

บทที่ 5

การทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งอธิบายเงื่อนไขในการทดลองของงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อหลัก คือ หัวข้อที่ 5.1 กล่าวถึงวัตถุประสงค์ที่ทำการทดลอง ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงเหตุผลที่ทำการทดลอง และการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนหัวข้อที่ 5.2 กล่าวถึงขอบเขตที่ทำการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้ และ หัวข้อที่ 5.3 จะกล่าวถึงโครงสร้างทั้งหมดของวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบการพัน และจะกล่าวถึงรูปแบบที่ทำการจำลองและทดลองการทำงาน วิธีการติดตั้งวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งเงื่อนไขการทดลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในเงื่อนไขต่างๆ

5.1 วัตถุประสงค์

การทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจริงว่า วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแตกต่างกันนั้น มีความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีหรือไม่ และเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีที่เป็นการวิเคราะห์วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ รวมทั้งจะทำการเปรียบเทียบความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ได้จากการทดลองวงจรกรอง กับการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

5.2 ขอบเขตของการทดลอง

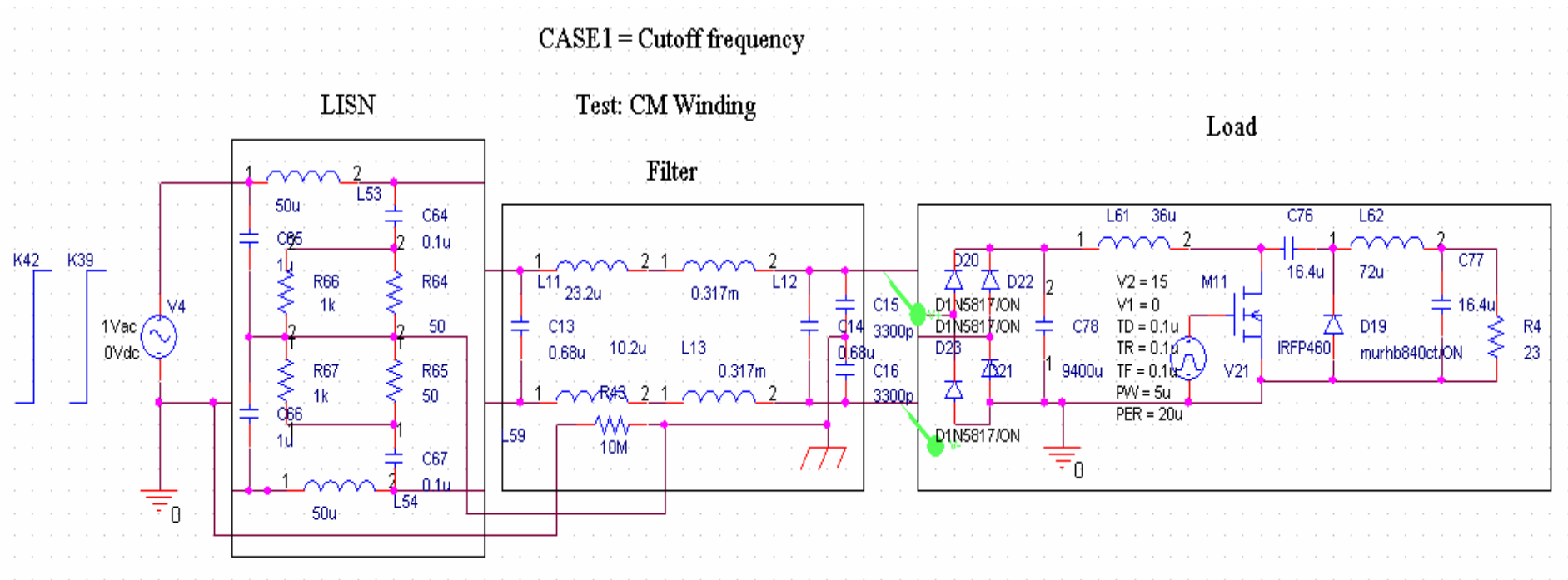
การทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ จะสอดคล้องกับขอบเขตของงานวิจัยในบทที่ 1 ดังนั้นในการทดลองจะใช้วงจรกรองสัญญาณรบกวนที่สร้างขึ้นจริง คือ วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่แตกต่างกัน และวงจรที่นำมาทำการทดสอบ คือ วงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ ที่พิกัด 100 วัตต์ และในการทดลองจะใช้พิกัดการทดลองดังในตารางที่ 1.1 รวมทั้งจะมีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณและทดลอง

5.3 รูปแบบที่ทำการจำลองและการทดลอง

รูปแบบการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งจะเป็นเงื่อนไขการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวน ส่วนที่สองจะแสดงรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมคผลรวมและโหมคผลต่างที่มีความแตกต่างกัน ส่วนที่สามจะเป็นการเปรียบเทียบโครงสร้างการพันตัวเหนี่ยวนำโหมคผลรวมและโหมคผลต่าง และส่วนที่สี่จะเป็นรูปแบบการทดสอบ โครงสร้างการพันตัวเหนี่ยวนำ รูปแบบการติดตั้งการทดสอบ และส่วนที่ห้าจะเป็นเงื่อนไขในการทดสอบ

5.3.1 การจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

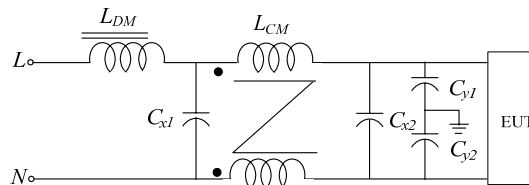
ในการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อหาว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า มีความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนได้เท่าไร ที่ความถี่ที่สนใจ เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณและทดลอง และในการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนในงานวิจัยนี้ จะสร้างพารามิเตอร์ใหม่ แทนคุณสมบัติของแกนเหล็กที่ใช้ในงานวิจัยทั้ง 2 แกนเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 5.1 สำหรับพารามิเตอร์ที่สร้างใหม่ คือ พารามิเตอร์ K42 และ K39 และวิธีการที่จะจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนนั้น ทางด้านเข้าของวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะมีวงจร LISN และทางด้านออกจะจำลองวงจรหูกคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้มีความเหมือนจริงกับการทดสอบ และค่าที่ใช้ในการจำลองจะมีค่าเท่ากับการทดสอบในทุกเงื่อนไข



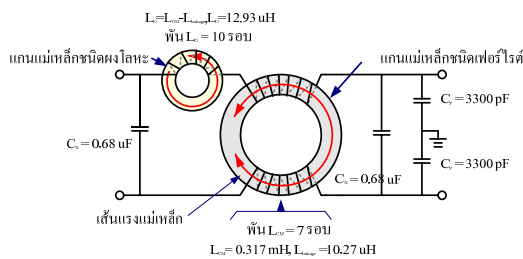
รูปที่ 5.1 วิธีการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบเหล็กไฟฟ้า

5.3.2 รูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง

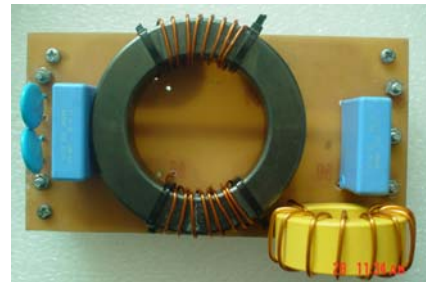
รูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมด 3 แบบการพัน ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ถึง 5.4 จะแสดงลักษณะการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างพร้อมกับแสดงการพันจริงที่ใช้ในการทดสอบ ทั้ง 3 แบบการพัน ดังรูป



(ก) วงจรสมมูลของวงจรกรองสัญญาณรบกวน

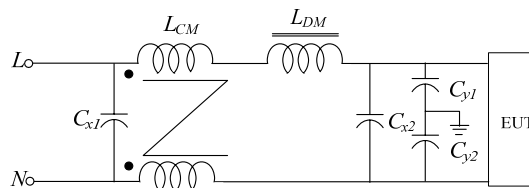


(ข) ลักษณะการพันแบบ CM

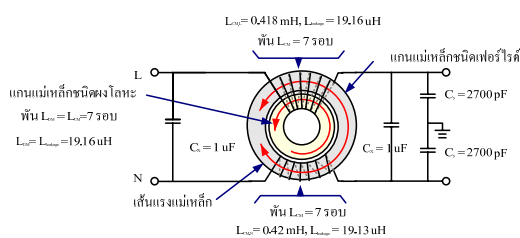


(ค) การพันจริง

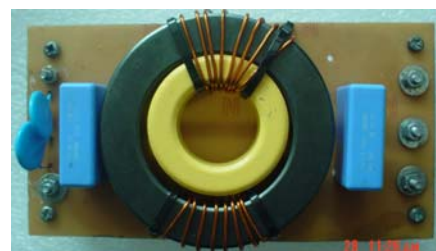
รูปที่ 5.2 รูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบ CM



(ก) วงจรสมมูลของวงจรกรองสัญญาณรบกวน

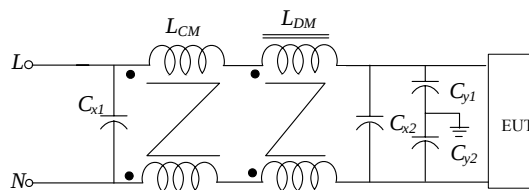


(ข) ลักษณะการพันแบบ ICM

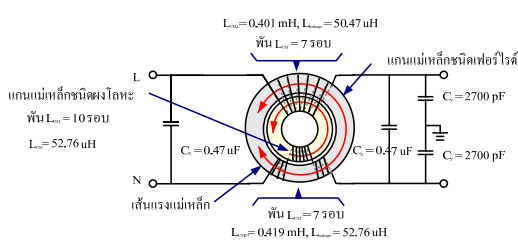


(ค) การพันจริง

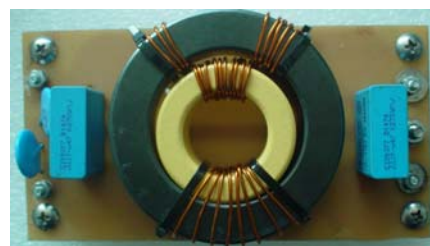
รูปที่ 5.3 รูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบ ICM



(ก) วงจรสมมูลของวงจรกรองสัญญาณรบกวน



(ข) ลักษณะการพันแบบ PICM



(ค) การพันจริง

รูปที่ 5.4 รูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมคผลร่วมและโหมคผลต่างแบบ PICM

ตารางที่ 5.1 สรุปค่าส่วนประกอบต่างๆของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ส่วนประกอบของวงจรกรอง		รูปแบบการพัน		
		การพันแบบ CM	การพันแบบ ICM	การพันแบบ PICM
L_{CM} (mH)	$L_{CM,L}$	0.38	0.422	0.401
	$L_{CM,N}$	0.38	0.418	0.419
L_{DM} และ $L_{leakage}$ (μH)	$L_{DM,L}$	23.2	19.13	50.47
	$L_{DM,N}$	10.2	19.16	52.76
$C_{X1,X2}$ (μF)		0.68	1.0	0.47
$C_{Y1,Y2}$ (pF)		3300	2700	2700
จำนวนรอบการพัน(รอบ)	L_{CM}	7	7	7
	L_{DM}	10	-	10
น้ำหนัก(กรัม)		204	197	210

จากขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมคผลร่วมและโหมคผลต่างที่แตกต่างกันนั้น สามารถที่จะสรุปค่าส่วนประกอบต่างๆของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ดังตารางที่ 5.1 จะแสดงค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทั้ง 3 แบบการพัน และจำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำ ส่วนแกนแม่เหล็กที่ใช้ในการพันตัวเหนี่ยวนำจะมีดังนี้ แกนแม่เหล็กชนิดเฟอร์ไรต์จะ

เป็น ferrite core ยี่ห้อ KAWATETSU FERRITE รุ่น R-63/44/13.5 และแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะจะเป็น toroidal core ยี่ห้อ MICROMETALS รุ่น T157-26 และเส้นลวดทองแดงที่ใช้จะเป็นเส้นลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 18 AWG

5.3.3 โครงสร้างการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่าง

จากเทคนิคการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างที่มีความแตกต่างกันที่ได้นำเสนอไว้แล้วในบทที่ 4 นั้น ทำให้โครงสร้างการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างทั้ง 3 แบบการพันมีความแตกต่างกันด้วย ดังนั้นตารางที่ 5.2 จะแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างทั้ง 3 แบบการพัน จะประกอบด้วยลักษณะการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่าง ขนาดของวงจรกรองสัญญาณรบกวน และความยาวลวดทองแดงที่ใช้พันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่าง

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบโครงสร้างการพันตัวเหนี่ยวนำ ทั้ง 3 แบบการพัน

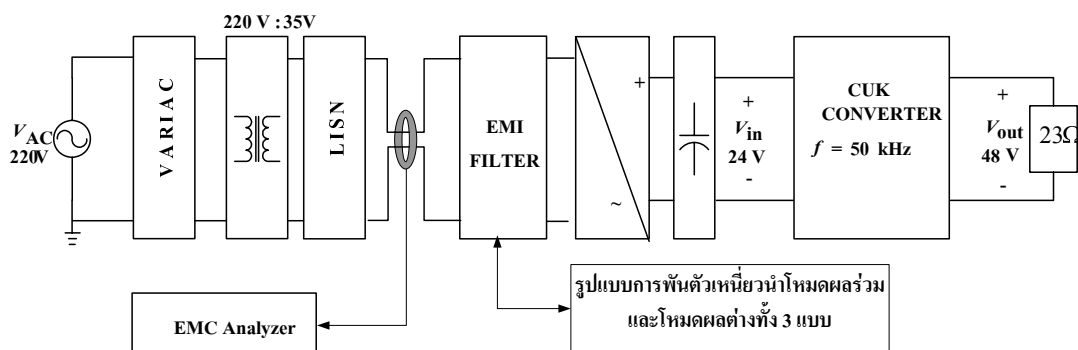
รูปแบบการพัน	ลักษณะการพันตัวเหนี่ยวนำ	ขนาดวงจรกรอง	ความยาวลวดทองแดง (cm)
การพันแบบ CM	ง่าย	ขนาดใหญ่	106
การพันแบบ ICM	ง่าย	ขนาดเล็ก	70
การพันแบบ PICM	ยาก	ขนาดเล็ก	120

5.3.4 การทดสอบทางด้านสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

ในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ จะทำการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้แล้วในบทที่ 4 และจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน CISPR 22 Class B ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยมีการติดตั้งเพื่อทดสอบการวัดดังในรูปที่ 5.5 และในการทดสอบจะเปลี่ยนเฉพาะวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดการทำงานต่างๆ จะใช้โพรบกระแสในการวัดค่าสัญญาณรบกวน ซึ่งได้กล่าววิธีการวัดไว้ในบทที่ 2

ในการวัดและการเก็บผลการทดสอบสำหรับการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ จะมีทั้งหมดดังนี้

- สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม
- สัญญาณรบกวนโหมดผลรวม
- สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง



รูปที่ 5.5 การติดตั้งเพื่อทำการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบสำหรับการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบดังนี้

- เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนของวงจรกรองขณะใส่กับไม่ใส่วงจรกรอง
- เปรียบเทียบอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนทั้ง 3 โหมด
- เปรียบเทียบผลจากการทดลองกับการจำลอง
- เปรียบเทียบรูปแบบการพัน

5.3.5 เงื่อนไขในการทดสอบ

ในส่วนเงื่อนไขในการทดสอบและแผนภูมิแสดงขั้นตอนการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย จะแสดงดังในรูปที่ 5.6 โดยที่รูปที่ 5.6 จะแสดงเงื่อนไขในการทดสอบทั้ง 3 เงื่อนไข ดังรูป



รูปที่ 5.6 เงื่อนไขในการทดสอบ

จากเงื่อนไขการทดสอบทั้ง 3 เงื่อนไขนั้น ได้อะไรจากเงื่อนไขการทดสอบ

1. เงื่อนไขการทดสอบที่ 1 ที่จุดเปลี่ยนความถี่ (cut-off frequency) เดียวกัน ทดสอบเพื่อดูผลจากรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่มีความแตกต่างกัน จะมีผลต่อการลดทอนสัญญาณรบกวนอย่างไร โดยผลจากการออกแบบจะแสดงไว้แล้วในบทที่ 4

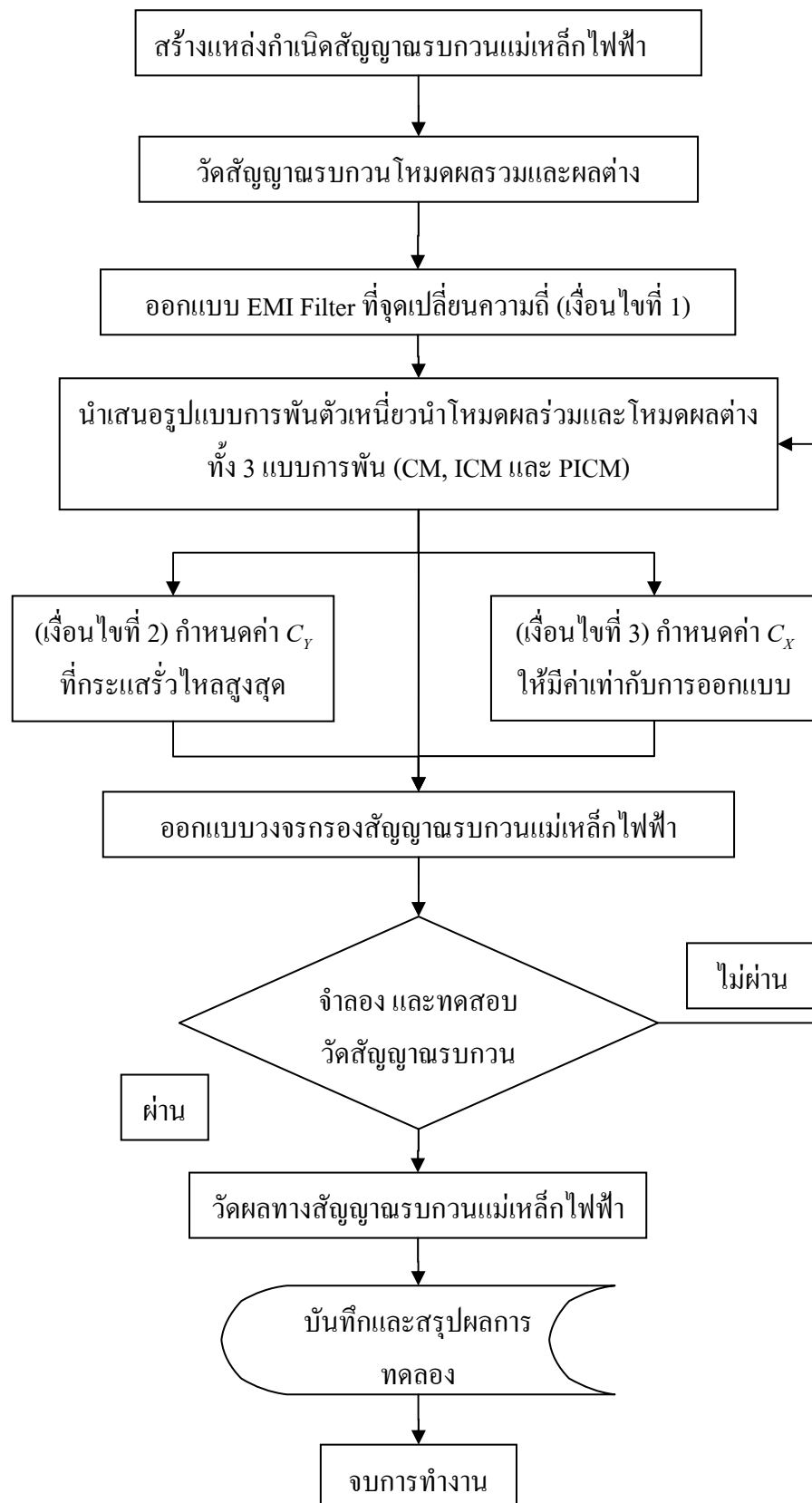
2. เงื่อนไขการทดสอบที่ 2: กำหนดค่ากระแสรั่วไหลสูงสุด ($C_Y = 3300 \text{ pF}$) ทดสอบเพื่อดูผลของตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} ที่มีค่าเหนี่ยวนำและรูปแบบการพันที่แตกต่างกันจะมีผลอย่างไรต่อการทำงานในโหมดผลร่วม และพิจารณาการทำงานโหมดผลร่วม จะมีอุปกรณ์ 2 ตัว คือ ตัวเก็บประจุ C_Y และตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} และจากเงื่อนไขในการวิจัยในบทที่ 1 ที่กำหนดให้จำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมเท่ากัน ทำให้ไม่สามารถปรับค่าเหนี่ยวนำได้ ดังนั้นในการทดสอบนี้จะปรับตัวเก็บประจุ C_Y ได้เพียงอย่างเดียว และเงื่อนไขในการทดสอบนี้ คือ วงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้ง 3 แบบ จะมีค่าเก็บประจุ C_Y เท่ากัน และเมื่อพิจารณาค่าเก็บประจุ C_Y แล้วพบว่าตัวเก็บประจุ C_Y จะมีผลต่อกระแสรั่วไหลลงดิน ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงกำหนดให้ตัวเก็บประจุ C_Y มีค่าสูงสุดที่มาตรฐานยอมรับได้ และจากการคำนวณในบทที่ 4 จะได้ค่าเก็บประจุ C_Y เท่ากับ 3300 pF

3. เงื่อนไขการทดสอบที่ 3: กำหนดค่า C_X ให้มีค่าเท่ากับการออกแบบ ($C_X = 0.68 \text{ }\mu\text{F}$) ทดสอบเพื่อดูผลของตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่มีค่าเหนี่ยวนำแตกต่างกัน ที่เกิดจากรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำ ว่าจะมีผลอย่างไรต่อการทำงานในโหมดผลต่าง ดังนั้นเงื่อนไขในการทดสอบนี้จะกำหนดค่าเก็บประจุ C_X ให้มีค่าเท่ากัน ทั้ง 3 แบบการพัน และเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จึงกำหนดค่าเก็บประจุเท่ากับการออกแบบในบทที่ 4 ดังนั้นจะได้ค่าเก็บประจุ C_X จะมีค่าเท่ากับ $0.68 \text{ }\mu\text{F}$

ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสำหรับการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำจะประกอบด้วย

- EMI Receiver : Hewlett Packard / Model HP 85420E
- LISN:EMCO / Model EMCO 3825/2
- Current Probe : Hewlett Packard / 84310-80019

จากรูปที่ 5.7 จะแสดงแผนภูมิขั้นตอนการทำงานและการทดสอบทั้งหมด โดยเริ่มจากการสร้างแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน รูปแบบการพันทั้ง 3 แบบ และลำดับขั้นตอนการออกแบบทั้ง 3 เงื่อนไข รวมทั้งการบันทึกและสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 5.7 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทดสอบ