

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ภาระหน้าที่ในการลดทอนสัญญาณรบกวนหรือสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ต่างๆ จะให้เป็นหน้าที่ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic interference filter) ดังนั้นในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจึงมีความสำคัญมาก เพราะในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ให้มีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนได้จริงนั้น จะมีความยุ่งยากในขั้นตอนการออกแบบ เพราะสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำที่เกิดขึ้นจากแหล่งจ่ายไฟสวิตซ์ (switching mode power supply) หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ นั้นจะมีรูปแบบสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ คือ ตัวเก็บประจุ C_x และ C_y ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม (common mode choke: L_{CM}) และตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง (differential mode choke: L_{DM}) และโครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม L_{CM} และตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง L_{DM} ที่ใช้จะเป็นแบบแยกแกนเหล็ก โดยที่ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมจะเป็นแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ (ferrite core) และตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างจะเป็นแกนเหล็กชนิดผงโลหะ (powder core) จึงเป็นผลทำให้ขนาดของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ และจากปัญหาของพื้นที่ที่มีจำกัดของผลิตภัณฑ์ ที่ต้องทำให้วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้ามีขนาดเล็ก จึงมีความคิดที่จะใช้พื้นที่ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนให้มีพื้นที่น้อยที่สุด และไม่มีผลต่อการระบายความร้อน และที่สำคัญสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ แต่ถ้าววงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้ามีขนาดใหญ่อาจจะทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น

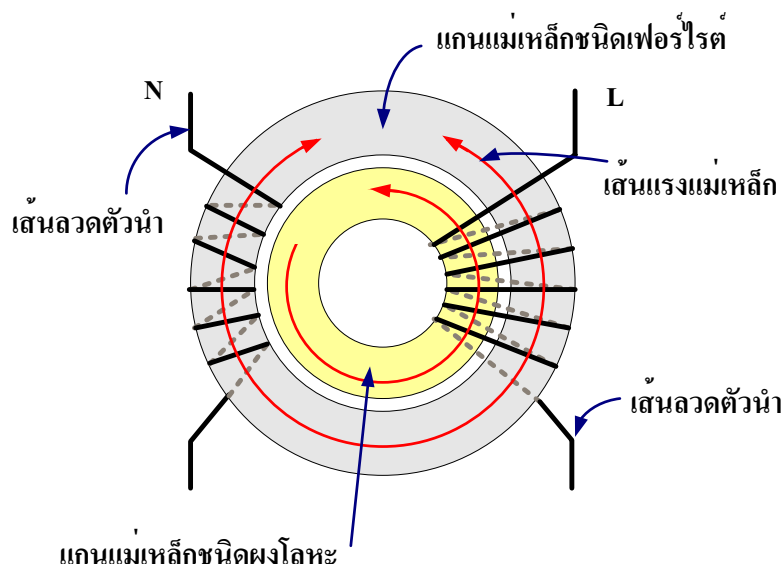
1.2 เพราะเหตุใดปัญหานี้ถึงน่าสนใจ

ปัญหาหลักของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (conducted EMI) ที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้าต่างๆ จะอธิบายได้ยากว่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในสายตัวนำเกิดขึ้นมาจากตัวอุปกรณ์หรือเกิดจากตัววงจรไฟฟ้า จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาแหล่งที่มาและแนวทางในการแก้ปัญหาของสัญญาณรบกวนและในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ ได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีพิกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สูงและใช้งานได้ในย่านความถี่ที่สูงขึ้น จึงมีผลทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่อระบบไฟฟ้ามากขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนางจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ให้มีประสิทธิภาพในการลดทอน

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างได้สูงขึ้น จึงมีแนวความคิดที่จะ ออกแบบตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ที่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวน แม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีและมีขนาดเล็ก ซึ่งในงานวิจัยเริ่มจากการศึกษาการทำงานของวงจรกรอง สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง จึงมีแนวความคิดที่จะนำเสนอรูปการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบใหม่ ที่ สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี และจากนั้นจึงเริ่มศึกษาสิทธิบัตรต่างๆ ที่มี รูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างและในปี 1992 ของ W. Richard frederick, Mundelein, Ill. จากการศึกษาสิทธิบัตรที่จดในประเทศสหรัฐอเมริกา หมายเลข 5,083,101 เรื่อง Integrated Electromagnetic Interference Filter [1] ได้นำเสนอเทคนิคการรวมตัว เหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างเข้าด้วยกัน (integrated inductor) ที่ใช้กับวงจรกรอง สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำแนวความคิดที่จะพัฒนารูปแบบ การพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวน แม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีที่สุด และสามารถใช้ประโยชน์จากแกนเหล็กให้มากที่สุด และมีปริมาตรน้อย ที่สุด

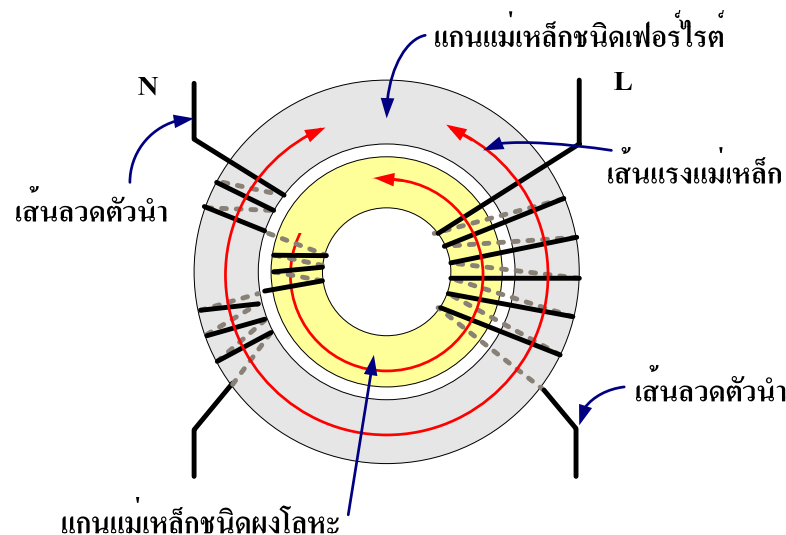
1.3 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เริ่มต้นจากการศึกษาแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง คือ วงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ (Cuk converter) โดยทำการศึกษาคำอธิบายของตัวอุปกรณ์ (self-resonant frequency: SRF) ที่มีต่อวงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งในการศึกษาจะทำการศึกษา ว่าความถี่เรโซแนนซ์ของตัวอุปกรณ์มีพฤติกรรมอย่างไร และมีผลต่อการเกิดสัญญาณรบกวนมาก หรือน้อยและเมื่อทำการศึกษแล้วพบว่า วงจรชุกคอนเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นได้สร้างสัญญาณ รบกวนที่สูงกว่าเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน (limit line) และหลังจากนั้นคิดว่าทำอย่างไรจึงจะสามารถ ลดทอนสัญญาณรบกวนลงได้ แล้วจึงมีความคิดที่จะพัฒนางานวงจรกรองสัญญาณรบกวน แม่เหล็กไฟฟ้า ศึกษาขั้นตอนการทำงาน การออกแบบ และการคำนวณค่าของวงจรกรอง สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และได้ศึกษาผลงานของ Fu-Yuan shih, Dan Y. chan, Yan-pei wu and Yie – tone Chen [2] รวมทั้งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสิทธิบัตรที่จดในประเทศสหรัฐอเมริกา [3-4] จึงได้แนวความคิดที่จะรวมตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างเข้าด้วยกัน



รูปที่ 1.1 การรวมตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง [1]

จากรูปที่ 1.1 จะแสดงการรวมตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง จากสิทธิบัตรที่จดในประเทศสหรัฐอเมริกาหมายเลข 5,083,101 จะเห็นได้ว่ามีแกนเหล็กไฟฟ้า 2 แกนวางซ้อนกัน ซึ่งแกนเหล็กวงนอกจะเป็นแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ และแกนเหล็กวงในจะเป็นแกนเหล็กชนิดผงโลหะวางซ้อนกันและพันด้วยเส้นลวดตัวนำ และจากรูปเส้นลวดตัวนำที่ต่อกับสายนิวตรอน (neutral) จะพันอยู่บนแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ด้านนอก และด้านสายตัวนำ (line) เส้นลวดตัวนำจะพันอยู่บนทั้ง 2 แกน คือ แกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์และแกนเหล็กชนิดผงโลหะ โดยทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเป็นดังในรูปที่ 1.1 และจากรูปที่ 1.2 ได้นำเสนอแนวความคิดการรวมตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบใหม่ ที่ใช้ประโยชน์จากพื้นที่ด้านในของแกนเหล็กวงนอกโดยนำแกนเหล็กอีกแกนหนึ่งวางซ้อนกันดังรูป และยังใช้ประโยชน์จากแกนเหล็กวงในอีกด้านหนึ่งสำหรับการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างดังในรูปที่ 1.2 และจากรูป เส้นลวดตัวนำที่ต่อกับสายนิวตรอน จะพันอยู่บนแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ด้านนอก และในเส้นลวดตัวนำเดียวกันนั้น ยังมีการพันขดลวดเพิ่มเข้าไปในแกนเหล็กชนิดผงโลหะอีก เพื่อเป็นการเพิ่มค่าเหนี่ยวนำโหมดผลต่างให้มีค่ามากขึ้นดังรูป และทางด้านสายตัวนำจะมีลักษณะการพันเช่นเดียวกับในรูปที่ 1.1 ส่วนรายละเอียดการพันต่างๆจะนำเสนอต่อไปในบทที่ 4



รูปที่ 1.2 การรวมตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบใหม่

1.4 เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม

ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการพัฒนาวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และนำเสนอขั้นตอนการการออกแบบ และเทคนิคการรวมตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง โดยจะทำการเปรียบเทียบรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่มีแตกต่างกัน และหาว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่มีความแตกต่างกันนั้น จะมีผลต่อการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างไร ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ที่ใช้ในวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ 3 รูปแบบการพัน คือ

1. การพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบทั่วไป (conventional common mode choke : การพันแบบ CM) คือ การพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่ใช้กับวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบทั่วไป จะประกอบด้วยแกนแม่เหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ และแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะ ที่ใช้สำหรับการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม และโหมดผลต่าง โดยมีลักษณะการพันตัวเหนี่ยวนำจะเป็นแบบแยกแกนเหล็ก
2. การพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบ ICM (integrated common mode choke : การพันแบบ ICM) คือ การพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่ใช้กับวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ ICM จะประกอบด้วยแกนแม่เหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ และแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะ ที่ใช้สำหรับการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง และมีลักษณะการพันตัวเหนี่ยวนำ คือ จะใช้เทคนิคการรวมตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง

3. การพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบ PICM (proposed integrated common mode choke : การพันแบบ PICM) คือ การพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่ใช้กับวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ PICM จะประกอบด้วยแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ และแกนเหล็กชนิดผงโลหะ ที่ใช้สำหรับการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง และมีลักษณะการพันตัวเหนี่ยวนำคือ จะใช้เทคนิคการรวมตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง เหมือนกับการพันแบบ ICM แต่จะมีค่าความเหนี่ยวนำโหมดผลต่างมากกว่ารูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมแบบ ICM

โดยมีเงื่อนไขการรวมตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างเข้าด้วยกัน คือจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างจะเท่ากัน แกนเหล็กชนิดเดียวกัน ขนาดเส้นลวดตัวนำมีขนาดเท่ากัน และพิกัดกำลังที่ใช้ในการทดสอบเดียวกัน โดยสามารถระบายความร้อนได้โดยที่อุณหภูมิของแกนเหล็กเท่ากัน

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ก) นำเสนอรูปแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบ PICM ที่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าได้สูง โดยจะทำการวิเคราะห์การออกแบบ และสร้างจริง เพื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบกับแบบการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างแบบ CM และแบบ ICM โดยจะพิจารณาในรูปของอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (insertion loss: IL)

ข) พิกัดเป้าหมายของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ใช้ในการทดสอบจะมีพิกัดในการทดสอบเดียวกัน ซึ่งในการวิจัยนี้จะดูได้จากตารางที่ 1.1 โดยจะแสดงพิกัดของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 1.1 พิกัดของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ปริมาณทางไฟฟ้า	ขนาด/พิกัด	หน่วยวัด
แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า (V_i)	24	โวลต์ (V)
แรงดันไฟฟ้าด้านออก (V_o)	48	โวลต์ (V)
กระแสไฟฟ้าด้านออก (I_o)	2.08	แอมแปร์ (A)
กำลังไฟฟ้าด้านออก (P_o)	100	วัตต์ (W)
ความถี่สวิตซ์ซิง (f)	50	กิโลเฮิรตซ์ (kHz)

ค) ในการออกแบบ และการทดสอบการทำงานจะทำการปรับค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทั้ง 3 รูปแบบการพัน เพื่อจะหาว่าส่วนประกอบของวงจร

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าใด มีผลต่อการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และในส่วน
ของพิกัดของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจริงจะมีรายละเอียดดังในตาราง
ที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 พิกัดของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

รายละเอียดต่างๆของวงจรกรอง สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า		รูปแบบการพ่นที่นำเสนอ		
		การพ่นแบบ CM	การพ่นแบบ ICM	การพ่นแบบ PICM
ปริมาณของ แกนเหล็ก	แกนเหล็กชนิด เฟอร์ไรต์	ferrite core ยี่ห้อ KAWATETSU FERRITE รุ่น R- 63/44/13.5		
	แกนเหล็กชนิด ผงโลหะ	toroidal core ยี่ห้อ MICROMETALS รุ่น T157-26		
insertion loss		ผ่านเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน		
พิกัดกระแสไฟฟ้า		2 แอมแปร์		
เส้นลวดทองแดง		เส้นลวดทองแดงอาบนํ้ายาเบอร์ 18 AWG		

1.6 ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนในการศึกษานี้แบ่งเป็นขั้นตอนหลักดังแผนภูมิในรูปที่ 1.3 โดยครอบคลุมเนื้อหา
สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งมีทั้งหมด 7 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 จะกล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย เหตุผลของงานวิจัย แนวความคิดของ
งานวิจัย เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม ขอบเขตงานวิจัยและขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 จะกล่าวถึงนิยาม และที่มาของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำใน
โหมดต่างๆ และมาตรฐานสำหรับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ รวมทั้งการวัด
สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำและเครื่องมือวัด

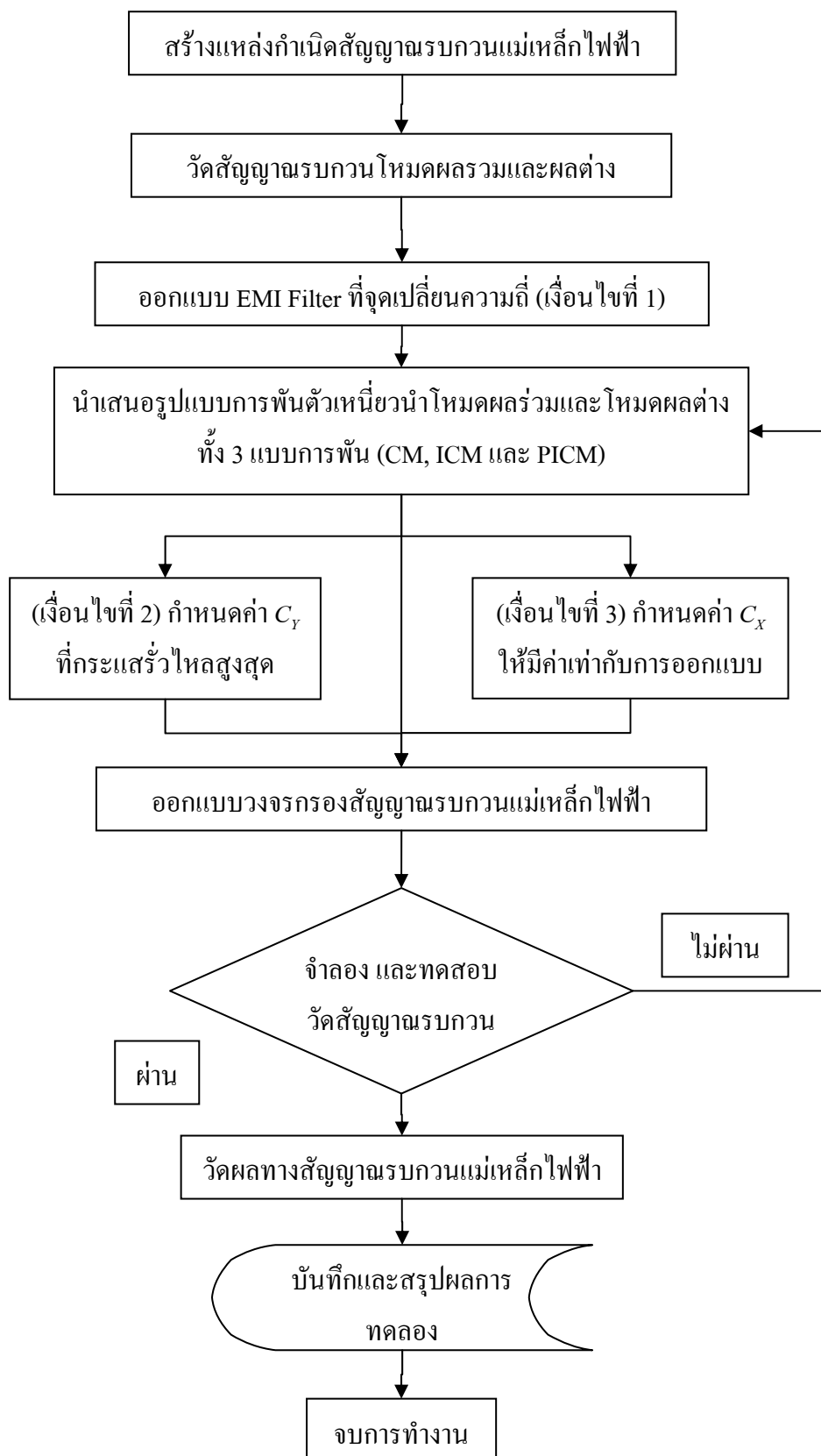
บทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้การทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
และอธิบายส่วนประกอบต่างๆของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

บทที่ 4 จะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบ การคำนวณหาค่าส่วนประกอบของวงจร
สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และการวิเคราะห์รูปแบบการพ่นตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและ
โหมดผลต่างทั้ง 3 แบบการพ่น

บทที่ 5 จะกล่าวถึงวัตถุประสงค์และขอบเขตที่ทำการทดลอง และการจำลองการทำงาน
โดยสรุปเงื่อนไขต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบทางด้านสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

บทที่ 6 จะกล่าวถึงผลการทดลอง การจำลองการทำงาน และการวิเคราะห์ผลทางด้าน
สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างวงจรกรองสัญญาณ
รบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลรวมและโหมดผลต่างที่แตกต่างกัน

บทที่ 7 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการวิจัย