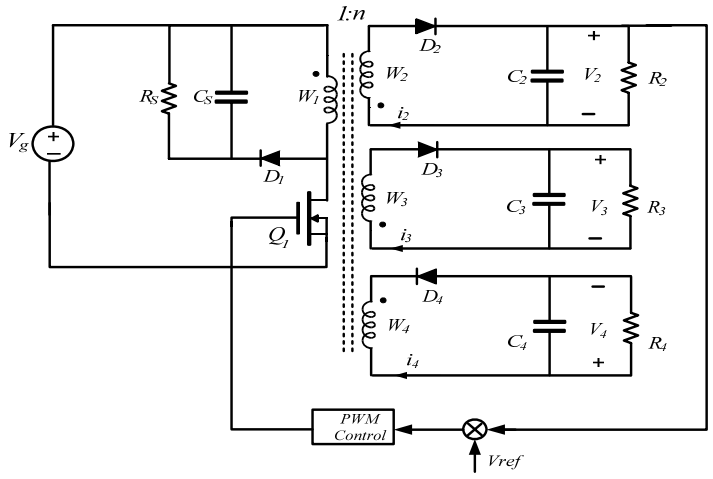
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและความเป็นมาของปัญหา

โดยทั่วไปสวิตช์ชิ่งคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท (Multiple output switching converters) จะใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการกำลังและประสิทธิภาพสูง เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งต้องการแหล่งจ่ายแรงดันหลายระดับที่แตกต่างกัน เช่น 3.3 โวลต์ ± 5 โวลต์ และ ± 12 โวลต์ โดยใช้งานกับเมนบอร์ดคอมพิวเตอร์ ดิสก์ไดร์ฟ อุปกรณ์อื่นๆในระบบ ซึ่งวงจรที่นิยมใช้คือวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท ซึ่งสามารถสร้างวงจรให้มีแรงดันขาออกได้หลายระดับ โดยจุดเด่นของวงจรดังกล่าวคือ วงจรมีอุปกรณ์จำนวนน้อยชิ้น ทำให้ง่ายในการเพิ่มจำนวนเอาท์พุท และมีขนาดเล็ก ช่วยประหยัดต้นทุนในการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันชนิดหลายเอาท์พุท

วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท ดังภาพประกอบ1-1 จะมีการคงค่าแรงดันเอาท์พุทโดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback network) ที่เอาท์พุทหลักเพียงเอาท์พุทเดียว ส่วนเอาท์พุทย่อยอื่นๆ จะไม่มีการควบคุมค่าแรงดันโดยตรง แต่จะกำหนดจากความเหนี่ยวนำร่วมจากขดลวดที่พันอยู่ในตัวหม้อแปลง ดังนั้นเมื่อแรงดันเอาท์พุทหลักต่อกับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง จะส่งผลให้แรงดันเอาท์พุทย่อยเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งเรียกว่าครอสเรกกูเลชัน (Cross Regulation) และเมื่อนำไปใช้งานก็จะส่งผลกระทบต่อโหลดและทำให้ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟลดลง



ภาพประกอบ 1-1 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ชนิด 3 เอาท์พุท

พฤติกรรมการเกิดครอสเรกกูเลชันมีสาเหตุหลักมาจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดครอสเรกกูเลชันในวงจรคอนเวอร์เตอร์ในหลายรูปแบบ รวมถึงการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อลดการเกิดครอสเรกกูเลชัน แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์การเกิดครอสเรกกูเลชันในวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ผ่านมา จะพิจารณาจากโครงสร้างหม้อแปลงเพียงชนิดเดียว และยังไม่มีแนวทางการออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์อาจจะไม่สามารถประยุกต์ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ได้ในทุกกรณี

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอ การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อปรับปรุงครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท โดยการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของชนิดโครงสร้างของแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงต่อการเกิดครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท ซึ่งพิจารณาจากแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง 3 ชนิดคือ EI, ETD และ Pot และศึกษาเปรียบเทียบการออกแบบวางตำแหน่งขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในแต่ละแบบ เพื่อศึกษาพฤติกรรมค่าความเหนี่ยวนำรั่วที่เกิดขึ้นในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดค่าครอสเรกกูเลชัน ซึ่งนำไปสู่แนวทางและวิธีกาออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อปรับปรุงค่าครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท โดยการใช้แบบจำลองการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ที่สามารถวัดค่าได้โดยตรงด้วยวิธีการวัดแบบ Two port เพื่อสร้างแบบจำลอง *N*-port ในการวิเคราะห์วงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท โดยผลจากการทดลองการเกิดครอสเรกกูเลชัน เนื่องจากโครงสร้างแกนหม้อแปลงชนิดต่างๆ และจากการออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแต่ละวิธีจะถูกนำเสนอในรูปของ Output resistance matrix (R) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกาเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสในแต่ละเอาท์พุท โดยผลจากการศึกษาพฤติกรรม ครอสเรกกูเลชันจากการออกแบบวางตำแหน่งขดลวดในแต่ละแบบ จะเป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อการควบคุมค่าความเหนี่ยวนำรั่วในตัวหม้อแปลงความถี่สูงที่สามารถลดการเกิดค่าครอสเรกกูเลชันและหาแบบจำลองการพันขดลวดที่เหมาะสม ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อลดปัญหาครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท โดยไม่คิดค่าการสูญเสียจากแรงดันกระเพื่อม (Voltage ripples) และค่าการสูญเสียอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากวงจรสนับเบอร์

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 A.Dauhajre, "Modelling and Estimation of Leakage Phenomena in Magnetic Circuits", Ph.D.Thesis, California Institute of Technology, California, April 1986

เอกสารนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองและการประมาณการวิเคราะห์ค่าความเหนี่ยวนำรั่วที่เกิดขึ้นในวงจรแม่เหล็กจากแกนหม้อแปลงแบบ Pot ซึ่งใช้การกระจายค่าความเหนี่ยวนำรั่วในโครงสร้างหม้อแปลง ช่องว่างอากาศ และชนิดของแกนหม้อแปลงที่เกิดขึ้นจากวิธีการพันหม้อแปลง และอธิบายถึงความสัมพันธ์ของแบบจำลองหม้อแปลงที่สามารถคำนวณค่าความเหนี่ยวนำรั่วที่เกิดขึ้นจากการวางตำแหน่งขดลวดได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การวางตำแหน่งของขดลวดในแกนหม้อแปลงไฟฟ้ามีผลต่อการเกิดค่าความเหนี่ยวนำรั่วในตัวหม้อแปลงและสามารถที่จะปรับปรุงค่าความเหนี่ยวนำรั่วที่เกิดขึ้นในตัวหม้อแปลงได้

1.2.2 Chuanwen Ji, K.Mark Smith ,Jr "Cross Regulation in Flyback Converters: Analytic Model " , IEEE Transactions on Power Electronics , 1999

เอกสารนี้นำเสนอแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 2 เอาท์พุท โดยวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการทำงานในช่วงการทำงานสภาวะต่างๆ ของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์ชนิด 2 เอาท์พุท เมื่อกระแสโหลดมีการเปลี่ยนแปลงและได้เปรียบเทียบผลกระทบของวิธีการควบคุมแรงดันแบบถ่วงน้ำหนัก (Weight Voltage Mode Control) ซึ่งส่งผลต่อการปรับปรุงค่าครอสเรกกูเลชันจากค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง และออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กเพื่อแก้ปัญหาค่าครอสเรกกูเลชันที่สามารถใช้แทนวงจรสนับเบอร์ ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานได้ แต่ประสบปัญหาเรื่องประสิทธิภาพของวงจร

1.2.3 R.Erickson , D. Maksimovic, "A Multiple-Winding Magnetics Model Having Directly Measurable Parameters", IEEE Power Electronics Specialists Conference, May 1998

เอกสารนี้นำเสนอบทความเรื่องแบบจำลองการวิเคราะห์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิดหลายขดลวดที่สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงได้โดยตรง ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ค่าความเหนี่ยวนำรั่วในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่เกิดจากการวางตำแหน่งขดลวดในหม้อแปลงและผลจากใช้แบบจำลองวิเคราะห์ผลการเกิดครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์ชนิดหลายเอาท์พุท ซึ่งสามารถใช้แบบจำลองดังกล่าวในการวิเคราะห์ค่าความเหนี่ยวนำรั่วในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิดหลายขดลวดได้

1.2.4 D.Maksimovic , R. Erickson "Modeling of Cross Regulation in Multiple Output Flyback Converters," IEEE Applied Power Electronics Conference,1999

เอกสารนี้นำเสนอแบบจำลองการวิเคราะห์ค่าครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์ชนิดหลายเอาท์พุท โดยใช้ค่าความเหนี่ยวนำรั่วที่เกิดขึ้นในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง มาอธิบายพฤติกรรมการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาท์พุท ที่ส่งผลต่อค่าครอสเรกกูเลชันของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

1.2.5 Kusumal Changtong “Magnetics Modeling for improving cross-regulation in multiple output flyback converters” Ph.D. Thesis, University of Coloradoat Boulder,1999

เอกสารนี้นำเสนอแบบจำลองการวิเคราะห์ค่าครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์ชนิดหลายเอาท์พุท จากการวิเคราะห์พฤติกรรมครอสเรกกูเลชันโดยใช้การศึกษาพฤติกรรมครอสเรกกูเลชันจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง และเปรียบเทียบการออกแบบการพันหม้อแปลงความถี่แบบ Interleave เพื่อปรับปรุงค่าครอสเรกกูเลชันโดยวิเคราะห์จากการวัดค่าในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุทกับแบบจำลองหม้อแปลง ซึ่งสามารถทำนายพฤติกรรมของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุทได้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.3.1. เพื่อศึกษาผลของชนิดแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงต่อการเกิดครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท

1.3.2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองครอสเรกกูเลชันในการศึกษาพฤติกรรมของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท

1.3.3. เพื่อศึกษาและหาวิธีการออกแบบการพันขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง เพื่อปรับปรุงการเกิดครอสเรกกูเลชันวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท

1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและวิเคราะห์การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อปรับปรุงค่าครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาท์พุท แบบ open loop ที่แรงดันอินพุท 40V แรงดันเอาท์พุทหลัก 5V(10A) ที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลง ±50% แรงดันเอาท์พุทย่อยที่ +12V(3A) และ -12V(2A) ความถี่ 100kHz duty ratio ที่ 0.5 โดยไม่คิดค่าแรงดันกระเพื่อมและค่าการสูญเสียอื่นๆที่เกิดขึ้นจากวงจรสนับเบอร์

1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

1.5.1 ศึกษาแบบจำลองการวิเคราะห์ และการควบคุมค่าความเหนี่ยวนำรั่วในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท

1.5.2 ศึกษาการออกแบบและสร้างแบบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ชนิด 3 เอาท์พุท

1.5.3 ออกแบบและสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจากแกนหม้อแปลงชนิดแกน EI, ETD และแกน Pot ของวงจรฟลาย แบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาท์พุท

1.5.4 ทดสอบวัดค่าความเหนี่ยวนำรั่วและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อแปลงในแกนแต่ละชนิด

1.5.5 สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ค่าครอสเรกกูเลชันและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำลอง เพื่อศึกษาค่าความเหนี่ยวนำรั่วที่เกิดจากแกนหม้อแปลงไฟฟ้าของแกนแต่ละชนิด

1.5.6 ทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้จากการวัดและค่าจากโปรแกรมจำลองในแกนหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละชนิด

1.5.7 ทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในแกนแต่ละชนิดกับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาท์พุทเพื่อหาค่าการเกิดครอสเรกกูเลชัน

1.5.8 เปรียบเทียบและสรุปผลค่าการเกิดครอสเรกกูเลชันในแกนแต่ละชนิดของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาท์พุท

1.5.9 เลือกชนิดของแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่เหมาะสมในการออกแบบ เพื่อวิเคราะห์ค่าครอสเรกกูเลชันจากการพันขดลวดแต่ละแบบในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท

1.5.10 สรุปวิธีการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่ใช้ในการปรับปรุงค่าครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุทที่เหมาะสมที่สุด

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.6.1 ได้ทราบและเข้าใจถึงพฤติกรรมการเกิดครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท

1.6.2 ได้แบบจำลองการวิเคราะห์ที่สามารถปรับปรุงค่าการเกิดครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท

1.6.3 ได้ฐานความรู้สำหรับประยุกต์ใช้ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงกับการออกแบบหม้อแปลงในวงจรคอนเวอร์เตอร์ในแบบอื่นๆได้