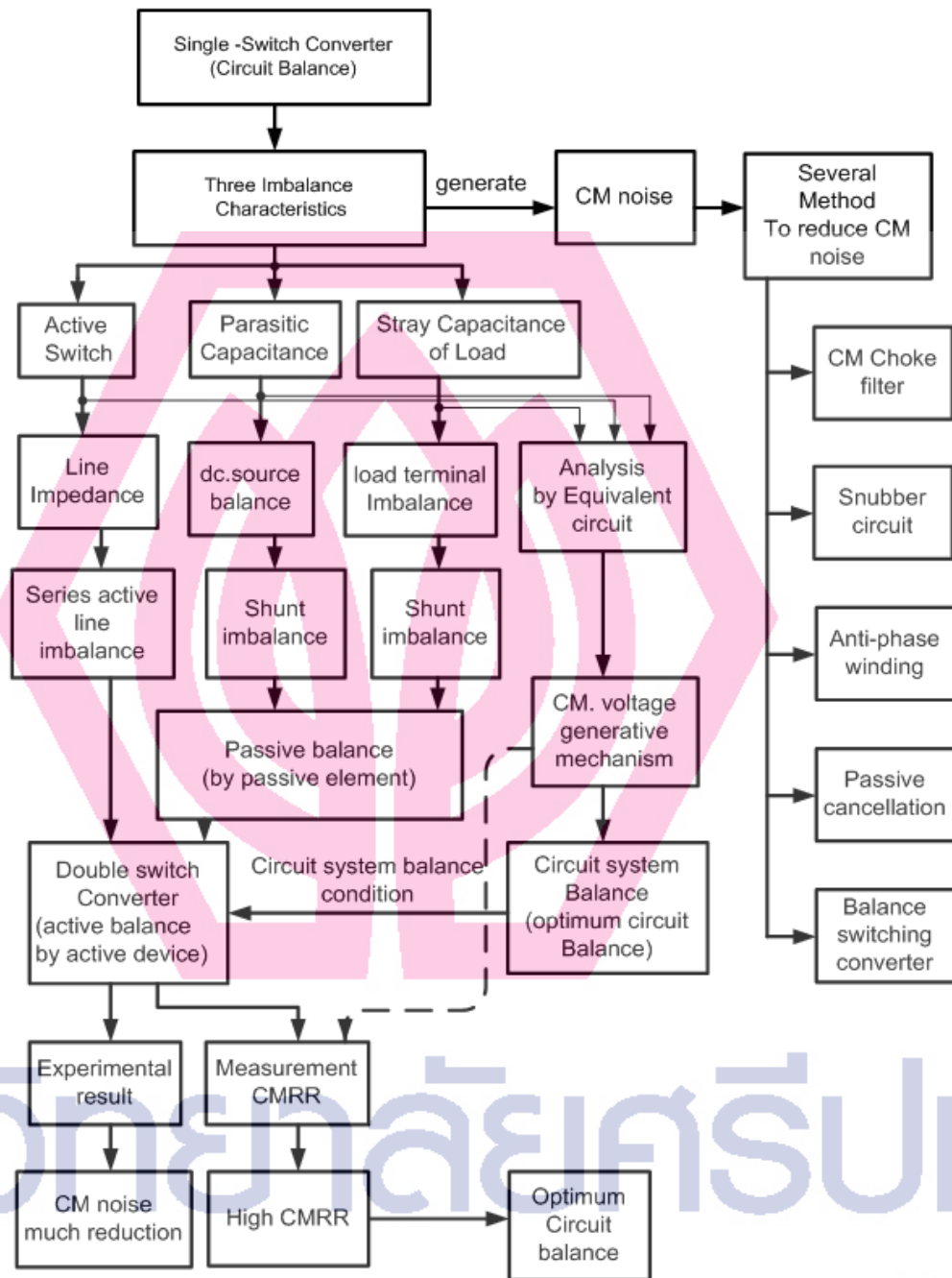
จากภาพประกอบที่ 3.1 ก ได้แสดงถึงวงจรการเชื่อมโยงจากความสำคัญของความไม่สมดุลของวงจรที่เป็นสาเหตุหลักในการที่จะเกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งทางตัวนำและทางอากาศจากความไม่สมดุลเป็นเหตุให้เกิดความต่างศักย์ในโหมคร่วมหรือแรงดันรบกวนโหมคร่วมจากผลของกระแสรบกวน โหมคร่วมในแต่ละลูปมีค่าไม่เท่ากันความต่างศักย์นี้จะเกิดแรงดันรบกวนโหมคร่วมขึ้นและส่งผลไปสู่แรงดันรบกวน โหมคร่วม และกระแสรบกวน โหมคร่วมต่างตามลำดับ กระแสรบกวนทั้งสองส่วนนี้จะย้อนกลับไปสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักที่จ่ายให้กับระบบ เกิดความเชื่อมโยงทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปสู่อากาศได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายที่เกิดขึ้นจึงมีสาเหตุที่เชื่อมโยงกันเมื่อปรับความสมดุลก็จะเปรียบเทียบอาการแก้ไขสาเหตุที่ต้นเหตุในภาพประกอบที่ 3.1 ข. ได้นำเสนอโครงสร้างของการปรับความสมดุลของวงจรคอนเวอร์เตอร์ซึ่งจะแบ่งตามสาเหตุของความไม่สมดุลได้ดังนี้

- ความไม่สมดุลจากตำแหน่งและจำนวนของตัวสวิตซ์ ซึ่งจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำส่งเปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์เปลี่ยนแปลงของสัญญาณ PWM ในกรณีที่มีจำนวนสวิตซ์เป็นคู่หรือการตัดต่อวงจรระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับมีไม่เท่ากันจะทำให้อิมพีแดนซ์ระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับในจังหวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของ PWM ช่วงเปิดและปิดวงจรไม่เท่ากัน เป็นสาเหตุให้กระแสรบกวนโหมคร่วมที่เกิดขึ้นทั้งสองสายตัวนำไม่เท่ากัน ก็ถือว่าเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดความไม่สมดุลของวงจร ในที่นี้จะนำเสนอในรูปคอนเวอร์เตอร์ที่มีตัวสวิตซ์ตัวเดียวและตัวสวิตซ์คู่ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป (นิमित บุญภิรมย์, 2550, หน้า

76)



ก.



ข.

ภาพประกอบที่ 3.1 แนวคิดของความสมดุลและไม่สมดุลของวงจรคอนเวอร์เตอร์

- ก. วงจรการเชื่อมโยงระหว่างการเกิดการรบกวนจากสาเหตุของความไม่สมดุล
- ข. แนวทางในการปรับความสมดุลที่นำเสนอในวิจัย

- ความไม่สมดุลจากตำแหน่งและค่าจำนวนของค่าประจุแฝง (Parasitic) ระหว่างตัวสวิตช์กับเฟรมกราวด์ ซึ่งเป็นทางเดินของกระแสรบกวน โหมคร่วมไหลลงสู่เฟรมกราวด์ ตัวประจุแฝง ในที่นี้จะพิจารณาประจุแฝงบริเวณแผ่นระบายความร้อน ระหว่างสายตัวนำ ขั้วโหลด ทางเดินสำคัญของกระแสรบกวน โหมคร่วมก็คือประจุแฝงที่อยู่ระหว่างขั้วเดินของตัวสวิตช์ ที่เป็นมอสเฟตกำลัง ผ่านแผ่นระบายความร้อนลงสู่เฟรมกราวด์ ซึ่งจะค่าอยู่ประมาณ 20-50 pF.

- ความไม่สมดุลจากค่าตัวประจุระหว่างขั้วของโหลดกับเฟรมกราวด์ (Stray Capacitance) ในกรณีที่โหลดประเภทมอเตอร์ไฟฟ้า การรั่วไหลของกระแสรบกวน โหมคร่วมจะเกิดขึ้น บริเวณขั้วกับเฟรมกราวด์ หรือ ระหว่างตัวนำในแต่ละช่องของขดลวดกับเฟรมของมอเตอร์ โดยมีการต่อเชื่อมโยงด้วยตัวประจุ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสจากการส่งผ่านกำลังงานกลของมอเตอร์ในสถานะชั่วขณะ และการเหนี่ยวนำของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในขณะที่โหลดมีค่าเหนี่ยวนำจำนวนมาก จะเป็นสาเหตุของการรั่วไหลของกระแสรบกวน โหมคร่วม ผ่านไปเฟรมกราวด์ในระยะทางที่ใกล้ หรือรั่วไหลลงสู่เฟรมของมอเตอร์ลงสู่เฟรมกราวด์

การแก้ปัญหาต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วนั้น ได้มีการแก้ไข เพื่อจัดสัญญาณรบกวน โหมคร่วม โดยวิธีต่าง ๆ มากมายดังได้กล่าวไปแล้ว ได้เน้นถึงการแก้ปัญหาในการสร้างความสมดุลของวงจร เช่น การปรับความสมดุลแบบพาสซีฟ และการปรับความสมดุลแบบแอคทีฟ

- การปรับความสมดุล แบบ พาสซีฟ หมายถึงการปรับ โดยการชดเชยความสมดุลจากความไม่สมดุลของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและความไม่สมดุลอันเนื่องมาจากการเชื่อมโยงด้วยค่าประจุ เช่น การเชื่อมโยงระหว่างค่าประจุแฝงที่ตำแหน่งสวิตช์ และการเชื่อมโยงจากค่าประจุที่ขั้วของโหลด การแก้ไข จำเป็นจะต้องชดเชยค่าประจุเพื่อให้ถึงของทางเดินของกระแสไฟฟ้ารบกวน โหมคร่วมมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากัน

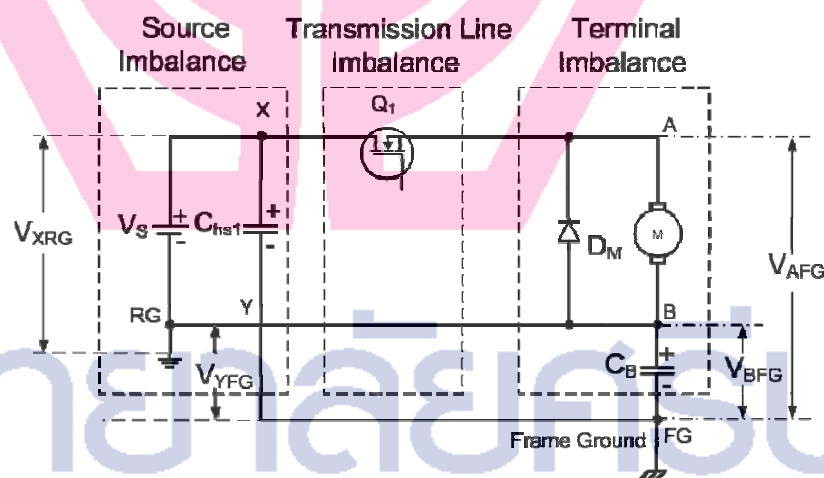
- การปรับความสมดุลแบบแอคทีฟ หมายถึง การปรับ โดยการชดเชยตัวสวิตช์ที่ตัดต่อวงจรระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับ ให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำทั้งสองสอดคล้องกับจังหวะการทำงานของตัวสวิตช์ เพื่อให้ถึงทางเดินของกระแสรบกวน โหมคร่วมมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากันทุกสถานการณ์ (นิमित บุญภิรมย์, 2550, หน้า 77)

การศึกษาความไม่สมดุลของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว เป็นวงจรพื้นฐานของวงจรคอนเวอร์เตอร์และอินเวอร์เตอร์ ความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อการเกิดการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กผ่านตัวนำและผ่านอากาศ การปรับความสมดุลจะทำได้โดยการใช้ตัวสวิตช์แบบคู่และการปรับสมดุลแบบไฮบริดจ์ จะเป็นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุและสามารถลดขนาดของตัวกรองได้ ซึ่งจะได้นำเสนอในหัวข้อต่อไป

3.2 ความไม่สมดุลของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว

3.2.1 การแบ่งส่วนประกอบของวงจรไม่สมดุลในวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดสวิตช์เดี่ยว

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการแบ่งส่วนประกอบของวงจรคอนเวอร์เตอร์ เพื่อวิเคราะห์ความไม่สมดุลของวงจร ในกรณีที่เกิดกระแสรบกวน โหมดร่วมรั่วไหลลงไปสู่เฟรมกราวด์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจังหวะของการสวิตช์ขึ้น เมื่อวิเคราะห์จากกลุ่มของกระแสรบกวนโหมดร่วมที่ไหลผ่านค่าประจุแฝงลงสู่เฟรมกราวด์จะสามารถแบ่งส่วนประกอบได้ 3 ส่วนคือ แหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสตรงไม่สมดุลสายส่งไฟฟ้าหรือทางเดินไฟฟ้าสมดุลและโหนดไม่สมดุล การแบ่งส่วนประกอบของความไม่สมดุลนี้จะพิจารณา ตามวงจรการรั่วไหลของ กระแสรบกวนโหมดร่วมที่ไหลผ่านค่าประจุแฝง ที่อยู่ในของ มอสเฟตกำลังดังแสดงให้เห็นในภาพประกอบที่ 3.2 โดยที่ค่า C_{hs1} และ C_B เป็นค่าประจุแฝงระหว่างขาเดรนและตัวระบายความร้อนของตัวสวิตช์ต่อกับเฟรมกราวด์และค่าประจุแฝงที่ขั้วของโหนดมอเตอร์ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 3.2 คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว

ส่วนประกอบสำคัญของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว จะแบ่งเป็นภาคใหญ่ได้ 3 ส่วน

- แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่สมดุล (Source Imbalance)
- สายส่งไม่สมดุลหรือตัวนำส่งไม่สมดุล (Transmission Line Imbalance)
- โหนดไม่สมดุล (Terminal Imbalance)

ก. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่สมดุลเป็นการพิจารณาแหล่งจ่ายกระแสตรงจะเกิดความไม่สมดุลถ้าเปรียบเทียบกับเฟรมกราวด์เสมือนเฟรมกราวด์เป็นทางเดินไฟฟ้าหรือสายส่งไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกสายหนึ่ง ซึ่งความต่างศักย์ที่เกิดระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับ จะขึ้นอยู่กับแรงดันรวมจากผลของกระแสรวมกวนโหมคร่วมกับค่าอิมพีแดนซ์ของทางเดินไฟฟ้าที่กระแสรวมกวนโหมคร่วมไหลผ่านทั้งหมด

ข. สายส่งไม่สมดุลหรือทางเดินไฟฟ้าไม่สมดุล (Transmission Line Imbalance) ซึ่งความไม่สมดุลของสายส่งถือว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดของการเกิดการไหลของกระแสรวมกวนโหมคร่วม สายส่งไม่สมดุลหมายถึงตัวนำที่ส่งผ่านค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดหรือตัวนำไฟฟ้าที่เชื่อมระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกับโหลด ในที่นี้ความไม่สมดุลจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ระหว่าง สายตัวนำส่งด้านบวกและสายตัวนำกลับด้านลบเมื่ออุปกรณ์สวิตช์ซึ่งนำกระแสและหยุดนำกระแสตามความถี่สวิตช์หรือความถี่ พี ดับเบิลยู เอ็ม เป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสที่รอยต่อระหว่างแตรนและซอสเกิดการไหลของกระแสรวมกวนโหมคร่วมผ่านมอสเฟต และผ่านตัวระบายความร้อนของมอสเฟตลงไปสู่เฟรมกราวด์ซึ่งทางเดินลูปของกระแสรวมกวนโหมคร่วมจะได้อธิบายต่อไป

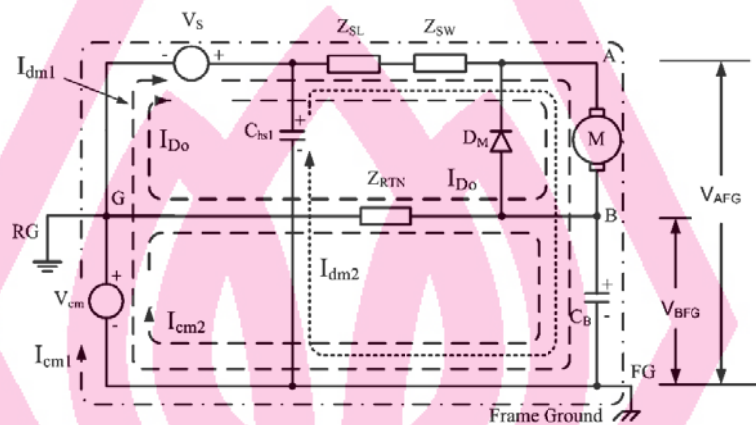
ค. ความไม่สมดุลของโหลดในที่นี้ได้พิจารณาเช่นเดียวกับความไม่สมดุลของกรณีอื่นๆ เมื่อโหลดได้รับแรงดันที่มีความถี่สูงจะเกิดการรั่วไหลของค่าประจุที่อยู่ที่ขั้วของโหลดซึ่งในที่นี้ได้ประยุกต์คอนเวอร์เตอร์ใช้กับโหลดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อพิจารณาจาก ภาพประกอบที่ 3.2 จะเห็นว่าค่าตัวประจุแฝงที่ขั้วของโหลดกับเฟรมกราวด์ (C_B) จะไม่สมดุล

จากความไม่สมดุลทั้งสามส่วนอาจแยกตามลักษณะของวงจรไฟฟ้าแบ่งได้ 2 แบบ คือ ความไม่สมดุลแบบอนุกรม (Series Imbalance) เป็นความไม่สมดุลจากสายส่งไม่สมดุลและความไม่สมดุลแบบขนาน (Parallel Imbalance) เป็นความไม่สมดุลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไม่สมดุลและขั้วโหลดไม่สมดุล

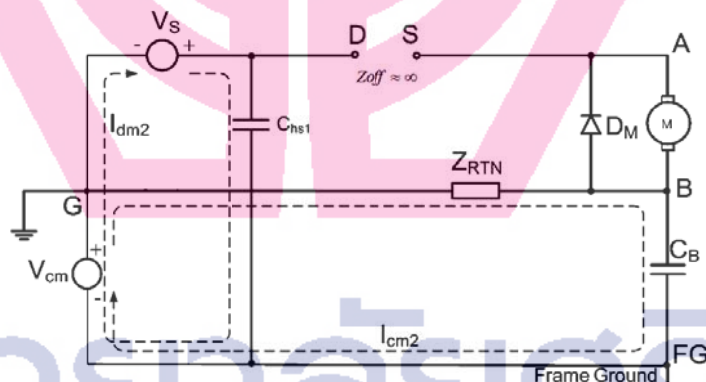
3.2.2 ความไม่สมดุลในสถานะสวิตช์นำกระแส

จากการวิเคราะห์สถานะของวงจรคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์นำกระแส PWM ตามจังหวะของสัญญาณ PWM จะเกิดกระแสรวมกวนโหมคร่วมไหลผ่านค่าประจุแฝงจะเห็นได้ว่าค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างสายส่งด้านบวกและอิมพีแดนซ์ของสายส่งด้านลบจะไม่เท่ากัน (นิमित บุญภิรมย์ ,2555 ,หน้า 79) ได้ถูกพัฒนาค่าพารามิเตอร์ ระหว่างสายตัวนำส่งและตัวนำกลับในรูปของ ค่าเหนี่ยวนำของสายและค่าประจุของตัวสวิตช์ระหว่างแตรนและซอสของมอสเฟต ทำให้เห็นสมการ

การไหลกระแสรบกวนโหมคร่วมไหลในวงจรรั่วไหลจากผลของการเกิดกระแสทั้งสองนี้จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันรบกวนโหมคร่วม (V_{cm}) ขึ้นระหว่างสายส่งด้านลบและเฟรมกราวด์ ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 3.3 กระแสรบกวนโหมคร่วมจะไหลผ่านเฟรมกราวด์และกลับไปแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสมการของแรงดันรบกวนโหมคร่วมจะแสดงดังสมการที่(3.2) และสมการที่(3.3)ตามลำดับ



ก.



ข.

ภาพประกอบที่ 3.3 วงจรสมมูลของความไม่สมดุลของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว

- ก. สวิตช์นำกระแส
- ข. สวิตช์หยุดนำกระแส

$$V_{AFG} = V_{cm} + V_s - (Z_{SL} + Z_{SW})(I_{DO} + I_{dm1} + I_{dm2} + I_{cm1}) \quad (3.1)$$

$$V_{BFG} = V_{cm} + Z_{RTN} I_{DO} - Z_{RTN} I_{cm2} \quad (3.2)$$

โดยที่

$$V_{AFG} = \text{แรงดันตกคร่อมที่ขั้วโหลดตำแหน่ง A กับ เฟรมกราวด์}$$

$$\begin{aligned}
V_{BFG} &= \text{แรงดันตกคร่อมที่ขั้วโหนดตำแหน่ง B กับ เฟรมกราวด์} \\
Z_{SL} &= \text{ค่าอิมพีแดนซ์ของทางเดินไฟฟ้าตัวนำส่งพิจารณาทั้งค่าความ} \\
&\quad \text{ต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำของสายตัวนำส่ง} \\
&= R_{SL} + jX_{SL} \\
Z_{SW} &= \text{ค่าอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์กำลังขณะปิดวงจรประกอบด้วยค่า} \\
&\quad \text{ความต้านทานและประจุแฝงที่รอยต่อ} \\
&= R_{SW} - jX_{C(SW)} \\
Z_{RTN} &= \text{ค่าอิมพีแดนซ์ของทางเดินไฟฟ้าตัวนำกลับ} = R_{RTN} + jX_{RTN} \\
I_{cm1}, I_{cm2}, I_{DO} &= \text{กระแสบกพร่องโหมคร่วมทั้งสองขั้วและกระแสไหลลด ตามลำดับ} \\
I_{dm1}, I_{dm2} &= \text{กระแสบกพร่องโหมคต่างทั้งสองขั้ว}
\end{aligned}$$

สมการที่ (3.1) และ(3.2) แสดงสมการแรงดันระหว่างที่ขั้วโหนดด้านบวกกับเฟรมกราวด์ และจะเห็นทางเดินของการไหลของกระแสบกพร่องโหมคร่วมและกระแสบกพร่องโหมคต่าง ค่าแรงดันรบกวนโหมคร่วมจะแสดงตั้งสมการที่ (3.3) และ สมการที่ (3.4)

$$V_{cm} = \frac{1}{2}(V_{AFG} + V_{BFG}) + \frac{1}{2}[(Z_{SL} + Z_{sw})(I_{dm1} + I_{dm2} + I_{cm1}) + Z_{RTN}I_{cm2} + (Z_{SL} + Z_{sw})I_{DO}] - \frac{1}{2}[V_s + Z_{RTN}I_{DO}] \quad (3.3)$$

$$V_{cm} = \frac{1}{2}(V_{AFG} + V_{BFG}) \quad (3.4)$$

$$\frac{V_s}{2} = \frac{1}{2}[(Z_{SL} + Z_{sw})(I_{dm1} + I_{dm2} + I_{cm1}) + Z_{RTN}I_{cm2}] \quad (3.5)$$

$$Z_{CIR} = R_{ds} + Z_{L1} \quad (3.6)$$

$$Z_{RTN} = Z_{L2} \quad (3.7)$$

$$I_{DO} = \frac{V_s}{Z_{SL} + Z_{sw} + Z_m + Z_{RTN}} \quad (3.8)$$

$$I_{cm1} = \frac{V_s}{(Z_{SL} + Z_{sw})} (V_{cm} + V_s - V_{AFG}) - (I_{DO} + I_{dm1} + I_{dm2}) \quad (3.9)$$

$$I_{cm2} = \frac{V_s}{(Z_{SL} + Z_{sw})} (V_{cm} - V_{BFG}) + I_{DO}$$

$$I_{cm2} = \frac{V_s}{(Z_{SL} + Z_{sw})} (V_{DM}) - I_{DO} \quad (3.10)$$

$$\left. \begin{aligned} (Z_{SL} + Z_{sw}) &> Z_{RTN} \\ I_{cm2} &> I_{cm1} \\ V_{AFG} &> V_{BFG} \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

จากโครงสร้างวงจรที่ไม่สมดุลของการไหลกระแสรวมทอมคร่วมจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าโหมตต่างกัน โดยแรงดันนี้จะตกคร่อมระหว่างขั้วของโหมตกับเฟรมกราวด์ ดังแสดงในสมการที่ (3.12)

$$V_{dm} = V_{AFG} - V_{BFG} \quad (3.12)$$

3.2.3 ความไม่สมดุลในสถานะปิด

จากภาพประกอบที่ 3.3 ข เมื่อมอเตอร์หยุดทำงาน ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างขาเดรนและซอสจะสูงมาก (เข้าสู่อนันต์)จะมีผลทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างอิมพีแดนซ์ของสายส่งด้านบวกและสายส่งด้านลบ เช่นเดียวกันกับในสถานะสวิตช์นำกระแส คุณสมบัติของความไม่สมดุลแสดงให้เห็นในสมการที่ (3.13)

$$\left. \begin{aligned} Z_{SL} &= \infty \gg Z_{RTN} \\ I_{cm2} &\gg I_{cm1} = 0 \\ V_{AFG} &\cong V_{BFG} \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

โดยที่

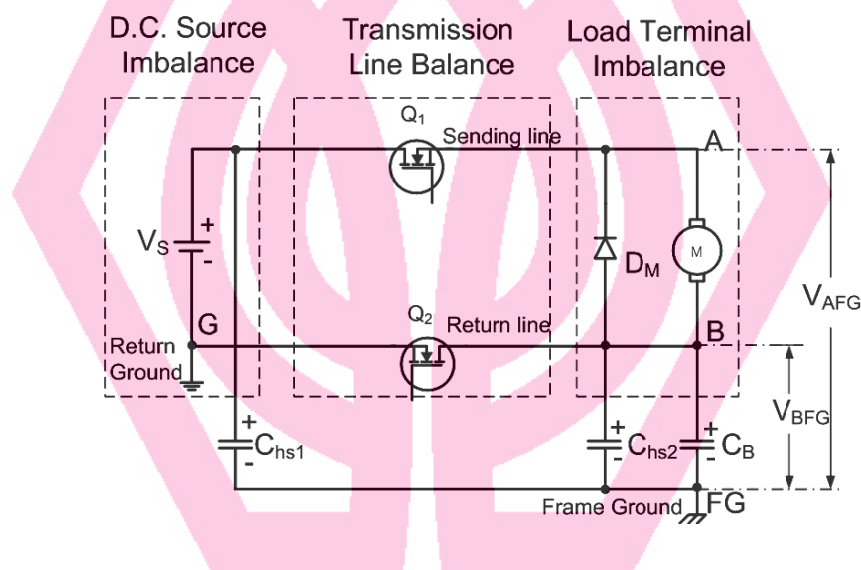
$$V_{BFG} = V_{cm} - I_{cm2} Z_{RTN} \cong 0$$

$$V_{AFG} = V_{BFG} - V_{AB} \cong 0$$

3.3 ความสมดุลแบบแอกทีฟของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์คู่

ดังได้แสดงให้เห็นแล้วถึงสาเหตุของความไม่สมดุลของวงจรเมื่อเทียบกับเฟรมกราวด์ และเกิดการไหลกระแสรวมทอมคร่วมและกระแสรวมทอมตต่าง ดังที่ได้เคยนำเสนอไปแล้ว (นิมิต บุญภิรมย์, 2550, หน้า 82) จากหัวข้อที่ 3.2 ได้แสดงถึงทิศทางกระแสรวมทอมตต่างและทอมคร่วม โดยผลรวมค่าอิมพีแดนซ์ในแต่ละลูประหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับในวงจรไฟฟ้าไม่เท่ากัน การแก้ปัญหาเราจะพยายามให้ค่าอิมพีแดนซ์ ในรูปทั้งสองเท่ากัน ทั้งในขณะที่สวิตช์ปิดวงจร และสวิตช์เปิดวงจร วิธีที่สามารถแก้ได้ดี คือเพิ่มสวิตช์ในสายตัวนำกลับด้วย เพราะการทำงานของสวิตช์มีลักษณะเป็นอุปกรณ์แอกทีฟที่เปลี่ยนสถานะตามจังหวะของการสวิตช์ ตลอดเวลาการทำงาน วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาแก้ไขปัญหานี้ เราเรียกว่าเป็น

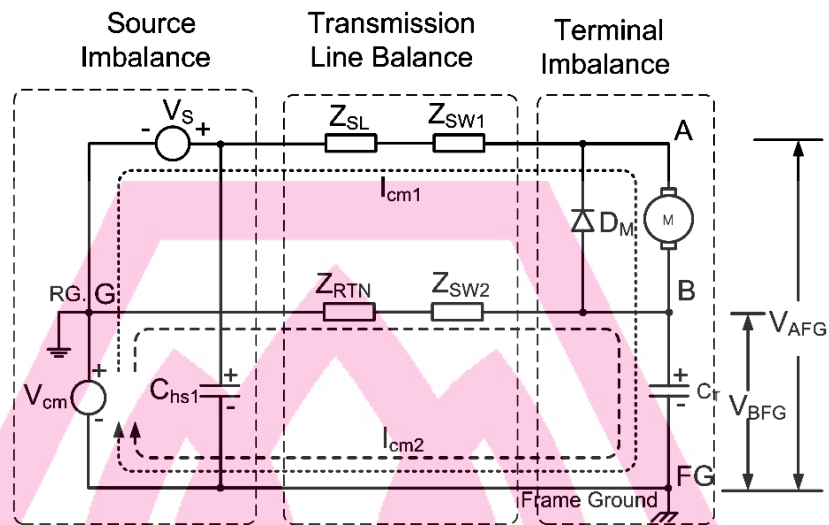
วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่ จากภาพประกอบที่ 3.4 จะเห็นโครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่และค่าประจุแฝงที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วเดรนและซอสของตัวสวิตช์ซึ่งทั้งสองตัว คือ C_{hs1} และ C_{hs2} ตามลำดับจากเหตุผลที่ต้องการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งจะทำให้กระแสรบกวนโหมคร่วมที่ไหลจากตัวสวิตช์ ลงสู่เฟรมกราวด์ มีค่าใกล้เคียงกันเพราะผ่านค่าอิมพีแดนซ์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันและจะหักล้างกันที่เฟรมกราวด์ทำให้เป็นแนวทางหนึ่งในการที่จะลดค่ากระแสรบกวนโหมคร่วมได้ซึ่งต่อไปจะแสดงคุณสมบัติของความสมดุลของสายส่งโดยทำการวิเคราะห์ในสถานะตัวสวิตช์นำกระแสและสวิตช์หยุดนำกระแส เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่นำเสนอไปแล้ว



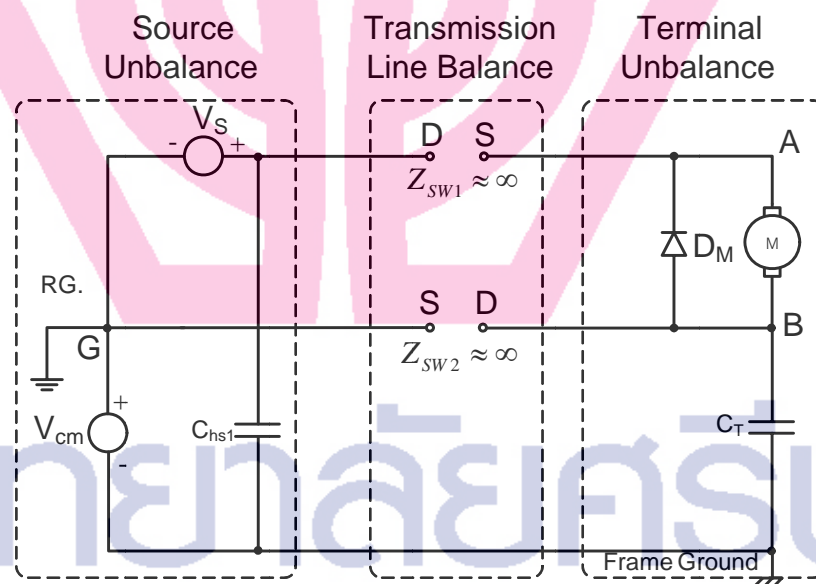
ภาพประกอบที่ 3.4 วงจรสมดุลของความสมดุลของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่

3.3.1 ความสมดุลของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่ในสถานะสวิตช์นำกระแส

จากภาพประกอบที่ 3.5 แสดงให้เห็นถึงวงจรสมดุลของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่เมื่อสวิตช์ทั้งสองถูกสั่งให้ต่อวงจรหรือสถานะเปิดสามารถเห็นความสมดุลของค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างสายส่งด้านบวกและสายส่งด้านลบจากเหตุผลของการทำงานพร้อมกันและพารามิเตอร์ของสวิตช์ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นรูปของกระแสรบกวนโหมคร่วมทั้งสองรูปจะมียุคประกอบของวงจรใกล้เคียงกันจะต่างกันเล็กน้อยจากความไม่สมดุลของโหลดคือที่ขั้วโหลดจะมีค่าประจุแฝงที่บริเวณขั้วต่อด้านลบกับเฟรมกราวด์เท่านั้นและอีกส่วนหนึ่งคือความไม่สมดุลของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่ความไม่สมดุลทั้งสองนี้จะเป็นความไม่สมดุลจากวงจรขนานในทางการปรับเรา จะให้อุปกรณ์พาสซีฟเป็นตัวปรับซึ่งจะได้ทำปรับอย่างสมบูรณ์ในหัวข้อต่อไป



ก.



ข.

ภาพประกอบที่ 3.5 โครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์คู่

ก. สวิตซ์นำกระแส

ข. สวิตซ์หยุดนำกระแส

เมื่อเกิดความสมดุลค่าอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำส่งด้านบวกและสายตัวนำกลับด้านลบและความต้านทานของเดรนซอสของมอสเฟตที่ใช้เป็นสวิตช์ทั้งสองตัวมีค่าเท่ากันค่าแรงดันรบกวนโหมคร่วมจะแสดงได้ดังสมการที่ (3.14)

$$\begin{aligned}
 V_{cm} &= -V_s + I_{cm1}(Z_{SL} + Z_{SW1}) + V_{AB} + V_{BFG} \\
 |V_s| &\approx |V_{AB}| \\
 I_{cm1} &\cong \frac{V_{cm} - V_{BFG}}{Z_{CIR}} = \frac{V_{cm} - V_{BFG}}{Z_{CIR}} \cong I_{cm2} \\
 (Z_{SL} + Z_{SW1}) &= (Z_{RTN} + Z_{SW2}) \\
 I_{cm2} &\cong I_{CM1} \\
 V_{AFG} &\cong I_{BFG}
 \end{aligned} \tag{3.14}$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 Z_{SL} &= R_{SL} + jX_{SL} & Z_{SW1} &= R_{SW1} - jX_{C(SW1)} \\
 Z_{RTN} &= R_{RTN} + jX_{RTN} & Z_{SW2} &= R_{SW2} - jX_{C(SW2)}
 \end{aligned}$$

3.3.2 ความสมดุลของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่ในสถานะสวิตช์ปิด

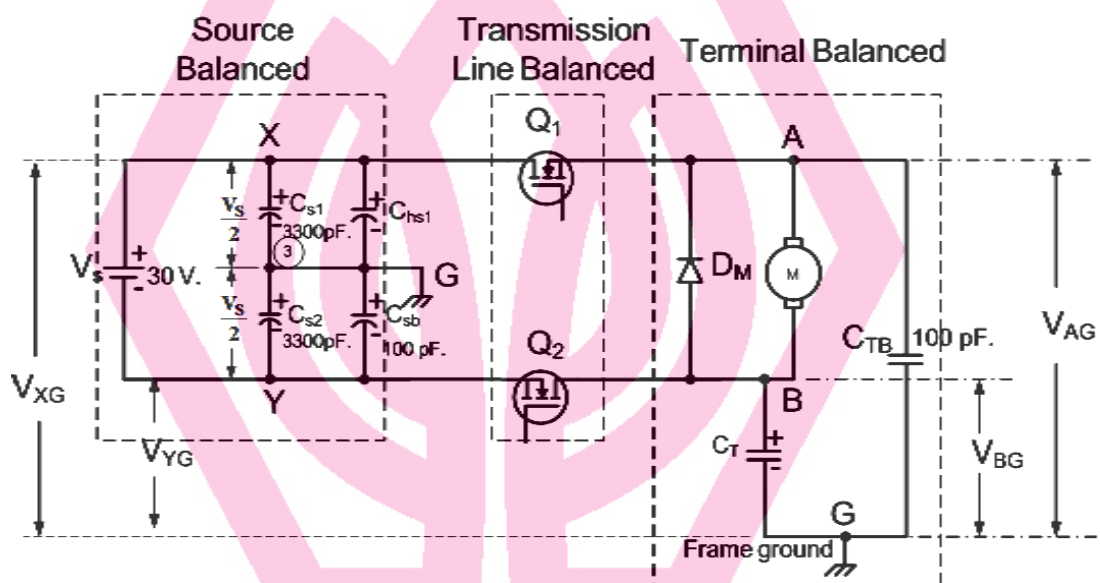
สวิตช์ทั้งสองปิดวงจร ค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองสายก็จะมีค่าอิมพีแดนซ์เท่าๆ กันเช่น จะมีค่าเข้าใกล้อนันต์ทำให้ไม่เกิดอุปการไหลของ กระแสรบกวนโหมคร่วมดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.6 ค่าสมการอิมพีแดนซ์ของตัวสวิตช์ทั้งสองจะแสดงได้ดังสมการที่ (3.15)

$$\begin{aligned}
 Z_{SW1} &= Z_{SW2} = \infty \\
 I_{cm2} &\cong I_{cm1} = 0 \\
 V_{AFG} &\cong I_{BFG} = 0
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

3.4 การปรับความสมดุลด้วยวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสมดุลแบบไฮบริดจ์

จากหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า การใช้คอนเวอร์เตอร์ที่มี 2 สวิตช์จะช่วยแก้ปัญหาของการเกิดความไม่สมดุลของอิมพีแดนซ์ได้เป็นอย่างดี แต่เมื่อพิจารณาก็จะเป็นว่าในส่วนของแหล่งจ่ายและโหลด ทั้งสองด้านจะยังไม่มีความสมดุลเช่นกัน แต่การแก้ปัญหาทั้งสองแห่งนี้ทำได้ไม่ยุ่งยากนักเพราะเป็นความไม่สมดุลแบบพาสซีส การแก้ปัญหาจะใช้การต่ออุปกรณ์ชดเชย เพื่อให้วงจรสมดุลเมื่อเทียบกับเฟรมกรานด์แล้วเกิดความสมดุล ซึ่งความสมดุลที่เป็นการใช้สวิตช์หรือแบบแอคทีฟ และการสมดุลแบบพาสซีสที่ใช้อุปกรณ์ชดเชยนี้ เราจะเรียกว่าเป็นความสมดุลแบบไฮบริดจ์

ผลของการปรับความสมดุลจะทำให้กระแสรบกวน โหมคร่วม เกิดการหักล้างกันอย่างสมบูรณ์ การปรับความสมดุลแบบพาสซีฟโดยการให้ตัวประจุแก้ไขความไม่สมดุลแบบขนาน เราเรียกความสมดุลนี้ว่าการปรับสมดุลแบบไฮบริดจ์โครงสร้างของการปรับสมดุลแบบไฮบริดจ์จะปรับทั้งสายตัวนำส่งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและขั้วโพลด โดยการใช้ตัวสวิตช์แบบคู่ที่สายตัวนำส่งการต่อตัวประจุเพิ่มที่แหล่งจ่ายและที่ขั้วโพลดตามลำดับดังแสดง โครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับความสมดุลแบบไฮบริดจ์ในภาพประกอบที่ 3.6



ภาพประกอบที่ 3.6 โครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์ที่มีการปรับความสมดุลแบบไฮบริดจ์

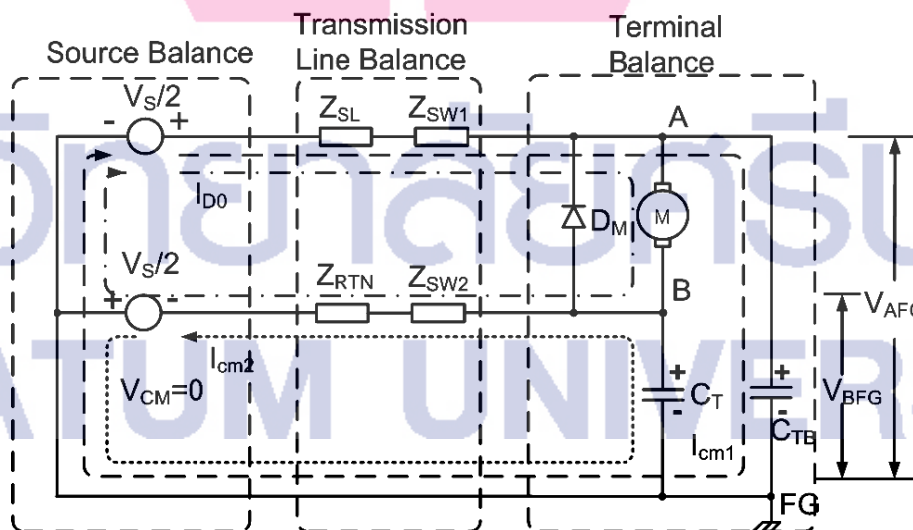
จากภาพประกอบที่ 3.6 แสดงให้เห็นถึงการปรับความสมดุลแบบไฮบริดจ์ทั้ง 3 ส่วน

- ส่วนที่ 1** การปรับความสมดุลของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโดยการต่อตัวประจุ C_{S1} และ C_{S2} ขนานกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงลงสู่เฟรมกราวด์ และการใช้ C_{sb} เพื่อจะสมดุลของค่าประจุแฝงของตัวมอสเฟตด้านสายตัวนำส่งการกำหนดค่าตัวประจุเพื่อชดเชยตัวประจุแฝงไม่ควรเกิน $1 \mu F$ จะใช้ใกล้เคียงกับค่าประจุแฝงของมอสเฟตคือประมาณ $100 - 600 \text{ pF}$. ค่าตัวประจุที่แหล่งจ่ายจะใช้ตั้งแต่ $0.5 - 3 \mu F$ ไม่ควรสูงกว่านี้เพื่อป้องกันค่าอิมพีแดนซ์จะต่ำเมื่อความถี่สูงขึ้น
- ส่วนที่ 2** การใช้ตัวสวิตช์แบบคู่ โดยใช้มอสเฟตควบคุมการเปิดปิดวงจรทั้งสายตัวนำส่งและสายส่งด้านตัวนำกลับ

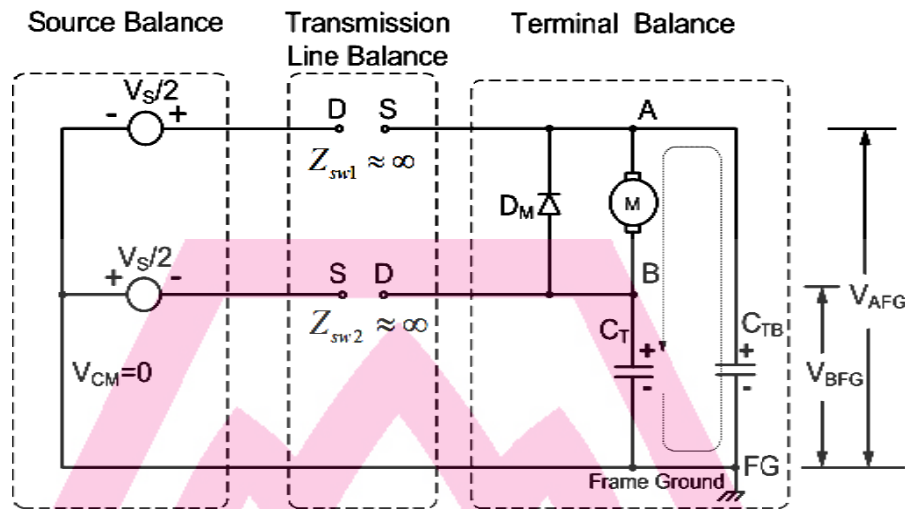
ส่วนที่ 3 การใช้ตัวประจูด่อนานที่ขั้วของโหลด เพื่อให้อิมพีแดนซ์ที่ขั้วโหลดสมดุลเทียบกับเฟรมกราวด์ คือค่า C_{TB} ซึ่งความสมดุลของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่เกิดขึ้น จะสามารถวิเคราะห์โดยพิจารณาสถานะตัวสวิตช์นำกระแสและปิดเช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ผ่านมา

3.4.1 ความสมดุลของคอนเวอร์เตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์เมื่อสวิตช์นำกระแส

เมื่อทำการชดเชยเพื่อให้เกิดความสมดุลทุก ๆ ส่วนโดยใช้การปรับความสมดุลแบบไฮบริดจ์ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.7 นั้นถ้าพิจารณาสถานะการทำงานของสวิตช์ทั้งสองสถานะ จะแสดงทิศทางลูปการไหลของกระแสรวม โหมคร่วม (I_{cm1}, I_{cm2}) ทั้งสองลูปซึ่งจะนำไปพิจารณาค่าแรงดันรบกวนโหมคร่วมที่เกิดขึ้นได้จากภาพประกอบที่ 3.7 ในสถานะที่สวิตช์ทั้งสองเปิดหรือต่อวงจรให้วงจรคอนเวอร์เตอร์เมื่อวงจรได้รับการปรับที่สมบูรณ์ จะเห็นได้ว่าค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งทั้งสองคือ Z_{CIR} และ Z_{RTN} จะมีค่าเท่ากันนอกจากนี้แรงดันที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเทียบกับเฟรมกราวด์ จะถูกแบ่งออกเป็นครึ่งหนึ่งแรงดันที่แหล่งจ่ายเดิม ($V_S/2$) ด้วยผลของการเพิ่มตัวประจุสมดุลที่แหล่งจ่ายจากผลของการสมดุลนี้จะทำให้ กระแสรวมโหมคร่วม (I_{cm1}, I_{cm2}) ที่เกิดขึ้นจะหักล้างกันที่เฟรมกราวด์มีผลทำให้ค่าแรงดันรบกวนโหมคร่วมจะเท่ากับศูนย์การที่สามารถขจัดกระแสรวมโหมคร่วมให้ลดลงนั้นจะมีผลไปสู่กระแสรวมโหมคร่วมต่างด้วยเช่นเดียวกันและจะเป็นผลให้การแพร่กระจายของแม่เหล็กที่เกิดขึ้นลดลงตามไปด้วย



ก.



ข.

ภาพประกอบที่ 3.7 โครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่โดยใช้การปรับ
ความสมดุลแบบไฮบริดจ์

ก. สวิตช์นำกระแส

ข. สวิตช์หยุดนำกระแส

$$\frac{V_s}{2} - (Z_{SL} + Z_{SW1})(I_{DO} + I_{cm1}) - V_{AFG} = 0$$

$$V_{AFG} = \frac{V_s}{2} - (Z_{SL} + Z_{SW1})(I_{DO} + I_{cm1}) \quad (3.16)$$

$$\frac{V_s}{2} - (Z_{RTN} + Z_{SW2})(I_{DO} + I_{cm2}) - V_{BFG} = 0$$

$$V_{BFG} = \frac{V_s}{2} - Z_{RTN}(I_{DO} + I_{cm2}) \quad (3.17)$$

$$V_{dm} = V_{AFG} - V_{BFG} = 0 \quad (3.18)$$

โดยที่

$$(Z_{SL} + Z_{SW1}) = (Z_{RTN} + Z_{SW2})$$

$$I_{DO} = \frac{\frac{V_s}{2} + \frac{V_s}{2}}{Z_m + (Z_{SL} + Z_{SW1})Z_{CIR} + (Z_{RTN} + Z_{SW2})}$$

$$I_{cm1} = I_{cm2}$$

$$\left. \begin{aligned} (Z_{SL} + Z_{SW1}) &= (Z_{RTN} + Z_{SW2}) \\ I_{cm2} &= I_{cm1} \\ V_{AFG} &= I_{BFG} \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

3.4.2 ความสมดุลของคอนเวอร์เตอร์แบบสมมูลไฮบริดจ์เมื่อสวิตช์ ทยุคนำกระแส

ในสถานะสวิตช์ทยุคนำกระแสที่เช่นเดียวกับคอนเวอร์เตอร์แบบสมมูลไฮบริดจ์ในหัวข้อที่ 3 ค่าอิมพีแดนซ์ของสวิตช์ทั้งสองจะเข้าสู่อันต์เช่นเดียวกัน ดังนั้นจะไม่มีค่ากระแสบวกรวมในสถานะนี้ดังแสดงค่าของอิมพีแดนซ์กระแสบวกรวม และแรงดันที่ขั้วโหลด ดังสมการที่ (3.20)

$$\left. \begin{aligned} Z_{sw1} &= Z_{sw2} = \infty \\ I_{cm2} &= I_{cm1} = 0 \\ V_{AFG} &= I_{BFG} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.20)$$

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการและการวิเคราะห์ความไม่สมดุลของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว สร้างสมการและวงจรสมมูลในสถานะเปิดและปิดของสวิตช์ ในคอนเวอร์เตอร์แบบต่าง ๆ โดยได้ปรับปรุงจากงานวิจัยที่ผ่านมา (นิमित บุญภิรมย์, 2550, หน้า 78-89) โดยกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับ ในรูปขององค์ประกอบเชิงซ้อนระหว่างค่าความต้านทานสายตัวนำส่งและค่าเหนี่ยวนำของสายตัวนำส่ง และค่าอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำกลับ เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ของตัวสวิตช์ในรูปมอสเฟตกำลังเป็นค่าความต้านทานและค่าประจุแฝง โดยจากการวิเคราะห์สมการในขณะที่สวิตช์เปิดวงจรและปิดวงจร ได้เห็นถึงความไม่สมดุลของวงจรในแต่ละลูปอย่างชัดเจน นอกจากนี้ได้แก้ไขการไหลของกระแสบวกรวม ที่เป็นสาเหตุของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำและผ่านอากาศ โดยการปรับวงจรให้เกิดการหักล้างกันทั้งสองลูป โดยพิจารณาจากลูปของสายตัวนำส่งกับเฟรมกราวด์ และสายตัวนำกลับกับเฟรมกราวด์ หลากกับวงจรสมมูลของระบบ 3 เฟส เมื่อพิจารณาเฟรมกราวด์เป็นตัวนำ เส้นหนึ่ง การปรับความสมดุลกระทำได้ 2 ชนิดคือการปรับสมดุลแบบแอคทีฟ คือการใช้สวิตช์คู่และ ปรับสมดุลแบบสมบูร์นทั้งแอคทีฟและพาสซีฟ โดยการปรับสมดุลทั้งแหล่งจ่ายสายตัวนำส่งและกลับ และที่ขั้วโหลด ซึ่งเรียกว่าการปรับสมดุลแบบไฮบริดจ์ จะเกิดการหักล้างอย่างชัดเจนทั้งขณะเปิดวงจรและปิดวงจร โดยในบทต่อไปจะนำเสนอการทดลองวัดสัญญาณ ในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ ทั้งการแพร่กระจายผ่านตัวนำและการแพร่กระจายผ่านอากาศ

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

หลักการของการปรับสมดุลวงจรคอนเวอร์เตอร์ แบบสวิตซ์คู่และแบบไฮบริดจ์ โดยได้นำเสนอหลักการปรับความสมดุล และกำหนดค่าพารามิเตอร์ในวงจรการไหลของกระแสบกววน โหมคร่วม สายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับ โดยพัฒนาจากงานวิจัยที่ผ่านมา (นิมิต บุญภิรมย์, 2550) และกำหนดตัวแปรในรูปวงจรสมมูล ดังแสดงในบทที่ 3 และการวิเคราะห์การไหลของกระแสบกววน โหมคร่วมที่ลดลงหลังจากมีการปรับสมดุลทั้งสองแบบไปแล้วนั้น ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการทดลองวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งในตัวนำและการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ

การปรับสมดุลนั้นเราอาจจะจำแนกได้เป็นสองแบบคือการปรับความสมดุลทั้งแบบพาสซีสและแบบแอคทีฟ เพื่อให้เกิดผลการลดลงของกระแสบกววน โหมคร่วม ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำและซึ่งเป็นที่มาในการเกิด การ สัญญาณรบกวนในอากาศการทดลองจะแบบการทดลองออกเป็นสองส่วน ส่วนที่ 1 จะเป็นการทดลองวัดความสมดุลของของแรงดันและกระแสระหว่างวงจรคอนเวอร์เตอร์เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง ส่วนที่ 2 เป็นการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศแบบระยะไกลตามมาตรฐานการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

4.1 การทดลองวัดรูปคลื่นแรงดันและกระแส ของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์เดี่ยวและคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์คู่

ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองเพื่อวัดค่าแรงดันและกระแสเอาท์พุท ระหว่างคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบ คือ คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์เดี่ยว และคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์คู่ โดยการทดลองการวัดจะพิจารณารูปคลื่นสัญญาณใน โดเมนของเวลาเพื่อเปรียบเทียบรูปคลื่นของแรงดันเอาท์พุทแรงดันรบกวน โหมคร่วม โดยการวัดแรงดันทั้งสองส่วนระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์เดี่ยวและสวิตซ์คู่เพื่อให้เห็นความสมดุล และการหักล้างกันของแรงดันรบกวน โหมคร่วมที่มีผลทำให้สามารถลดกระแสบกววน โหมคร่วมได้ ดังรายการทดลองจะสรุปหัวข้อการทดลองในตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการทดลองโดยจะประยุกต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดการทดลองการวัดเพื่อเปรียบเทียบรูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลดระหว่างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวและวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่

การทดลอง	หัวข้อการทดลอง	วัตถุประสงค์การทดลอง
1	การวัดรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตที่ขั้วโหลดและกระแสที่โหลด	วัดการเกิดแรงดันกระดิ่งของแรงดันและกระแสเอาต์พุต ระหว่างการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์
2	การวัดค่ารูปคลื่นของแรงดันเอาต์พุตที่ขั้วโหลดและแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์.	วัดขนาดของแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ ในสภาวะเปิดและปิด
3	การวัดค่าแรงดันที่ขั้วโหลดเทียบกับเฟรมกราวด์ระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับ	เพื่อวิเคราะห์การหักล้างของแรงดันรบกวนโหมคร่วม และศึกษาการกลับเฟสของแรงดันรบกวนโหมคร่วม ที่คอนเวอร์เตอร์ทั้งสองชนิด

4.2. อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

4. 2. 1 D.C. shunt wound motor separately excited

ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการทดลองจะมีพิกัดตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 4.2 ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการทดลอง

แรงดันพิกัด	30	Volt
กำลังไฟฟ้าพิกัด	200	Watt
กระแสพิกัด	6.2	Amp.
ความเร็วรอบ	1250	r.p.m.

4.2.2 เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. power supply)

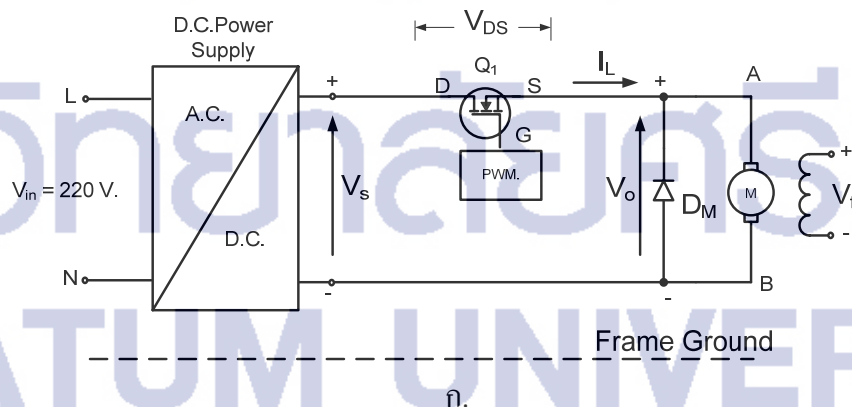
- D.C. power supply ขนาด 500 W., 0-60 volt จำนวน 2 ชุด ใช้ขับเคลื่อนวงจรอาร์เมเจอร์และวงจรสร้างสนามแม่เหล็ก

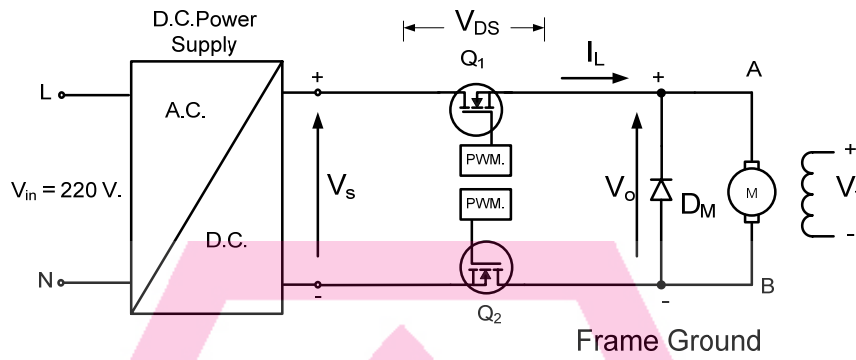
4.2.3 เครื่องมือวัดไฟฟ้า

- D.C. volt meter 0 - 60 volt. 2 ตัว
- D.C. amp meter 0 - 10 amp. 2 ตัว
- Digital Storage Oscilloscope(DSO) 150 MHz.
(Yogogawa รุ่น DL1540C) พร้อมอุปกรณ์วัดรูปคลื่นกระแส
(Current Sensor Prob.) 1:1 A/V

4.3 การทดลองที่ 1 การวัดค่ารูปคลื่นของแรงดันเอาต์พุตที่ขั้วโพล และกระแสที่ไหล

การทดลองนี้จะเป็นการประยุกต์คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวและแบบสวิตช์คู่เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังรายละเอียดที่กล่าวแล้วข้างต้น โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้





บ.

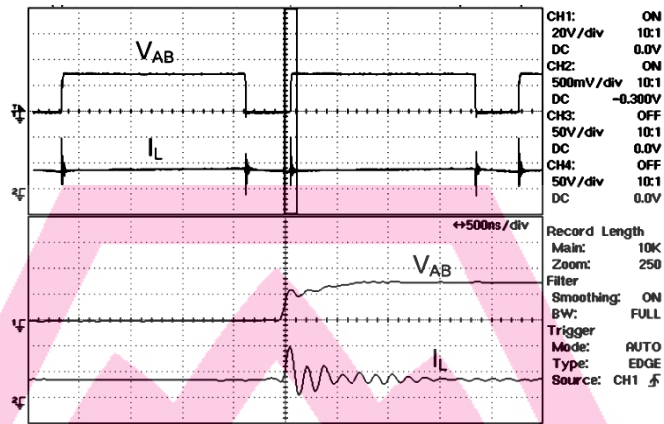
ภาพประกอบที่ 4.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ก. แบบสวิตช์เดี่ยว

ข. แบบคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่

4.3.1. ต่อวงจรการทดลองดังภาพประกอบที่ 4.1 ก. ข. โดยจ่ายแรงดันให้มอเตอร์เท่ากับ พิกัด ปรับความถี่ของ PWM เท่ากับ 10 kHz ความถี่ไซเคิล 80 เฮอร์เซ็นต์

4.3.2 วัดค่าแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ระหว่างจุด A-B และวัดกระแสมอเตอร์ด้วย Current Prob และดิจิตอลออสซิลอสโคปดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าในช่วงที่สวิตช์เปลี่ยนสถานะเปิดและช่วงเวลาที่ปิดวงจร จะเปิดแรงดันชั่วขณะของแรงดันที่ขั้วโหลดจะเกิดการออสซิลเลชันเป็นแรงดันกระดิ่ง (Ringing) จำนวนมากในคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว สาเหตุของการสวิตช์นี้ทำให้เกิดการออสซิลเลชันของแรงดันกระดิ่ง และ กระแสโหลด ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ความถี่สูง และเกิดการรบกวนของกระแสรบกวนโมดรวม ซึ่งจากภาพประกอบที่ 4.2 เมื่อพิจารณาภาพขยายจะเกิดความถี่ที่เป็นผลจากองค์ประกอบของค่าอิมพีแดนซ์อินประกอบด้วยเหนี่ยวนำของสายตัวนำส่งและค่าอิมพีแดนซ์ของตัวสวิตช์ ซึ่งมีค่าประจุแฝงและการรบกวนผ่านประจุแฝงผ่านไปที่เฟรมกราวด์ วิธีหนึ่งที่สามารถลดการเกิดแรงดันกระดิ่งนี้อาจจะใช้วงจร snubber ซึ่งได้มีการทำวิจัยเพื่อลดการรบกวนของแรงดันรบกวนโมดรวมโดยใช้วงจร snubber เช่นเดียวกัน แต่ก็ไม่สามารถลดได้มากและจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่วงจร snubber ได้เช่นเดียวกัน



ก.



ข.

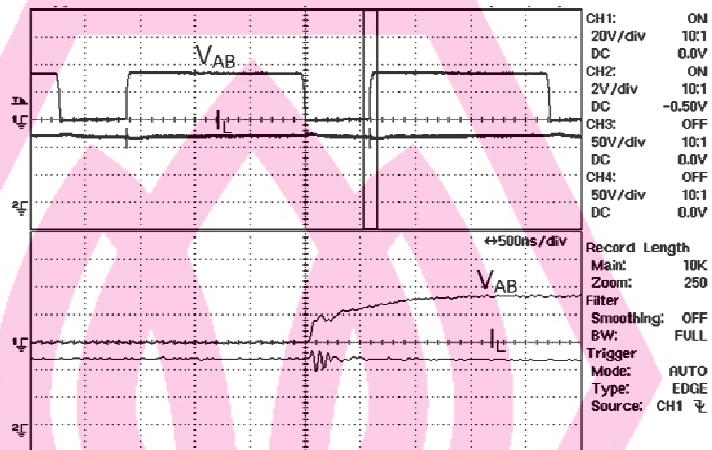
ภาพประกอบที่ 4.2 แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์และกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์
ในสถานะเปิด

ก. คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวขณะสวิตช์เปิด

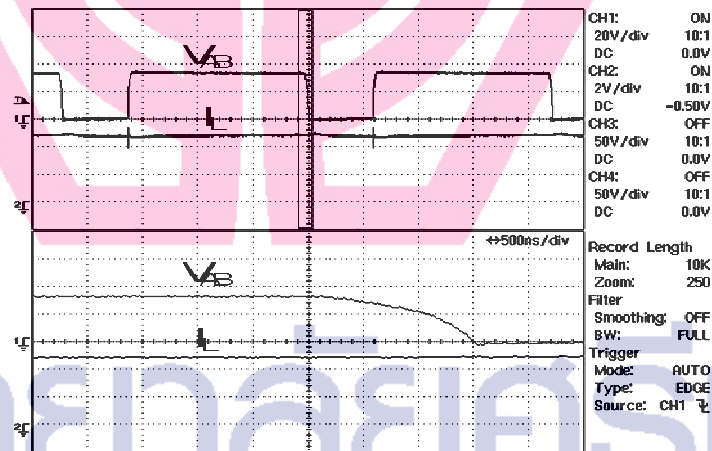
ข. คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวขณะสวิตช์ปิด

4.3.3 ในภาพประกอบที่ 4.3 เป็นผลการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.2 แต่ใช้คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่ จะเป็นได้ว่า ค่าแรงดันกระดิ่ง ลดน้อยลงทั้งในช่วงสวิตช์เปิดและสวิตช์ปิด ผลทางตรงจะทำให้การรบกวนของกระแสรบกวนโดยรวมมีน้อยลง เพราะการรบกวนไหลผ่านตัวประจุช้อนเร้นจะขึ้นอยู่กับความถี่กระดิ่งทั้งในช่วงสวิตช์เปิดและสวิตช์ปิด ดังจะเป็นได้จากรูปคลื่น

กระแสจะมีความถี่กระดิ่งผสมอยู่ด้วย และอีกประการหนึ่งการใช้สวิทช์คู่จะช่วยลดแรงดันที่ตกคร่อมตัวสวิทช์ในขณะที่สวิทช์ปิด ดังนั้นเป็นการลดค่าสูญเสียของตัวสวิทช์และยังสามารถลดขนาดของแรงดันพิกัดของตัวสวิทช์หรือ มอสเฟตกำลัง ได้อีกด้วยดังจะนำเสนอให้หัวข้อต่อไป



ก.



ข.

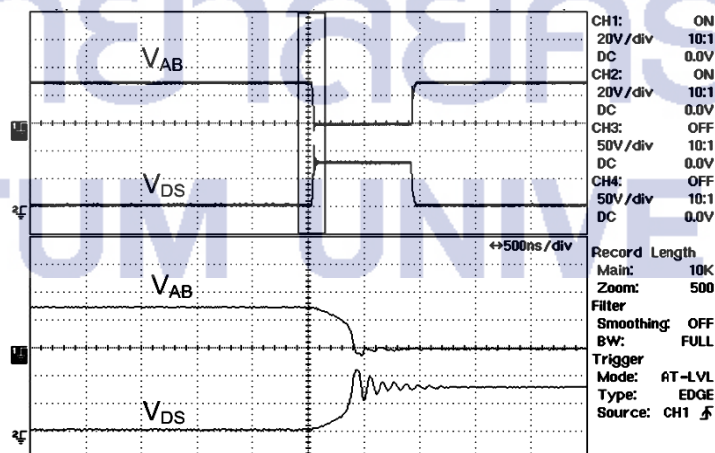
ภาพประกอบที่ 4.3 แรงดันที่ขั้วโหลดและกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ในสภาวะปิด

- ก. คอนเวอร์เตอร์ แบบสวิทช์คู่ขณะสวิทช์เปิด
- ข. คอนเวอร์เตอร์ แบบสวิทช์คู่ขณะสวิทช์ปิด

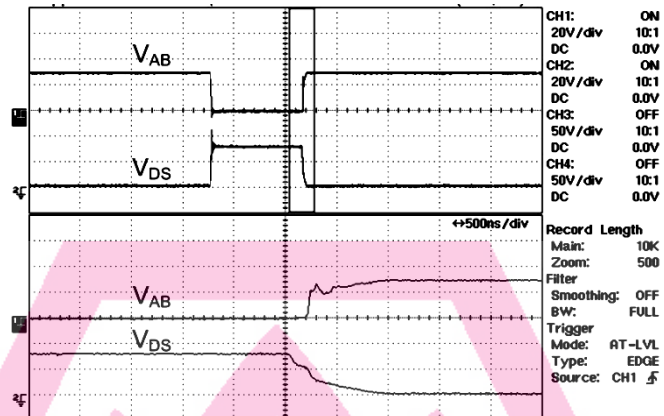
4.4 การทดลองที่ 2 การวัดค่ารูปคลื่นของแรงดันเอาต์พุตที่ซัวโหลดและแรงดันระหว่างขาเดรนและซอสของมอสเฟตที่ใช้เป็นสวิตช์

การทดลองนี้จะเป็นการวัดเพื่อพิสูจน์ให้เห็นถึงผลดีของการใช้คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่ จะมีผลทำให้แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งลดน้อยลง ซึ่งเท่ากับว่าเราสามารถลดขนาดของพิกัดของอุปกรณ์สวิตช์ให้น้อยลงได้ เช่นในที่นี้ใช้มอสเฟตกำลัง ก็สามารถลดขนาดพิกัดของแรงดันมอสเฟตลงได้ทำให้ราคาถูกลงและนอกจากนี้ สามารถลดแรงดันเค้น(Stress Voltage) ของมอสเฟตในขณะที่มอสเฟตอยู่ในสภาวะหยุดทำงานได้เช่นกัน ดังมีลำดับการทดลองดังนี้

4.4.1 ปรับค่าเริ่มต้นการทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1 วัดแรงดันที่ซัวของโหลดและแรงดันที่ตกคร่อมขาเดรนซอสของมอสเฟต เพื่อวัดค่าแรงดันซัวครู่ ขณะเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะจากเปิดและปิด ในคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว จะเห็นได้ว่า ขนาดแรงดันสูงสุดของแรงดันเค้น ในคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวจะมีขนาดเท่ากับแรงดันที่ซัวโหลด หรือเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จากภาพประกอบที่ 4.4 ก. และ ข. จะเป็นการแสดงสภาวะซัวครู่ของการเปลี่ยนแปลงสถานะเปิดและปิด ตามลำดับ แรงดันที่ตกคร่อม ขาเดรนและซอสของมอสเฟต หรือเรียกว่า แรงดันเค้นนั้น จะมีขนาดเท่ากับแรงดันที่โหลดหรือแหล่งจ่าย และมีแรงดันกระดิ่งในช่วงการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการออกแบบต้องคำนึงถึงค่าฟุงเกินในสเททหรือสถานะการเปลี่ยนแปลงด้วย ส่วนในช่วงสวิตช์ปิดก็เช่นเดียวกัน จะเกิดแรงดันกระดิ่งจากการเปลี่ยนแปลงของกระแส ดังนั้นโดยทั่วไปต้องมีวงจรมีวจรสนับเบอร์เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงนี้ มิฉะนั้นจะเกิดอันตรายกับตัวสวิตช์ ซึ่งในกรณีของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่แรงดันที่สวิตช์จะน้อยกว่าแรงดันที่โหลด ซึ่งถือว่าการใช้สวิตช์คู่จะเป็นแก้ปัญหานี้ได้เช่นกัน



ก.



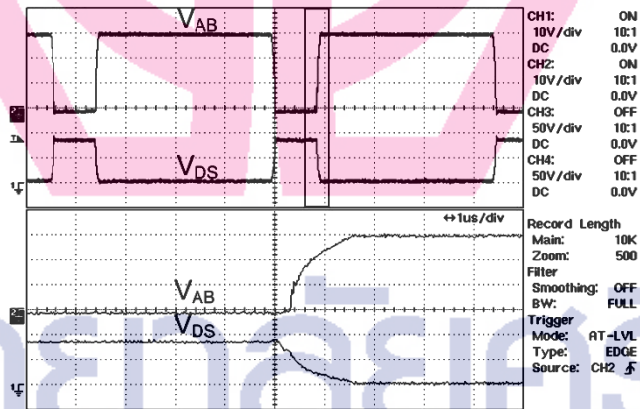
ป.

ภาพประกอบที่ 4.4

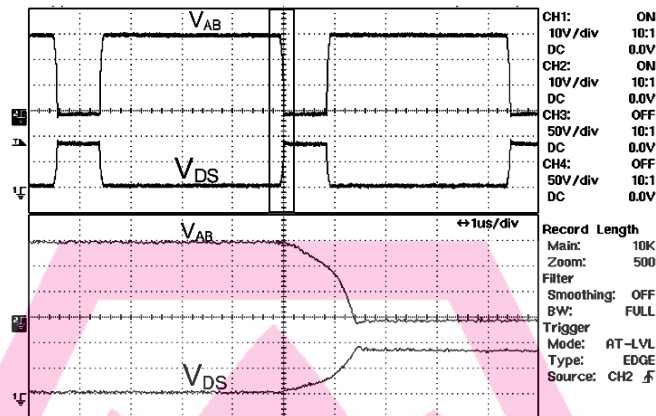
แรงดันที่ขั้วโหนดและแรงดันที่ตกร่อมมอสเฟตของ
คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว

ก. คอนเวอร์เตอร์ แบบสวิตช์เดี่ยวขณะเปิด

ข. คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวขณะปิด



ก.



ป.

ภาพประกอบที่ 4.5 แรงดันที่ขั้วโวลต์และแรงดันที่ตกคร่อมมอสเฟตของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่

- ก. คอนเวอร์เตอร์ แบบสวิตช์คู่ขณะเปิด
- ข. คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่ขณะปิด

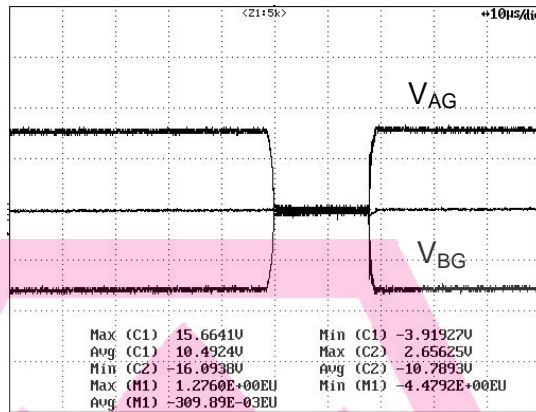
4.4.2 ในลำดับต่อไป จะเป็นการวัดแรงดันที่คร่อมตัวสวิตช์ ในคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่ เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์จะมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวจากผลดีส่วนนี้จะทำให้สามารถลดค่าแรงดันเค้นที่ตัวสวิตช์ทำให้มีผลกับขนาดของตัวสวิตช์และกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์ นอกจากนี้จะเห็นว่าแรงดันกระดิ่ง ของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่จะน้อยกว่าคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยว เหตุผลอันเนื่องมาจากการเฉลี่ยค่าแรงดันเค้น ซึ่งมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งเท่านั้น ซึ่งสามารถแก้ปัญหาเรื่อง การเกิด di/dt หรือ dv/dt ได้เป็นอย่างดี

4.5 การทดลองที่ 3 การวัดรูปคลื่นของแรงดันรบกวนโหมคร่วมที่ขั้วคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวและคอนเวอร์เตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์

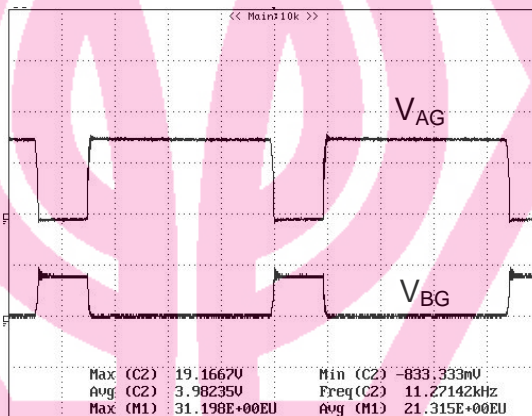
4.5.1 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจะหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันรบกวนโหมคร่วมระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับ เปรียบเทียบระหว่างคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวและคอนเวอร์เตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์ เหตุผลที่เลือกเฉพาะคอนเวอร์เตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์ เนื่องจาก คอนเวอร์เตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ประกอบด้วยสวิตช์คู่ เช่นเดียวกัน และมีการปรับความสมดุลทุกส่วนแล้วทั้งในส่วนของพาสซีสและแอคทีฟ ทำให้

เห็นความแตกต่างของความสมดุลของแรงดันรบกวนโหมคร่วมได้ชัดเจน จึงไม่ขอ้นำการปรับความสมดุลแบบสวิทช์คู่มากล่าว การวัดค่าแรงดันรบกวนโหมคร่วมนี้ ในความเป็นจริงแล้ว อาจไม่ใช่แรงดันรบกวนโหมคร่วมที่แท้จริงเพราะแรงดันรบกวนโหมคร่วม แต่ขอใช้แรงดันที่ชั่วโหลดเทียบกับเฟรมกราวด์นี้ เปรียบเสมือนการกำหนดแรงดันตำแหน่งหนึ่ง ที่เทียบเคียงตำแหน่งเดียวกัน ในรูปด้านล่างและด้านบนของสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับ ดังนั้นถ้าแรงดันทั้งสองมีค่าเท่ากันและสมมาตรกันก็เปรียบเทียบเคียงให้เป็นแรงดันรบกวนโหมคร่วมได้ เช่นเดียวกัน การวัดจะทำการวัดแรงดัน ที่ขั้วของโหลดระหว่างจุด A กลับเฟรมกราวด์คือแรงดัน V_{AG} และ จุด B เป็นจุดที่ขั้วโหลดที่สายตัวนำกลับกับเฟรมกราวด์ คือแรงดัน V_{BG} โดยมีหลักการพิจารณาจริงว่าถ้ากระแสรบกวนโหมคร่วมที่ไหลลงสู่เฟรมกราวด์เกิดการหักล้างกันที่รูปของสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับแล้วจะต้องมีแรงดันรบกวนโหมคร่วมเท่ากันและมีทิศทางตรงข้ามกัน โดยการวัดแรงดันดังกล่าวที่คอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์เดี่ยว ดังแสดงให้เห็นในภาพประกอบที่ 4.6 ก. ซึ่งแรงดันรบกวนโหมคร่วมทั้งสองส่วนมีความไม่สมดุลกัน ส่วนในภาพประกอบที่ 4.6 ข เป็นการวัดลักษณะเดียวกันที่วัดที่คอนเวอร์เตอร์แบบไฮบริดจ์ จะเห็นได้ว่าแรงดันทั้งสองมีความสมดุลกัน และมีเฟสตรงกันข้ามกัน เมื่อเป็นดังนี้ค่ากระแสรบกวนโหมคร่วมที่เกิดขึ้นก็จะมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน และมีเฟสตรงข้ามกัน จะเกิดการหักล้างกันที่เฟรมกราวด์ ตามหลักการที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น

เมื่อทำการขยายภาพแรงดันดังภาพประกอบที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าในภาพ ก. เป็นภาพขยายของแรงดันรบกวนโหมคร่วมของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์เดี่ยวจะมีขนาดระหว่างแรงดัน V_{AG} และ V_{BG} ไม่เท่ากัน และยังมีเฟสไม่ตรงกัน ดังนั้นจึงไม่เกิดการหักล้างกัน ส่วนในภาพประกอบที่ 4.7 ข, ค. เป็นภาพขยายของคอนเวอร์เตอร์แบบไฮบริดจ์ จะเห็นได้ว่า เฟสของแรงดันทั้งสองจะมีค่าตรงข้ามกันด้วย จากแรงดันกระดิ่งที่เกิดขึ้น มีการออสซิลเลต ที่มีเฟสค่อนข้างจะตรงกันข้ามกัน ในการวัดได้ทำการลดแรงดันลงเพื่อให้เห็นภาพอย่างชัดเจน โดยเน้นในส่วนของสภาวะชั่วคราว จาก 2 รูปคลื่น ไปจนถึง 4 รูปคลื่น จากภาพประกอบที่ 4.7 จะเห็นได้อย่างชัดเจนถึงสัญญาณแรงดันกระดิ่ง ที่เป็น V_{AG} และ V_{BG} มีเฟสที่หักล้างกันรูปคลื่นต่อรูปคลื่น



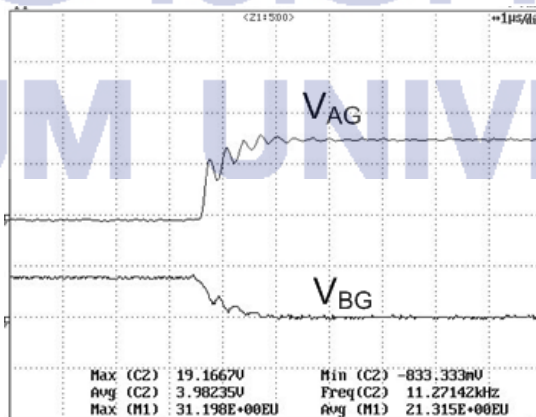
ก.



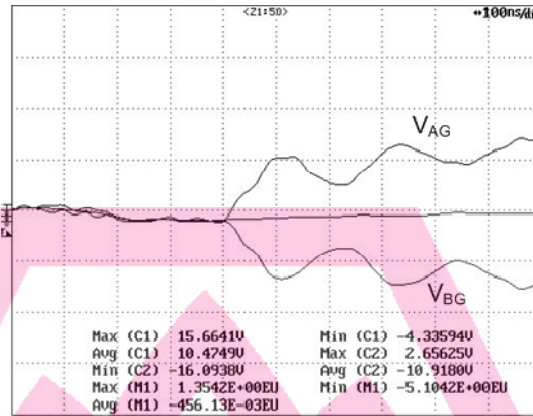
ข.

ภาพประกอบที่ 4.6 แรงดันที่ขั้วโพลดเทียบกับเฟรมกราวด์

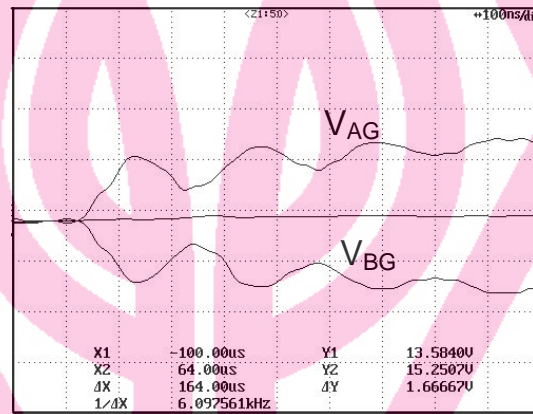
ก. คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์เดี่ยว ข. คอนเวอร์เตอร์แบบสมมูลไฮบริดจ์



ค.



ป.



ก.

ภาพประกอบที่ 4.7 ภาพขยายการหักล้างของเฟสของแรงดันรบกวนโหมมคร่อม

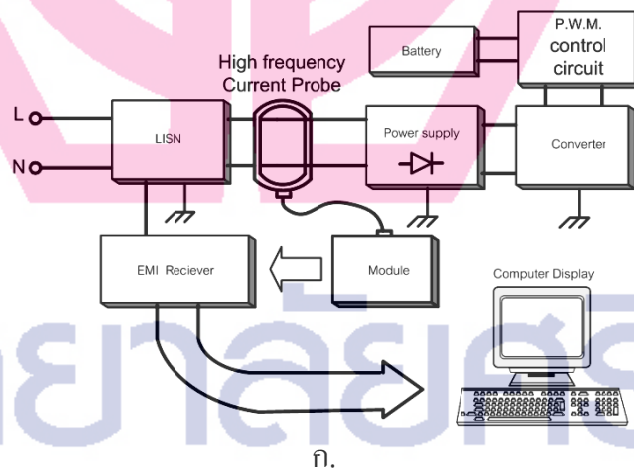
ก. คอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์เดี่ยว

ข.ค. คอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์ไฮบริดจ์

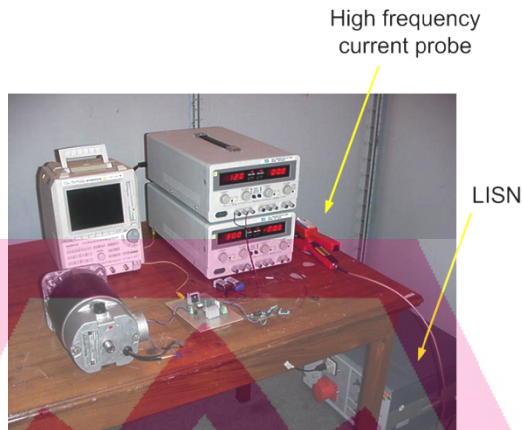
งานวิจัยที่ผ่านมาได้เคยนำเสนอการวัดความสมดุลลักษณะนี้เช่นกัน ที่ไม่ได้แสดงความสัมพันธ์ของเฟสของการหักล้างอย่างชัดเจน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางดังกล่าวมาเพิ่มรายละเอียดให้มากขึ้น เพื่อเป็นการยืนยันหลักการสมดุล ในการลดปัญหาของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำ และ เป็นผลไปสู่การลดการรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศได้ โดยจะมีผลการวัดสัญญาณรบกวนทั้งในโหมดต่าง และ โหมมคร่อม ในหัวข้อต่อไป

4.6 การทดลองวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ

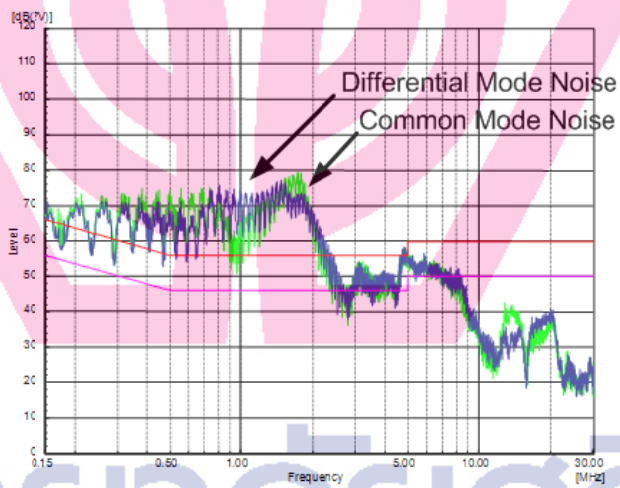
การทดลองต่อจากนี้จะเป็นการทดลองวัดค่าสเปคตรัมการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ โดยหลังจากที่ได้พิสูจน์ให้เห็นถึงผลของสัญญาณแรงดันรบกวนโหมคร่วมในโดเมนของเวลาเรียบร้อยแล้ว เราจะทำการวัดการแพร่กระจายคลื่นในห้องปฏิบัติการทดลองการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาตรฐาน โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.8 ส่วนประกอบจะประกอบด้วย ส่วนที่ 1 คือ Line Impedance Stabilizer Network (LISN) มีหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนจากวงจรทดลองสู่ภายนอกและป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้าสู่วงจรการทดลอง เพื่อมิให้การทดลองผิดพลาด ส่วนที่ 2 เป็นโพรบวัดกระแสความถี่สูงเพื่อวัดค่ากระแสรบกวนโหมคร่วมที่ไหลในวงจรทดลองและนำไปต่อกับอุปกรณ์การวัดหรือเครื่องรับค่าการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Receiver) และนำไปประมวลผลผ่านคอมพิวเตอร์ต่อไป ดังแสดงภาพประกอบที่ 4.8 และ 4.9 จะเป็นวงจรและอุปกรณ์จริงที่ใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการทดลอง



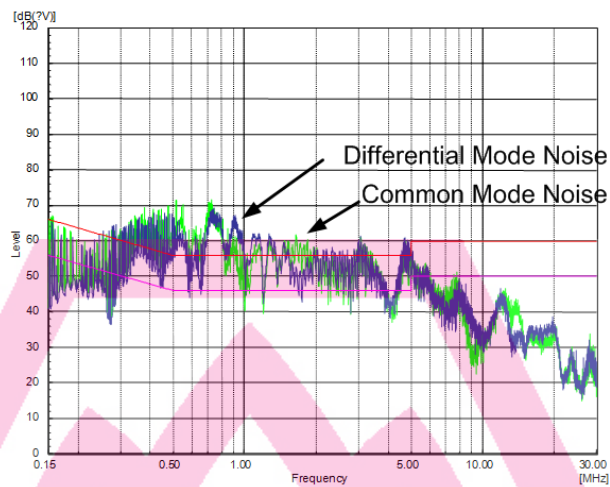
ภาพประกอบที่ 4.8 โครงสร้างของการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ



ภาพประกอบที่ 4.9 เครื่องมือวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ



ก.



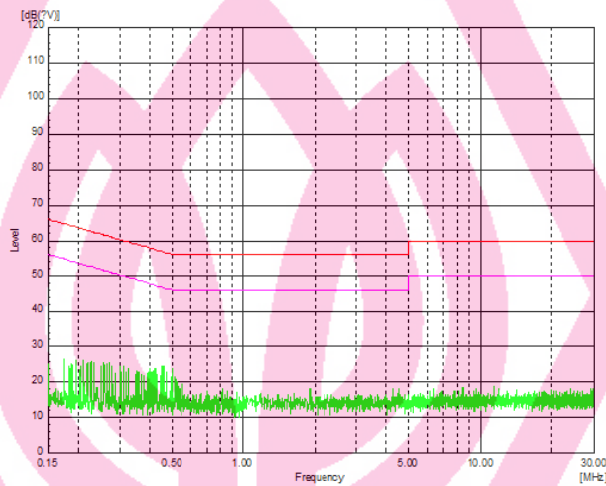
ข.

ภาพประกอบที่ 4.10 สเปกตรัมของกระแสรบกวนโหมดต่างและโหมดร่วม

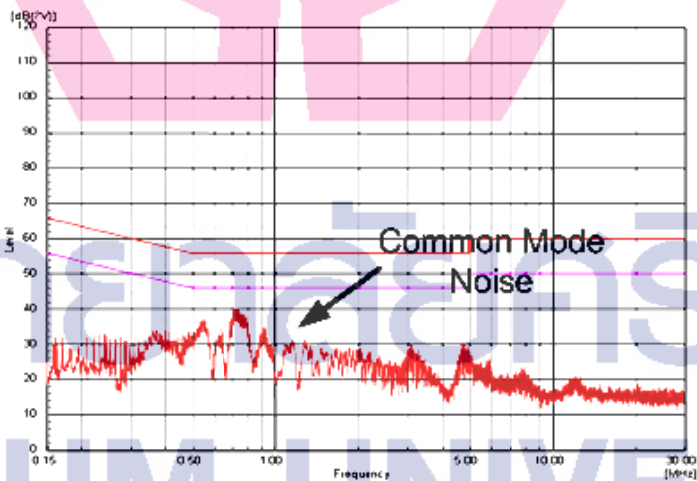
- ก. คอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์เดี่ยว
- ข. คอนเวอร์เตอร์แบบไฮบริดจ์

จากผลการวัดสเปกตรัมของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์เดี่ยวและแบบสวิทช์คู่แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าระดับการแพร่กระจายของคลื่นของแบบสวิทช์คู่จะลดลงตั้งแต่ย่านความถี่สูงคือระหว่างความถี่ตั้งแต่ 1 MHz ไปจนถึง 30 MHz. ซึ่งเป็นผลจากกระแสรบกวนโหมดร่วมลดลงจากการปรับปรุงความสมดุลวงจรคอนเวอร์เตอร์โดยใช้ 2 สวิทช์หรือใช้สวิทช์คู่แต่ความสมดุลจะยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยการสร้างความสมดุลแบบไฮบริดจ์ดังจะแสดงให้เห็นถึงผลของสเปกตรัมของคอนเวอร์เตอร์แบบไฮบริดจ์จะสามารถลดค่าสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ทั้งในย่านความถี่ต่ำและความถี่สูงดังแสดงให้เห็นสเปกตรัมของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในคอนเวอร์เตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์เปรียบเทียบกับคอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์เดี่ยวผลการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงตั้งแต่ย่าน 1 MHz – 30 MHz. ส่วนในย่านความถี่ต่ำจะลดลงจากเดิมประมาณ 10 dB ตั้งแต่ย่าน 0.15 MHz – 1 MHz. แสดงให้เห็นว่าความสมดุลของวงจรแบบไฮบริดจ์เป็นการปรับปรุงความสมดุลที่สมบูรณ์ ทั้งความสมดุลแบบพาสซีฟคือความสมดุลจากค่าประจุขั้วอินพุตทั้งสองด้านคือด้านสายตัวนำส่ง และสายตัวนำกลับมีการรั่วไหลของกระแสรบกวนโหมดร่วมในระดับใกล้เคียงกันและไหลไปหักล้างกันใน เฟรมกราวด์ และความสมดุลแบบแอกทีฟ ซึ่งเป็นการทำงานของตัวสวิทช์ซึ่งพร้อมกันทั้งสองด้าน ทำให้เฟสของแรงดันกระดิ่งของตัวสวิทช์ทั้งสองด้านมี

เฟสตรงข้ามกัน และเฟสของกระแสรบกวนโหมคร่วมก็จะมีเฟสตรงข้ามกันเช่นกัน เมื่อเป็นเช่นนั้น เมื่อเราปรับปรุงทางเดินของวงจรกระแสรบกวนโหมคร่วม ให้เกิดเป็นลูป ที่มีการหักล้างกันดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นผลของความสมดุลของวงจร ทั้งสองแบบมีผลให้สเปกตรัมของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำลดลง ดังแสดงตั้งแต่ภาพประกอบที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



ก.



ข.

ภาพประกอบที่ 4.11 สเปกตรัมกระแสรบกวนโหมคร่วม
ของคอนเวอร์เตอร์แบบความสมดุลไฮบริดจ์

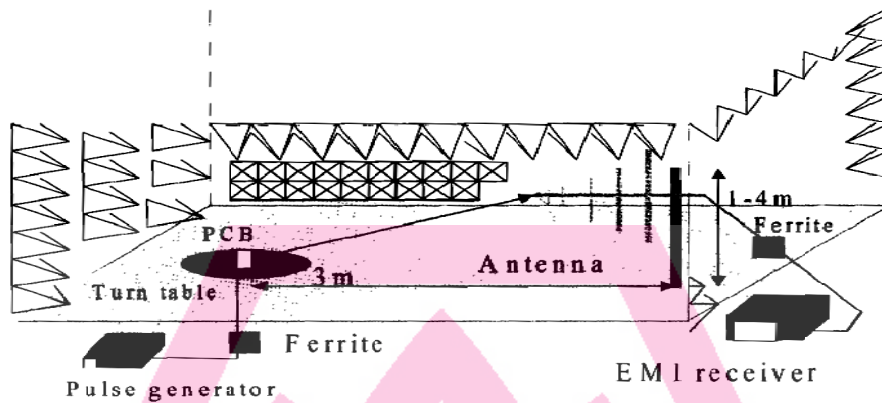
- ก. สัญญาณรบกวนแวกต์อิม
- ข. สัญญาณรบกวนโหมคร่วม

4.7 การทดลองวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ

ดังที่ได้กล่าวหลักการอย่างกว้าง ๆ ไปแล้วในบทที่ 3 ในภาพประกอบที่ 3.1 ได้แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ เป็นผลมาจากกระแสรวมกันของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก และทำให้เกิดกระแสรวมกันใหม่ต่าง เกิดการแพร่กระจายในตัวนำเข้าไปสู่ในวงจรหลักหรือไหลย้อนเข้าไปในแหล่งจ่าย ไปรบกวนอุปกรณ์ข้างเคียงที่อยู่ใกล้เคียงหรือต่อร่วมอยู่ การแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำนี้ จะทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ เนื่องจากกระแสรวมกันที่มีความถี่สูงไหลผ่านตัวนำ จะเกิดการเชื่อมโยงในลักษณะต่าง ๆ กันตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ตัวนำจะแสดงผลเป็นสายอากาศแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณ หรือแพร่สนามแม่เหล็กแบบไม่พึงประสงค์ ดังนั้นการป้องกันการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ ได้มีการป้องกันในลักษณะต่าง ๆ เช่นกำหนดรูปแบบของลายวงจร บนแผ่นลายวงจรรวม ให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในน้อยที่สุด หรือเป็นการสร้างกำแพงหรือชิลด์ตัวนำ หรือ แผ่นลายวงจรรวมในลักษณะต่าง ๆ

ในงานวิจัยฉบับนี้ ใช้หลักการของการลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำ เพื่อให้ยังผลไปยังการลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศ โดยใช้การปรับความสมดุลเพื่อขจัดหรือลดกระแสรวมกันใหม่ต่าง ซึ่งส่งผลให้ช่วยลดกระแสรวมกันใหม่ต่างด้วยเช่นกัน ตามมาตรฐาน การทดลองหรือการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ของอุปกรณ์ไฟฟ้า จะถูกจำลองให้อยู่คล้ายสถานะจริงของจะทำการทดสอบหรือทดลองในระยะ 3 เมตร หรือเรียกว่า การทดสอบระยะไกล (Far Field) โดยเพื่อเป็นการประเมินการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เหมือนกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้าน และกระทบกับบ้านใกล้เคียง นอกจากนี้จะมีการทดสอบในระยะใกล้คือระยะ 1 เมตร หรือเรียกว่า การทดสอบระยะใกล้ (Near Field) เพื่อวิเคราะห์ประเมินการแพร่กระจายที่ผลกับอุปกรณ์ไฟฟ้าใกล้เคียงในบริเวณเดียวกัน หรือเป็นการประเมินสาเหตุของการแพร่เข้ามาจากแหล่งใดในอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือวงจรไฟฟ้าส่วนใด

ในงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นการทดลองหรือทดสอบการแพร่กระจายในระยะไกลหรือเรียกว่า Far Field โดยจะต่อวงจรคอนเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์เดี่ยว สวิตซ์คู่ และแบบสมดุลไฮบริดจ์ตามลำดับ

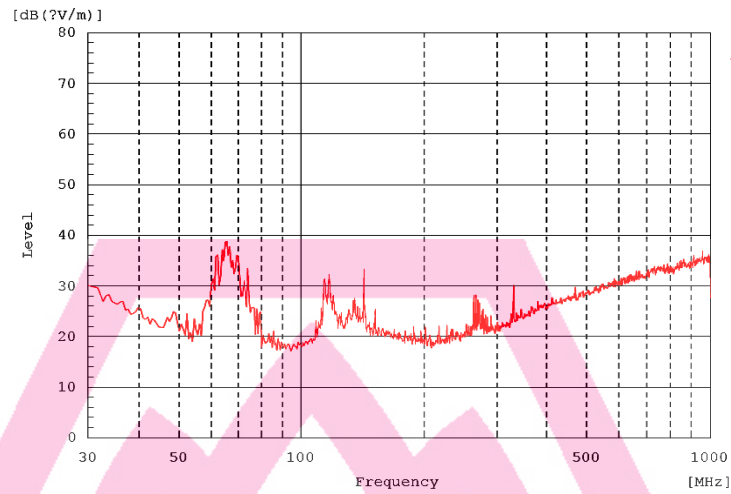


ภาพประกอบที่ 4.12 โครงสร้างของการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศในห้องปฏิบัติการทดสอบการแพร่กระจาย

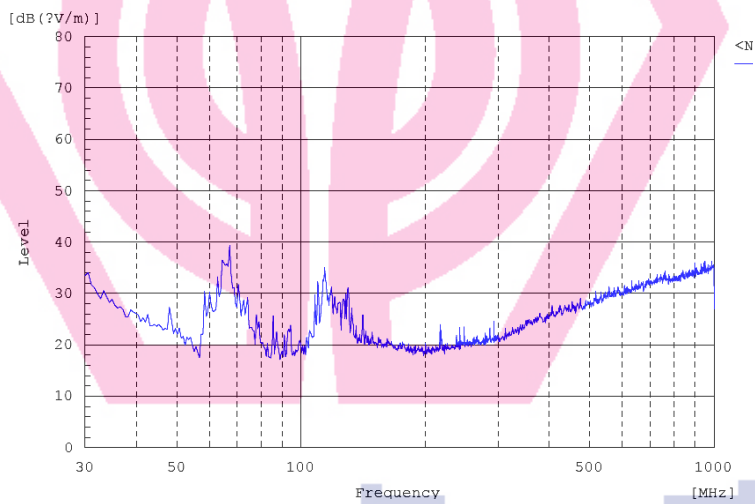
จากภาพประกอบที่ 4.12 แสดงถึงโครงสร้างของการทดลองหรือการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ โดยประกอบด้วยชิ้นงานหรือวงจรถอนแวนเตอร์ที่ตั้งอยู่ภายในห้องปลอดความถี่ ในที่นี้เป็นตำแหน่ง PCB ที่อยู่บนโต๊ะและสามารถหมุนได้ 360 องศา ภายในประกอบด้วยเสาอากาศเครื่องรับดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.13 เพื่อให้ตรวจจับการแพร่กระจายในระยะห่าง 3 เมตร โดยจะวัดในแนวแกนตั้ง (Vertical) และแนวนอน (Horizontal) โดยเสาอากาศเครื่องรับหรือตัววัดจะเคลื่อนที่ ในระยะ 3 เมตร ทั้งสองแกน และ ในระยะ 1 เมตร ทั้งสองแกนเช่นกัน



ภาพประกอบที่ 4.13 โครงสร้างของการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศในห้องปฏิบัติการทดสอบการแพร่กระจาย



ก.



ข.

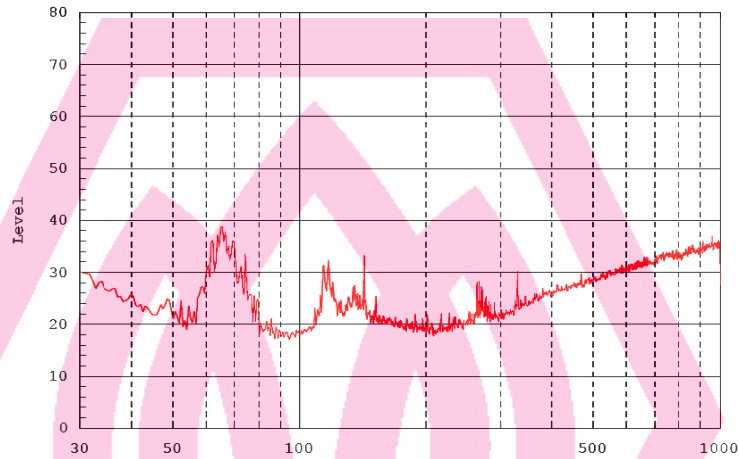
ภาพประกอบที่ 4.14 สเปกตรัมการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ

ของคอนเวอเตอร์แบบสวิตซ์เดี่ยว

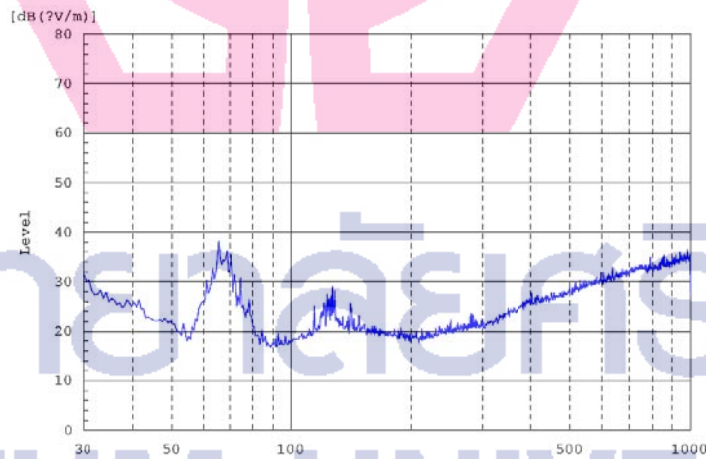
ก. แนวตั้ง ข. แนวนอน

การทดลองกระทำเช่นเดียวกันกับการทดลองการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ โดยทำการทดลองกับคอนเวอเตอร์ทั้ง 3 ชนิด บันทึกผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.14 ถึงภาพประกอบที่ 4.16 แต่ละภาพจะแสดงให้เห็นการวัดในระยะไกลในแนวนอนและแนวตั้งของโต๊ะที่ใช้ในการวัด โดยทำการหมุนตั้งแต่มุม 0 องศา ถึง 360 องศาในลักษณะการวางแบบเดียวกัน จะ

เห็นได้ว่าการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศจะลดลง แต่การลดลงอาจจะไม่ชัดเจน
 เหมือนการแพร่กระจายผ่านตัวนำอันเนื่องมาจากการวัดระยะไกลเป็นการพิจารณาในภาพรวม
 ทั้งหมดซึ่งจะยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัยในการแพร่กระจายผ่านอากาศ



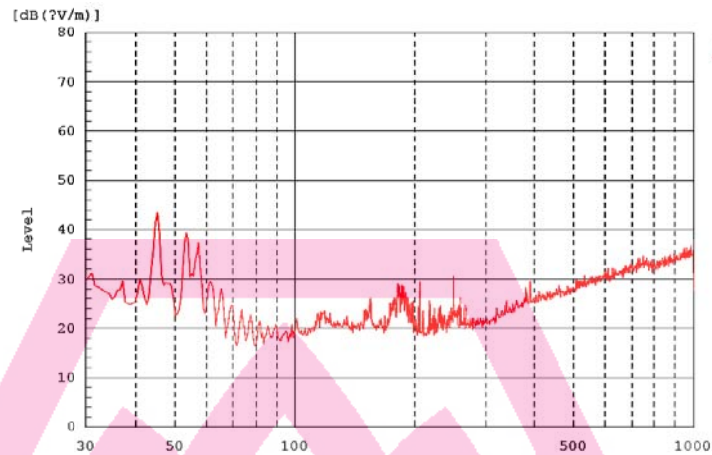
ก.



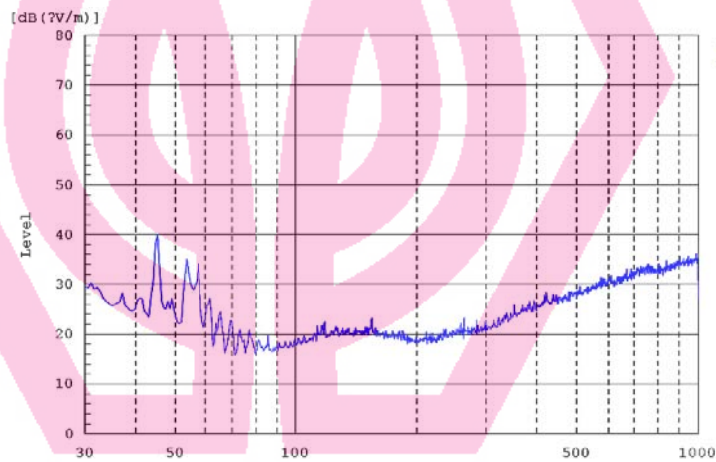
ข.

ภาพประกอบที่ 4.15 สเปกตรัมการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ
 ของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์คู่

ก. แนวตั้ง ข. แนวนอน



ก.



ข.

ภาพประกอบที่ 4.16 สเปกตรัมการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ
ของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสมมูลไฮบริดจ์

ก. แนวตั้ง

ข. แนวนอน

จากผลการทดลองวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศของคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 3 แบบดังภาพประกอบที่ 4.14 – 4.16 พบว่า การแพร่กระจายของคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวจะมีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก ในย่าน 60 MHz ขึ้นไป โดยมีขนาด สูงสุดที่ 40 dB และในย่านความถี่ประมาณ 120 MHz จะมีขนาดสูงสุด ประมาณ 30 dB และมีการรบกวนค่อนข้างมาก แต่เมื่อพิจารณาในเงื่อนไขเดียวกันเมื่อทำการทดลองวัดกับคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่ในย่าน 60 MHz จะมีขนาดใกล้เคียงกันและในย่าน 120 MHz การรบกวนจะมีน้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวัดในแนวแกนคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่จะมีการรบกวนน้อยกว่าแบบสวิตช์เดี่ยวขนาดของ

สเปกตรัมในแนวแกนนอนจะน้อยกว่าแบบแรกโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในย่านความถี่ ตั้งแต่ 100 MHz ขึ้นไปเมื่อมาพิจารณาผลการทดลองของคอนเวอร์เตอร์แบบสมดุไลบริดจ์จะเห็นได้ว่าการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือการรบกวนจะมีน้อยลงทั้งในแนวตั้งและแนวนอนแต่สภาวะชั่วคราวที่ความถี่ 60 MHz และความถี่ 120 MHz. จะมีใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้ จะเป็นเพราะสภาวะชั่วคราวของการสวิตช์จะเกิดขึ้นในจังหวะเดียวกัน นอกจากนี้การพิจารณาการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอาจจะต้องพิจารณาอีกหลายกรณี เช่น ลักษณะของสายตัวนำ การออกแบบลายวงจรรวม หรือ การแพร่กระจายในปัจจัยอื่นๆแต่ในที่นี้ ผู้ทำวิจัยได้พิจารณาเพียงผลกระทบหรือผลสืบเนื่องของการลดกระแสรบกวน โหมดร่วม และการลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำซึ่งส่งผลต่อการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศเพียงกรณีเดียวซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผลกระทบตามสมมุติฐานของความเกี้ยวโยงเกิดผลให้การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงได้จริง เมื่อมีการลดหรือขจัดกระแสรบกวน โหมดร่วมหรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำ ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ โดยการใช้วิธีปรับสมดุลวงจร ของคอนเวอร์เตอร์โดยวิเคราะห์ผลการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศที่เป็นผลมาจากการไหลวนของสัญญาณรบกวนโหมคร่วม และส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำและการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศตามลำดับ และจากการวิเคราะห์สาเหตุสำคัญประการหนึ่งของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองทางดังกล่าวมาแล้วนี้ ได้พบว่าความไม่สมดุลของวงจร โดยในที่นี้ได้วิเคราะห์วงจรคอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่เป็นคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์เดี่ยวในขณะที่ขับโหลดที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ทำให้เกิดการไหลของกระแสรบกวนโหมคร่วม ในขณะที่เกิดทำงานของตัวสวิตช์ ที่เป็นมอสเฟตกำลัง ตามทำงานของวงจร ซอเปอร์ด้วยสัญญาณ PWM เกิดการรั่วไหลของกระแสรบกวนโหมคร่วม ผ่านค่าประจุแฝง ผ่านตัวระบายความร้อนลงสู่เฟรมกราวด์ แต่เนื่องจากการรั่วไหลของกระแสรบกวนโหมคร่วมดังกล่าวเกิดขึ้นในด้านเดียวของสวิตช์ที่อยู่ในสายตัวนำส่งที่สายตัวนำกลับจะเป็นการต่อวงจรโดยตรงจากโหมคที่เป็นมอเตอร์กลับไปสู่แหล่งจ่ายหลักหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นกระแสรบกวนโหมคร่วมนี้ก็จะไหลวนจากเฟรมกราวด์กลับไปสู่แหล่งจ่าย จากแนวคิดในการปรับปรุงความสมดุลโดยการพยายามให้กระบวนกรั่วไหลซึ่งเราไม่สามารถควบคุมได้นี้เกิดขึ้นทั้งสองด้านจะได้เพิ่มตัวสวิตช์ในสายตัวนำกลับทำให้เกิดเป็นคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่หรือ 2 สวิตช์ขึ้น จากผลของการปรับปรุงเช่นนี้จะทำให้เกิดความสมดุลซึ่งเราเรียกว่าเป็นความสมดุลแบบแอกทิฟ เพราะสเตทของการทำงานมีทั้งเปิดและปิดจะทำให้เกิดการรั่วไหลของกระแสรบกวนโหมคร่วมทั้งสองด้านและไหลไปรวมกันที่เฟรมกราวด์ แต่เนื่องจากเฟสของกระแสที่รั่วไหลทั้งสองด้านมีทิศทางตรงข้ามกัน จึงเกิดการหักล้างขึ้นที่เฟรมกราวด์กระแสรั่วไหลโหมครวมนี้จะถูกจำกัดให้น้อยลงหรือลดลงอย่างสมบูรณ์ นอกจากผลของการสมดุลแบบแอกทิฟแล้ว เพื่อให้เกิดความสมดุลยังสมบูรณ์ยังได้นำเสนอการปรับความสมดุลแบบไฮบริดจ์ โดยการพยายามทำให้แหล่งจ่าย และโหมค มีความสมดุลของวงจรระหว่างสายตัวนำส่งและสายตัวนำกลับเมื่อเทียบกับเฟรมกราวด์โดยการต่อตัวประจุ ระหว่างขั้วของแหล่งจ่ายที่ด้านบวกและด้านลบลงสู่เฟรมกราวด์ และทำเช่นเดียวกันนี้ที่ขั้วของโหลดจากผลการปรับปรุงดังนี้ ความสมดุลระหว่างแอกทิฟและพาสซีสจะมีผลทำให้กระแสรบกวนโหมคร่วมลดน้อยลงและเกิดความสมดุลได้อย่างสมบูรณ์ จากผลการทดลองทั้งในส่วนของการวัดสัญญาณของแรงดันรบกวนโหมคร่วมเมื่อเทียบกับเฟรมกราวด์จะแสดงให้เห็นถึงรูปคลื่นของแรงดันรบกวนโหมคร่วมมีปริมาณเท่ากัน

เมื่อทำการปรับความสมดุลเรียบร้อยแล้วและเมื่อทำการทดลองวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำในห้องทดสอบมาตรฐานก็พบว่าการลดลงของสเปกตรัมของการแพร่กระจายคลื่นผ่านตัวนำ ลดลงตามลำดับ จากการปรับสมดุลโดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์คู่และคอนเวอร์เตอร์แบบสมดุลไฮบริดจ์ โดยสเปกตรัมสามารถลดลงทั้งในย่านความถี่ต่ำและความถี่สูงซึ่งเป็นผลให้ลดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศได้เช่นเดียวกัน ดังผลการทดลองในบทที่ 4 การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศจากทดลองในย่านความถี่สูงและการรบกวนจะมีค่าน้อยลงตามลำดับ

แต่อย่างไรก็ดี แม้ว่าการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ จะเป็นผลสืบเนื่องมากจากการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวนำ ที่เป็นสาเหตุของการไหลของกระแสรบกวน โหมคร่วมดังที่กล่าวมาแล้วแต่ก็ยังมีอีกหลายปัจจัยในการที่จะเกิดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ เช่นลักษณะของตัวนำระยะของสายวงจรในแผ่นวงจรรวมรูปแบบของตัวระบายความร้อนและการแพร่กระจายจากตัวนำอื่นๆซึ่งสามารถแสดงผลเป็นสายอากาศได้ทั้งสิ้น ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอเพียงแนวทางของต้นเหตุสำคัญกรณีหนึ่งซึ่งเป็นผลมาจากกระแสรบกวน โหมคร่วม ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังจำพวกคอนเวอร์เตอร์เท่านั้น ส่วนสาเหตุอื่นจะต้องมีการศึกษาต่อไป และอีกประการหนึ่งการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นการวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ ในกรณีของการแพร่ระยะไกลซึ่งจะได้ผลในภาพรวมเท่านั้นในการวิเคราะห์ในลำดับต่อไปอาจจะต้องคำนึงถึงการวัดการแพร่กระจายในระยะใกล้ซึ่งสามารถวิเคราะห์และประเมินถึงผลสรุปและสาเหตุได้อย่างละเอียดมากขึ้นต่อไป



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- Clayton, A., and Paul. 2006. **Introduction to Electromagnetic Compatibility**. USA: John Willey & Son.
- Henry W, Ott. 1989. **Noise Reduction Techniques in Electronic Systems**. USA: John Willey & Son.
- John C. Fluke. 1991. **Controlling Conducted Emissions by Design**. USA: Van Nostrand Reinhold.
- Mark Nave, J. 1991. **Power Line Filter Design for Switched-Mode Power Supplied**. USA: Van Nostrand Reinhold.
- Xin, M.H., Pong, Lu Z.Y., and Z.M. Qian. 2000. "Novel boost PFC with low common mode EMI: Modelling and design." **IEEE APEC Proc.** 2:178-182.
- Yee,H.P. 1997. "An EMI Suppression MOSFET Driver, Power Electronic Conference and Exposition." **APEC'97 Conference Proceeding 1997.** 1: 242-248.
- D. Cochrane, D.Y. Chen, & D. Boroyevic. 2003. "Passive Cancellation of Common-Mode Noise in Power Electronic Circuit." **IEEE Trans. on Power Electronics.** 8, 5 : 756-763.
- Nitta,S., and Shimayama, T. 1990. "Non-Resonating Noise Filter." **IEEE Int. & Symp.on EMC 90.** 683-687.
- Masahits, S., Ge Li, and Tamotsu,N. 2003. "Balanced Switching Converter to Reduce Common-Mode Conducted Noise." **IEEE Trans. on Industrial Electronics.** 50, 6: 1095-1099.
- Nimit Boonpirom, Yothin Prempraneerach, Kitti Paithhoonwatanakij, Kraison Aunchaleevarapan, and Shuichi Nitta. 2007. "A Study on the System Imbalance of the Single- Switch Converter for the Conductive Common Mode Noise Reduction." **IEICE Transaction on Communication,** E90-B , 8 : 2126-2137.
- ประสิทธิ์ ทิมพุดิ และไกรสร อัญชลีวรพันธ์. 2549. **EMC 1: มาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ มาตรฐานทดสอบ**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิมิต บุญภิรมย์. 2550. "การวิเคราะห์เสถียรภาพแบบสัญญาณขนาดเล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และการแทรกซ้อนของแม่เหล็กไฟฟ้าของคอนเวอร์เตอร์ที่เป็นตัวชดเชย." วิทยานิพนธ์ปริญญาคุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นาย นิमित บุญภิรมย์.
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 8 ตุลาคม 2498
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	42/19 หมู่ 3 ต. บ้านใหม่ อ. ปากเกร็ด จ. นนทบุรี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2530	คอบ. (วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง) จาก สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศน์
พ.ศ. 2542	วศม.จาก สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551	วศด จาก สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY