

รายงานฉบับสมบูรณ์

Final Report

อุปกรณ์แยกสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง
Noise Separator

หัวหน้าโครงการ

รศ. ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน

นักวิจัย

นายพงษ์เทพ เกิดดอนแพก

นายชุตินันท์ คูยายโสม

นายปฏิวัติ บุญมา

นายธนเทพ มณีนิพนธ์

นายทศพร อุดมศิลป์ศิริกุล

นางสาวปทุมทิพย์ สังข์พันธุ์

นายมานพ หวังหมัด

นายจตุพงษ์ ดารารัตน์

นายคทาภู เกียรติกำจร

นายดำรง สกุลหิรัรักษ์

นายเสน่ห์ สารทลาลัย

นายนรสิงห์ เสียงตรง

นายกฤษณะพันธ์ ไพบูลย์วัฒนกิจ

Mr. Chanthea Khun

REN

TK

7869.2

0895.

ห้องปฏิบัติการวิจัยความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กันยายน พ.ศ. 2550

Electromagnetic Compatibility Laboratory

Research Center for Communications and Information Technology

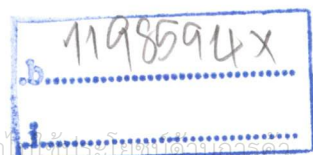
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

September 2007

เลขที่.....

เลขทะเบียน..... 83864

วัน,เดือน,ปี... 19 ก.ย. 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในนามของคณะผู้วิจัย ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในการให้ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคม ด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่อให้การวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ และขอขอบคุณ โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2550 วงเงินงบประมาณ 87,494 บาท

ขอขอบคุณ รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน หัวหน้าโครงการที่เป็นผู้กำหนดหัวข้อวิจัยนี้ และขอขอบคุณสมาชิกใน ห้องปฏิบัติการความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) ที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

โครงการฉบับนี้เป็นการศึกษาการวัดผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาตามสายตัวนำ
วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อสร้างตัวต้นแบบของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีคุณสมบัติใน
การแยกสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างออกจากกัน จากผลการทดลองจะใช้โพรบ
วัดกระแสความถี่สูงเป็นตัวเปรียบเทียบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อแสดงให้เห็นว่าชุดแยก
สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถใช้แทนโพรบวัดกระแสความถี่สูงได้ โดยมีเงื่อนไขในการทดลองใน
กรณีเช่น การต่อและไม่ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวด์ของวงจรมุสดีคอนเวอร์เตอร์, การทำงานที่
ความถี่สวิตชิงค่าต่างๆ และการสวิตชิงแบบฮาร์ดและซอฟท์ ซึ่งความสามารถในการแยกสัญญาณรบกวน
แม่เหล็กไฟฟ้าออกจากกันได้นั้นจะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ และการออกแบบวงจรกรองสัญญาณ
รบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter) ให้เหมาะสมต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

This project presents the study of the conducted EMI emission measurement. The aim of this work is to study about building a prototype of common mode (CM) and difference mode (DM) separator. The experimental results have been compared with the RF current probe to ensure the result. Electromagnetic interference (EMI) results have been tested in various conditions such as with/without heat-sink to ground of the boost converter, switching frequency variation and hard/soft switching.

The achievement of this work can be applied for analysis in CM and DM of the EMI filter.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
ABSTRACT	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	
2.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	3
2.2 หลักการทำงานของ RF Current probe	6
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	14
3.1 ขั้นตอนการออกแบบชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	14
3.2 เงื่อนไขของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	15
3.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	25
3.4 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้ค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	26
3.5 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยไม่ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวด์ (Without heat sink)	28
3.6 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่การสวิตชิง 75 kHz	30
3.7 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยเปลี่ยน Selector switch โดยกำหนดสัญญาณ Gate drive เป็นแบบ Rise/Fall มีค่ามาก	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานใน IV ารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 3.8 สรุป	34
บทที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า RF current probe	35
4.1 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจาก (ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวด์) EMI Toolkit	36
4.2 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยไม่ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวด์ (Without heat sink)	38
4.3 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่สวิตชิง 75 kHz	40
4.2 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเปลี่ยน Selector switch โดยกำหนดสัญญาณ Gate drive เป็นแบบ Rise/fall Time มีค่ามาก	42
4.9 สรุป	44
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	
5.1 บทนำ	45
5.2 การพิสูจน์ความถูกต้องของประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	45
5.3 การวิเคราะห์ผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการไม่ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวด์	46
5.4 การวิเคราะห์ผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวด์ (with heat sink)	50
บทที่ 6 สรุปข้อเสนอแนะ	
6.1 บทวิจารณ์ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise separator)	54
6.2 บทสรุปชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise Separator)	54
6.3 บทวิจารณ์ RF Current probe	54
6.4 บทสรุป RF Current probe	55
6.5 ข้อเสนอแนะ	55
6.6 สิ่งที่จะดำเนินการต่อ	55
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก ก.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 2 ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ RF current probe	6
บทที่ 3 ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน VI การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

		หน้า
บทที่ 2	รูปที่ 2.1 การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำโดยใช้ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	3
	รูปที่ 2.2 หลักการการคัดออกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า: DM Rejecter	5
	รูปที่ 2.3 หลักการการคัดออกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า: C	5
	รูปที่ 2.4 RF current probe	6
	รูปที่ 2.5 กราฟคุณสมบัติของ RF current probe Model F33-1	7
	รูปที่ 2.6 ลักษณะการวัดสายตัวนำของ RF current probe	7
	รูปที่ 2.7 หลักการพื้นฐานของ RF current probe	8
	รูปที่ 2.8 RF current probe is transformer	9
	รูปที่ 2.9 การ Transfer function ของ RF current probe	10
	รูปที่ 2.10 การ Transfer function ของ RF current probe ในย่านความถี่สูง	11
	รูปที่ 2.11 หลักการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้ RF current probe	12
	รูปที่ 2.12 วิธีการใช้ RF current probe วัดสัญญาณรบกวนในโหมดผลรวม	12
	รูปที่ 2.13 วิธีการใช้ RF current probe วัดสัญญาณรบกวนในโหมดผลรวม	13
	รูปที่ 2.14 วิธีการใช้ RF current probe วัดสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง	13
บทที่ 3	รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลภายในของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	14
	รูปที่ 3.1 การออกแบบลายวงจรและการจัดวางอุปกรณ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	15
	รูปที่ 3.4 ลักษณะภายนอกและภายในของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	16
	รูปที่ 3.5 หม้อแปลงคุณภาพสูง (Wideband RF transformer) WB 2010-PCL	16
	รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลภายในหม้อแปลงคุณภาพสูง WB 2010-PCL	16
	รูปที่ 3.7 ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 100 Ω	17
	รูปที่ 3.8 กราฟค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010-PCL โดยวัดที่ขา 1 กับขา 3	17
	รูปที่ 3.9 ตารางค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 1 กับขา 3	18
	รูปที่ 3.10 กราฟค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 4 และขา 5	18
	รูปที่ 3.11 ตารางค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 4 และขา 5	19

สารบัญภาพ(ต่อ)

			หน้า
บทที่ 3	รูปที่ 3.12	กราฟค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 4 และขา 6	20
	รูปที่ 3.13	ตารางค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 4 และขา 6	20
	รูปที่ 3.14	กราฟค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 5 กับขา 6	21
	รูปที่ 3.15	ตารางค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 5 กับขา 6	22
	รูปที่ 3.16	การต่อวัดอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	22
	รูปที่ 3.17	การต่อวัดอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ด้าน Line to Ground (L – G) และ Neutral to Ground (N – G)	22
	รูปที่ 3.18	กราฟค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Line to Ground (L – G)	23
	รูปที่ 3.19	ตารางค่าอิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Line to Ground (L – G)	23
	รูปที่ 3.20	กราฟค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Neutral to Ground (N – G)	24
	รูปที่ 3.21	ตารางค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Neutral to Ground (N – G)	24
	รูปที่ 3.22	วงจรสมมูลการต่อชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	25
	รูปที่ 3.23	วงจรการทดสอบประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	26
	รูปที่ 3.24	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)	26
	รูปที่ 3.25	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)	27
	รูปที่ 3.26	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})	27
	รูปที่ 3.27	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})	28
	รูปที่ 3.28	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน VIII ารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

			หน้า
บทที่ 3	รูปที่ 3.29	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)	29
	รูปที่ 3.30	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})	29
	รูปที่ 3.31	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})	30
	รูปที่ 3.32	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)	30
	รูปที่ 3.33	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)	31
	รูปที่ 3.34	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})	31
	รูปที่ 3.35	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})	32
	รูปที่ 3.36	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)	32
	รูปที่ 3.37	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)	33
	รูปที่ 3.38	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})	33
	รูปที่ 3.39	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})	34
	บทที่ 4	รูปที่ 4.1	วงจรการทดสอบประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ของชุดแยกสัญญาณ รบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
รูปที่ 4.2		กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)	36
รูปที่ 4.3		กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)	37
รูปที่ 4.4		กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})	37
รูปที่ 4.5		กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})	38
รูปที่ 4.6		กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)	38

สารบัญญภาพ(ต่อ)

		หน้า	
บทที่ 4	รูปที่ 4.7 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมด้าน Neutral to Ground (N – G)	39	
	รูปที่ 4.8 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})	39	
	รูปที่ 4.9 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})	40	
	รูปที่ 4.10 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)	40	
	รูปที่ 4.11 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)	41	
	รูปที่ 4.12 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})	41	
	รูปที่ 4.13 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})	42	
	รูปที่ 4.14 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)	42	
	รูปที่ 4.15 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)	43	
	รูปที่ 4.16 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})	43	
	รูปที่ 4.17 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})	44	
	บทที่ 5	รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Line to Ground ระหว่าง Simplified LISN และ RF current probe	46
		รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Neutral to Ground ระหว่าง Simplified LISN และ RF current probe	47
		รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าใน โหมดผลต่างระหว่าง Noise separator และ RF current probe	48
		รูปที่ 5.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในโหมดผลรวมระหว่าง Noise separator และ RF current probe	49

สารบัญญภาพ(ต่อ)

		หน้า	
บทที่ 5	รูปที่ 5.5	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Line to Ground ระหว่าง Simplified LISN และ RF current probe	50
	รูปที่ 5.6	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Neutral to Ground ระหว่าง Simplified LISN และ RF current probe	51
	รูปที่ 5.7	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง ระหว่าง Noise separator และ RF current probe	52
	รูปที่ 5.8	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในโหมดผลร่วมระหว่าง Noise separator และ RF current probe	53



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทางสายตัวนำ นั้นยากต่อการวิเคราะห์ว่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดใดส่งผลกระทบมากกว่ากัน ดังนั้นจึงมีความต้องการในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทางสายตัวนำ เพื่อศึกษาการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำที่ย่านความถี่ 150 kHz – 30 MHz โดยการนำอุปกรณ์ที่สามารถแยกองค์ประกอบของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีคุณสมบัติในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมออกจากกันได้ ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise separator) เพื่อให้รู้ถึงขนาดขององค์ประกอบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ว่าองค์ประกอบใดเด่นชัดกว่ากันและเกิดขึ้นที่ความถี่ใด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic interference: EMI) ในสายตัวนำ
2. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการแยกสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง (Differential – mode) และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Common – mode Interference)
3. ศึกษาการใช้อุปกรณ์แยกสัญญาณรบกวนต่อรวมในวงจร เพื่อแยกสัญญาณรบกวนและวิเคราะห์การแยกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (Differential-mode Interference) และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Common – mode Interference) ได้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษา ออกแบบ และสร้างชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำ (Noise Separator)
2. วิเคราะห์ผลการสร้างชุดแยกสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำจากชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise separator) และ RF current probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2549			2550						
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ RF current probe และชุดแยกสัญญาณรบกวน	█	█								
2. สร้างชิ้นงานชุดแยกสัญญาณรบกวน			█	█	█	█				
3. ทดสอบอุปกรณ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวน						█	█			
4. การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของ RF current probe							█	█	█	█
5. เรียบเรียงและวิเคราะห์เพื่อจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์						█	█	█	█	█

█ แผนการดำเนินงาน

█ แผนงานที่ปฏิบัติได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในโหมดต่างๆ
2. สามารถออกแบบชุดแยกสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำได้
3. สามารถแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำและวิเคราะห์ผลได้
4. สามารถนำความรู้ที่ได้รับมาไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

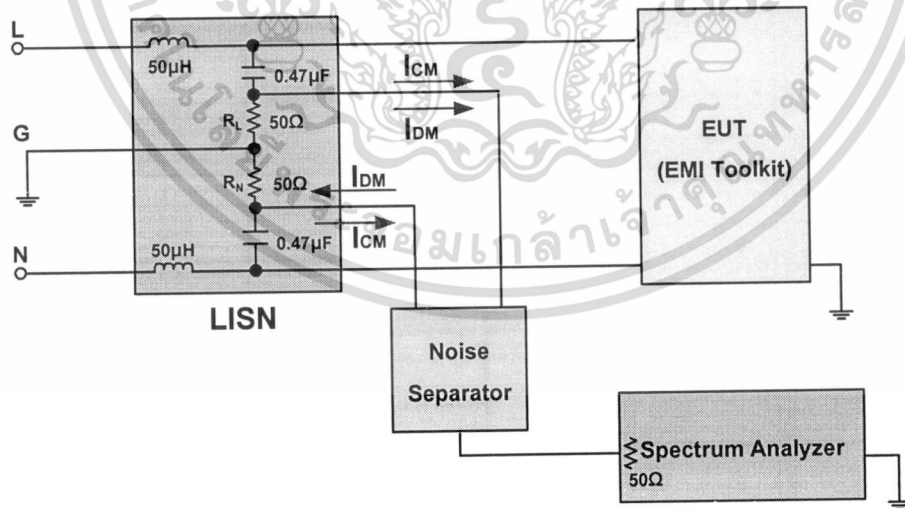
ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีคุณสมบัติในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างและสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมออกจากกันได้ โดยอาศัยหลักการของการบวก ลบกันของสัญญาณทางเวกเตอร์ และใช้หม้อแปลงที่มีการกำหนดขั้ว ทำให้ได้แรงดันด้านออกเป็นสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างหรือสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมตามต้องการ

หลักการทำงานพื้นฐานของวงจรชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้ หม้อแปลงส่งถ่ายพลังงานภายในวงจร และใช้สวิตช์ช่วยในการเปลี่ยนขั้วของหม้อแปลง (Dot polarity) โดยจะได้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้านออก ออกมาเป็น 2 เท่า คือจะได้ $2V_{DM}$ และ $2V_{CM}$

ในการออกแบบชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้หลักการการคัดออกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการออกแบบอาจจะทำการคัดเอาสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างหรือสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมออกก็ได้ จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำโดยใช้ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าทิศทางของกระแสในโหมด Line to Ground จะได้ (CM+DM) และทิศทางของกระแสในโหมด Neutral to Ground จะได้ (CM-DM) สามารถแสดงสมการแรงดันได้ดังนี้

ทิศทางของกระแสในโหมด Line to Ground

$$\vec{V}_{L-G} = 50(\vec{I}_{CM} + \vec{I}_{DM})$$

ดังนั้น
$$\vec{V}_{L-G} = \vec{V}_{CM} + \vec{V}_{DM} \quad (2.1)$$

ทิศทางของกระแสในโหมด Neutral to Ground

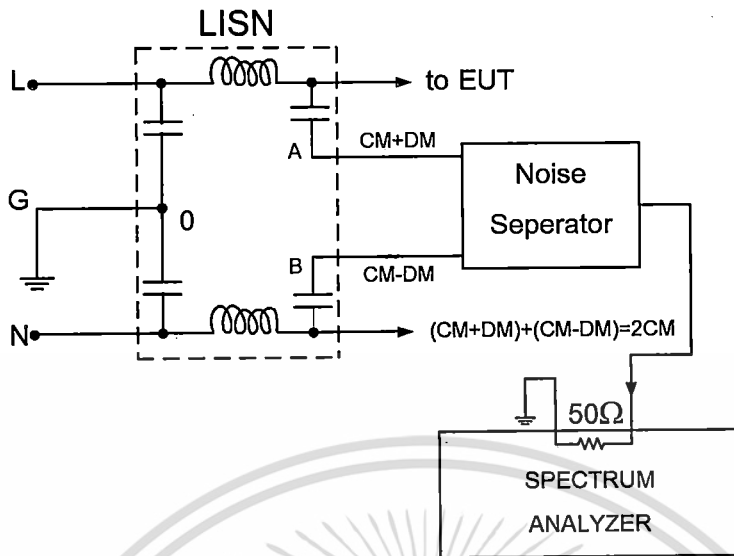
$$\vec{V}_{N-G} = 50(\vec{I}_{CM} - \vec{I}_{DM})$$

ดังนั้น
$$\vec{V}_{N-G} = \vec{V}_{CM} - \vec{V}_{DM} \quad (2.2)$$

จากสมการ (2.1) และ (2.2) เมื่อเรานำสัญญาณทั้งสองนี้มาบวก ลบกันทางเวกเตอร์ในชุดแยก สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะได้แรงดันด้านนอก ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม คือการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อบนระบบไฟฟ้ากับกราวด์ของระบบทั้งในส่วนของ Line และ Neutral โดยที่ทั้ง Line และ Neutral ของระบบไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าไหลลงกราวด์ดังนั้นจะเป็นการนำเอาสมการที่ (4.1) รวมกันทางเวกเตอร์กับสมการที่ (2.2) จะได้แรงดันด้านนอกอยู่ในรูปของ $2V_{CM}$ ตามสมการที่ 2.3

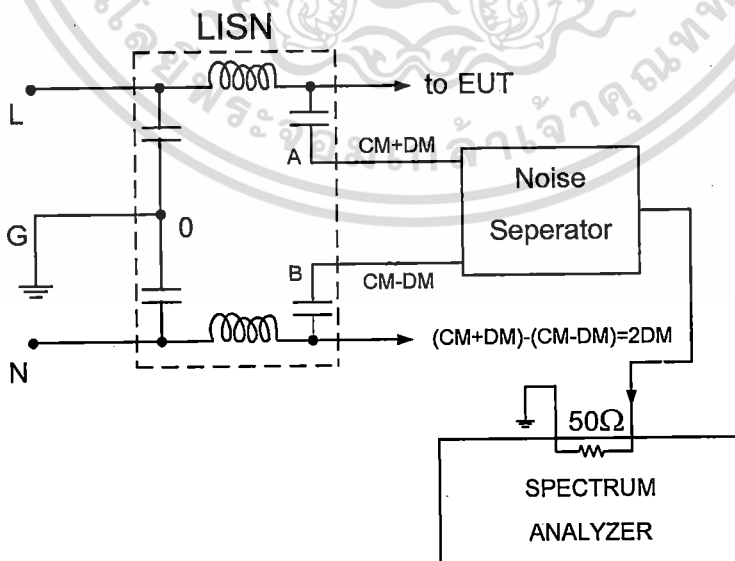
$$|\vec{V}_{L-G} + \vec{V}_{N-G}| = |\vec{V}_{CM} + \vec{V}_{DM}| + |\vec{V}_{CM} - \vec{V}_{DM}| = 2V_{CM} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.2 หลักการการคัดออกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า: DM Rejecter

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลต่าง คือการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อของระบบไฟฟ้าเฉพาะใน Line และ Neutral เท่านั้น โดยถือว่าวงจรนี้ไม่มีส่วนใดต่อลงกราวนด์ ดังนั้นจะเป็นการนำเอาสมการที่ (2.1) หักล้างกันทางเวกเตอร์กับสมการที่ (2.2) จะได้แรงดันด้านออกอยู่ในรูปของ $2V_{DM}$ ตามสมการที่ 2.4

$$|\vec{V}_{L-G} - \vec{V}_{N-G}| = |\vec{V}_{CM} + \vec{V}_{DM}| - |\vec{V}_{CM} - \vec{V}_{DM}| = 2V_{DM} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.3 หลักการการคัดออกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า: CM Rejecter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานของ RF Current probe

หลักการทำงานของ RF current probe นั้นจะเป็นการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำที่นำมาทดสอบ โดยจะอาศัยหลักการการนำสายตัวนำค้ำลงผ่านอุปกรณ์เครื่องมือวัด เมื่อทำการป้อนกระแสเข้าไปยังสายตัวนำ ก็เกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆ ตัวนำ โดยจะมีความเข้มของสนามแม่เหล็กแผ่กระจายรอบๆ ตัวนำประมาณ 5 – 10 cm. ซึ่งการวัดค่ากระแสไฟฟ้านั้นสามารถที่จะค้ำลงตัวนำในลักษณะการพันรอบหรือแบบการค้ำลงโดยตรงก็ได้ ซึ่ง RF current probe จะอาศัยหลักการของ Hall effect ในการตรวจวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ล้อมรอบสายตัวนำ โดยที่สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกจาก RF current probe จะออกมาในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นสามารถที่จะเชื่อมต่อกับเครื่องวัดสัญญาณตามสายตัวนำ (Spectrum analyzer) ได้โดยตรง

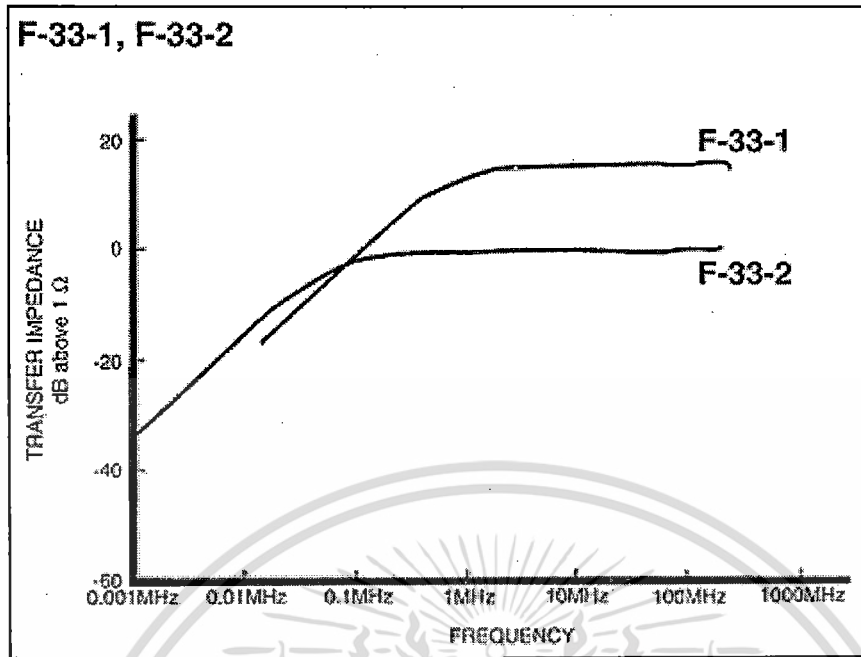


รูปที่ 2.4 RF current probe Model F33-1

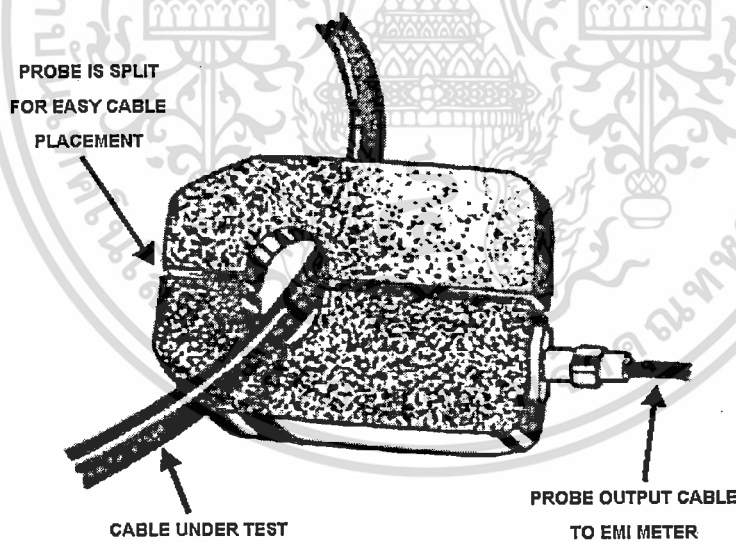
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ RF current probe

Model	Drawing No.	A I.D.	B O.D.	C H _t	Z _t Ω	dB Ω	Connector	DC-60Hz	400Hz z	RF (CW)	Pulse	Freq.
33-1	1	32	71	19	5	14	BNC	100	100	10	50	10kHz - 250MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

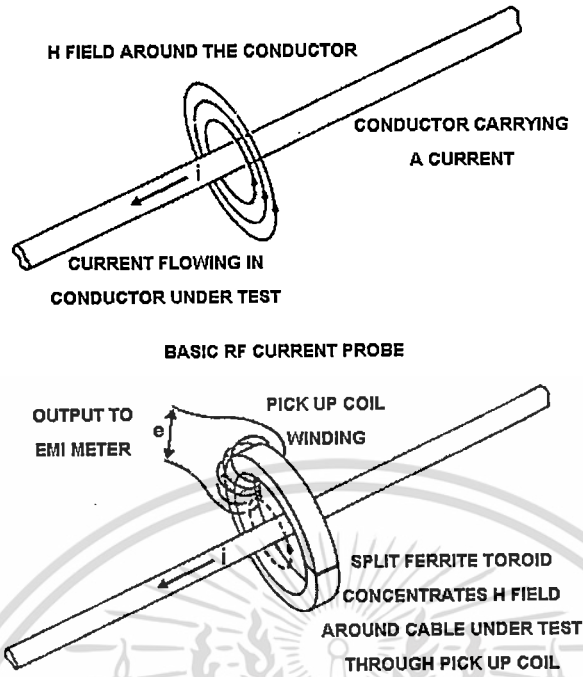


รูปที่ 2.5 กราฟคุณสมบัติของ RF current probe Model F33-1



รูปที่ 2.6 ลักษณะการวัดสายตัวนำของ RF current probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 หลักการพื้นฐานของ RF current probe

จากรูปที่ 2.7 แกนเหล็กทอรอยด์ (Toroidal ferrite core) จะมีขดลวดพันรอบแกนเหล็กทอรอยด์อยู่ ซึ่งจะเป็นตัวรับการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากสายตัวนำที่นำมาทดสอบ การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นก็จะส่งผ่านไปยังเครื่องวัดสัญญาณตามสายตัวนำ (Spectrum analyzer) ซึ่งขดลวดที่พันรอบแกนจะไม่มีผลกระทบที่เกิดจากกระแสที่ไหลในสายตัวนำ เนื่องจากแกนเหล็กที่สร้างนั้นจะมีคุณสมบัติของการอิ่มตัวในแกนเหล็ก เพราะว่าโครงสร้างแกนเหล็กที่ใช้ นั้นทำมาจากสารแม่เหล็ก (ferromagnetic) และ RF current probe ยังสามารถใช้งานที่ความถี่สูงและพิกัดกระแสไฟฟ้าสูงได้

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในแกนเหล็กทอรอยด์จะเกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะได้สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจาก RF current probe ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งสามารถแสดงสมการได้คือ

$$V_{out} = k\mu ANfI_{cond.} \quad (2.5)$$

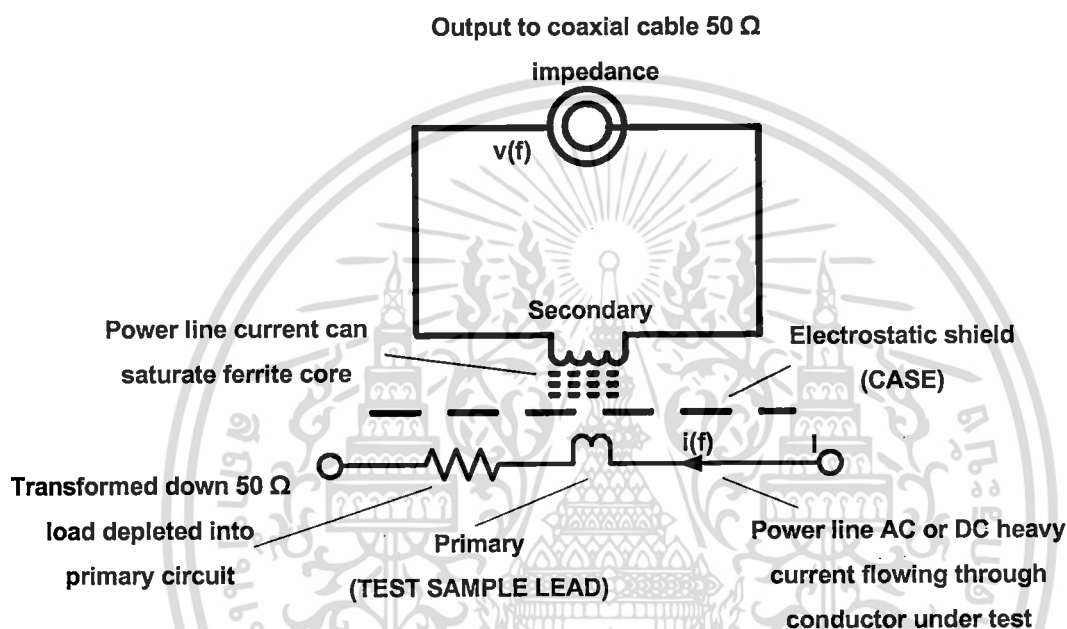
เมื่อ V_{out} = แรงดันด้านออก

k = ค่าคงที่

μ = ค่าความซึมซับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- A = CSA of Core
- N = จำนวนรอบ
- f = ความถี่
- I_{cond} = กระแสไฟฟ้าในสายตัวนำ



รูปที่ 2.8 RF current probe is transformer

RF current probe จะใช้หลักการของการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดออกมาจะอยู่ในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้า จากรูปที่ 2.8 นั้นจะเป็นส่วนของโครงสร้างหลักที่มีอยู่ใน RF current probe ซึ่งโครงสร้างที่สำคัญส่วนหนึ่งก็คือ Electrostatic shield จะทำหน้าที่ป้องกันการเกิดการสะสมพลังงานระหว่างขดลวดภายในกับสายตัวนำที่นำมาทดสอบ รูปแบบของสมการในรูปของการถ่ายโอนอิมพีแดนซ์ (Transfer impedance) สามารถแสดงได้ดังนี้

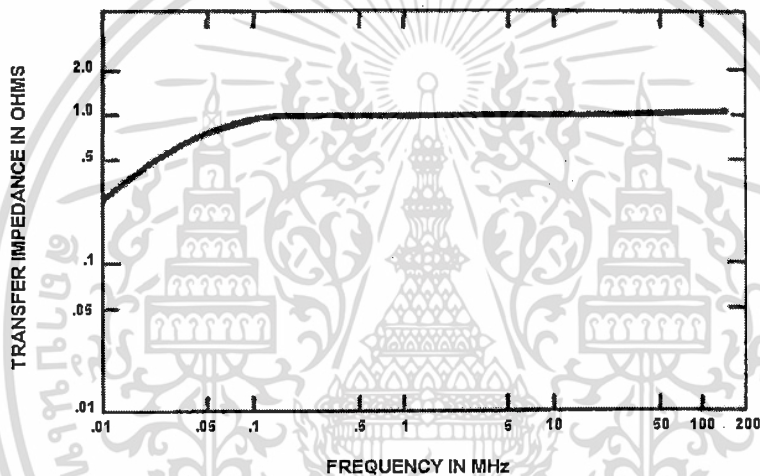
$$Z_t = \frac{V_{out}}{I_{cond}} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

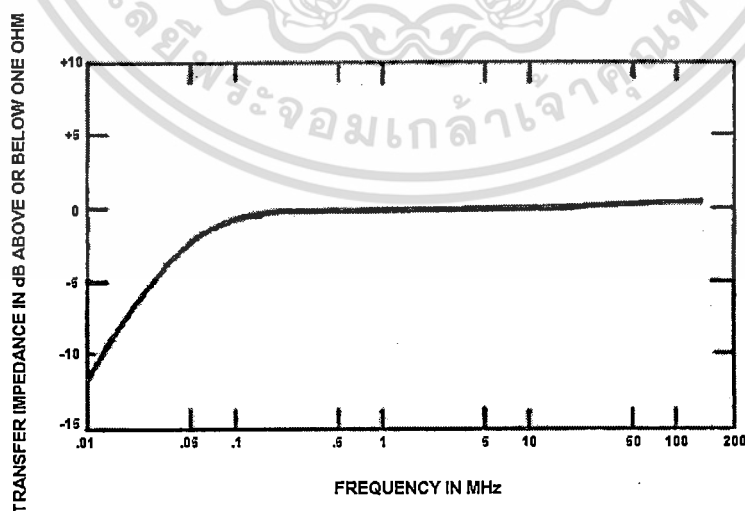
เมื่อ $V_{out} =$ แรงดันขาออกภายใต้อิมพีแดนซ์ 50Ω

$I_{cond} =$ กระแสไฟฟ้าในสายตัวนำ

จากสมการที่ 2.6 สามารถอธิบายได้คืออิมพีแดนซ์ 1Ω จะให้ค่าแรงดันออกมา 1 Volt ต่อค่ากระแส 1 Ampere ค่าของการถ่ายโอนอิมพีแดนซ์สามารถแสดงในแต่ละย่านความถี่ทั่วไปได้ในรูปที่ 2.9 (a) ซึ่งความถี่ที่ใช้ในสมการที่ 2.5 สามารถใช้ได้ในความถี่ที่น้อยกว่า 100 kHz ถ้าความถี่สูงการออกแบบ RF current probe จะต้องคำนึงถึงค่าองค์ประกอบแฝงภายในอุปกรณ์ (Self-resonance) และค่าการสูญเสียในแกนเหล็ก (Ferrite loss) ด้วย



(a) Transfer function in ohms



(b) Transfer function in dB ohms

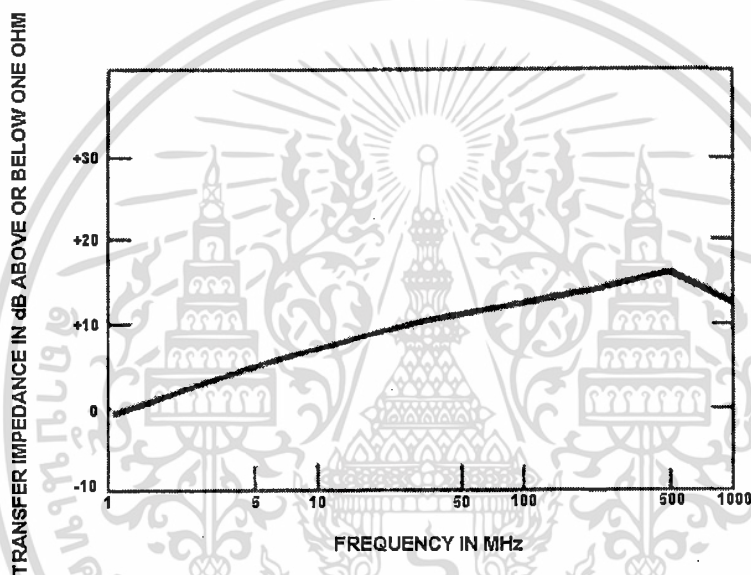
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาทั้งหมด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.9 กราฟ Transfer function ของ RF current probe
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสมการที่ 2.6 สามารถที่จะแสดงในรูปแบบของเดซิเบล (decibel: dB) ได้ในรูปที่ 2.9 (b) และสามารถแสดงเป็นสมการได้คือ

$$I_{cond} (dB\mu A) = V_{out} (dBV) - Z (dB\Omega) \quad (2.7)$$

ในรูปแบบสมการที่ 2.7 ค่าอิมพีแดนซ์จะตอบสนองที่ $Z = 0 - 15 \text{ dB}\Omega$ และที่ความถี่สูง (1 MHz – 1 GHz) โดยการ Transfer function ของ RF current probe ในย่านความถี่สูงนั้นสามารถแสดงได้ในรูปที่

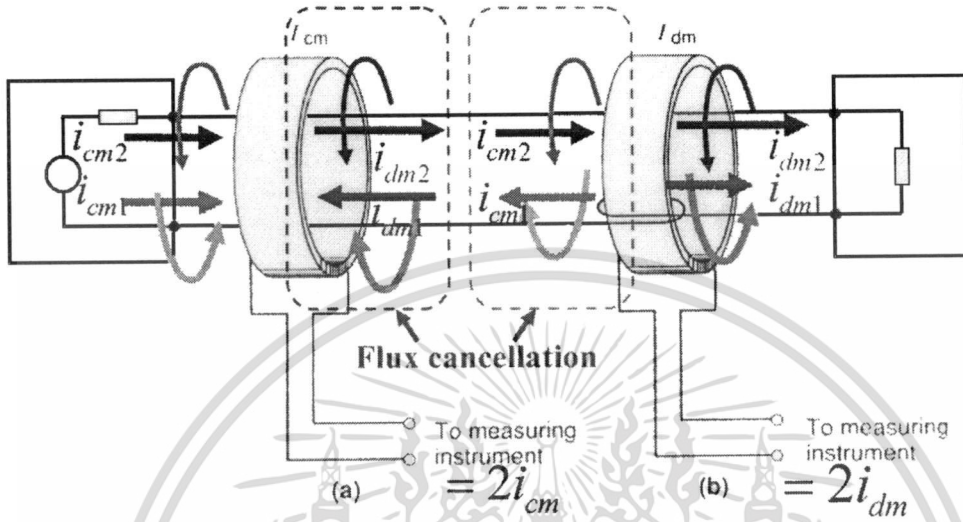
2.3



รูปที่ 2.10 การ Transfer function ของ RF current probe ในย่านความถี่สูง

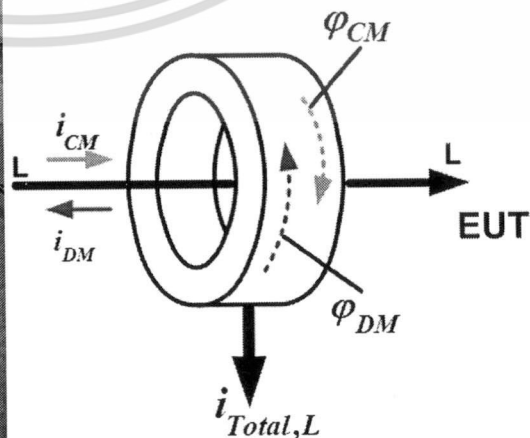
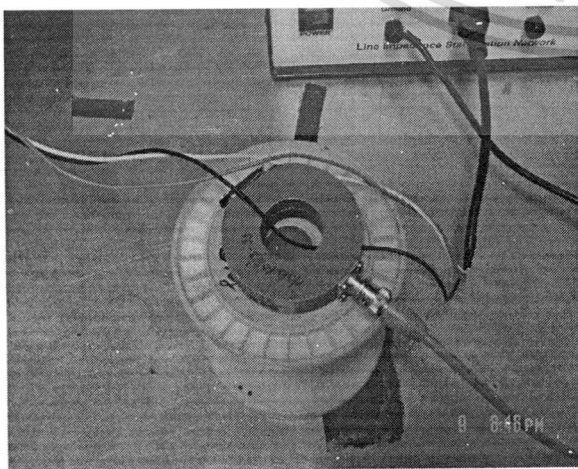
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 หลักการวัดการแยกสัญญาณรบกวนแบบเหล็กรวมแม่เหล็กไฟฟ้าของ RF current probe

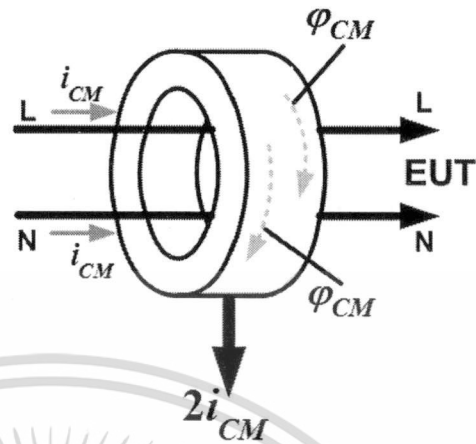
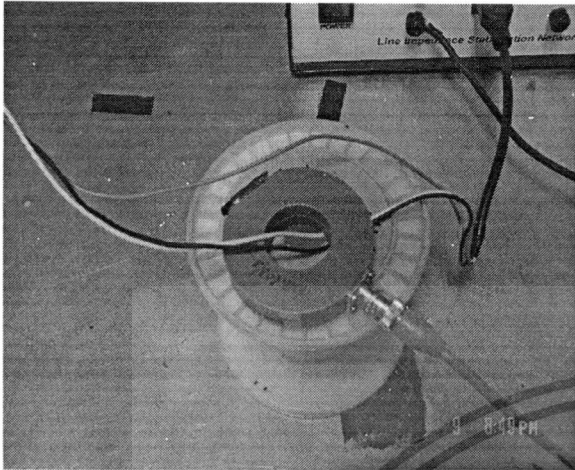


รูปที่ 2.11 หลักการวัดสัญญาณรบกวนแบบเหล็กรวมแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้ RF current probe

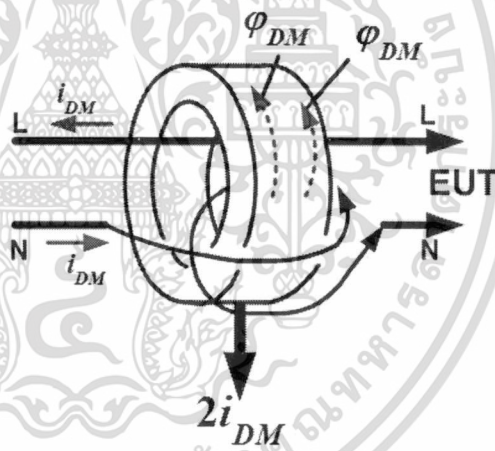
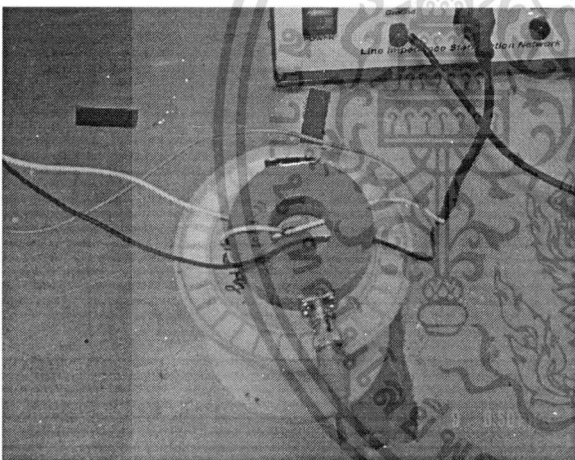
การใช้ RF current probe วัดสัญญาณรบกวนแบบเหล็กรวมแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำการคล้องสายตัวนำ ในสาย Line หรือ Neutral ถ้าคล้องสาย Line ใน RF current probe จะเป็นการวัดสัญญาณรบกวนแบบเหล็กรวมแม่เหล็กไฟฟ้ามดผลรวม (Total noise) ตามรูปที่ 2.5 ถ้าคล้องสาย Line และ Neutral ทั้งสองใน RF current probe จะเป็นการวัดสัญญาณรบกวนแบบเหล็กรวมแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (CM noise) ตามรูปที่ 2.6 และถ้าต้องการวัดสัญญาณรบกวนแบบเหล็กรวมแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (DM noise) จะต้องทำการพันสาย Neutral รอบ RF current probe 1 รอบก่อนดังที่แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.12 วิธีการใช้ RF current probe วัดสัญญาณรบกวนในโหมดผลรวม ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 วิธีการใช้ RF current probe วัดสัญญาณรบกวนในโหมดผลรวม



รูปที่ 2.14 วิธีการใช้ RF current probe วัดสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง

2.2 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐาน ซึ่งมีความหมายของนิยามต่างๆ ที่เกี่ยวกับแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า รวมถึงเข้าใจในหลักการการทำงานทั้งโหมดผลรวมและโหมดผลต่างและหลักการการทำงานของ RF Current probe เพื่อที่จะนำไปออกแบบชุดแยกสัญญาณแม่เหล็กและนำมาเปรียบเทียบระหว่างการวัดแบบแยกสัญญาณรบกวนกับการวัดแบบ RF Current probe

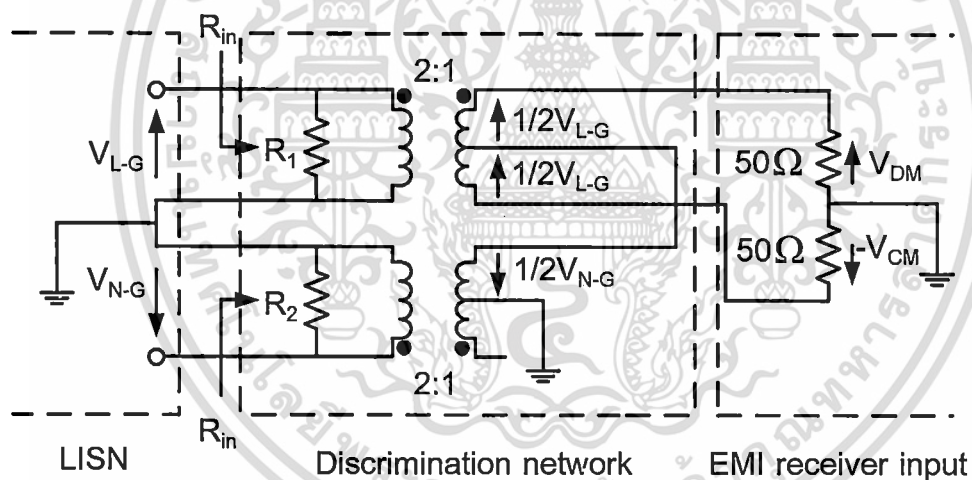
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

3.1 ขั้นตอนการออกแบบชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

การออกแบบและสร้างชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโครงงานนี้จะเป็นชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเอาต์พุต 1 เท้า ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติพิเศษ เพราะชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่แล้วจะได้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้านนอก ออกมาเป็น 2 เท้า คือจะได้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเป็น V_{CM} และ V_{DM} โดยชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้หลักการของหม้อแปลงแบบแทป (Center tap transformer) 2:1 ซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษของ Wideband RF transformer เป็นการช่วยลดทอนสัญญาณทำให้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้านนอกที่ได้ออกมานั้นมีค่าเป็น 1 เท้า สำหรับวงจรสมมูลภายในชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลภายในของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.1 สามารถเขียนสมการเพื่อหาแรงดันด้านนอกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจากสมการที่ 3.1 จะเป็นการแสดงสมการการคัดออกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (DM Rejecter) และสมการที่ 3.2 จะเป็นการแสดงสมการการคัดออกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมออก (CM Rejecter) ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้านนอกที่ได้ออกมานั้นจะมีค่าออกมาเป็น 1 เท้า

$$\frac{1}{2}|\vec{V}_{L-G} + \vec{V}_{N-G}| = \frac{1}{2}|\vec{V}_{CM} + \vec{V}_{DM}| + \frac{1}{2}|\vec{V}_{CM} - \vec{V}_{DM}| = V_{CM} \quad (3.1)$$

$$\frac{1}{2}|\vec{V}_{L-G} - \vec{V}_{N-G}| = \frac{1}{2}|\vec{V}_{CM} + \vec{V}_{DM}| - \frac{1}{2}|\vec{V}_{CM} - \vec{V}_{DM}| = V_{DM} \quad (3.2)$$

3.2 เงื่อนไขของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

1. ต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าเป็น 50Ω เสมอ และต้องเป็นอิสระจากอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าใดๆ

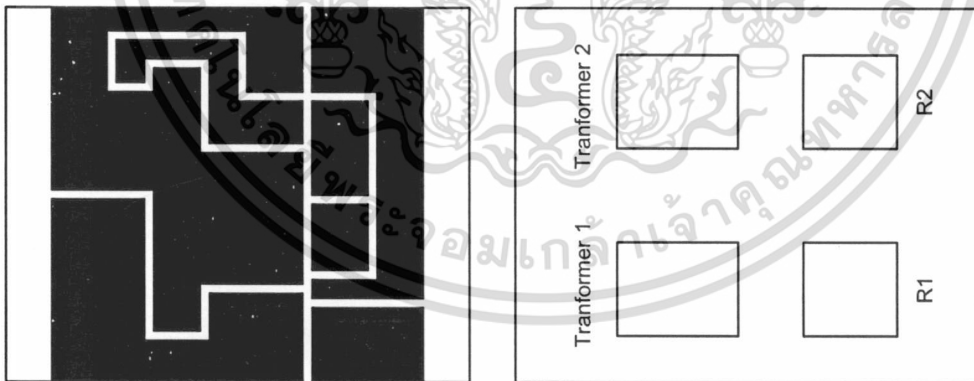
2. ทางด้านออกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง มีค่าเป็น $|\vec{V}_1 + \vec{V}_2|$ และทางด้านออกของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมมีค่าเป็น $|\vec{V}_1 - \vec{V}_2|$

เมื่อ V_1 คือแรงดันของสัญญาณ Line - Ground จาก LISN

V_2 คือแรงดันของสัญญาณ Neutral - Ground จาก LISN

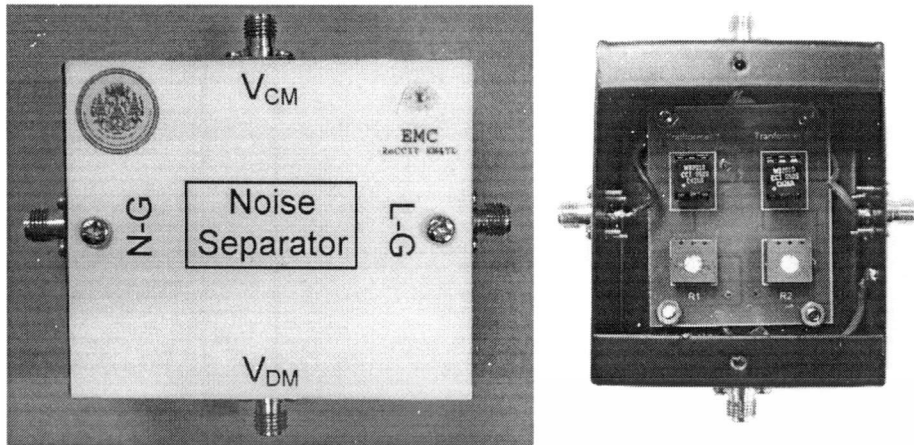
3. การ Leakage ระหว่างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมทางด้านออกควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (เป็นศูนย์ในทาง จินตภาพ)

เมื่อได้รูปวงจรมุมแล้วจึงออกแบบเขียนลายวงจร และการจัดวางอุปกรณ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.2 การออกแบบลายวงจรและการจัดวางอุปกรณ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

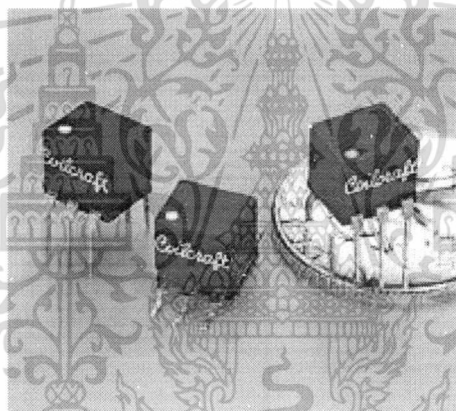
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



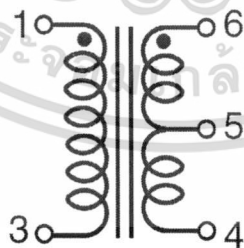
รูปที่ 3.4 ลักษณะภายนอกและภายในของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

3.2.1 ส่วนประกอบสำคัญของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

1. หม้อแปลงคุณภาพสูง (Wideband RF transformer)



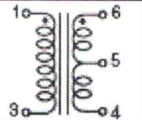
รูปที่ 3.5 หม้อแปลงคุณภาพสูง (Wideband RF transformer) WB 2010 – PCL



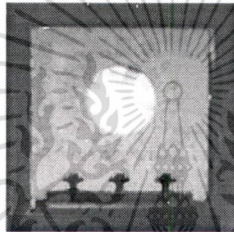
รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลภายในหม้อแปลงคุณภาพสูง WB 2010 – PCL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

Schematic	Part Number	Impedance Ratio	I _{DC,MAX}	Freq.	Pins 1 – 3		Pins 4 – 6	
	Through - hole	Pri : Sec	(mA)	(MHz)	L _{min2} (μH)	DCR _{max} (Ω)	L _{min2} (μH)	DCR _{max} (Ω)
	WB 2010 - PCL	1 : 1	250	0.005 - 100	780	0.320	780	0.320

2. ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 100 Ω

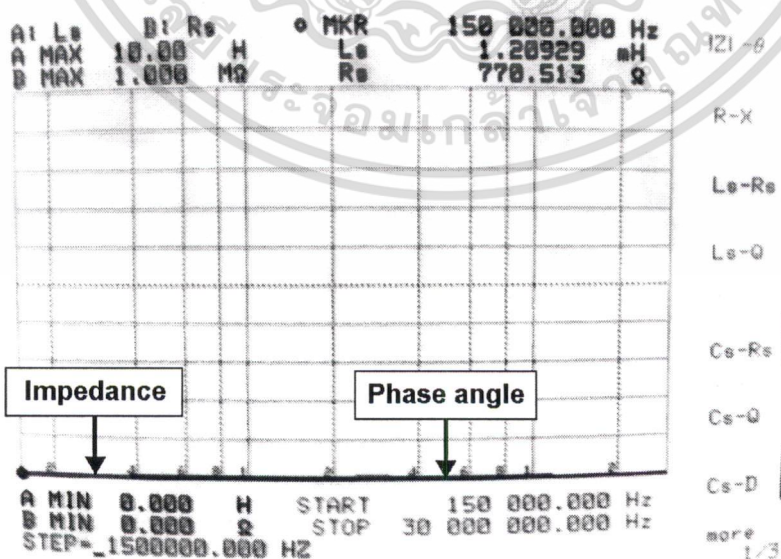


รูปที่ 3.7 ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 100 Ω

3.2.2 การทดสอบหาค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงคุณภาพสูง

การทดสอบเก็บค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงคุณภาพสูง (Wideband RF transformer) WB 2010 – PCL เพื่อพิจารณาถึงจุด Self resonance frequency

1. การทดสอบ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 1 กับขา 3 ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz



รูปที่ 3.8 กราฟค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 1 กับขา 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

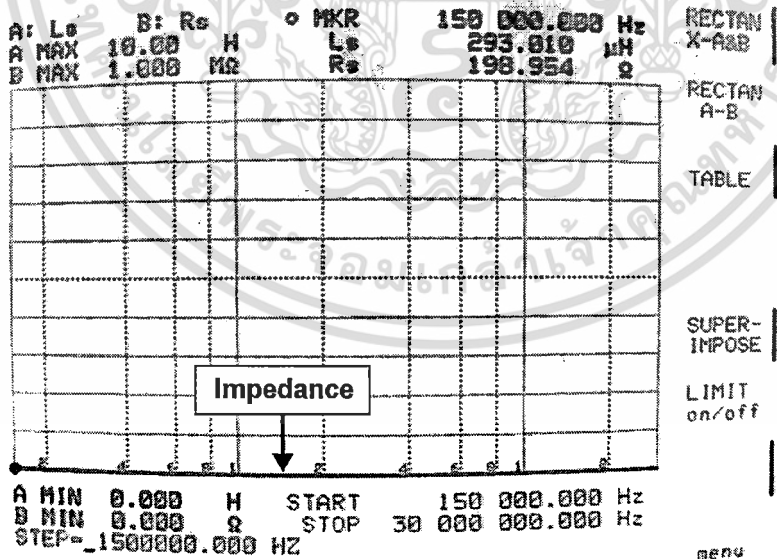
N	FREQUENCY [Hz]	Lo [H]	Rs [Ω]	
1	150 000.000	1.20624	760.672	Z -θ
1	195 498.198	1.04464	981.984	
2	254 796.970	890.557	1.22317	K
3	332 082.323	751.973	1.49721	R-X
4	432 889.972	650.127	1.81944	K
5	564 090.464	519.793	2.20969	K
6	735 191.128	415.965	2.68234	Lo-Rs
7	958 190.272	316.254	3.23413	K
1	1 248 829.811	219.911	3.84561	K
1	1 627 626.519	130.516	4.44858	Lo-0
2	1 121 320.344	51.9352	4.94634	K
3	764 762.032	-10.9677	5.19790	K
4	603 373.302	-52.5355	5.06478	K
5	4696 353.250	-71.8023	4.45699	K
6	120 857.320	-68.8573	3.53434	Cs-Rs
7	977 443.845	-54.9335	2.53569	K
10	397 172.647	-38.9585	1.72085	K
13	550 856.785	-25.7826	1.12017	Cs-0
17	661 120.560	-16.3198	710.260	K
23	818 114.970	-10.0240	446.599	K
21	30 000 000.000	-5.04518	200.285	Cs-0

MEASURE N= 26 START 150 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 → 21 STOP 30 000 000.000 Hz
 STOP= 30000000.000 HZ

รูปที่ 3.9 ตารางค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 1 กับขา 3

จากการทดสอบหาค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงคุณภาพสูงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ WB 2010 – PCL วัดขา 1 กับขา 3 ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz มีค่า Self resonance frequency อยู่ที่ความถี่ 2.764 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.9

2. การทดสอบ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 4 และขา 5 ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz



รูปที่ 3.10 กราฟค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 4 และขา 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

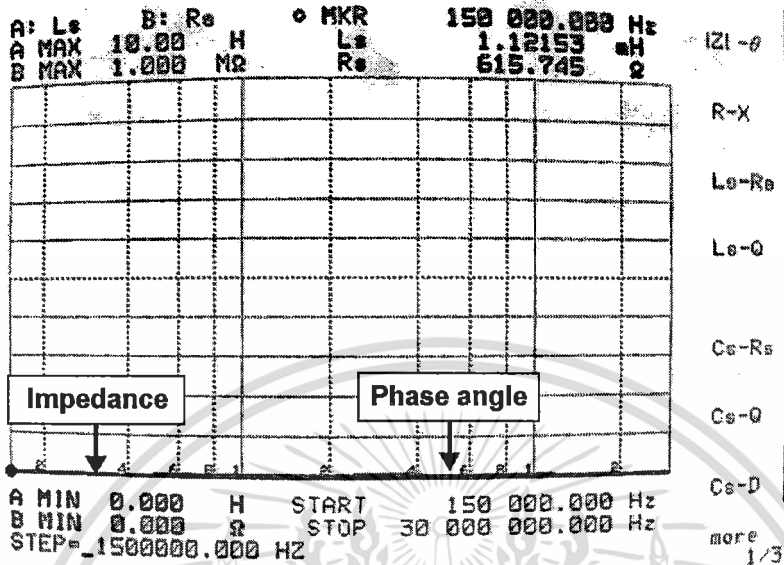
N	FREQUENCY [Hz]	La [H]	Re [Ω]	RECTAN
0	150	000.000	291.658	200.756
1	195	490.198	255.100	252.007
2	254	796.970	210.862	312.047
3	332	082.323	105.078	300.541
4	432	009.972	154.997	459.290
5	564	090.464	120.199	553.572
6	735	191.120	103.363	660.319
7	958	190.272	79.1773	805.741
1	1	248	029.011	55.7560
1	1	627	626.519	33.3633
1	2	121	320.344	13.3127
1	3	764	762.032	-2.70310
1	3	603	373.302	-13.2046
1	4	696	353.250	-10.0892
1	6	120	057.320	-17.2908
1	7	977	443.045	-13.7379
1	10	397	172.647	-9.72430
1	13	550	056.785	-6.40477
1	17	661	120.560	-4.03122
23	23	019	114.970	-2.46240
21	30	000	000.000	-1.47212

MEASURE N= 20 START 150 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 + 21 STOP 30 000 000.000 Hz
 STEP= 1500000.000 HZ

รูปที่ 3.11 ตารางค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 4 และขา 5

จากการทดสอบหาค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงคุณภาพสูงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ WB 2010 – PCL วัดขา 4 และขา 5 ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz มีค่า Self resonance frequency อยู่ที่ความถี่ 2.764 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.11

3. การทดสอบ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 4 และขา 6 ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz



รูปที่ 3.12 กราฟค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 4 และขา 6

N	FREQUENCY [Hz]	Ls [H]	Rs [Ω]
1	150 000.000	1.20428 m	793.755
11	195 490.190	1.03531 m	1.00516 K
21	254 796.970	0.747046 m	1.24277 K
31	332 002.323	733.166	1.50360 K
41	432 009.972	613.189	1.80513 K
51	564 090.464	500.554	2.16047 K
61	735 191.120	411.032	2.62130 K
71	950 190.272	317.175	3.16765 K
81	1 240 029.011	225.027	3.78799 K
91	1 627 626.519	136.375	4.41550 K
101	2 121 320.344	56.7565	4.94047 K
111	2 764 762.032	-7.36531	5.21767 K
121	3 603 373.502	-50.1934	5.10653 K
131	4 696 353.250	-70.9510	4.51479 K
141	6 120 057.320	-60.0332	3.59589 K
151	7 977 443.045	-55.2702	2.58267 K
161	10 397 172.647	-39.3366	1.75377 K
171	13 550 056.785	-26.0761	1.14422 K
181	17 661 120.560	-16.5102	726.536
191	23 010 114.970	-10.1415	454.182
201	30 000 000.000	-6.11741	282.355

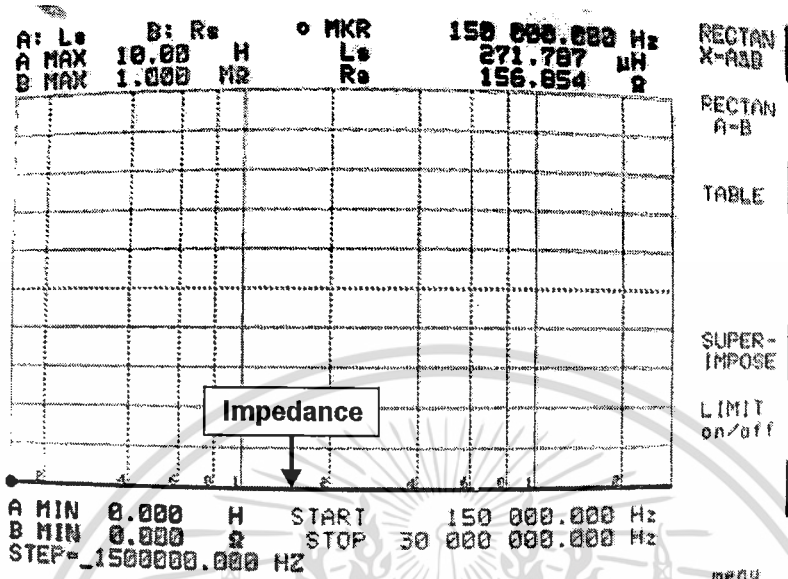
MEASURE N= 21 **START 150 000.000 Hz**
SWEEP N= 1 → 21 **STOP 30 000 000.000 Hz**
STEP= 1500000.000 HZ

รูปที่ 3.13 ตารางค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 4 และขา 6

จากการทดสอบหาค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงคุณภาพสูงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ WB 2010 – PCL วัดขา 4 และขา 5 ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz มีค่า Self resonance frequency อยู่ที่ความถี่ 2.764 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทดสอบ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 5 กับขา 6 ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz



รูปที่ 3.14 กราฟค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 5 กับขา 6

N	FREQUENCY [Hz]	Lo [H]	Rs [Ω]	
1	150 000.000	294.023	195.644	(Z) -θ
1	195 498.198	258.017	247.111	
2	254 796.970	222.123	308.074	
3	332 082.323	188.388	370.246	R-X
4	432 809.972	157.868	459.942	
5	564 090.464	130.326	557.340	
6	735 191.128	104.557	675.589	Ls-Rs
7	958 190.272	79.4926	814.887	
8	1 248 829.811	56.4957	969.826	
9	1 627 626.519	32.8210	1 123.41	Ls-0
10	2 121 320.344	12.7228	1 249.55	K
11	2 764 762.032	-3.18285	1 304.86	K
12	3 603 373.302	-13.5223	1 267.50	K
13	4 696 353.250	-19.2267	1 109.79	K
14	6 120 857.320	-17.3330	876.627	
15	7 977 443.845	-13.7267	626.608	Cs-Rs
16	10 397 172.647	-9.70412	422.637	
17	13 550 856.785	-6.38672	274.345	Cs-0
18	17 661 120.560	-4.01902	173.799	
19	23 018 114.970	-2.45410	108.820	
20	30 000 000.000	-1.46690	67.3525	Cs-D

MEASURE N= START 150 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 → 21 STOP 30 000 000.000 Hz
 STEP=1500000.000 HZ

more 1/3

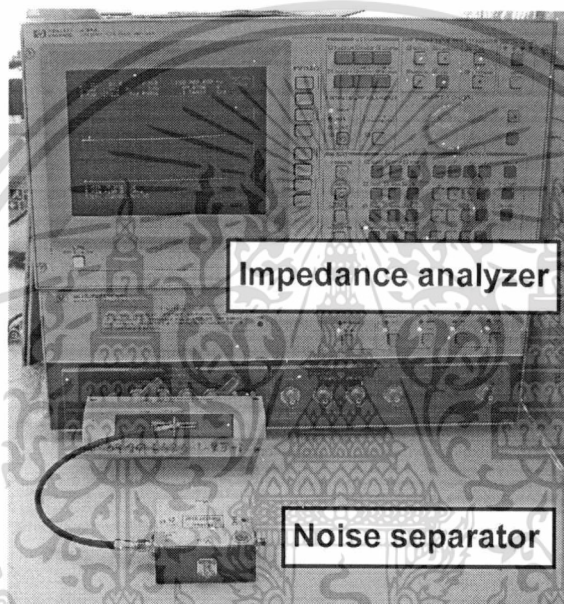
รูปที่ 3.15 ตารางค่าความเหนี่ยวนำ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 5 กับขา 6

จากการทดสอบหาค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงคุณภาพสูงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ WB 2010 – PCL โดยวัดที่ขา 5 กับขา 6 ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz จะมีค่า Self resonance frequency อยู่ที่ความถี่ 2.764 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.15

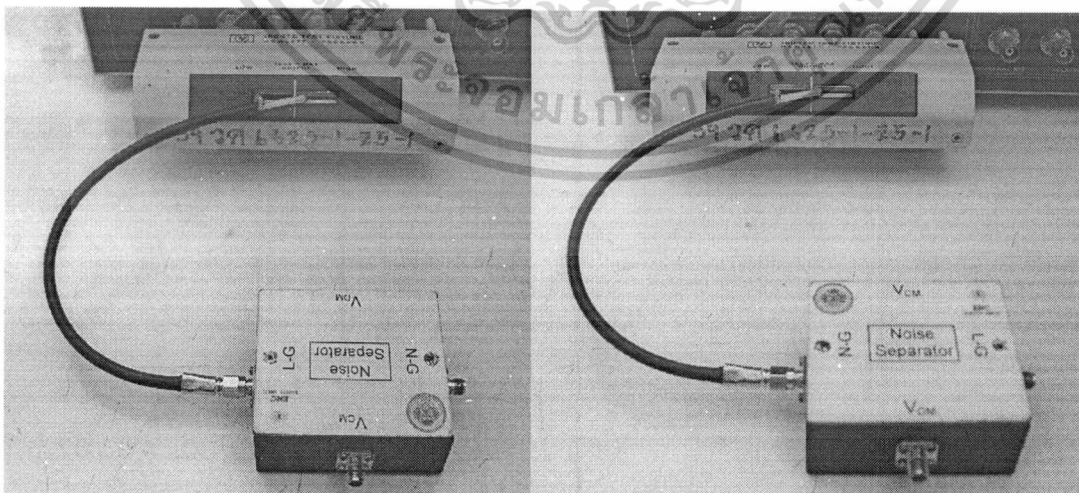
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการสร้างชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้านั้นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติการตอบสนองของความถี่ของอุปกรณ์ คือต้องมีอิมพีแดนซ์ภายในที่ 50Ω ตลอดช่วงความถี่ $150 \text{ kHz} - 30 \text{ MHz}$ ด้วยเพื่อประสิทธิภาพในการส่งถ่ายพลังงานสูงสุด เมื่อสร้างเสร็จแล้วเราจึงต้องมีการทดสอบเพื่อดูค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งลักษณะการต่อวัดอิมพีแดนซ์จะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า คือมีอิมพีแดนซ์ที่ 50Ω ทำให้เสมือนว่าต่ออยู่กับเครื่องวัดสัญญาณตามสายตัวนำ (Spectrum analyzer) อยู่ที่ค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3.16 การต่อวัดอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

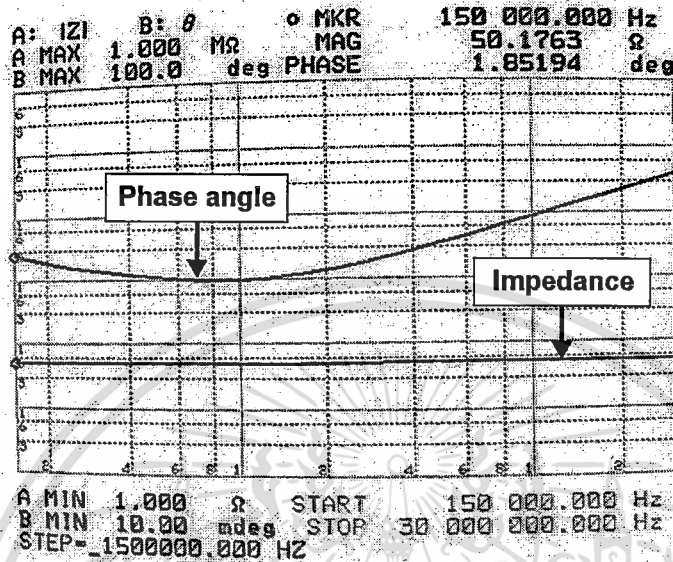


รูปที่ 3.17 การต่อวัดอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ด้าน Line to Ground (L - G) และ Neutral to Ground (N - G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Line to Ground (L – G) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz



รูปที่ 3.18 กราฟค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Line to Ground (L – G)

N	FREQUENCY [Hz]	MAG [Ω]	PHASE [deg]
10	150 000.000	50.1626	1.85158
11	195 498.198	50.2261	1.55270
12	254 796.970	50.3127	1.34066
13	332 082.323	50.3768	1.19913
14	432 809.972	50.4680	1.09095
15	564 090.464	50.5558	1.02005
16	735 191.128	50.6100	980.236
17	958 190.272	50.6709	976.166
18	1 248 829.811	50.7187	982.262
19	1 627 626.519	50.7742	1.12458
20	2 121 320.344	50.8156	1.24208
21	2 764 762.032	50.8575	1.47086
22	3 603 373.302	50.9236	1.78573
23	4 696 353.250	50.9821	2.19011
24	6 120 857.320	51.0508	2.71527
25	7 977 443.845	51.1593	3.42189
26	10 397 172.647	51.2788	4.32007
27	13 550 856.785	51.4563	5.51859
28	17 661 120.560	51.7409	7.02714
29	23 018 114.970	52.1727	8.94631
30	30 000 000.000	52.8530	11.3773

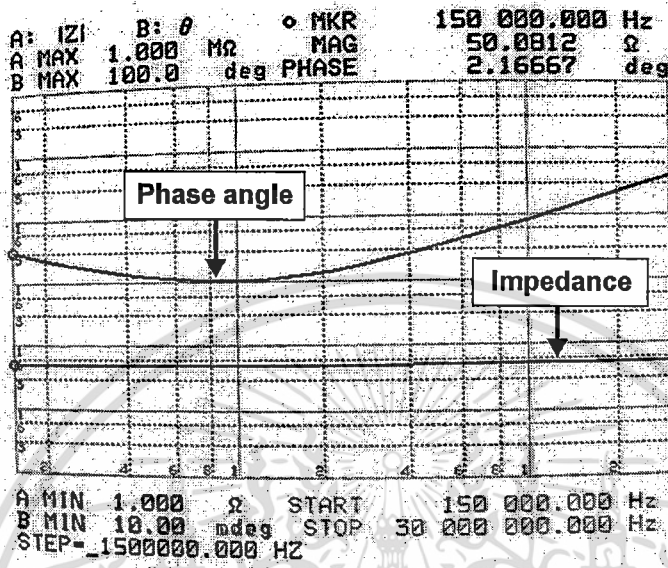
MEASURE N = 21 START 150 000.000 Hz
 SWEEP N = 1 → 21 STOP 30 000 000.000 Hz
 STEP -150000.000 HZ

รูปที่ 3.19 ตารางค่าอิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Line to Ground (L – G)

จากผลการทดสอบสามารถสรุปวัดค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Line to Ground (L – G) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz จะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์มีค่าอยู่ที่ 50 Ω ถึง 52 Ω ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Neutral to Ground (N – G) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz



รูปที่ 3.20 กราฟค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Neutral to Ground (N – G)

N	FREQUENCY [Hz]	MAG [Ω]	PHASE [deg]
10	150 000.000	50.1007	2.17521
11	195 498.198	50.1796	1.80610
12	254 796.970	50.2554	1.54090
13	332 082.323	50.3321	1.33501
14	432 009.972	50.4074	1.19703
15	564 090.464	50.4793	1.09585
16	735 191.128	50.5444	1.03565
17	950 190.272	50.6066	1.00473
18	1 248 029.011	50.6600	1.02343
19	1 627 626.519	50.7096	1.11961
20	2 121 320.344	50.7647	1.27574
21	2 764 762.032	50.8032	1.46471
22	3 603 373.302	50.8648	1.77148
23	4 696 353.250	50.9235	2.14051
24	6 120 057.320	50.9957	2.64073
25	7 977 443.845	51.0687	3.32754
26	10 397 172.647	51.1640	4.21285
27	13 550 856.785	51.3011	5.30110
28	17 661 120.560	51.4617	6.87967
29	23 018 114.970	51.7230	8.87598
30	30 000 000.000	52.1307	11.4994

MEASURE N= 20 START 150 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 → 21 STOP 30 000 000.000 Hz
 STEP= 1500000.000 HZ

รูปที่ 3.21 ตารางค่าอิมพีแดนซ์ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า WB 2010 – PCL ด้าน Neutral to Ground (N – G)

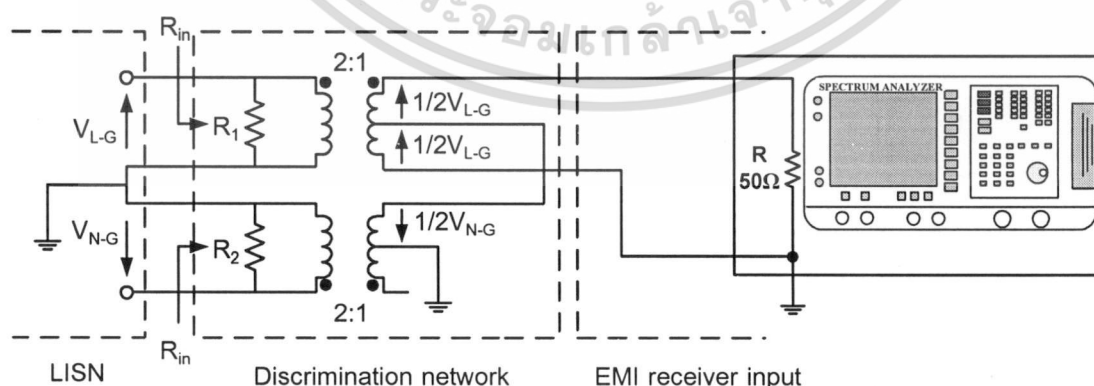
จากผลการทดสอบสามารถวัดค่าอิมพีแดนซ์ ด้าน Neutral to Ground (N – G) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz จะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์มีค่าอยู่ที่ 50 Ω ถึง 52 Ω ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

การทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในการทดลองจะทำการสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ที่มาจากสายตัวนำจากชุดการทดลองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Toolkit) โดยการทดลองจะทำการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลต่าง (Differential mode: DM) และสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม (Common mode: CM) โดยจะใช้ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise separator)

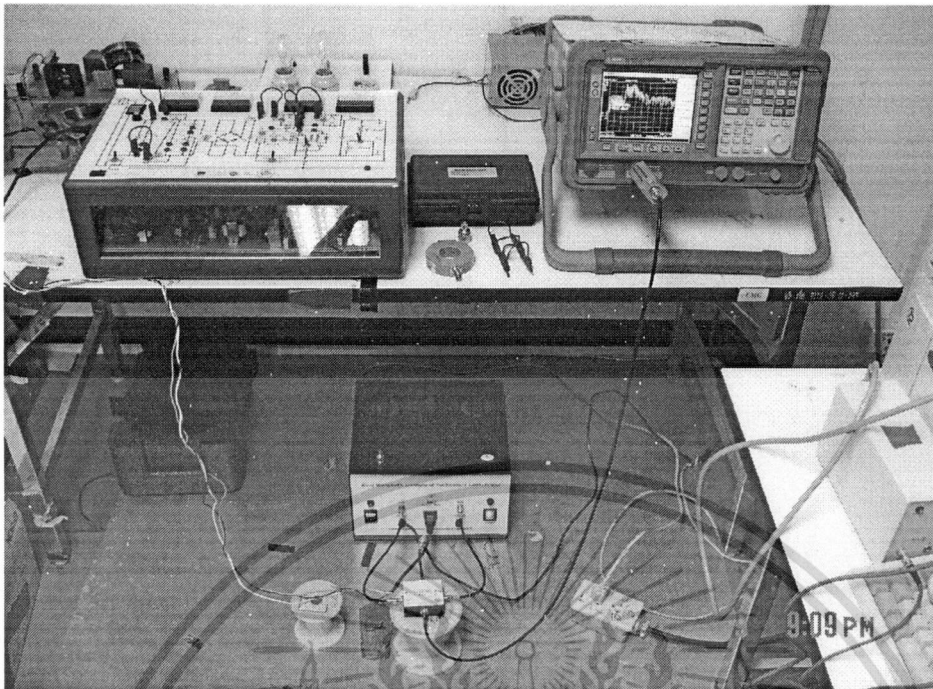
ในการสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจากชุดฝึกการทดลองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Toolkit) โดยมีเงื่อนไขการทดลองดังนี้

1. การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจาก EMI Toolkit
 - ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวด์ (With heat sink)
 - ความถี่การสวิตซิ่ง 150 kHz
 - ปรับ Selector switch โดยกำหนดสัญญาณ Gate drive เป็นแบบ Rise/Fall time มีค่าน้อย
2. การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยไม่ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวด์ (Without heat sink)
3. การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่การสวิตซิ่ง 75 kHz
4. การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเปลี่ยน Selector switch โดยกำหนดสัญญาณ Gate drive เป็นแบบ Rise/Fall time มีค่ามาก



รูปที่ 3.22 วงจรสมมูลการต่อชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



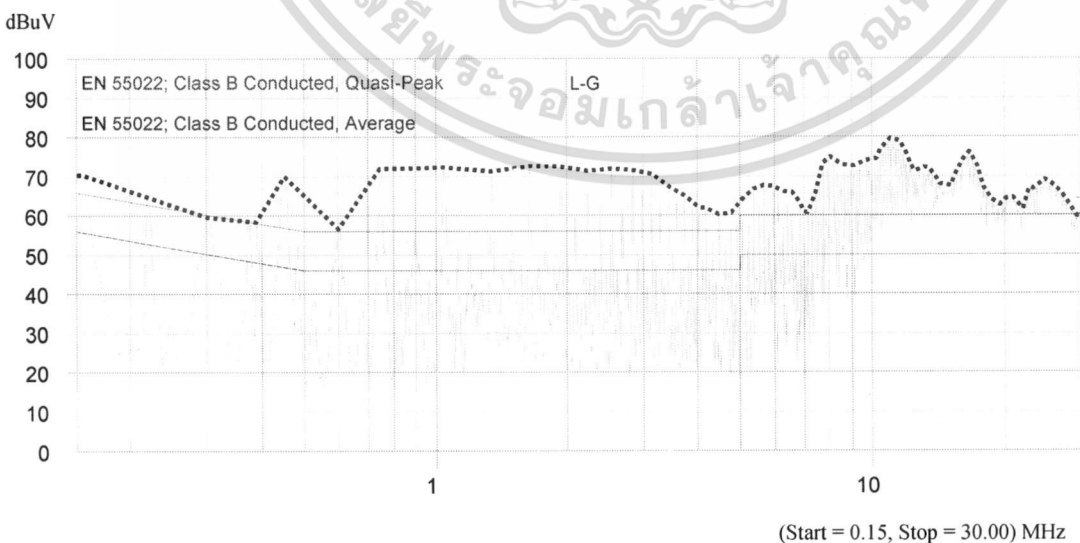
รูปที่ 3.23 วงจรการทดสอบประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

3.4 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อแผนระบายความร้อนลงกราวนด์) จาก EMI Toolkit

3.4.1 การวัดประสิทธิภาพสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise)

1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Line to Ground (L -

G)

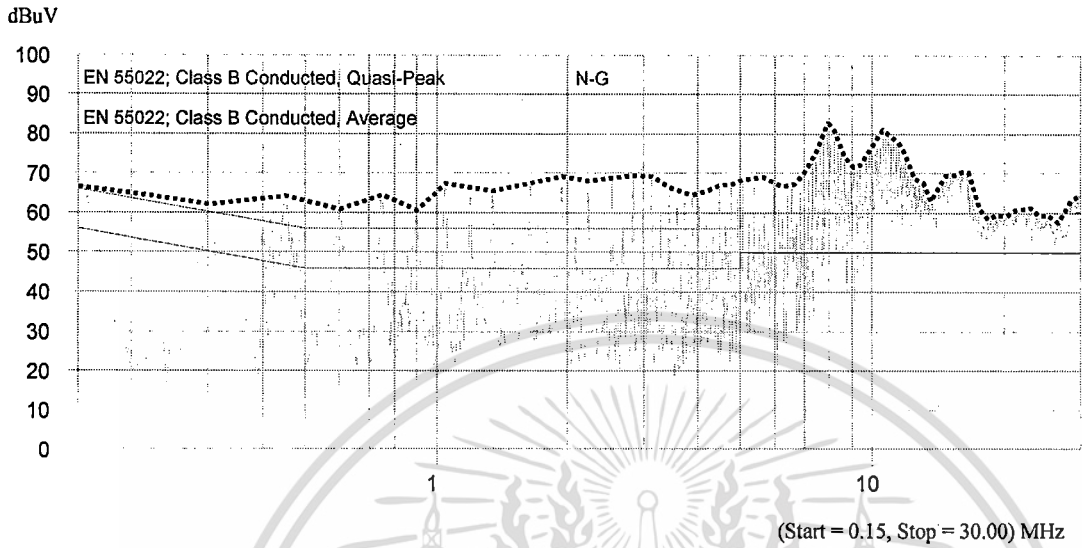


รูปที่ 3.24 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Neutral to Ground

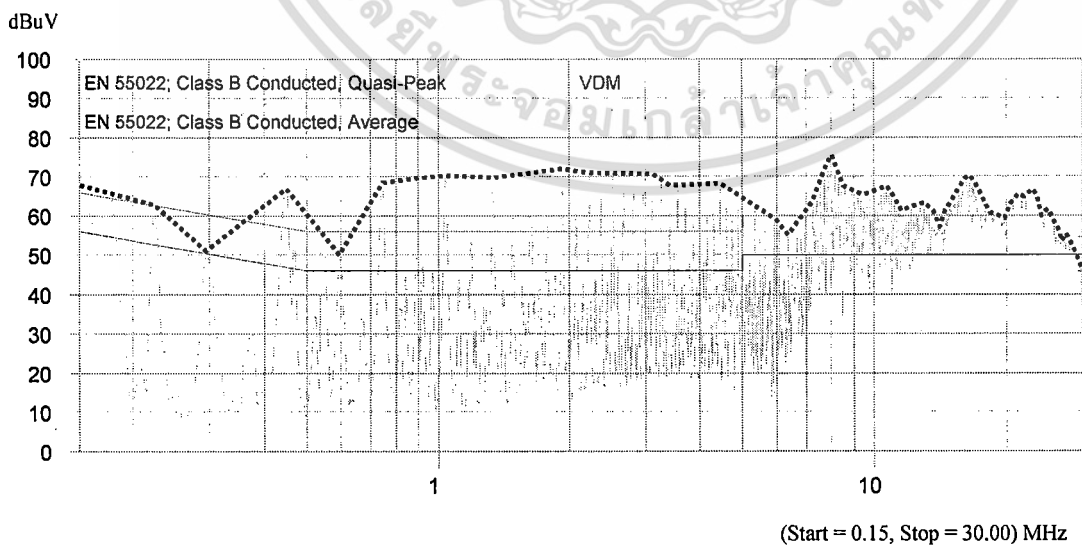
(N – G)



รูปที่ 3.25 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)

3.4.2 การวัดประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM) และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Common mode Interference: CM)

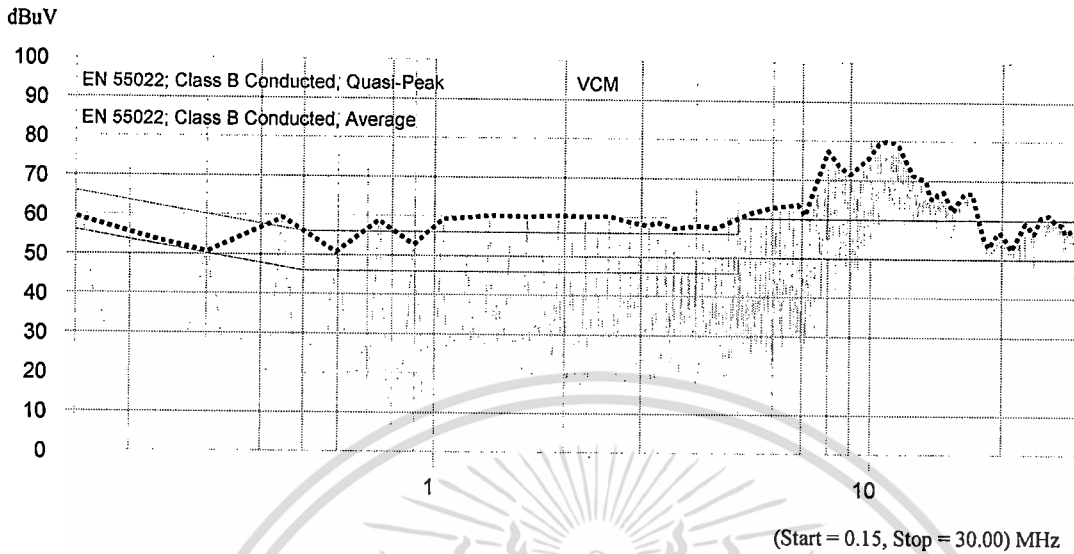
1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})



รูปที่ 3.26 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})

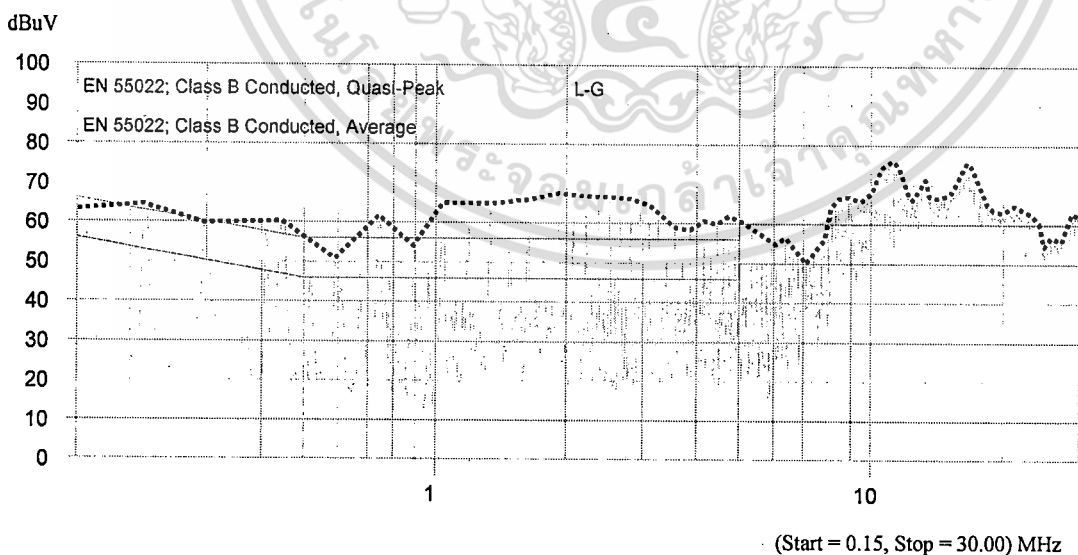


รูปที่ 3.27 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})

3.5 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยไม่ต่อแผ่นระบายความร้อน ลงกราวนด์ (Without heat sink)

3.5.1 การวัดประสิทธิภาพสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise)

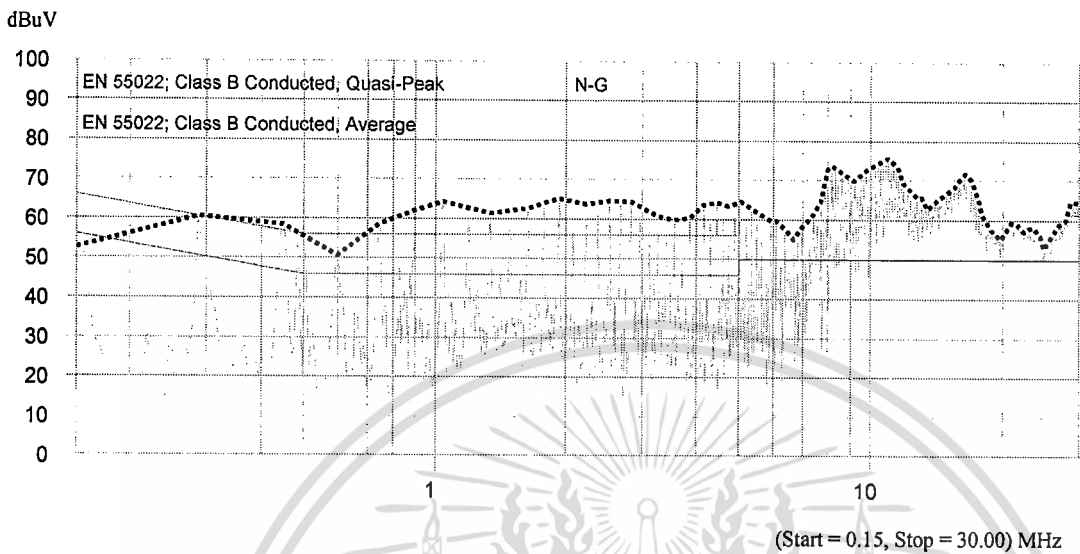
1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Line to Ground (L – G)



รูปที่ 3.28 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

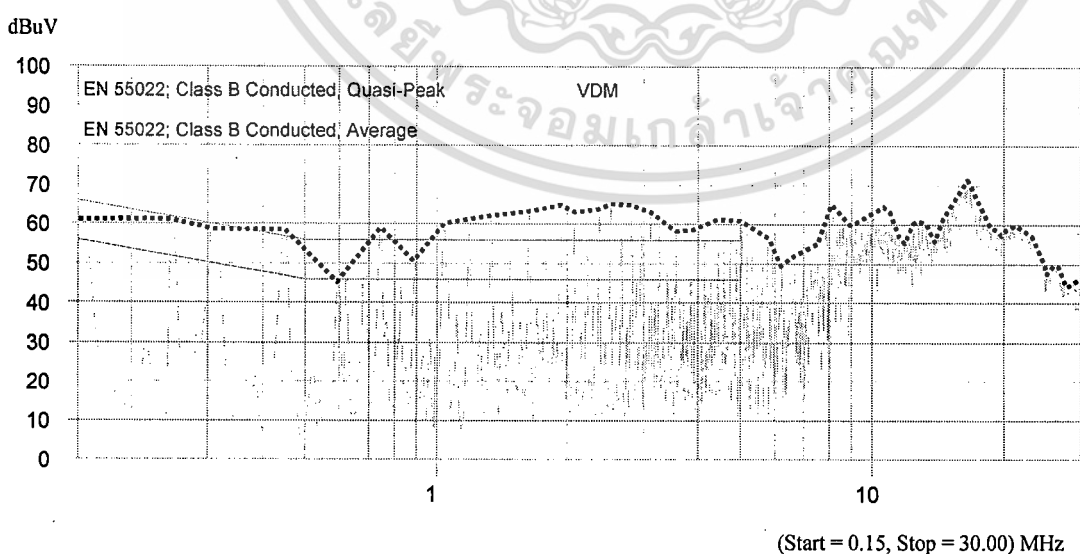
2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Neutral to Ground (N – G)



รูปที่ 3.29 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)

3.5.2 การวัดประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM) และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Common mode Interference: CM)

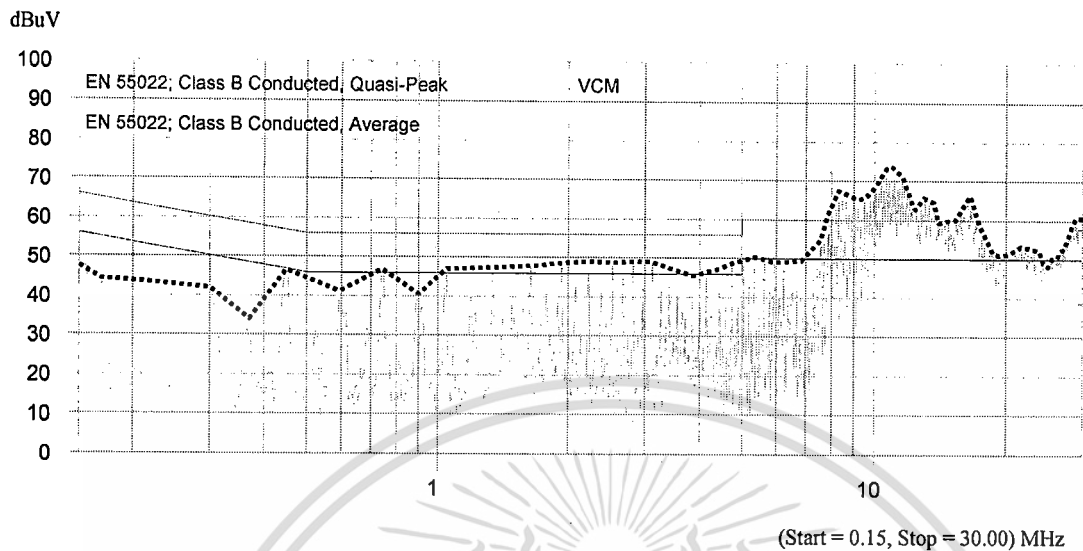
1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})



รูปที่ 3.30 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})



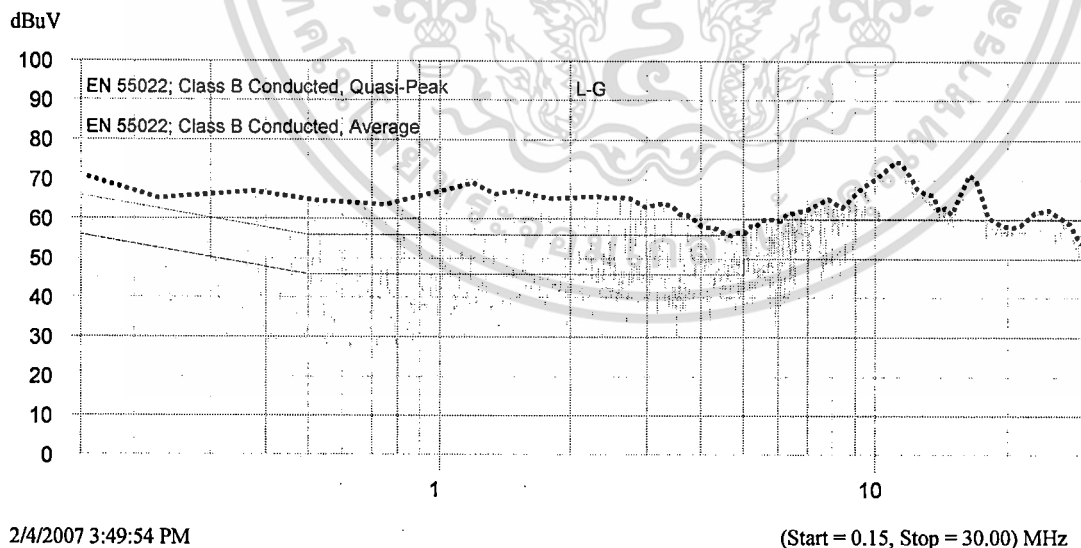
รูปที่ 3.31 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})

3.6 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่การสวิตซ์ 75 kHz

3.6.1 การวัดประสิทธิภาพสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise)

1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Line to Ground (L –

G)



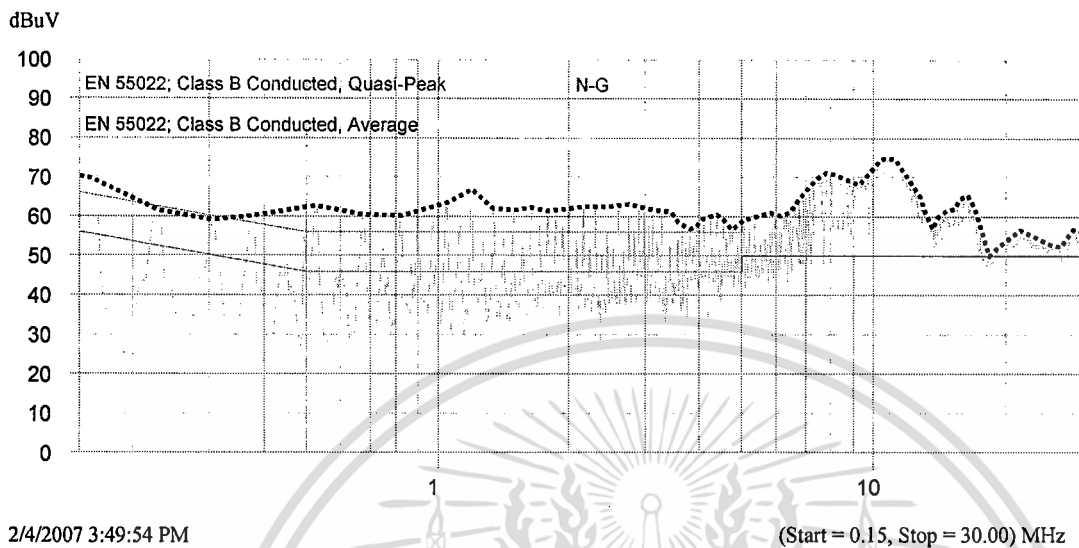
2/4/2007 3:49:54 PM

(Start = 0.15, Stop = 30.00) MHz

รูปที่ 3.32 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม
ด้าน Line to Ground (L – G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

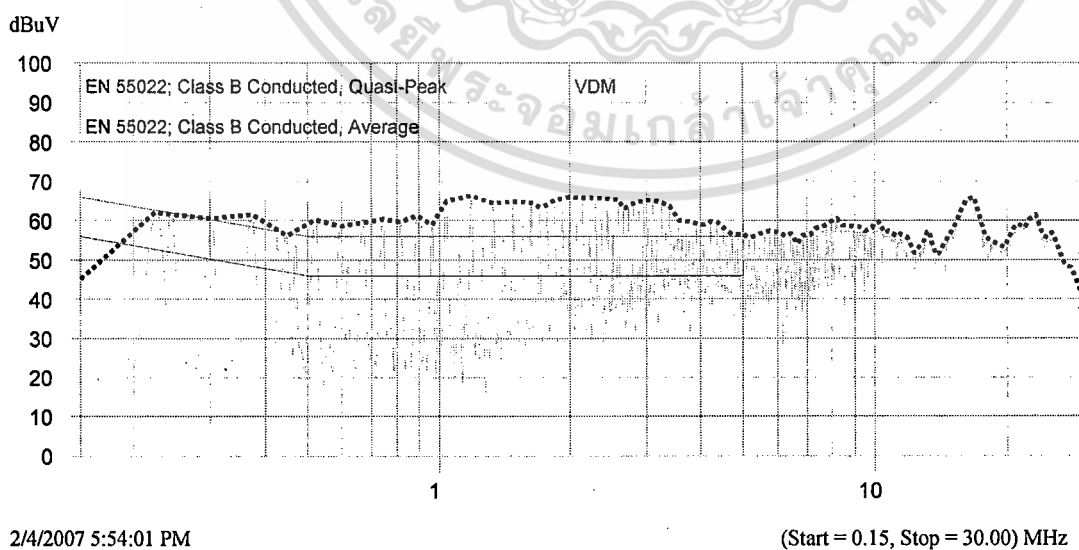
2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Neutral to Ground (N – G)



รูปที่ 3.33 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)

3.6.2 การวัดประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM) และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Common mode Interference: CM)

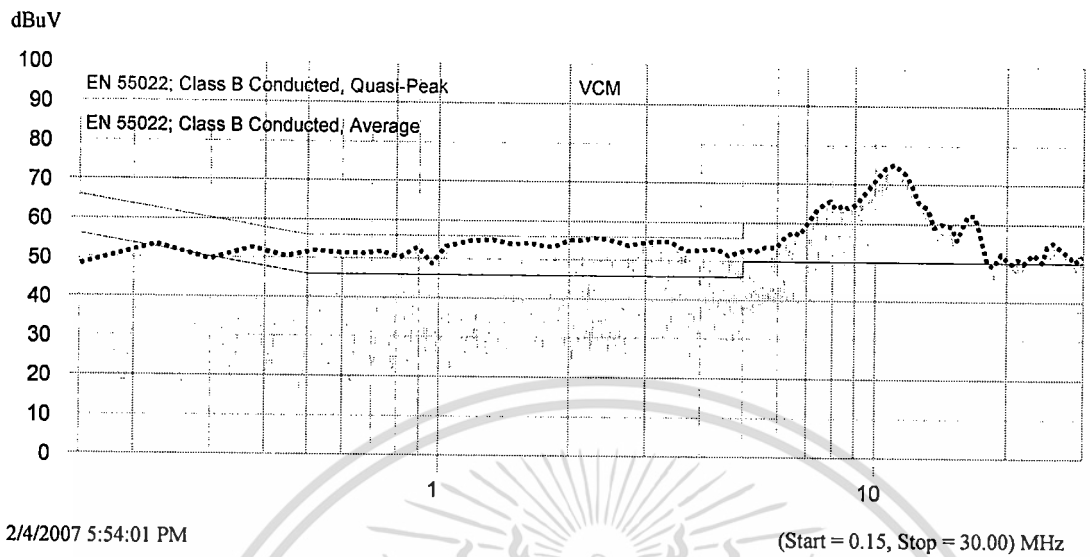
1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})



รูปที่ 3.34 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})



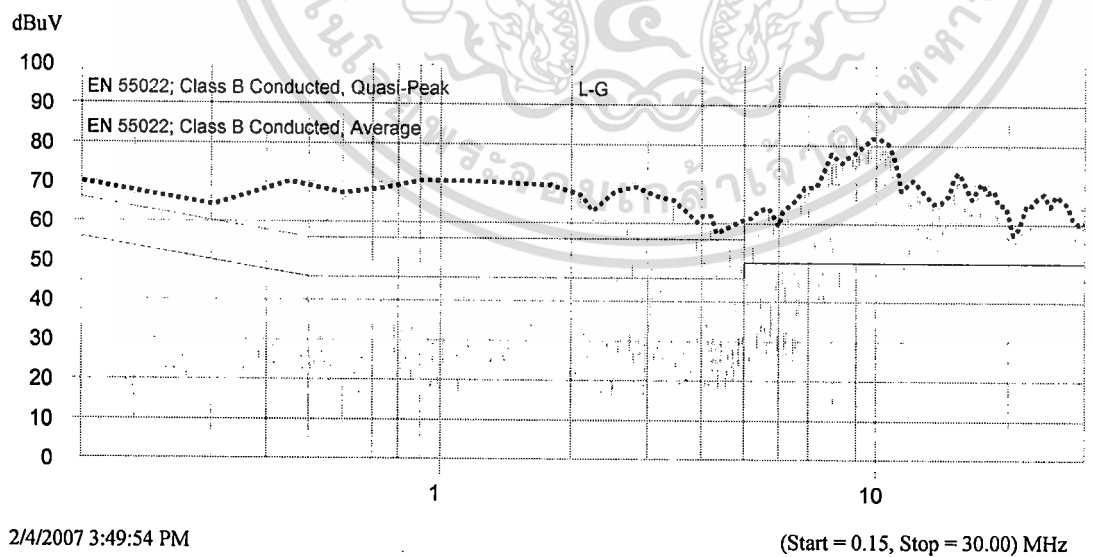
รูปที่ 3.35 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})

3.7 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเปลี่ยน Selector switch โดยกำหนดสัญญาณ Gate drive เป็นแบบ Rise/Fall Time มีค่ามาก

3.7.1 การวัดประสิทธิภาพสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise)

1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Line to Ground (L – G)

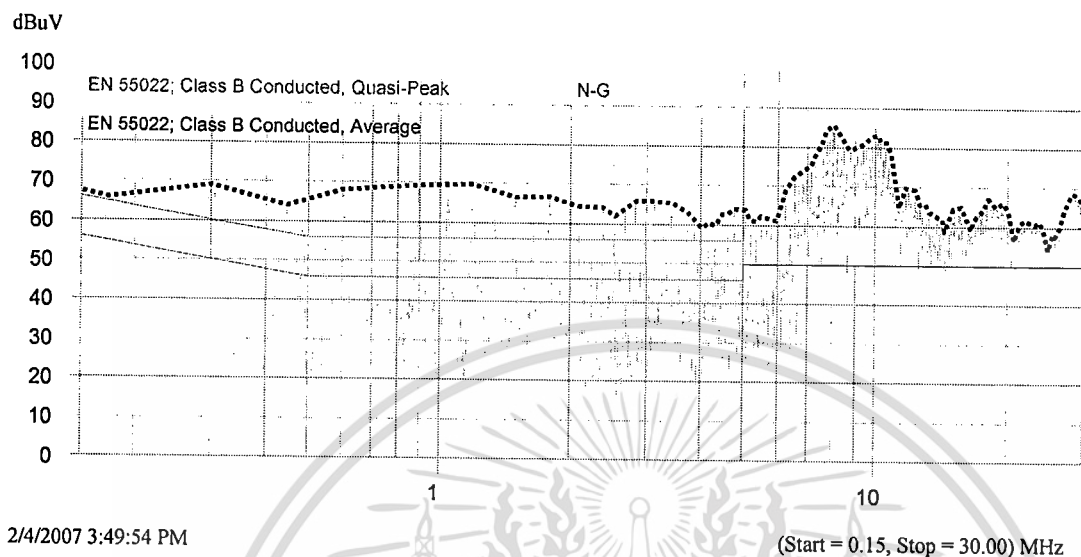
G)



รูปที่ 3.36 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

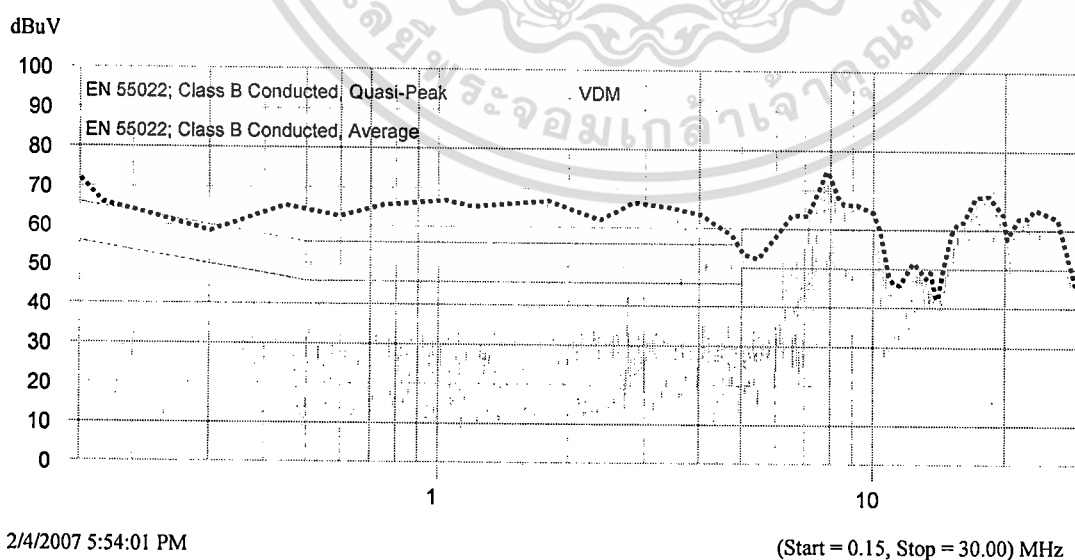
2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Neutral to Ground (N – G)



รูปที่ 3.37 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)

3.7.2 การวัดประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM) และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Common mode Interference: CM)

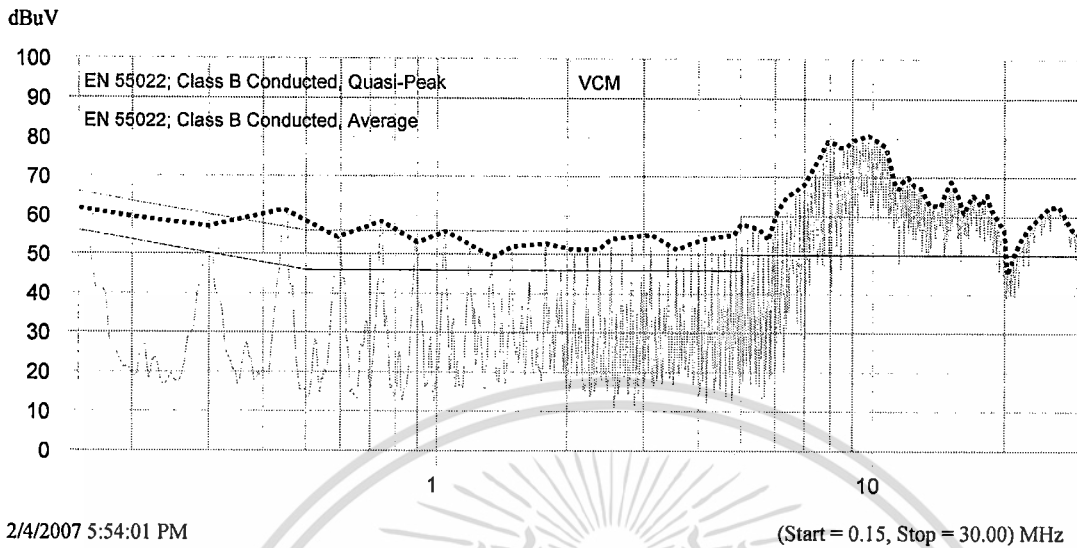
1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})



รูปที่ 3.38 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})



รูปที่ 3.39 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})

3.8 สรุป

จากการศึกษาและสร้างชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งพอสรุปได้ คือชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถที่จะวิเคราะห์การแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างออกจากสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่นำมาพิจารณาได้ ในการออกแบบชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้องคำนึงการรักษา Matching Impedance ที่ $50\ \Omega$ เพื่อให้ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากผลการทดลองการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเปลี่ยนเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า จะเห็นได้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จะมีลักษณะของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ โดยผลที่ได้จากชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า จะต้องนำไปเปรียบเทียบกับการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ RF current probe เพื่อแสดงให้เห็นว่าชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกแบบขึ้นสามารถแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าได้

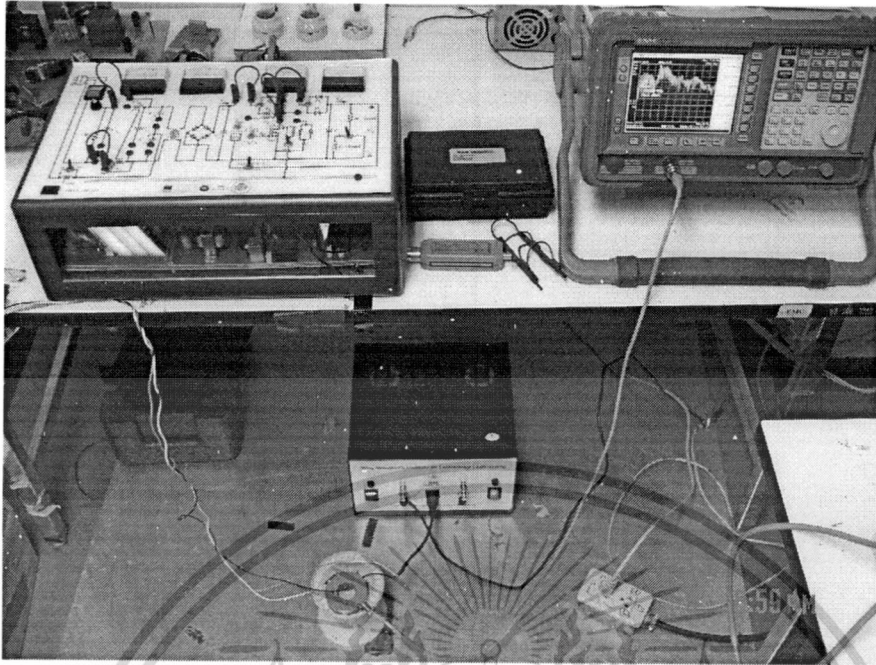
บทที่ 4

การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของ RF current probe

การทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีหลักการทดสอบเหมือนกับการใช้ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเพียงแต่จะเปลี่ยนมาใช้ RF current probe ในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเท่านั้น ซึ่งการทดลองจะทำการสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ที่มาจากสายตัวนำจากชุดการทดลองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Toolkit) โดยการทดลองจะทำการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM) และสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม (Common mode Interference: CM) โดยจะใช้ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise separator) ในการสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจากชุดฝึกการทดลองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Toolkit) โดยมีเงื่อนไขการทดลองดังนี้

1. การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจาก EMI Toolkit
 - ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวนด์ (With heat sink)
 - ความถี่การสวิตชิง 150 kHz
 - ปรับ Selector switch โดยกำหนดสัญญาณ Gate drive เป็นแบบ Rise/Fall time มีค่าน้อย
2. การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยไม่ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวนด์ (Without heat sink)
3. การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่การสวิตชิง 75 kHz
4. การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเปลี่ยน Selector switch โดยกำหนดสัญญาณ Gate drive เป็นแบบ Rise/Fall time มีค่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



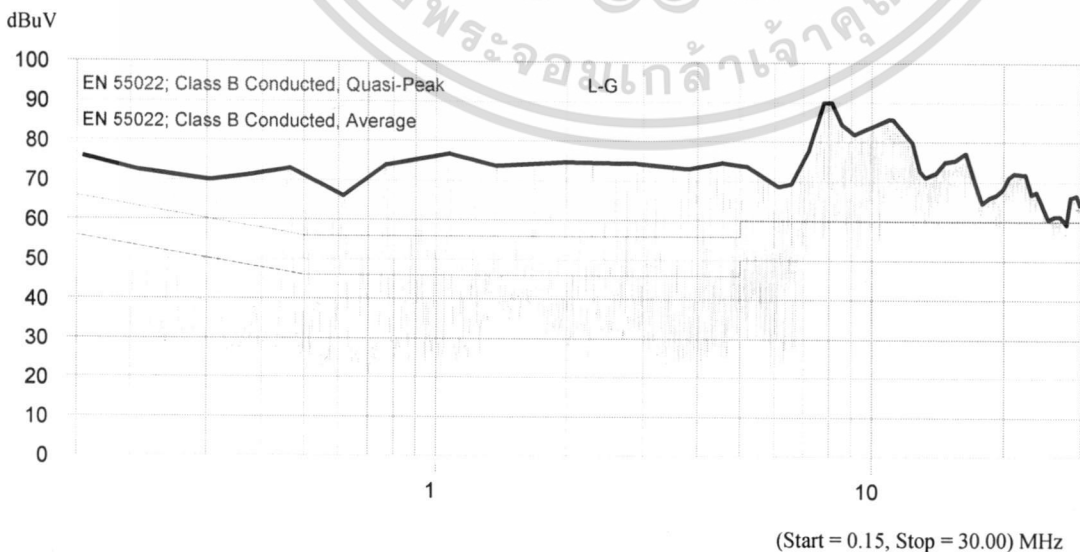
รูปที่ 4.1 วงจรการทดสอบประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

4.1 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจาก (ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวนด์) EMI Toolkit

4.1.1 การวัดประสิทธิภาพสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise)

1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Line to Ground

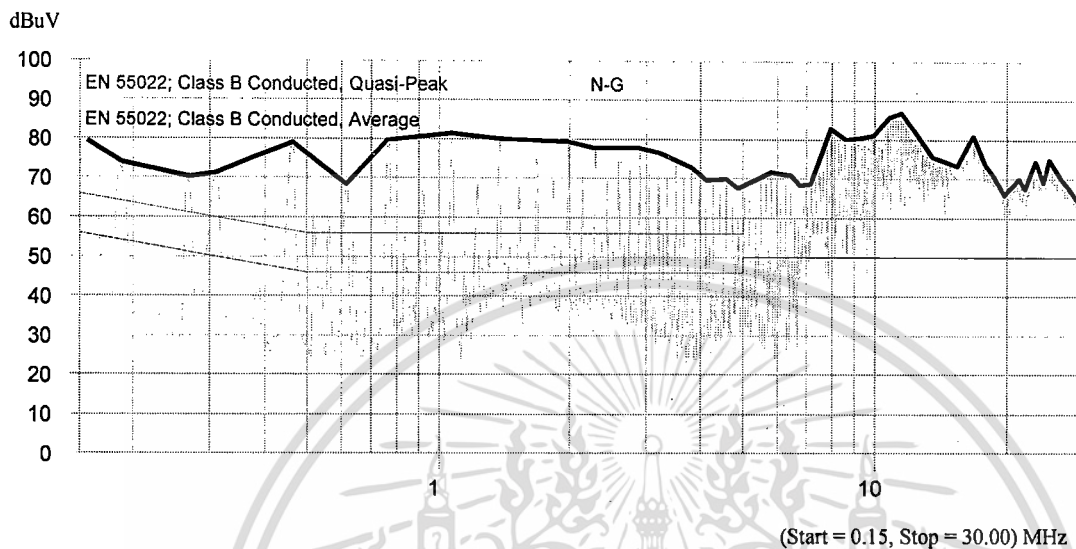
(L - G)



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L - G)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

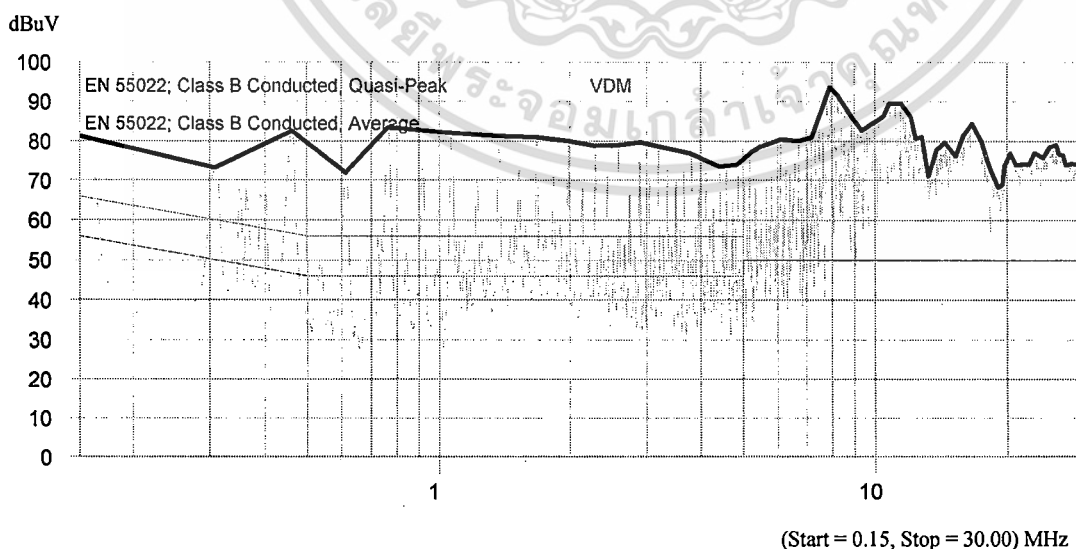
2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Neutral to Ground (N – G)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)

4.1.2 การวัดประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM) และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Common mode Interference: CM)

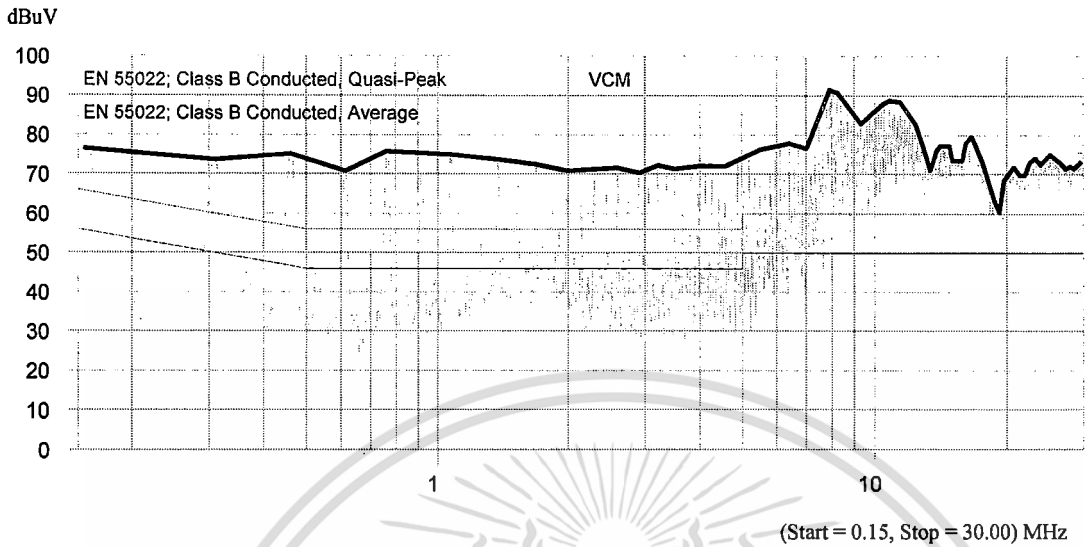
1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})



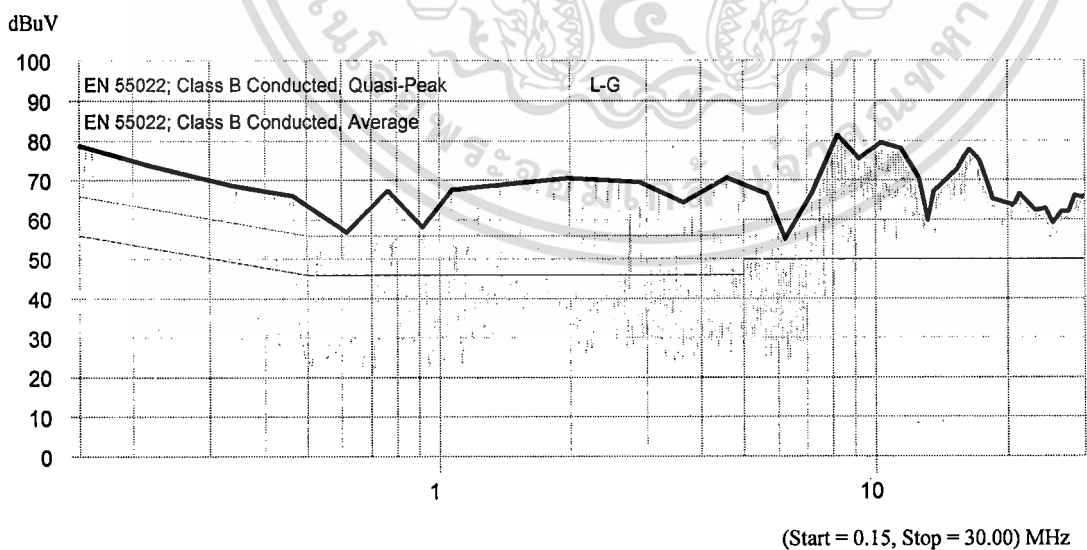
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})

4.2 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยไม่ต่อแผ่นระบายความร้อน ลงกราวนด์ (Without heat sink)

4.2.1 การวัดประสิทธิภาพสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise)

1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Line to Ground (L –

G)



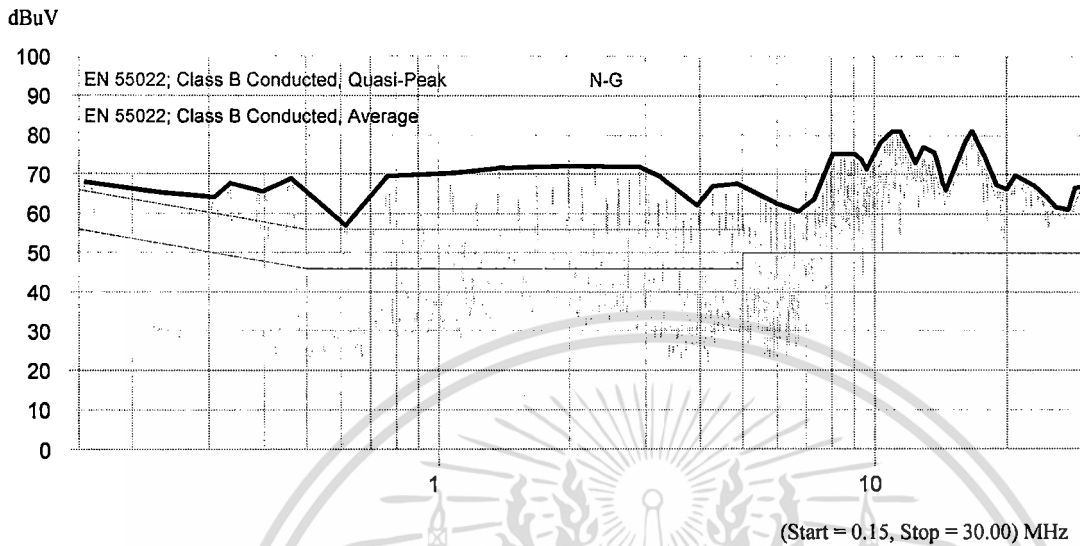
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม

ด้าน Line to Ground (L – G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Neutral to Ground

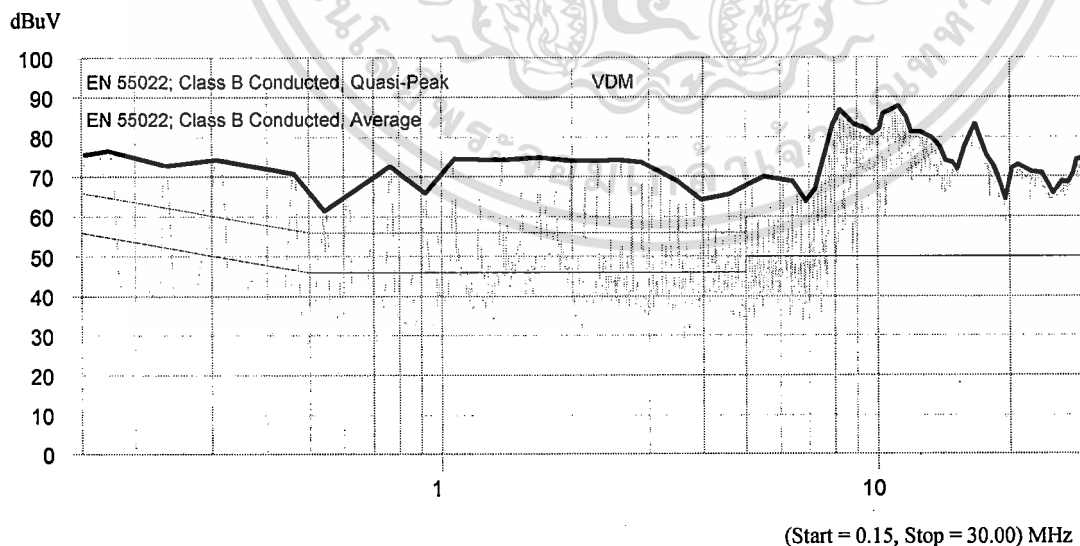
(N – G)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมด้าน Neutral to Ground (N – G)

4.2.2 การวัดประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM) และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Common mode Interference: CM)

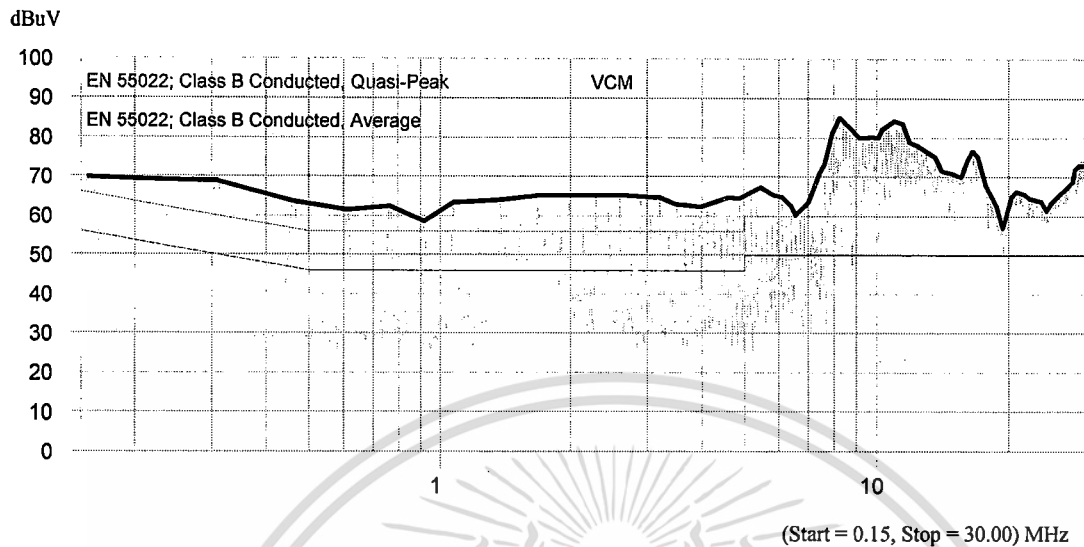
1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})



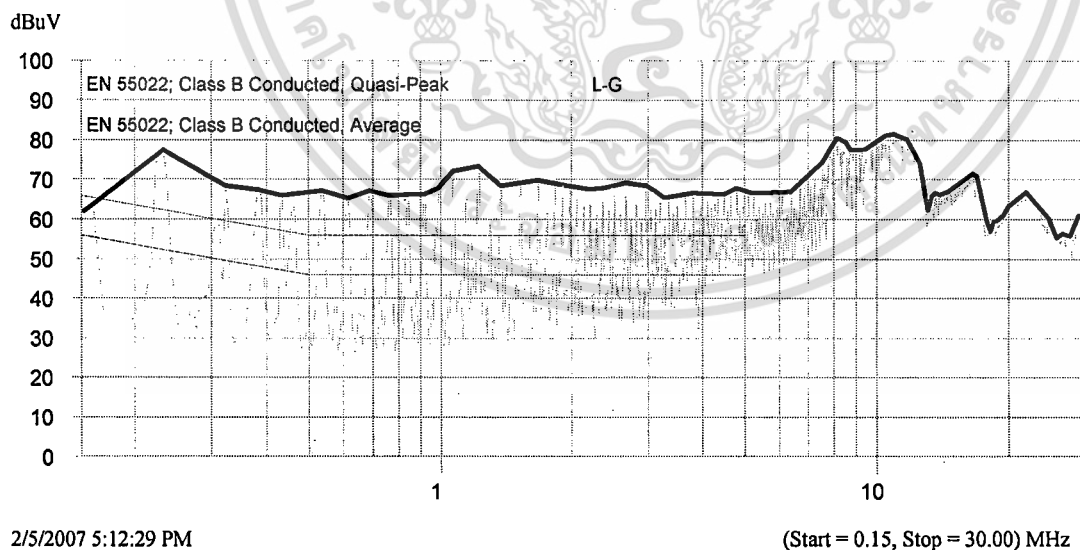
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})

4.3 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่การสวิตซ์ซึ่ง 75 kHz

4.3.1 การวัดประสิทธิภาพสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise)

1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Line to Ground (L –

G)



2/5/2007 5:12:29 PM

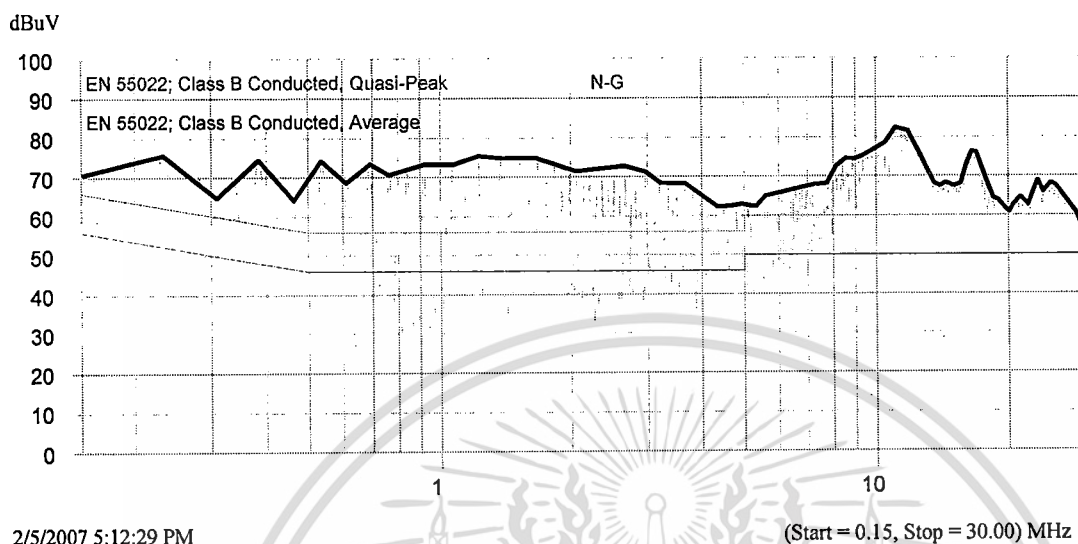
(Start = 0.15, Stop = 30.00) MHz

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Line to Ground (L – G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Neutral to Ground

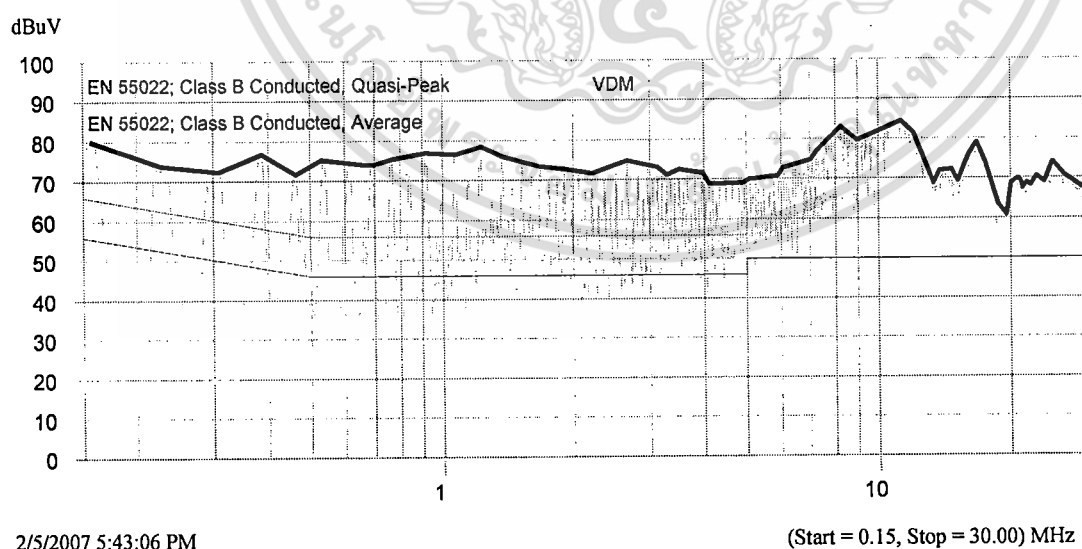
(N – G)



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ด้าน Neutral to Ground (N – G)

4.3.2 การวัดประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM) และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Common mode Interference: CM)

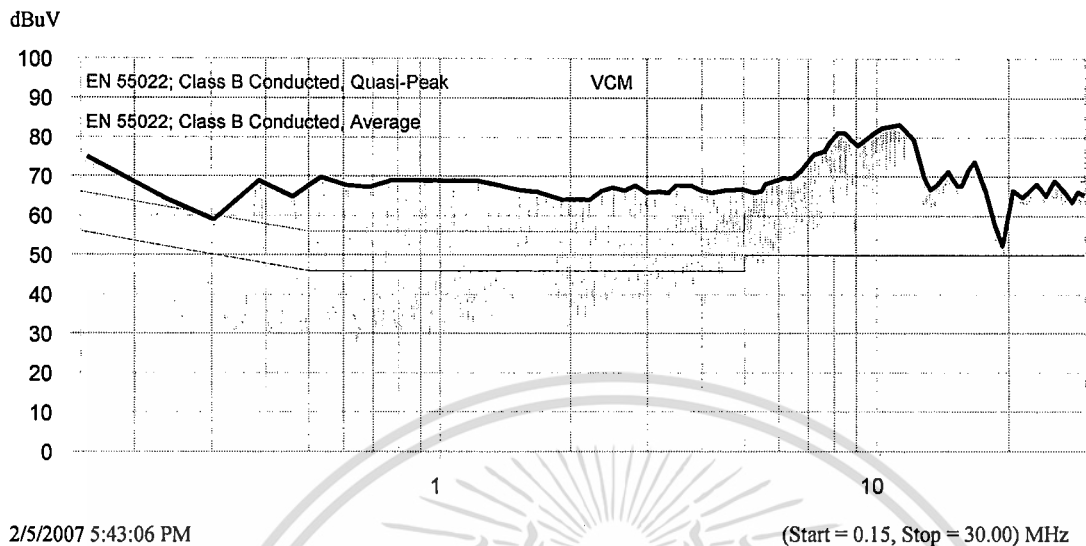
1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})



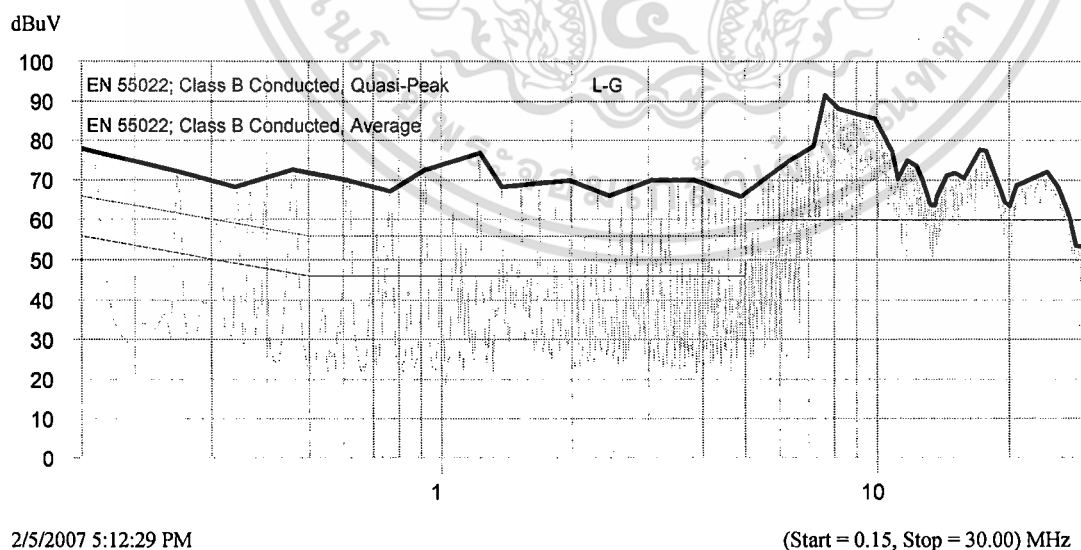
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})

4.4 การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเปลี่ยน Selector switch โดยกำหนดสัญญาณ Gate drive เป็นแบบ Rise/Fall Time มีค่ามาก

4.4.1 การวัดประสิทธิภาพสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise)

1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Line to Ground (L -

G)

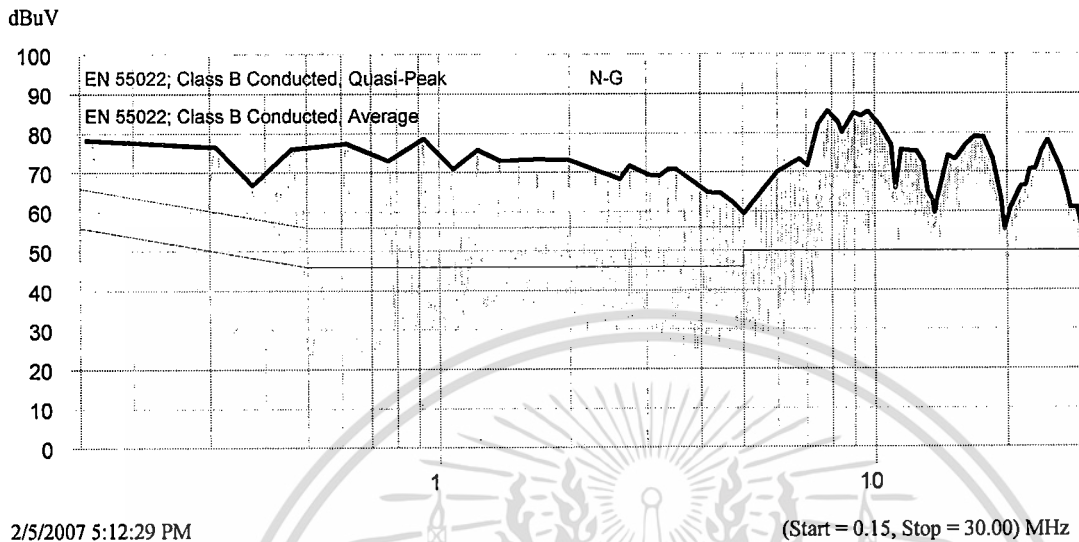


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมด้าน Line to Ground (L - G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Total noise) ด้าน Neutral to Ground

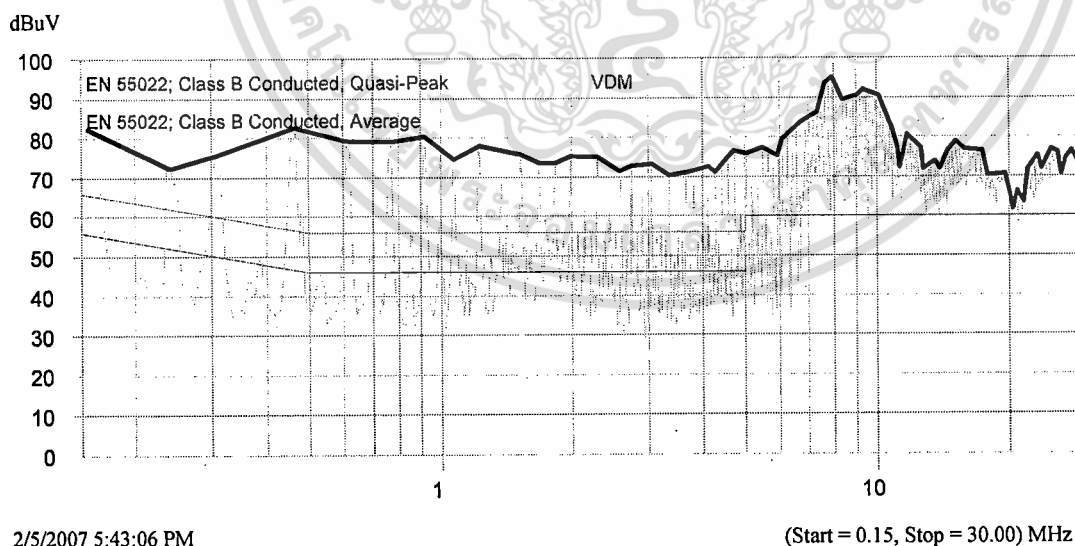
(N – G)



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมด้าน Neutral to Ground (N – G)

4.4.2 การวัดประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (Differential mode Interference: DM) และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (Common mode Interference: CM)

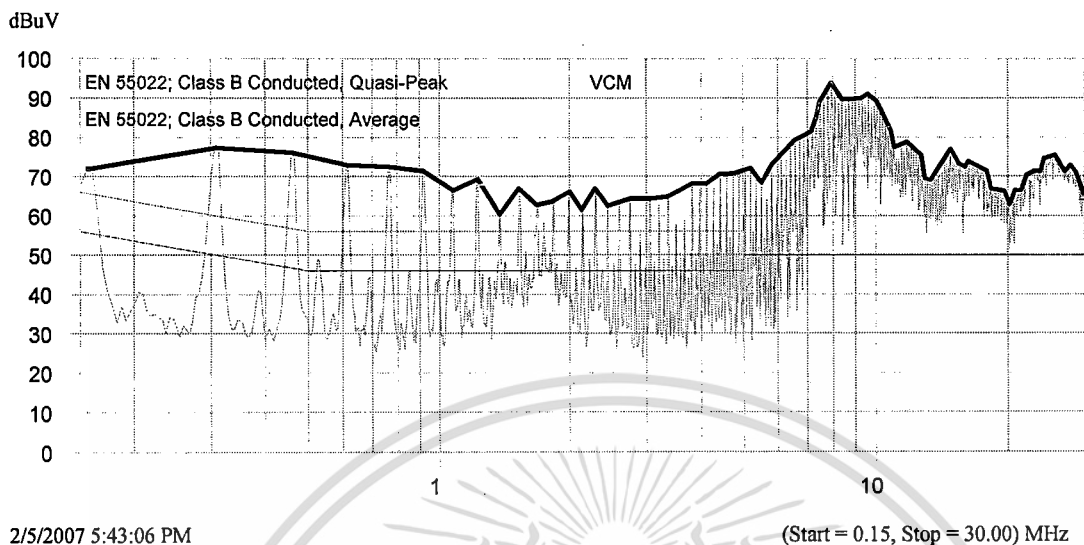
1. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM})

4.9 สรุป

จากการศึกษาการแยกสัญญาณรบกวนไฟฟ้าโดยใช้ RF current probe ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของ RF current probe ซึ่งพอสรุปได้ คือสามารถวิเคราะห์การแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง ออกจากสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่นำมาพิจารณาได้ เพียงแค่นำสายตัวนำมาคล้องผ่าน RF current probe ตามวิธีการวัดในแต่ละโหมดของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเท่านั้น

จากการทดลองการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ RF current probe สามารถแยกสัญญาณรบกวนทั้งในโหมดผลรวมและโหมดผลต่างได้ และจะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จะมีลักษณะของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ เช่นเดียวกับการใช้ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่ง RF current probe จะมีประสิทธิภาพในการทดสอบที่ดี เนื่องจากมีมาตรฐานทางด้านการทดสอบ และมีวิธีการทดสอบที่แน่นอน ดังนั้นจึงนำสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก RF current probe เป็นสัญญาณอ้างอิง

บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะยกตัวอย่างผลการทดลองมา 2 กรณี คือ ผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าค่าสูงสุดของ EMI Toolkit และผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจากการไม่ต่อแผ่นระบายความร้อน ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าค่าของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์แยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise separator) และ RF current probe มีค่าความแตกต่างกันอย่างไร และมีปัจจัยใดบ้างที่มีผลกระทบต่อผลการทดลอง โดยจะให้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก RF current probe เป็นตัวอ้างอิงเพราะมีมาตรฐานทางด้านการทดสอบที่แน่นอน ส่วนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก อุปกรณ์แยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า จะเป็นตัวเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์หาความแตกต่างของอุปกรณ์การแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองแบบ

5.2 การพิสูจน์ความถูกต้องของประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างและสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมออกจากกันนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบว่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกแยกออกมานั้นถูกต้องหรือไม่ จึงต้องมีการรวมสัญญาณที่ถูกแยกออกมาแล้วนั้น นำมาตรวจสอบว่าเมื่อรวมกลับไปแล้วจะได้เท่ากับสัญญาณก่อนถูกทำการแยกหรือไม่ แต่เนื่องจากสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดออกมาได้นั้นเป็นค่า Logarithm scale จึงต้องแปลงเป็นค่าเชิงเส้นก่อนถึงจะรวมกันทางคณิตศาสตร์ได้จากสมการที่ 5.2 เป็นสมการที่ใช้สำหรับการแปลงค่า Logarithm scale เป็นค่า Linear scale

$$dB\mu V = 20 \log \left(\frac{X}{\mu V} \right) \quad (5.1)$$

$$\frac{dB\mu V}{20} = \log \left(\frac{X}{\mu V} \right)$$

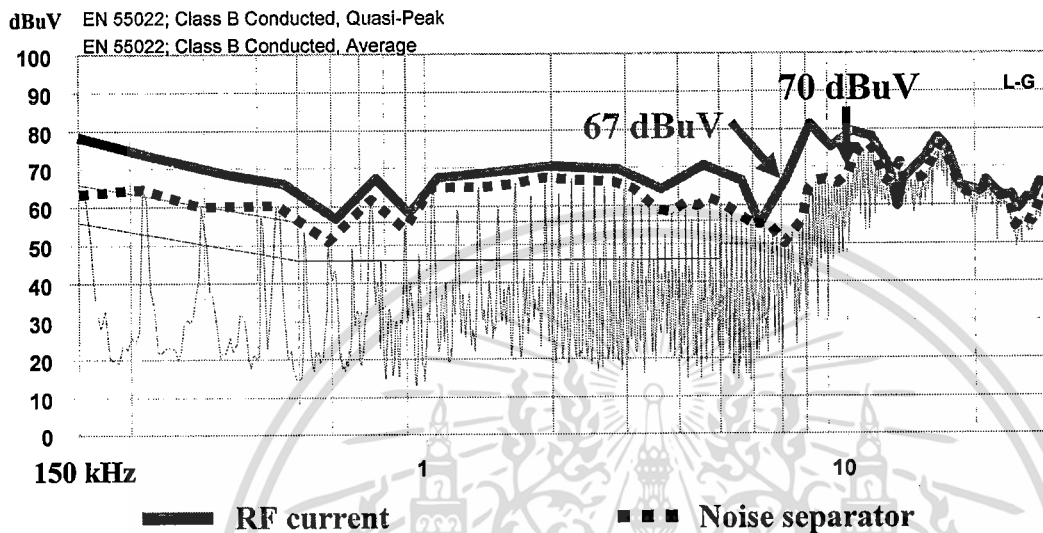
$$10^{\frac{dB\mu V}{20}} = \frac{X}{\mu V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน X $\mu V \times 10^{\frac{dB\mu V}{20}}$ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (5.2) ค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การวิเคราะห์ผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการไม่ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวนด์ (Without heat sink)

1. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Line – Ground ระหว่าง

Simplified LISN และ RF current probe



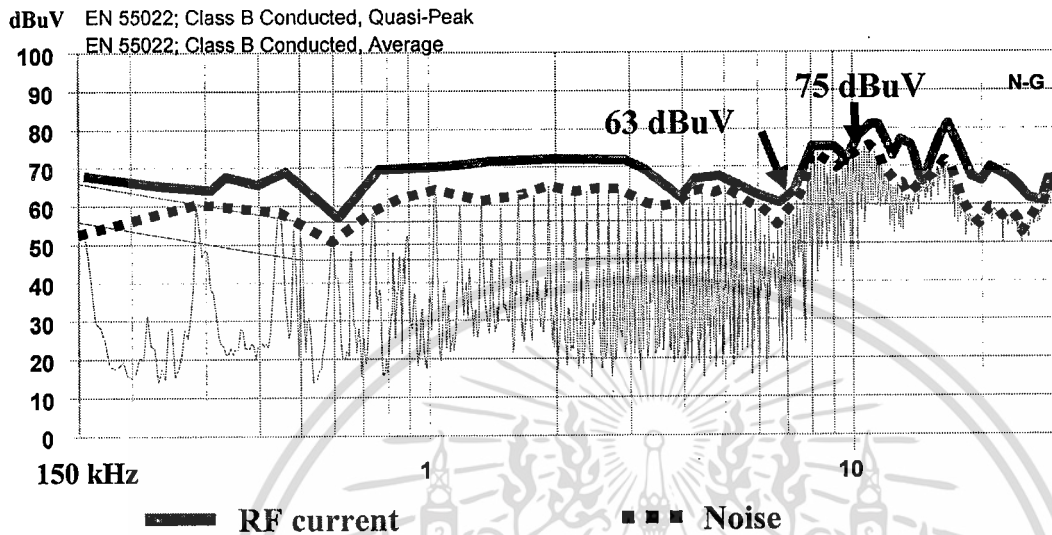
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Line to Ground ระหว่าง Simplified LISN และ RF current probe

ผลการวิเคราะห์

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน L – G เมื่อวัดจาก Simplified LISN จะมีค่าที่ต่ำกว่าการวัดจาก RF current probe ในช่วงความถี่ 150 kHz – 13 MHz โดยจะมีค่าความแตกต่างของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3 dBuV – 12 dBuV และในช่วงความถี่ 13 MHz – 30 MHz จะมีค่าความแตกต่างของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่น้อยมากจนเกือบจะเท่ากัน และจะสังเกตเห็นว่าค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก RF current probe ในด้าน L – G นี้จะมีค่าที่ต่ำกว่าทางด้านของ N – G หรือค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากหัวของ Simplified LISN มีค่าที่สูงขึ้น นั่นอาจเป็นผลมาจากช่วงเวลาที่ทำกรวัด เนื่องจากในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เวลาต่างกัน ค่าที่ได้ก็จะมีค่าแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นการวัดจากหัวของ Simplified LISN และจาก RF current probe

2. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Neutral – Ground ระหว่าง

Simplified LISN และ RF current probe

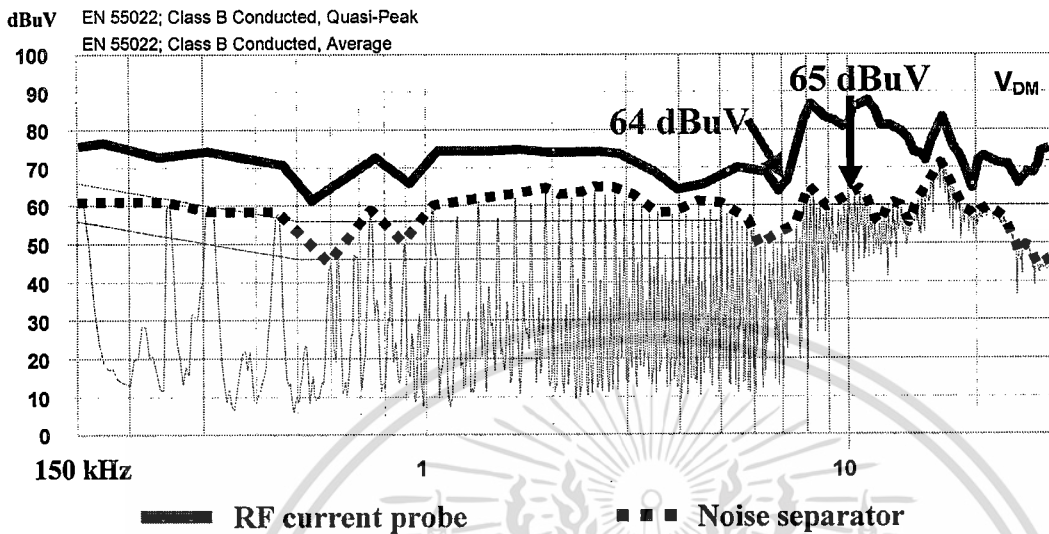


รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Neutral to Ground ระหว่าง Simplified LISN และ RF current probe

ผลการวิเคราะห์

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน N – G จากการวัดของ Simplified LISN และ RF current probe จะมีลักษณะคล้ายกับการทดสอบในเงื่อนไขแรก แต่ค่าของระดับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีค่าที่ต่ำกว่า โดยในช่วงความถี่ 150 kHz – 3 MHz จะมีค่าความแตกต่างอยู่ในช่วง 5 dBuV – 10 dBuV และในช่วงความถี่ 3 MHz – 8 MHz จะมีค่าความแตกต่างอยู่ในช่วง 1 dBuV – 3 dBuV ซึ่งน้อยมาก แต่ความถี่ที่สูงขึ้นไปจากนี้จะมีผลของความถี่สูงเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งทำให้กราฟที่ได้มีค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกันซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากชุดวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าง่ายๆที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

3. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM}) ระหว่าง Noise separator และ RF current probe



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง ระหว่าง Noise separator และ RF current probe

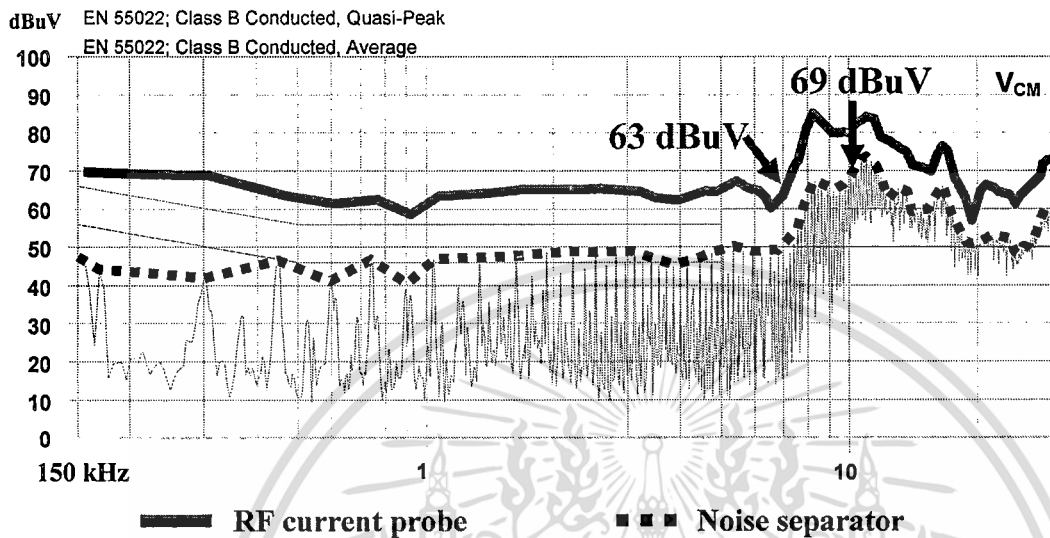
ผลการวิเคราะห์

ค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่าง Noise separator และ RF current probe จะเห็นได้ว่ามีลักษณะที่คล้ายกัน ในช่วงความถี่ 150 KHz – 2 MHz จะแตกต่างกัน ประมาณ 10 dBuV ส่วนในช่วงความถี่อื่นๆ จะมีค่าของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าประมาณ 5 dBuV – 20 dBuV จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่กว้าง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการตอบสนองของความถี่ของตัว Noise separator อีกทั้งสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน L – G และ N – G ที่ไม่สมมาตรเมื่อนำมารวมกันทางขนาดและมุมเฟสจะทำให้รูปแบบของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างมีความผิดเพี้ยนได้ และเมื่อเราทราบถึงค่าความแตกต่างของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงความถี่ก็จะทำให้เราทราบถึงค่าที่ควรชดเชยในแต่ละความถี่เมื่อได้ทำการต่อ Noise separator เข้าไปในวงจร

จากการสังเกตสามารถที่จะวิเคราะห์ได้ว่าการต่อแผ่นระบายความร้อนและไม่ต่อแผ่นระบายความร้อนจะมีผลกระทบกับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างเช่นกัน โดยที่สัญญาณรบกวนในโหมดผลต่างของเงื่อนไขไม่ต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวด์ในช่วงประมาณ 700 kHz – 6 MHz จะเห็นได้ว่ามีค่าที่ต่ำกว่าการต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวด์ ส่วนที่ความถี่ที่สูงมากกว่านี้จะมีสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างที่ใกล้เคียงกันเพราะสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะไปเกิดที่โหมดผลรวมมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM}) ระหว่าง Noise separator และ RF current probe



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ระหว่าง Noise separator และ RF current probe

ผลการวิเคราะห์

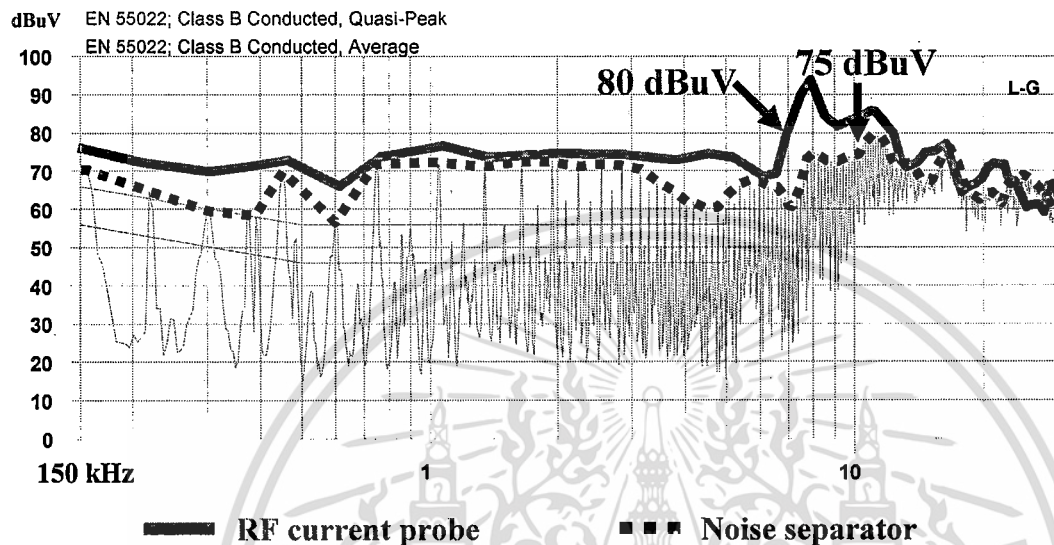
ค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจากการวัดระหว่าง Noise separator และ RF current probe นี้ จะมีลักษณะรูปร่างที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีค่าที่ต่ำกว่าในเงื่อนไขแรกโดยค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า จะอยู่ในช่วง 10 dBuV – 22 dBuV ที่ช่วงความถี่ 400 kHz – 30 MHz แต่ที่ความถี่ตั้งแต่ 150 kHz – 400 kHz จะมีค่าความแตกต่างที่มากกว่าประมาณ 22 dBuV – 28 dBuV ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะผลของการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เวลาที่ไม่ว่ากัน เมื่อไม่ได้ทำการวัดที่เวลาเดียวกันค่าที่ได้จึงมีค่าที่แตกต่างกัน และผลของขนาดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอุปกรณ์สวิตชิงใน EMI Toolkit

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมที่ได้จาก Noise separator ในเงื่อนไขนี้จะเห็นได้ว่า มีค่าที่ลดลงไปประมาณ 10 dBuV นั้นเป็นผลมาจากองค์ประกอบแฝงจากการต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวนด์มีค่าที่ลดลงเมื่อไม่ได้ทำการต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวนด์ โดยสังเกตได้จากช่วงความถี่ประมาณ 7 MHz – 15 MHz ค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมนี้จะมีค่าที่สูงกว่าค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง และมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดในช่วงความถี่ 7 MHz – 15 MHz นี้เป็นผลมาจากสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมมากกว่าสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง เช่นเดียวกับการทดสอบในเงื่อนไขแรกเพียงแต่สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 2 นี้จะมีค่าที่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การวิเคราะห์ผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการต่อแผ่นระบายความร้อนลงกราวนด์ (With heat sink)

1. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Line – Ground ระหว่าง Simplified LISN และ RF current probe

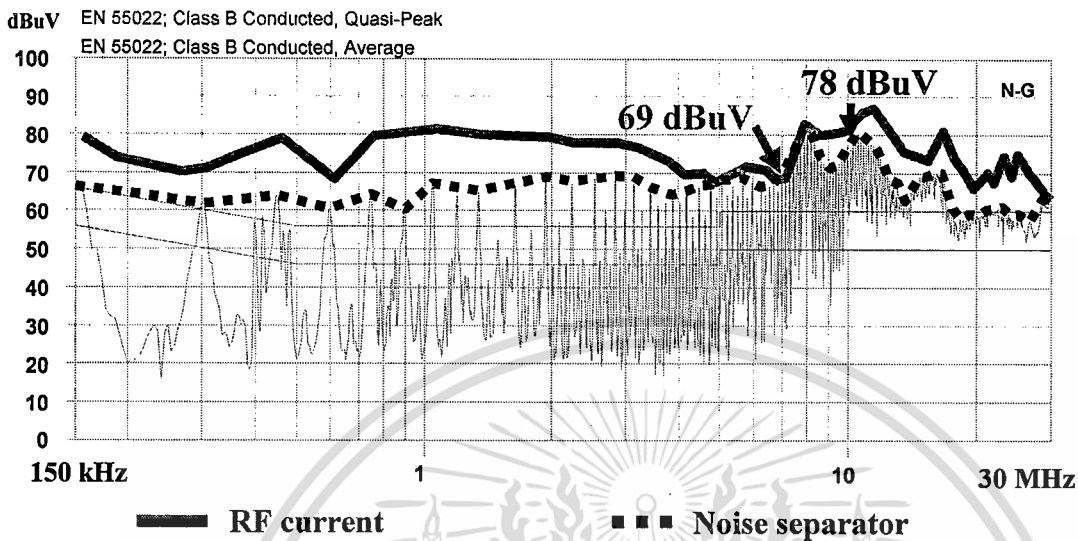


รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Line to Ground ระหว่าง Simplified LISN และ RF current probe

ผลการวิเคราะห์

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน L – G เมื่อวัดจาก Simplified LISN จะมีค่าที่ต่ำกว่าการวัดจาก RF current probe ในช่วงความถี่ 150 kHz – 30 MHz จะมีค่าความแตกต่างของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3 dBuV – 15 dBuV ความแตกต่างนี้อาจมาจากชุดวัดสัญญาณของตัว Simplified LISN ที่ใช้ตัวต้านทานที่มีค่าความผิดพลาดที่ความถี่สูงและตัวเก็บประจุ ซึ่งมีค่า Self resonance frequency ที่มีค่าต่ำเกิด ค่าองค์ประกอบแฝง ทำให้การวัดมีความไม่แน่นอน

2. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Neutral – Ground ระหว่าง Simplified LISN และ RF current probe

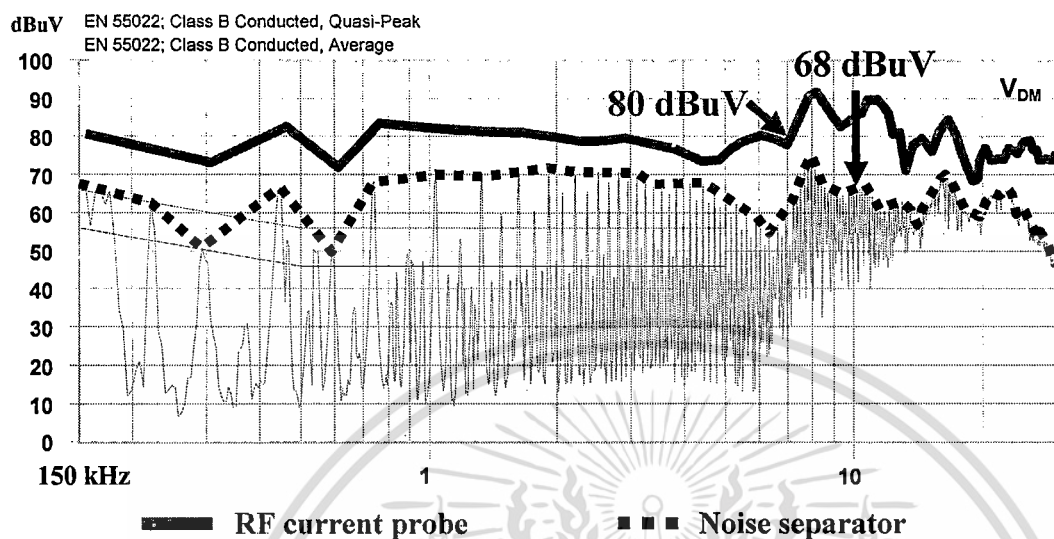


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน Neutral to Ground ระหว่าง Simplified LISN และ RF current probe

ผลการวิเคราะห์

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน N – G เมื่อวัดจาก Simplified LISN ยังคงมีค่าที่ต่ำกว่าการวัดจาก RF current probe แต่ในช่วงความถี่ 150 kHz – 5 MHz จะมีค่าความแตกต่างของสัญญาณมากกว่าสัญญาณรบกวนด้าน L – G ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 3 dBuV – 20 dBuV และที่ในช่วงความถี่ 5 MHz – 30 MHz จะมีค่าความแตกต่างของสัญญาณรบกวนอยู่ในช่วง 3 dBuV – 13 dBuV ซึ่งค่าความแตกต่างนี้อาจเป็นผลมาจากค่าองค์ประกอบแฝงของวงจรทางด้าน L – G และ N – G มีค่าที่ไม่สมมาตรกันเนื่องจากอุปกรณ์ภายใน เช่น ตัวเหนี่ยวนำที่ทำการออกแบบและสร้างเองทั้งทางด้าน L – G และ N – G มีค่าไม่เหมือนกัน จึงมีองค์ประกอบแฝงที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจแปรเปลี่ยนไปตามระยะเวลาการใช้งานได้ ส่วนตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุก็ยังมีค่าความผิดพลาดที่ความถี่สูงเพราะมีค่า Self resonance frequency ที่มีค่าต่ำ ทำให้เกิดค่าองค์ประกอบแฝงได้มากเป็นผลให้การวัดมีความไม่แน่นอนได้เช่นกัน

3. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM}) ระหว่าง Noise separator และ RF current probe



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง ระหว่าง Noise separator และ RF current probe

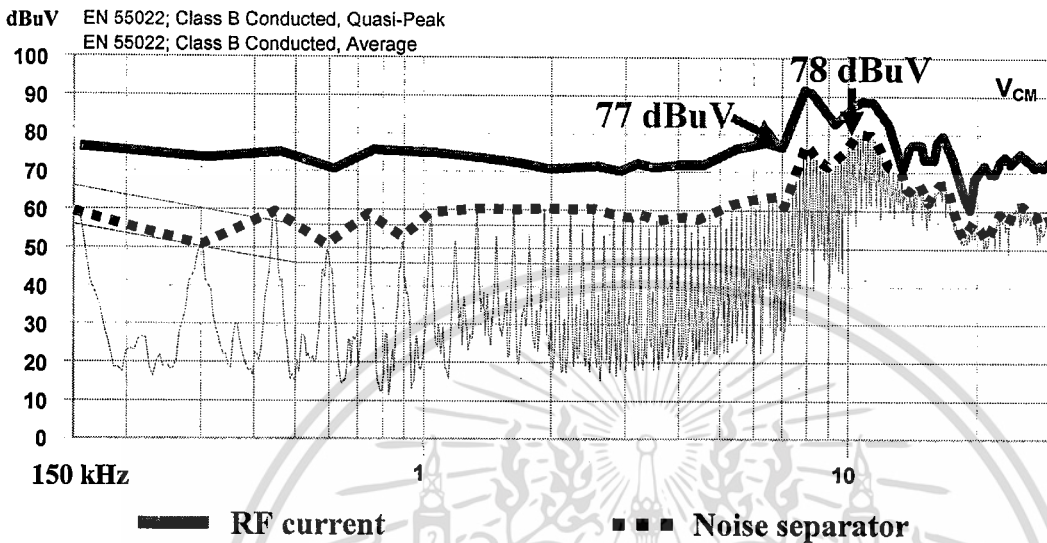
ผลการวิเคราะห์

ค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่าง Noise separator และ Current Probe จะเห็นได้ว่ามีลักษณะที่คล้ายกัน ในช่วงความถี่ 1 MHz – 4 MHz โดยจะมีค่าแตกต่างกันเพียง 10 dBuV เท่านั้น ส่วนในช่วงความถี่อื่นๆ จะมีค่าของสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าประมาณ 20 dBuV ที่เป็นแบบนี้เพราะตัวของ Noise separator ได้นำสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของทางด้าน L – G และ N – G ที่ไม่สมมาตรมารวมกันทางขนาดและมุมเฟส โดยแสดงสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในรูปของสัญญาณ รบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง (V_{DM}) ที่มีการลดทอนสัญญาณรบกวนลงไปเนื่องจากผลของอุปกรณ์ที่นำมาสร้างดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งถ้าเราทราบถึงค่าความแตกต่างของสัญญาณในแต่ละช่วงความถี่ก็จะทำให้เราทราบถึงค่าที่ควรชดเชยเมื่อได้ทำการต่อ Noise separator เข้าไปในวงจร

สัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างในช่วงประมาณ 700 kHz – 6 MHz จะเห็นได้ว่ามีค่าที่สูงกว่าสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมอย่างเห็นได้ชัด และมีค่าที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลรวม จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงนี้เป็นผลมาจากสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม (V_{CM}) ระหว่าง Noise separator และ RF current probe



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ระหว่าง Noise separator และ RF current probe

ผลการวิเคราะห์

ค่าสัญญาณรบกวนรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจากการวัดระหว่าง Noise separator และ RF current probe นี้จะมีลักษณะรูปร่างที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าสัญญาณรบกวนจะอยู่ในช่วง 10 dBuV – 22 dBuV ตลอดช่วงความถี่ที่ทำการวิเคราะห์ แต่ที่ความถี่ประมาณ 14 MHz จะมีค่าที่เกือบจะเท่ากันอาจเป็นผลมาจากช่วงเวลาทำการวัดมีค่าต่างกัน เมื่อไม่ได้ทำการวัดที่เวลาเดียวกันค่าที่ได้จึงมีค่าที่แตกต่างกัน

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง ที่ได้จาก Noise separator นี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงผลขององค์ประกอบแฝงที่เกิดขึ้นและส่งผลมาจากกราวด์ โดยสังเกตได้จากช่วงความถี่ประมาณ 7 MHz – 15 MHz ค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างนี้จะมีค่าที่สูงกว่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม และมีค่าที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดในช่วงความถี่ 7 MHz – 15 MHz นี้เป็นผลมาจากสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมมากกว่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอนแนะ

6.1 บทวิจารณ์ชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise separator)

ในการออกแบบและสร้างชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติในการตอบสนองของความถี่ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย คือจะต้องรักษา Matching Impedance ที่ 50Ω ในทุกย่านความถี่ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยในโครงการนี้ทางผู้วิจัยได้ศึกษาชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะได้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้านออกออกมาเป็น 1 เท่า คือจะได้ V_{DM} และ V_{CM} ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นว่าอิมพีแดนซ์ภายในของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่ถือได้ว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในกรณีต่างๆ จะเห็นว่าผลที่ได้จากการทดสอบชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถที่จะแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2 บทสรุปชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise Separator)

จากการศึกษาและสร้างชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. สามารถวิเคราะห์การแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่างออกจากสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่นำมาพิจารณาได้
2. ในการทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองโหมดสามารถทำการทดสอบได้ง่าย โดยการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดวัดเท่านั้น
3. มีการรักษา Matching Impedance ที่ 50Ω เพื่อให้อุปกรณ์สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.3 บทวิจารณ์ RF Current probe

ในการแยกสัญญาณรบกวนไฟฟ้าโดยใช้ RF current probe ซึ่งมีคุณสมบัติในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวมออกจากกันได้ เช่นเดียวกับชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการการวัดสัญญาณในสายตัวนำที่นำมาทดสอบ โดยจะนำสายตัวนำคล้องผ่านอุปกรณ์เครื่องมือวัด เมื่อทำการป้อนกระแสเข้าไปยังตัวนำ ก็เกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆ ตัวนำ ซึ่งสัญญาณที่ออกจาก RF current probe จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกในมารูปแบบของแรงดันไฟฟ้า โดยสัญญาณที่ได้สามารถที่จะเชื่อมต่อกับเครื่องวัดสัญญาณตามสายตัวนำ (Spectrum analyzer) ได้โดยตรง

6.4 บทสรุป RF Current probe

จากการศึกษาการแยกสัญญาณรบกวนไฟฟ้าโดยใช้ RF current probe ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของ RF current probe ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. สามารถวิเคราะห์การแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลรวม และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง ออกจากสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมที่นำมาพิจารณาได้ เพียงแค่ นำสายตัวนำมาคล้องผ่าน RF current probe เท่านั้น

2. การทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทดสอบที่พิกัดกระแสทดสอบสูงได้ แต่มีค่าการสูญเสียที่ต้องชดเชยสูงที่ความถี่ต่ำ

3. RF current probe มีประสิทธิภาพในการทดสอบที่ดี เนื่องจากมีมาตรฐานทางด้านการทดสอบ และมีวิธีการทดสอบที่แน่นอน

4. ในการทดสอบการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้ RF current probe สามารถนำมาใช้งานได้ง่าย และสะดวกต่อการทดสอบ

6.5 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าควรทำการทดสอบในเวลาเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน เพราะผลของสัญญาณรบกวนที่มาจากแหล่งอื่นภายนอก อาจมีผลกระทบต่อการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

2. การทดสอบและการวิเคราะห์ควรมีห้องทดสอบที่ได้มาตรฐาน ควรมีการป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาทางอากาศด้วย เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้ออกมานั้นเป็นผลของสัญญาณรบกวนที่ได้จริง

6.6 สิ่งที่ต้องดำเนินการต่อ

1. สามารถที่จะทดสอบประสิทธิภาพทางด้านกำลังไฟฟ้า และทดสอบที่พิกัดของโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ได้

2. สามารถที่จะทำการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเพิ่มเงื่อนไขในการทดลองกรณีต่างๆ เพิ่มขึ้น

3. ในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าออกจากกัน ของชุดแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าได้นั้น จะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ และการออกแบบวงจรของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าให้เหมาะสมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระเชษฐ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics)**, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง. 2548.
- [2] ชัชชชาย นวมโคกสูง และคณะ, "ชุดศึกษาสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาตามสายตัวนำ," **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [3] สรไกร เปี้ยเปี่ยมลภ และคณะ. "การศึกษาสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ," **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [4] นายธีรศักดิ์ แก้วพะวงค์ และ นายอุเทน ขวัญวงษ์, "การออกแบบวงจรโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์," **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [5] David Morgan, **A handbook for EMC testing and measurement**. Wiley-Interscience, Short Run Press Ltd, Exeter, 1994.
- [6] See Kye Yak, "Network for EMI," *Electronic Letter*, Vol. 35 No. 17, pp. 1446 - 1447, 19th Aug 1999.
- [7] Clayton R. Paul and Keith B. Hardin, "Diagnosis and Reduction of Conducted Noise Emissions," *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 30 No. 4, pp. 553-560, Nov 1988.
- [8] Shou Wang, Fred. C Lee and Willem Gerhardus Odendaal "Characterization Evaluation, and Design of Noise Separator for Conducted EMI Noise Diagnosis", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 20, no. 4, pp. 974-982, July 2005.
- [9] C.R. PAUL and K.B. HARDIN, "Diagnosis and Reduction of Conducted Noise Emissions," *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, Vol.30 No.4, pp. 553 - 560, 1988.
- [10] Operational Manual (LISN) Model 3810/2, **EMC TEST SYSTEMS**, LP-A ESCO COMPANY, 1999.
- [11] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้ร้อยสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์" มอก. 216 - 2524", 2532.



ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายชื่อสิ่งพิมพ์ที่ได้จากผลงานวิจัยโครงการนี้

1. D. Sakulhirirak, V. Tarateeraseth, W. Khan-ngern, and N. Yoothanom, Trade-off between EMI Separator and RF Current Probe for Conducted EMI Testing, ECTI-CON 2007, pp. 101-104, May 2007.
2. คทาฐ เกียรติกำจร, ปฏิวัติ บุญมา, และ วีระเชษฐ ชันเงิน, The Analysis of Integrated Inductor Technique for Common Mode and Differential Mode of EMI Filter Design, EECON-30, pp. 277-280, October 2007.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Trade-off between EMI Separator and RF Current Probe for Conducted EMI Testing

D. Sakulhirirak¹, V. Tarateeraseth², W. Khan-ngern¹, and N. Yoothanom³

¹Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT), Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand.

²Srinakharinwirot University, Faculty of Engineering, Ongkharak, Thailand.

³Sripatum University, Faculty of Engineering, Bangkok, Thailand.

E-mail: s8060210@kmitl.ac.th¹, vuttipon@swu.ac.th², kkveerac@kmitl.ac.th¹, nyt@spu.ac.th³

Abstract-This paper presents the trade-off between EMI separator and the RF current probe for conducted EMI measurement. EMI toolkit is used as a noise source for investigating effects from differential-mode (DM) and common-mode (CM). Paul-Hardin noise separation network or EMI separator is used as a benchmark to compare with the RF current probe. The conducted electromagnetic interference between RF current probe and EMI separator is compared by the experiment. Finally, the trade-off between two measurement methods is verified by both theoretical and experimental results.

I. INTRODUCTION

Electromagnetic Compatibility (EMC) is an electronic system which is able to function compatibly with other electronic systems and not produce or be susceptible to interference with its environment [1]. The interference can be divided widely into two groups: conducted and radiated interferences. In this paper, the conducted emission is emphasized and mentioned to separate noise components (Differential-Mode: DM and Common-Mode: CM) for electromagnetic environment. It is very useful to know noise components in every interested circuit [2]. Generally, there are two methods, often used for separating noise components. The first method is a classical measurement using radio frequency current probe (RF current probe). The second method is measurement CM and DM by using separating devices such as CM/DM discrimination network [3], Paul-Hardin noise separation network [4] and noise separator [5] etc. However, all separation networks in this paper are called as the EMI separator.

The Equipment Under Test (EUT) in this paper is EMI toolkit, used for conducted EMI studying in terms of theory and practice. Fig. 1 shows outside of EMI toolkit. Boost converter is a main part which generates EMI. In addition, a lot of study functions are combined in the toolkit and it can be selected functional operation such as self-resonant frequency (SRF) of the passive components, reverse recovery time of diodes, switching frequencies, and gate drive control [6].

To understand noise behaviors in a boost converter, Fig. 1 can be rewritten to Fig. 2 which includes Line Impedance Stabilization Network (LISN) schematic and two 50 Ω terminators. These terminators are connected to the RF output

ports of LISN when measuring by RF current probe but when using Paul-Hardin network these terminators are input impedance of the network. V_p and V_n stand for phase and neutral voltage signal, respectively. C_s is a parasitic capacitance caused by MOSFET (Q) between drain and frame ground via its heat-sink.

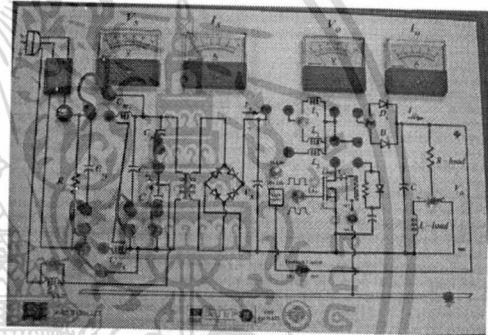


Figure 1. Top view of EMI toolkit configuration.

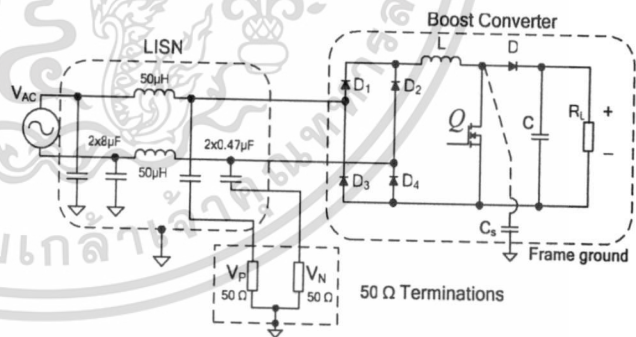


Figure 2. Schematic of LISN and boost converter under consideration.

II. CONDUCTED EMI MEASUREMENTS: RF CURRENT PROBE AND EMI SEPARATOR CONCEPTS

Conducted EMI emission is measured using a LISN as a 50 Ω impedance. The DM noise current (I_{DM}) flows out from line and returns via neutral while the CM noise current (I_{CM}) flows out from line and neutral and returns via ground wire as shown in Fig. 3 Eqns. (1)-(3) are line, neutral and ground current and Eqns. (4)-(5) are line and neutral voltages, respectively [7].

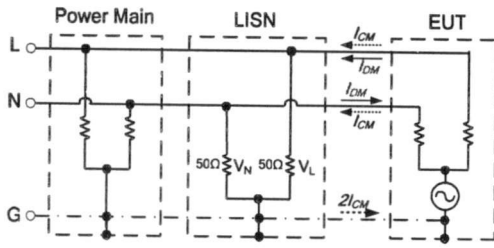


Figure 3. DM and CM currents from LISN.

$$I_{Line} = I_{CM} + I_{DM} \quad (1)$$

$$I_{Neutral} = I_{CM} - I_{DM} \quad (2)$$

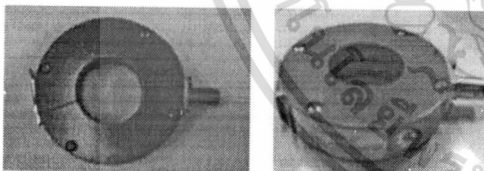
$$I_{Ground} = 2 \cdot I_{CM} \quad (3)$$

$$V_{Line} = 50 \cdot (I_{CM} + I_{DM}) \quad (4)$$

$$V_{Neutral} = 50 \cdot (I_{CM} - I_{DM}) \quad (5)$$

A. RF Current Probe

RF current probe is a clamp-on RF current transformer designed for use with EMI Test Receivers/Spectrum Analyzers, or with any similar instrument having a 50 Ω input impedance, to determine the intensity of RF current present in an electrical conductor or group of conductors [7]. Fig. 4 shows the RF current probe within bandwidth 10 kHz - 250 MHz. The maximum primary current from DC - 400 Hz is up to 100 A and the transfer impedance (Z_T) is 5 Ω [8]. The performance of the RF current probe may be expressed in terms of sensor transfer impedance: Eqn. (6). Where V_{out} is the voltage developed across a 50 Ω termination on the output and I_{cond} is the current flowing through the conductor being measured. The probe transfer impedance is often expressed in terms of dB which can be calculated the measured current from Eqn. (7) [9].



(a) Top view (b) Side view

Figure 4. Toroidal RF current probe.

$$Z_T = \frac{V_{out}}{I_{cond}} \quad (6)$$

$$I_{cond} (dB\mu A) = V_{out} (dB\mu V) - Z (dB) \quad (7)$$

B. EMI separator

Many papers have been discussed and proposed EMI separators [3-5], [10-11]. They can be separated roughly in two groups based on magnitude of output signal, single and double output noise. Moreover, in group of double output [4] has no guarantee that it can be used representative of RF current probe.

Fig. 5 shows the Paul-Hardin noise separation network schematic. There are two important elements; two wideband

transformers (1:1 ratio) and single-pole-double-throw (SPDT) switch, which operate simultaneously [7].

The line-ground voltage (V_{LG}) and neutral-ground voltage (V_{NG}) are connected to EMI separator, using Eqns. (8) and (9) for voltage across switch at A and B position respectively.

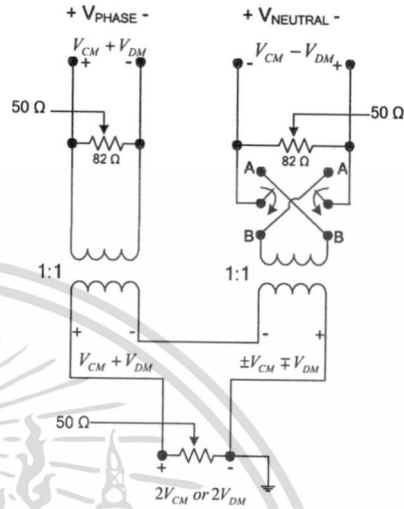


Figure 5. Paul-Hardin noise separation network schematic.

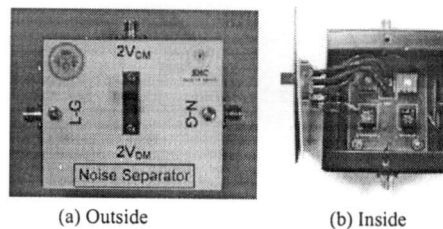
$$|V_{LG} - V_{NG}| = |V_{CM} + V_{DM}| - |V_{CM} - V_{DM}| = |2V_{DM}| \quad (8)$$

$$|V_{LG} + V_{NG}| = |V_{CM} + V_{DM}| + |V_{CM} - V_{DM}| = |2V_{CM}| \quad (9)$$

$$\text{or } |2V_{DM}| = |V_{LG} - V_{NG}| = 50 \cdot |2I_{DM}| \quad (10)$$

$$|2V_{CM}| = |V_{LG} + V_{NG}| = 50 \cdot |2I_{CM}| \quad (11)$$

The output is $|V_{LG} - V_{NG}|$ for $2V_{DM}$ defined by Eqn. (8) and $|V_{LG} + V_{NG}|$ for $2V_{CM}$ defined by Eqn. (9) and lastly, leakage between the DM and CM at the output should be small because noise measurement between the DM and CM must be guaranteed small interference [5]. The impedance of two inputs are 50 Ω within 20 percent tolerance according to CISPR 16-1 standard because both of them have to be connected with LISNs. The CM output impedance of network is very close to 50 Ω (in range 45 Ω - 50 Ω at 150 kHz - 30MHz) but for DM output impedance is nearly 20% tolerance from 50 Ω (35 Ω - 50 Ω) as shown in Fig. 7. The performance of EMI separator can be described in terms of rejection attenuation value of both modes; some papers call "CM/DM rejection ratio" [2], [10] as shown in Fig. 8.



(a) Outside (b) Inside

Figure 6. Paul-Hardin noise separation network.

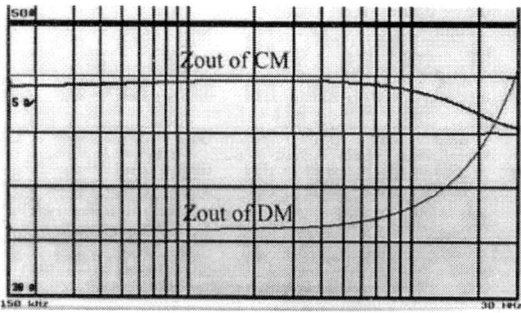


Figure 7. CM and DM output impedance of EMI separator.

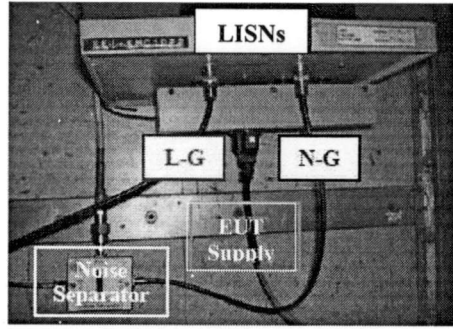


Figure 10. EMI separator measurement method.

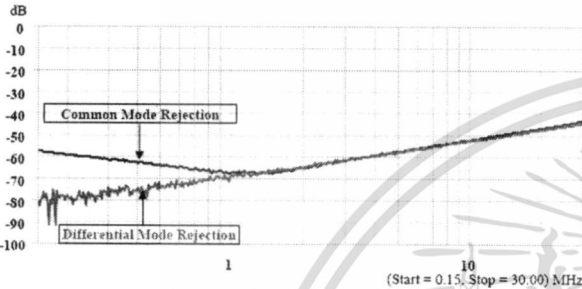
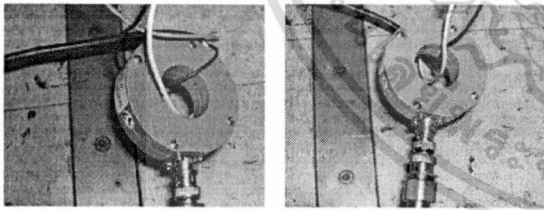


Figure 8. CM and DM rejection.

III. MEASUREMENT METHODS

A. RF Current Probe Measurement

Figs. 9 (a)-(b) show basically method to measure DM and CM noise, respectively. However, the measured results of DM and CM are double ($2I_{DM}$ and $2I_{CM}$) caused by sum of current vectors in same direction. The current probe is usually clamped between the EUT and the LISN as near as possible. In some EMC standard current probes, such as the DEF STAN 59-41 OCE01, have to away 5 cm from the LISN connection on the lower lead [7].



(a) Measured 2DM noise (b) Measured 2CM noise

Figure 9. RF Current probe measurement method.

B. EMI separator Measurement

The second method to measure DM and CM noise components are displayed in Fig. 10. LISN-1 couples voltage from line-ground while LISN-2 couples voltage from neutral-ground. Output of separator is connected with 50 Ω terminal of spectrum analyzer. In addition, coaxial cables (50 Ω) with BNC connector are connected with two RF output terminals of LISNs for coupling line-ground and neutral-ground signal simultaneously.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

In this section, noise floor between the RF current probe and EMI separator are measured first for using as reference levels. There are three noise floors: RF current probe, CM EMI separation and DM EMI separation which are the same level of noise floors about 25 dB.

Measured results of $2V_{CM}$ and $2V_{DM}$ are divided into three sections by comparison results between RF current probe and EMI separator. Firstly, noise source is measured without filter components this is a full noise condition as shown in Figs. 11-12. Secondly, adding two X-capacitors between line and neutral, 0.47 μF , as shown in Figs. 13-14, which show DM and CM comparing between RF current probe and EMI separator with and without filter components. A dash line prefers to EMI measured result when filter components are added in the circuit. Finally, two Y-capacitors are added across line-ground and neutral-ground, 0.2 μF , as shown in Figs. 15-16.

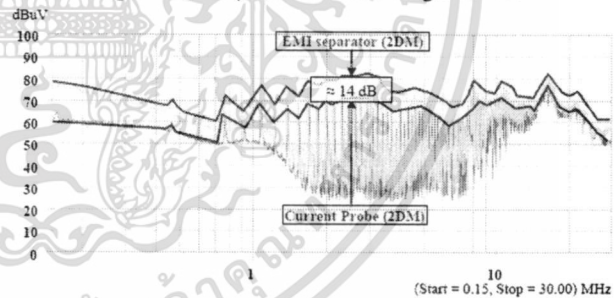


Figure 11. The comparison of $2V_{DM}$ between RF current probe and EMI separator.

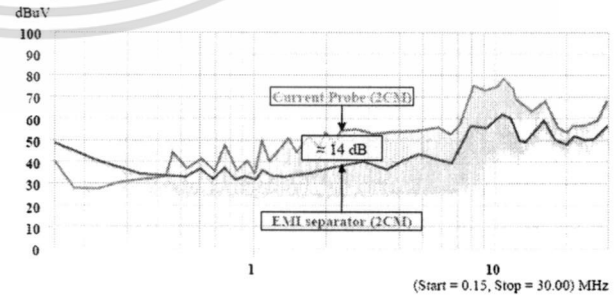


Figure 12. The comparison of $2V_{CM}$ between RF current probe and EMI separator.

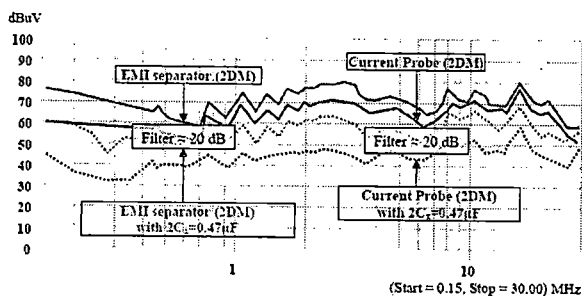


Figure 13. The comparison of $2V_{DM}$ when adding C_x filter between RF current probe and EMI separator.

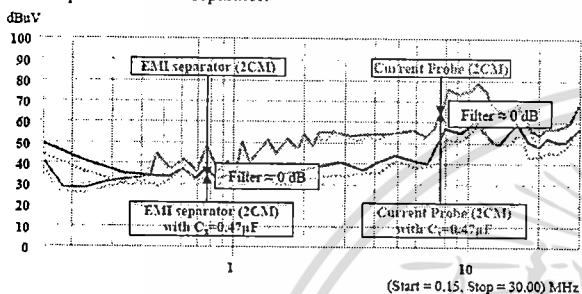


Figure 14. The comparison of $2V_{CM}$ when adding C_x filter between RF current probe and EMI separator.

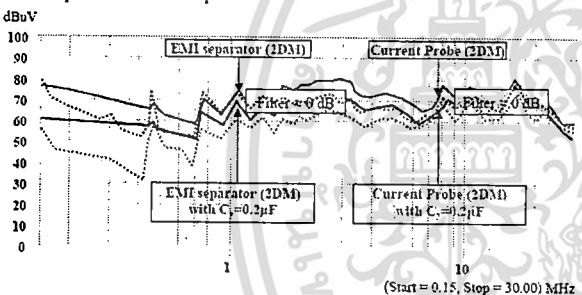


Figure 15 The comparison of $2V_{DM}$ when adding C_y filter results between RF current probe and EMI separator.

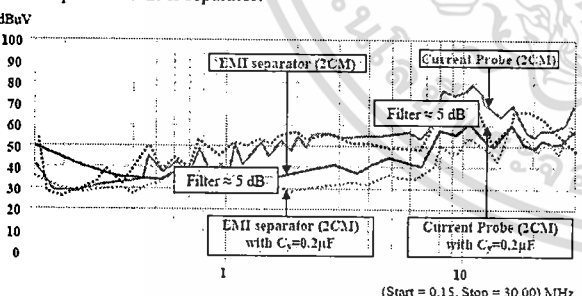


Figure 16 The comparison of $2V_{CM}$ when adding C_y filter results between RF current probe and EMI separator.

V. ANALYSIS

From Eqn. (6), the transfer impedance of the current probe (Z_T) is 5Ω and the measured current I_{cond} is represented by $2I_{DM}$ or $2I_{CM}$ as follows;

$$V_{out(CM)} = (5) \cdot (2I_{CM}) \text{ and } V_{out(DM)} = (5) \cdot (2I_{DM}) \quad (12)$$

Where $V_{out(CM)}$ and $V_{out(DM)}$ are common mode and differential mode output voltage measured by RF current probe respectively.

Then, multiplication Eqn. (12) by two to compare with Eqns. (10)-(11) and inverting them to dB values using logarithm function.

The compared results show the different value between using RF current probe and EMI separator about 13.98 dB.

The experimental results as shown in Figs. 11-12, can be realized by the theoretical expression as mention. Fig. 13 shows the performance of X capacitor filters. The DM EMI is decreased about 20 dB while the CM EMI has a little changed as shown in Fig. 14 and the difference between RF current probe and EMI separator still about 14 dB. Figs. 15-16 show EMI results which are mitigated by Y capacitors. The performance of C_y can suppress noise about 5 dB for common mode and nearly 0 dB for differential mode

VI. CONCLUSIONS

The separation of conducted EMI measurement, measured by RF current probe and EMI separator, is compared. The attenuation value between RF current probe and EMI separator is about 14 dB, realized by the theoretical and experimental results. The performance of EMI separator has been realized using the convenient EUT as EMI toolkit. However, it should be noted that the EMI separator, which is low cost, can be used at low-medium power level because the saturation of wideband transformer while the RF current probe can be covered the high level.

REFERENCES

- [1] Clayton R. Paul, Introduction to Electromagnetic Compatibility. Wiley-Interscience, A John Wiley & Sons, Inc., publication, 1992.
- [2] Ting Guo, Dan Y. Chen and Fred C. Lee "Separation of the Common-Mode and Differential-Mode-Conducted EMI Noise", IEEE Trans. Power Electron, vol. 11, no. 3, pp. 480-488, 1996.
- [3] See Kye Yak "Network for EMI", Electronic Letter, vol. 35, no. 17, pp. 1446-1447, 19th Aug 1999.
- [4] Clayton R. Paul and Keith B. Hardin "Diagnosis and Reduction of Conducted Noise Emissions", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, vol. 30, no. 4, pp. 553-560, Nov 1988.
- [5] Shou Wang, Fred. C Lee and Willem Gerhardus Odendaal. "Characterization Evaluation, and Design of Noise Separator for Conducted EMI Noise Diagnosis", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 20, no. 4, pp. 974-982, July 2005.
- [6] Werachet Khan-ngern, Vuttipon Tarateeraseth. "Self-learning EMC Toolkit for Electronic and Electrical Engineers", ICEMC Conf. on EMC on Education, July 2005, session 3C-1.
- [7] V. Prasad Kodali, Engineering Electromagnetic Compatibility. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2001.
- [8] Fischer Custom Communications, Inc. (2004). Instrumentation: Available: <http://www.fischercc.com/instframe.html> [Online].
- [9] David Morgan, A handbook for EMC testing and measurement. Wiley-Interscience, Short Run Press Ltd., Exeter, 1994.
- [10] Marco Chiadó Caponet and Francesco Profumo "Devices for the Separation of the Common and Differential Mode Noise: Design and Realization", Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC) Seventeenth Annual IEEE, vol. 1, pp. 100-105, March 2002.
- [11] Mark J. Nave "A Novel Differential Mode Rejection Network for Conducted Emissions Diagnostics", IEEE National Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 223-227, May 1989.

การวิเคราะห์เทคนิคการออกแบบสำหรับวงจรกรองความถี่ในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง

The Analysis of Integrated Inductor Technique for Common Mode and Differential Mode of EMI Filter Design

ศทวทช เกียรติกำจร, ปฏิวัติ บุญมา, และ วีระเชษฐ์ ชันเงิน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 หมู่ 2 ถนนจลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทร 02-7373000 ต่อ 3322 E-mail: s8060209@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับ การวิเคราะห์เทคนิคการรวมตัว เหนี่ยวนำไฟฟ้าโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างเข้าด้วยกัน เพื่อใช้ในการ ออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ปริมาตรเท่ากับ ขนาดของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมเพียงตัวเดียวเท่านั้น สำหรับวงจร กรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า โหมดผลร่วม และโหมดผลต่างมี 3 รูปแบบ ได้แก่ การพันตัวเหนี่ยวนำ ไฟฟ้าโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบทั่วไป ในที่นี้เรียกว่าการพัน แบบ CM แบบที่สอง คือ การพันตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าโหมดผลร่วมและ โหมดผลต่างแบบ integrated common mode choke: ICM ในที่นี้เรียกว่า การพันแบบ ICM และแบบที่สาม คือ การพันตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าโหมด ผลร่วมและโหมดผลต่างแบบ proposed integrated common mode choke :PICM ในที่นี้เรียกว่าการพันแบบ PICM โดยจะทำการวิเคราะห์ตัว เหนี่ยวนำไฟฟ้าโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง และนำมาประยุกต์ใช้กับ วงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งอธิบายการเกิดและวิเคราะห์ สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยแยกเป็นโหมดผลร่วม และโหมดผลต่าง และตัวเหนี่ยวนำแบบใหม่ที่เสนอสามารถนำไปใช้ใน วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีผลการจำลองและผลการ ทดลองยืนยันความสอดคล้องกัน

คำสำคัญ: วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

Abstract

This paper presents the analysis technique to integrate the common-mode inductor with the differential-mode inductor. The volume of proposed integrated inductor is designed to achieve the equal volume of that common mode inductor. There are three types of EMI filter based on winding patterns. Winding technique are the conventional common-mode choke (CM), integrated common-mode choke (ICM) and proposed integrated common-mode choke (PICM).

The electromagnetic interference of those differential-mode inductor and common-mode inductor are analyzed. The proposed integrated inductor can be applied to the new EMI filter. The result can be proved by simulation and experiment.

Keywords: EMI filter, CM, ICM, PICM

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ภาระหน้าที่ในการลดทอนสัญญาณรบกวน หรือสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ต่างๆจะเป็นหน้าที่ของวงจรกรอง สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic interference filter) ดังนั้นในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจึงมีความสำคัญมาก เพราะในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวน แม่เหล็กไฟฟ้า ให้มีสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวน ได้จริง นั้น จะมีความความยุ่งยากในขั้นตอนการออกแบบ เพราะสัญญาณ รบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำที่เกิดขึ้นจากแหล่งจ่ายไฟสวิตซ์ (switching mode power supply) หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ นั้นจะมีรูปแบบสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยอุปกรณ์ แบบพาสซีฟ คือ ตัวเก็บประจุ C_x และ C_y ตัวเหนี่ยวนำโหมดผล ร่วม (common mode choke: L_{CM}) และตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง (differential mode choke: L_{DM}) [1] และโครงสร้างของตัว เหนี่ยวนำโหมดผลร่วม L_{CM} และตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง L_{DM} ที่ใช้จะเป็นแบบแกนเหล็ก โดยที่ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมเป็น แกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ (ferrite core) และตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง จะเป็นแกนเหล็กชนิดผงโลหะ (powder core) จึงเป็นผลทำให้ขนาด ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ และจาก ปัญหาของพื้นที่ที่มีจำกัดของผลิตภัณฑ์ ที่ต้องทำให้วงจรกรอง สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้ามีขนาดเล็ก จึงมีความคิดที่ใช้พื้นที่

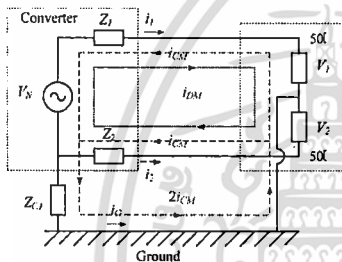
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30 (EECON-30) 25-26 ตุลาคม 2550 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนให้มีพื้นที่น้อยที่สุด และไม่มีผลต่อการทำงานของความร้อน และที่สำคัญสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ แต่ถ้าวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้ามีขนาดใหญ่อาจทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น

1.1 รูปแบบการรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

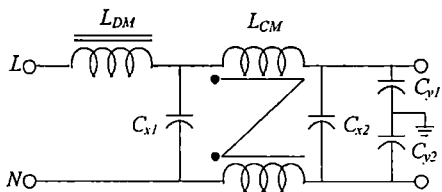
การเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในสายตัวนำ ที่เกิดจากการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังหรือแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซ์ ซึ่งของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีการสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่สูง ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อเวลา (dv/dt) ซึ่งเกิดในช่วงเริ่มหยุดนำกระแส และผลของการเปลี่ยนแปลงกระแสต่อเวลา (di/dt) ซึ่งเกิดในช่วงเริ่มนำกระแส จะส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในสายตัวนำ โดยการเกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ การเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลรวม (common mode: CM) และการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลต่าง (differential mode: DM) [2-3]



รูปที่ 1 เส้นทางของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

2. วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter) คือวงจรกรองที่ใช้สำหรับลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ที่เกิดจากการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆหรืออุปกรณ์กำลังไฟฟ้า ในย่านความถี่ตั้งแต่ 150 kHz ถึง 30 MHz และวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีลักษณะการทำงานดังในรูปที่ 2 สำหรับโครงสร้างของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างคือวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low-pass filter) ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ (passive components) ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเห็นได้ว่า วงจรสมมูลของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับโหมดผลรวมและโหมดผลต่างจะไม่เหมือนกัน ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะทิศทางการไหลของกระแสสัญญาณรบกวนของทั้งสองโหมดไม่เหมือนกัน [4-5]



รูปที่ 2 วงจรสมมูลของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30 (BECON-30) 25-26 ตุลาคม 2550 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

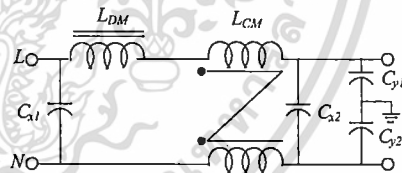
2.1 การลดทอนสัญญาณรบกวน

การลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า จะหาได้จากสัญญาณของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ลดลง ขณะเมื่อใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนเปรียบเทียบกับขณะที่ไม่ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และในการหาค่าอัตราการกรองสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (insertion loss: IL_{dB}) [6]

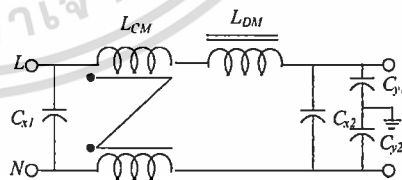
$$IL_{(dB)} = 20 \log \left(\frac{V_{LISN} \text{ without filter}}{V_{LISN} \text{ with filter}} \right) \quad (1)$$

2.2 การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

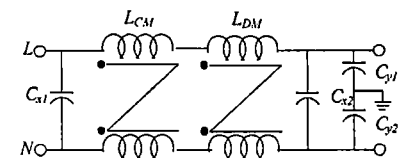
วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนมากใช้สำหรับขจัดสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา และสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่ไม่ต้องการ และลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในทางสายตัวนำที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซ์ ซึ่งโดยทั่วไปวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้ามีโครงสร้างคือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low-pass filter) ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์พาสซีฟ (passive components) บทความฉบับนี้จะเป็นการนำเสนอรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างทั้งหมด 3 แบบการพัน ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในรูปที่ 3 แสดงการพันแบบ CM และการพันแบบ ICM ดังในรูปที่ 4 และในรูปที่ 5 แสดงการพันแบบ PICM ในส่วนแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน คือ วงจรชุดคอนเวอร์เตอร์ (Cuk converter) มีที่พิกัดกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ แรงดันด้านอินพุต 24 โวลต์ ความถี่สวิตซ์ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ และแรงดันด้านออก 48 โวลต์



รูปที่ 3 การพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างแบบทั่วไป



รูปที่ 4 การพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างแบบ ICM

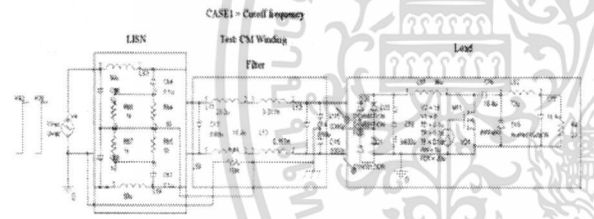


รูปที่ 5 การพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างแบบ PICM

3. ผลการจำลองและทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

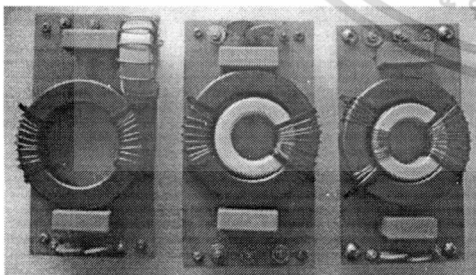
ในการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอรูปแบบการพันทั้ง 3 แบบ และในการทดสอบ จะทำการวัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ โดยวัดผลสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม โหมดผลต่าง และโหมดผลรวม ในรูปแบบของสัญญาณรบกวนเพื่อนำไปหาค่าอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวน และในการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะเป็นการจำลองการทำงานวงจรกรองเพื่อหาค่าอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริง โดยทดสอบเงื่อนไขที่ว่า การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่จุดเปลี่ยนความถี่เดียวกัน จะแสดงผลการทดสอบสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวของวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และในหัวข้อนี้แสดงผลการจำลองและทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนขณะที่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน โดยมีเงื่อนไข คือ วงจรกรองสัญญาณรบกวนของการพันทั้ง 3 แบบจะออกแบบที่จุดเปลี่ยนความถี่เดียวกันทั้งโหมดผลรวมและโหมดผลต่าง

รูปที่ 6 แสดงวิธีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันขดลวดทั้ง 3 แบบ โดยการจำลองนั้นประกอบด้วยวงจรรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN) และวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการพันขดลวดทั้ง 3 แบบ



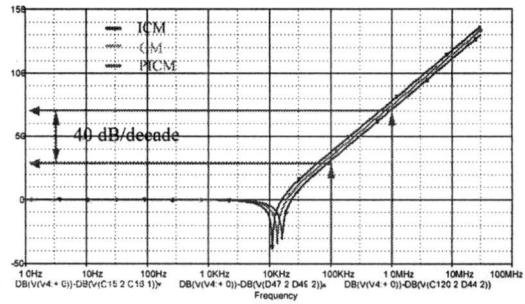
รูปที่ 6 จำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดทั้ง 3 โหมด

วงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ทดลองจริง ประกอบด้วยวงจรกรองแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ CM, ICM และ PICM แสดงในรูปที่ 7 เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา

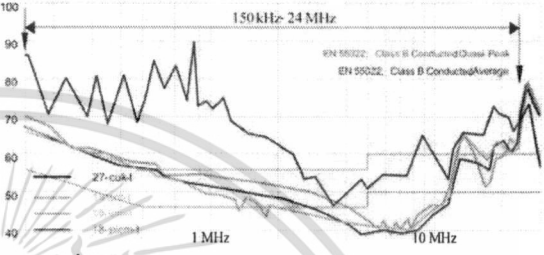


รูปที่ 7 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของการพันทั้ง สาม แบบ

รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบการจำลอง และจากรูปมีค่าความชันเท่ากับ ทั้ง 3 แบบ การจำลองที่มีการพันแบบ CM, ICM และ PICM

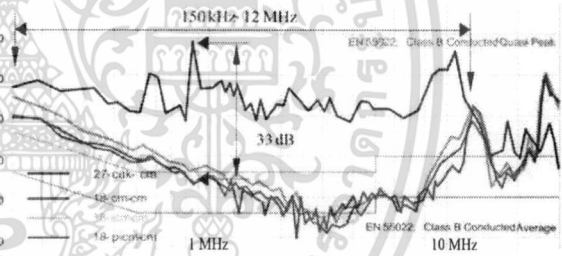


รูปที่ 8 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบการจำลอง และในรูปที่ 9 แสดงเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนใส่และหลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

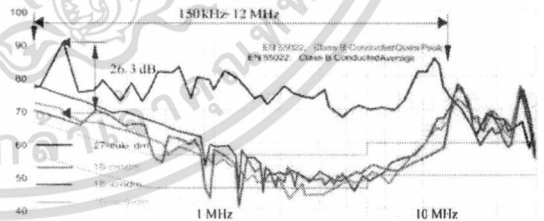


รูปที่ 9 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม (Total)

และในรูปที่ 10 - 11 แสดงเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม (CM) และโหมดผลต่าง (DM) โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนใส่และหลังใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 10 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวน โหมดผลรวม (CM)

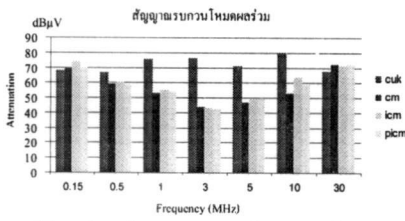


รูปที่ 11 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวน โหมดผลต่าง (DM)

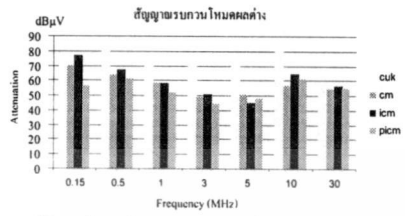
ผลการทดสอบวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ขณะที่มีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน แสดงผลของสัญญาณรบกวนทั้ง 3 โหมด คือ โหมดผลรวม โหมดผลต่าง และโหมดผลรวม และจากตารางจะแสดงค่าสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่างๆ และสามารถพล็อตกราฟได้ดังในรูปที่ 12 - 14 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโหมดการทำงานต่างๆ ขณะที่ไม่มีวงจรกรองกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

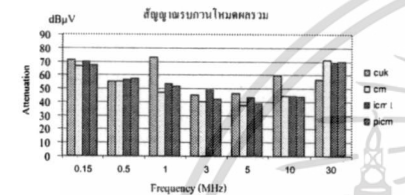
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30 (ECON-30) 25-26 ตุลาคม 2550 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



รูปที่ 12 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโทมอดผลรวม (CM) ขณะมี วงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง



รูปที่ 13 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโทมอดผลต่าง (DM) ขณะมี วงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง



รูปที่ 14 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโทมอดผลรวม (Total) ขณะมี วงจรกรองกับไม่มีวงจรกรอง

จากรูปที่ 11 เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโทมอดผลรวมขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และจากการทดสอบพบว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากในย่านความถี่ 1 MHz – 10 MHz ประมาณ 20 dB และจากรูปที่ 13 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโทมอดผลต่างขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และผลจากการทดสอบแล้วพบว่าที่ความถี่ 500 kHz – 10 MHz สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากถึง 31.7 dB สำหรับการพันแบบ PICM

จากรูปที่ 14 จะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนโทมอดผลรวมขณะมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนกับไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน และผลจากการทดสอบพบว่าที่ความถี่ 1 MHz จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากถึง 26 dB สำหรับการพันแบบ CM และน้อยที่สุด 19.6 dB สำหรับการพันแบบ ICM

4. สรุปผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบเงื่อนไขที่ว่าการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่จุดเปลี่ยนความถี่เดียวกัน สามารถสรุปได้ว่าเมื่อพิจารณาโทมอดผลรวม ที่จุดเปลี่ยนความถี่ที่ความถี่ 821 kHz การพันแบบ PICM สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากที่สุด ถึง 33 dB และเมื่อพิจารณาโทมอดผลต่าง ที่จุดเปลี่ยนความถี่ที่ความถี่ 224 kHz การพันแบบ CM สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากที่สุด ถึง 32.7 dB

จากการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโทมอดผลรวมและโทมอดผลต่างที่แตกต่างกัน มีความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนในโทมอดผลรวม โทมอดผลต่าง และ โทมอด

ผลรวม ได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนออกแบบที่จุดเปลี่ยนความถี่เดียวกัน

จากการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบ เห็นว่าที่ความถี่สูงตั้งแต่ 10 MHz - 30 MHz ยังมีผลของสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐานกำหนด เป็นผลมาจากค่าพารามิเตอร์แฝงของวงจรหรือ เป็นผลมาจากการวางตัวอุปกรณ์

จากการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าค่าความชันและอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโทมอดผลรวมจะมีค่าเท่ากัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองยังมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากจำลองการทำงานยังไม่ได้รวมผลของค่าพารามิเตอร์แฝงของวงจรกรองสัญญาณรบกวน และวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาทำการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Fu-Yuan shih, Dan Y. chan, Yan-pei wu and Yie -tone Chen, "A Procedure for Designing EMI Filter for AC Line Applications", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 11, No.1, January 1996.
- [2] Dongbin Zhang and Dan Y. Chen, "Non-intrinsic differential mode noise in switching power supplies" *IEEE Power Electronics Specialists Conf.*, 1998, pp. 1131-1133.
- [3] J. C. Fluke, Sr. Controlling Conducted Emissions by Design. New York : Van Nostrand Reinhold, c1991.
- [4] Ott, H.W., "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", John Wiley & Sons, 2nd edition, 1988.
- [5] S. Ye, W. Eberle and Y. F. Liu, "A Novel EMI Filter Design Method for Switching Power Supplies," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, No. 6, pp. 1668-1678, November 2004.
- [6] Clayton R. Paul " Introduction to Electromagnetic Compatibility". John Wiley & Sons, Inc 1992



กัญชา เกียรติกำจร สำเร็จการศึกษา ว.ศ.บ จาก มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ไฟฟ้า) ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า



คุณทหารลาดกระบัง ปรีชชาติ นุชума สำเร็จการศึกษา ว.ศ.บ จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร (ไฟฟ้า) และ ว.ศ.ม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า



คุณทหารลาดกระบัง (ไฟฟ้า) วีระเชษฐ ชันเงิน สำเร็จการศึกษา ว.ศ.บ. และ ว.ศ.ม. (ไฟฟ้า) จาก สจล., Ph. D. (Electrical Engineering) จาก Imperial College, University of London, UK. ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล.

ไม่วารณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30 (ECON-30) 25-26 ตุลาคม 2550 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี