



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ
สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า
โดย นายกิตติพงษ์ พุ่มโกชนา

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

21 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ชื่นแขก)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พนาฤทธิ์ เศรษฐกุล)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ นุ่นงาม)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพรรณ ธงชัย)

การวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์
แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า

นายกิตติพงษ์ พุ่มโกชนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายกิตติพงษ์ พุ่มโกชนา
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง
เป็นไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับ
ระบบของการไฟฟ้า
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ ชื่นแขก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พนาฤทธิ์ เศรษฐกุล
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

อุปกรณ์แปลงผันพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการเปลี่ยนพลังงานจากไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อใช้ในบ้านพักอาศัย ในแหล่งที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง รูปแบบที่นิยมจะเป็นแบบไม่มีการแยกกันอย่างอิสระระหว่างระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับภาระของระบบ แต่ในการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วจำเป็นต้องมีการแยกจากกันทางไฟฟ้า และใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากต่ออนุกรมกันเพื่อสร้างแรงดันให้สูงกว่าแรงดันจากระบบการไฟฟ้า เพื่อป้อนพลังงานกลับเข้าไปได้

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าโดยใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบฟลายแบ็ก มีหม้อแปลงความถี่สูงเป็นตัวแยกกันทางไฟฟ้าและสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 400 V เพื่อป้อนเข้าสู่วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเต็มบริดจ์ ที่มีการควบคุมกระแสแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่มีความถี่การสวิตซ์คงที่และมีการชดเชยแบบป้อนไปหน้า เพื่อลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ วงจรต้นแบบได้มีการทดสอบเชื่อมต่อกับแรงดันการไฟฟ้า 220 V 50 Hz โดยรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 36 V สามารถจ่ายกระแสเป็นรูปคลื่นไซน์มีผลรวมความผิดเพี้ยนของกระแส 6.3 % กำลังไฟฟ้าด้านออกสูงสุด 160 W ประสิทธิภาพสูงสุด 78.7 %

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 54 หน้า)

คำสำคัญ: วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ, การเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Kittiphong Poomphochana
Thesis Title : Analysis and Design Inverter for Grid Connected Photovoltaic
Major Field : Electrical Engineering
: King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Associate Professor Dr. Viboon Chunkag
: Assistant Professor Panarit Sethakul
Academic Year : 2006

Abstract

Photovoltaic converter system is normally convert dc energy from solar cell to be ac voltage for using in house where there is no power from utility. The converter topology is non-electrical isolation between the solar cells and load. But, for connecting to utility system the electrical isolation characteristic is required and high voltage generating from series connected of solar cells is also needed for injecting power back to the utility.

This research presents analysis an design of and inverter for grid connected photovoltaic system. The system consists of 2 parts, a dc-dc flyback converter with high frequency transformer and a current-source full-bridge converter. The flyback converter converts dc energy from solar cell and step-up to 400 VDC for supplying to the full-bridge converter with PWM control to generate ac voltage for injecting to the load and utility. The control method is constant switching frequency PWM with feed forward compensation. The photovoltaic system has been designed, built and tested by using 36 VDC to represent voltage from solar cells and the output of the system connected to main utility 220 V 50 Hz. It can inject nearly sinusoidal current wave form into system with 63 % of total harmonic distortion of current. The maximum output power and efficiency were 160 W and 78.7 % respectively.

(Total 54 pages)

Keywords: inverter, grid connected

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จล่วงได้ด้วยดีนั้น ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ชื่นแขก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พนาฤทธิ์ เศรษฐกุล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางวิชาการและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ตลอดจนให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและสนับสนุนตลอดมาจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสิ้น

ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้ให้โอกาสทางการศึกษาและการสนับสนุนในทุกๆ ด้านจนข้าพเจ้าได้รับความสำเร็จในการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ช่วยสนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์

กิตติพงษ์ พุ่มโกชนา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.2 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.3 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก	4
2.2 การควบคุมแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผัน แบบฟลายแบ็ก	13
2.3 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แบบเต็มบริดจ์	15
2.4 การควบคุมกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	18
2.5 สรุป	19
บทที่ 3 การจำลองระบบและการออกแบบสร้างระบบต้นแบบ	20
3.1 การจำลองการทำงาน	20
3.2 การออกแบบวงจรภาคกำลัง	23
3.3 การออกแบบวงจรภาคควบคุม	25
3.4 สรุป	30
บทที่ 4 ผลการทดสอบระบบต้นแบบ	31
4.1 การทดสอบการทำงานวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก	32
4.2 การทดสอบการเชื่อมต่อระบบของการไฟฟ้า	34
4.3 สรุป	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการวิจัย	41
5.2 ปัญหาที่พบในการวิจัย	41
5.3 ข้อดีของระบบ	42
5.4 ข้อบกพร่องของระบบ	42
5.5 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก ก	44
ภาคผนวก ข	47
ประวัติผู้วิจัย	54

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 ข้อกำหนดการออกแบบ	2
2-1 เงื่อนไขการสวิตช์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	16
4-1 ผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับเชื่อมต่อแรงดัน ที่พิกัด 130W	35

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้า	4
2-2 วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก	5
2-3 วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กขณะสวิตช์นำกระแส	5
2-4 วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กขณะสวิตช์ไม่นำกระแส	6
2-5 รูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก	9
2-6 แบบจำลองวงจรเทียบเคียงสัญญาณขนาดเล็ก	11
2-7 แผนภาพบล็อกการควบคุมวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก	13
2-8 แผนภาพบล็อกการควบคุมแรงดันด้านออก	14
2-9 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเต็มบริดจ์	15
2-10 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเต็มบริดจ์ที่ปรับวงจรใหม่	16
2-11 วงจรขณะที่ยัง $S_B = 0, S_A = 0$ และ $S_B = 1, S_A = 1$	16
2-12 วงจรขณะที่ยัง $S_B = 0, S_A = 1$	17
2-13 วงจรขณะที่ยัง $S_B = 1, S_A = 0$	17
2-14 แผนภาพเฟสเซอร์กรณีเฟสของกระแส i_{inv} ตรงกับเฟสเซอร์ของแรงดัน v_o	18
2-15 แผนภาพบล็อกการควบคุมกระแส	19
3-1 วงจรระบบที่ใช้ในการจำลองการทำงาน	20
3-2 รูปคลื่นกระแสด้านออกและแรงดันการไฟฟ้า ที่พิกัด 160 W	21
3-3 ภาพขยายรูปคลื่นกระแสด้านด้านออกและแรงดันการไฟฟ้า ที่พิกัด 160 W	21
3-4 ภาพสัญญาณกระแส i_{inv} , i_{load} และ i_u ขณะต่อโหลด 100 W	22
3-5 ภาพสัญญาณกระแส i_{inv} , i_{load} และ i_u ขณะต่อโหลด โหลด 140 W	23
3-6 ภาพสัญญาณกระแส i_{inv} , i_{load} และ i_u ขณะต่อโหลด 240 W	23
3-7 ภาควัดกำลังของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก	24
3-8 วงจรภาคกำลังวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ	25
3-9 ภาควงจรตรวจจับสัญญาณไซน์	25
3-10 วงจรสร้างสัญญาณ โคไซน์	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-11 วงจรตรวจจับกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ	26
3-12 (ก) วงจรตรวจจับแรงดัน (ข) วงจรตรวจจับกระแส	27
3-13 วงจรขับนำเกตโดยไอซีออปโต้ไอโซเลเตอร์ TLP250	28
3-14 วงจรควบคุมกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ	28
3-15 วงจรควบคุมแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก	29
3-16 แหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรขับเคลื่อน	30
4-1 เป็นวงจรต้นแบบที่ใช้ทดสอบ	31
4-2 แสดงลักษณะของกระแส I_s และกระแส I_D ที่เกิดขึ้น	32
4-3 แรงดันตกคร่อมสวิตช์ v_{ds} และกระแส i_{ds}	33
4-4 รูปสัญญาณแรงดันด้านออกที่ 400 V เทียบกับกระแสด้านออก	33
4-5 กระแส i_{inv} ด้านออกและแรงดันการไฟฟ้า v_a ที่กำลังด้านออก 160 W	34
4-6 ขยายภาพกระแส i_{inv} ด้านออกและแรงดันการไฟฟ้า v_a ที่กำลังด้านออก 160 W	35
4-7 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดตัวต้านทาน 100 W	36
4-8 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดตัวต้านทาน 140 W	36
4-9 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดตัวต้านทาน 280 W	37
4-10 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดหลอดไฟ 100 W	38
4-11 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดหลอดไฟ 140 W	38
4-12 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดหลอดไฟ 240 W	39
4-13 กระแส i_a และแรงดัน v_a ที่ภาระเปลี่ยนจาก 100 W เป็น 200 W	39
ก-1 แบบจำลองของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	45
ก-2 แบบจำลองของส่วนควบคุมกระแส	45
ก-3 แบบจำลองของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก	46
ก-4 แบบจำลองของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก	46
ข-1 ภาพระบบต้นแบบพร้อมอุปกรณ์ทดสอบ	48
ข-2 ชุด Variac	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข-3 โหลดหลอดไฟ	49
ข-4 โหลดตัวต้านทาน	49
ข-5 อุปกรณ์วัดสัญญาณ	50
ข-6 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	50
ข-7 วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก	51
ข-8 วงจรขับเคลื่อน	51
ข-9 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	52
ข-10 วงจรสร้างสัญญาณไซน์	52
ข-11 วงจรสร้างสัญญาณโคไซน์	53
ข-12 วงจรตรวจจับกระแส	53

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ เพื่อทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า (Grid-connected Photovoltaic System) เป็นการนำเอาพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้รูปแบบหนึ่ง โดยทำการแปลงพลังงานไฟฟ้าได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน และพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือใช้จะถูกจ่ายคืนให้กับระบบของการไฟฟ้า แต่หากปริมาณแสงต่ำลงจนกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด พลังงานส่วนที่ขาดจะรับมาจากระบบของการไฟฟ้า นอกจากจะช่วยลดการใช้ไฟฟ้าที่รับมาจากส่วนของการไฟฟ้าแล้ว ยังช่วยผลิตไฟฟ้าจ่ายกับคืนการไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งระบบนี้จะมีเสถียรภาพที่ดีกว่าการต่อใช้งานแบบโดดเดี่ยว(Stand alone system)

เซ็นทรัลไลส์ อินเวอร์เตอร์[1] เป็นรูปแบบที่ใช้งานกันทั่วไป มีลักษณะของวงจรที่ง่าย และราคาถูก แต่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก ต่ออนุกรมเพื่อสร้างแรงดันให้สูงกว่าระบบของการไฟฟ้า ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงเพราะใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก และถ้ามีเงาบังส่วนใดส่วนหนึ่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ต่อเนื่อง (Shading Problem) การนำวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงมาต่อกับวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ [2] ช่วยลดจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมลง และลดปัญหากรณีมีเงาบังส่วนใดส่วนหนึ่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ การแยกกันอย่างอิสระระหว่างระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบของการไฟฟ้า (Isolation) ทำได้โดยการใช้หม้อแปลง การใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำ แต่หม้อแปลงมีขนาดใหญ่และราคาแพง ในการนำวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีหม้อแปลงความถี่สูง[3] เป็นตัวแยกกันทางไฟฟ้ามาใช้ สามารถลดขนาดของหม้อแปลงลงได้ และเลือกใช้วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กเนื่องจากใช้อุปกรณ์น้อย และควบคุมง่าย

การควบคุมกระแสแบบมีฮิสเทอรีซิส มีข้อดีหลายประการเช่น มีผลตอบสนองเร็ว และมีความสามารถที่จะจำกัดกระแสในตัว แต่ความถี่การสวิตช์ไม่ตัวที่ และไม่เหมาะกับระบบที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ การควบคุมกระแสแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่มีความถี่การสวิตช์คงที่ การควบคุมแบบนี้ถึงแม้จะให้ผลตอบสนองที่ช้ากว่าแบบฮิสเทอรีซิส แต่ก็สามารถลดผลของ

สัญญาณรบกวนได้ด้วยการชดเชยแบบป้อนไปข้างหน้า[4] ความถี่การสวิตช์คงตัวทำให้สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่การสวิตช์ได้ง่ายขึ้น

ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าโดยใช้วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กต่อร่วมกับวงจรเซล์ทรานส์อินเวอร์เตอร์และควบคุมกระแสแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่มีความถี่การสวิตช์คงที่สร้างด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า โดยการนำวงจรฟลายแบ็กต่อร่วมกับวงจรเซล์ทรานส์อินเวอร์เตอร์และควบคุมกระแสแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่มีความถี่การสวิตช์คงที่สร้างด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อลดจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่ออนุกรมในการสร้างแรงดันด้านเข้า มีการแยกกันทางไฟฟ้าโดยหม้อแปลงมีขนาดเล็ก ลดความซับซ้อน ลดขนาด ลดราคาของวงจรควบคุมกระแสด้านออกและการจ่ายกระแสด้านออกคืนให้ระบบการไฟฟ้าเป็นคลื่นรูปไซน์ มีตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษา ออกแบบสร้างและทดสอบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าโดยระบบควบคุมเป็นแบบดิจิทัล จากนั้นทดสอบวงจรแปลงผันที่สร้างขึ้นโดยให้มีข้อกำหนดดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ข้อกำหนดการออกแบบ

รายการ	ข้อกำหนด
แรงดันไฟตรงด้านเข้า	$36V \pm 10\%$
เชื่อมต่อแรงดันไฟสลับด้านออก	220V 50 Hz
กำลังด้านออก	160 W
ตัวประกอบกำลัง	> 0.90
ความเพี้ยนรวมของกระแส	$< 8 \%$
ประสิทธิภาพสูงสุด	70%

1.3 วิธีดำเนินการวิจัย

1.3.1 ศึกษา ค้นคว้าและสำรวจงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ศึกษาหลักการและทฤษฎีวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า

1.3.3 ออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า และระบบควบคุม เพื่อจำลองการทำงาน (Simulation) ตามขอบเขตที่กำหนด

1.3.4 สร้างวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ตามแบบจำลองที่ออกแบบไว้ และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

1.3.5 ทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลองการทำงาน

1.3.6 สรุปและวิจารณ์ ผลการวิจัยเพื่อจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์และนำเสนอผลการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

1.4.1 ได้แนวทางในการออกแบบและพัฒนา วงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า

1.4.2. ช่วยสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

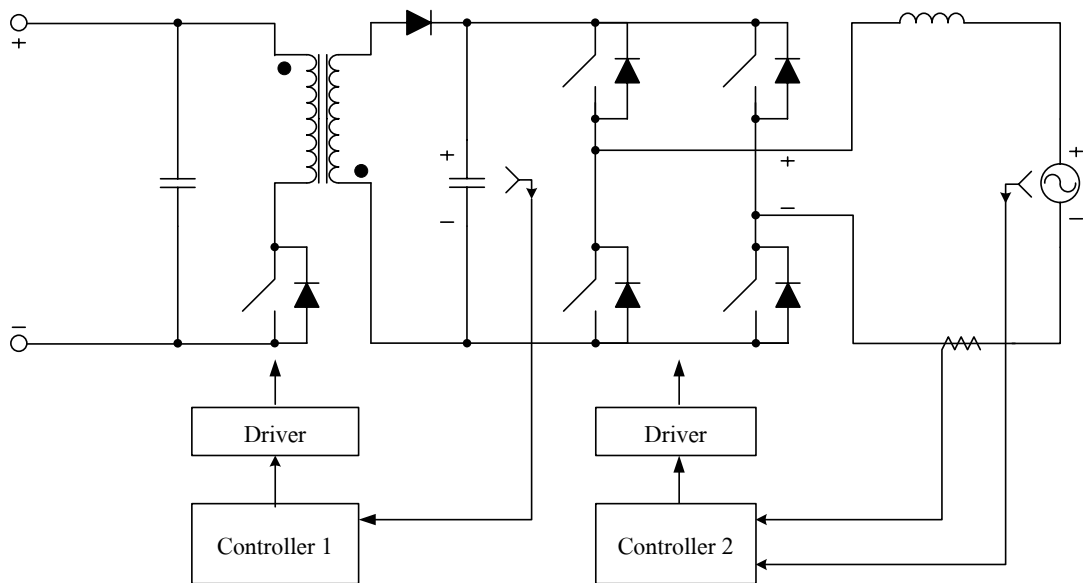
1.4.3 กระตุ้นให้เกิดการวิจัยในหัวข้อที่มีวัตถุประสงค์คล้ายกัน

1.4.4 เสริมสร้างศักยภาพเทคโนโลยีภายในประเทศด้วยตัวเอง

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

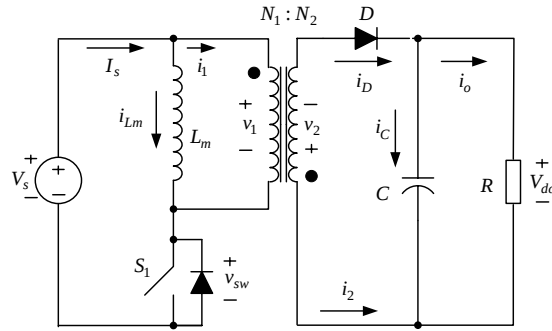
วงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า เป็นวงจรแปลงผันพลังงานที่ได้มาจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้งานอีกรูปแบบหนึ่ง โดยเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงและผ่านเข้าสู่วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายพลังงานกลับคืนให้กับระบบของการไฟฟ้า สำหรับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกล่าวถึงวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเต็มบริดจ์ และการควบคุม โครงสร้างของระบบโดยรวมแสดงดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้า

2.1 วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก เป็นวงจรแปลงผันที่มีหม้อแปลงสวิตช์ ทำหน้าที่ แยกกันทางไฟฟ้าของส่วนด้านเข้ากับส่วนด้านออก และเป็นตัวเหนี่ยวนำให้กับวงจรอีก รูปแบบหนึ่งของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กที่ใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจร ดังแสดงในภาพที่ 2-2

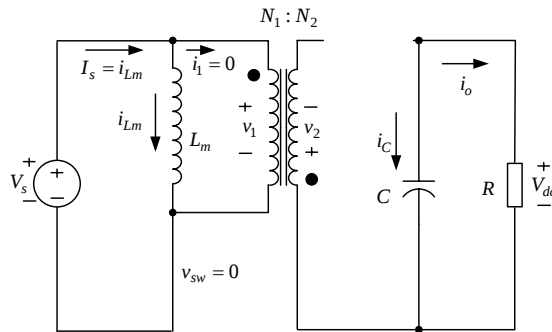


ภาพที่ 2-2 วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

สำหรับการทำงานของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กมีการทำงานคล้ายทำงานของวงจรแปลงผันแบบ บั๊ก-บูสต์ โดยตัวเหนี่ยวนำ (L_m) สะสมพลังงานขณะสวิตช์นำกระแส และคายพลังงานไปยังภาระขณะสวิตช์ไม่นำกระแส การวิเคราะห์การทำงานของวงจรพิจารณาดังนี้

2.1.1 การวิเคราะห์กรณีสวิตช์นำกระแส

พิจารณาด้านเข้าของหม้อแปลงสวิตช์ ดังแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กขณะสวิตช์นำกระแส

$$V_s = L_m \frac{di_{Lm}}{dt} \quad (2-1)$$

$$\frac{\Delta i_{Lm}}{DT} = \frac{V_s}{L_m} \quad (2-2)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหม้อแปลงไฟฟ้าเท่ากับ

$$(\Delta i_{Lm})_{closed} = \frac{V_s DT}{L_m} \quad (2-3)$$

พิจารณาด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงสวิตช์

$$v_2 = V_s \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \quad (2-4)$$

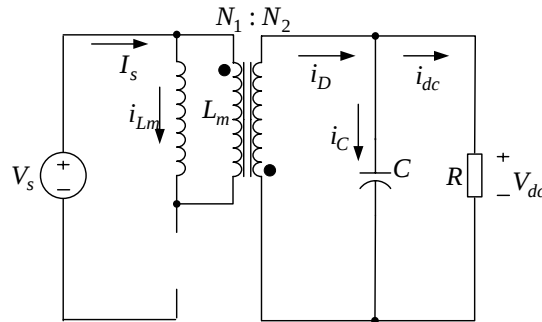
$$v_D = -V_{dc} - V_s \left(\frac{N_2}{N_1} \right) < 0 \quad (2-5)$$

$$i_2 = 0 \quad (2-6)$$

$$i_1 = 0 \quad (2-7)$$

พิจารณาด้านทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากไดโอดไม่นำกระแสเป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทฤษฎีของหม้อแปลงสวิตช์ (i_2) มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งหมายถึงกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงสวิตช์ (i_1) มีค่าเท่ากับศูนย์เช่นกัน

2.1.2 การวิเคราะห์กรณีสวิตช์ไม่นำกระแส



ภาพที่ 2-4 วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กกรณีสวิตช์ไม่นำกระแส ดังภาพที่ 2-4 เมื่อสวิตช์เปลี่ยนสถานะจากนำกระแสมาเป็นไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_m ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด เป็นผลทำให้มีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยกระแสไฟฟ้า (i_{Lm}) ไหลเข้าจุดที่ไม่มีขั้วด้านขดลวดปฐมภูมิ กระแสไฟฟ้าด้านทฤษฎีไหลออกจากจุดที่ไม่มีขั้วและแรงดันไฟฟ้าจะเป็นบวก ณ จุดที่ไม่มีขั้วเช่นกัน ซึ่งทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงและนำกระแส ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำย้อนกลับที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ L_m ด้านปฐมภูมิซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$v_1 = -V_{ds} \frac{N_1}{N_2} \quad (2-8)$$

แรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะสวิตช์ไม่นำกระแสมีค่าเท่ากับ

$$L_m \frac{di_{Lm}}{dt} = -V_{ds} \frac{N_1}{N_2} \quad (2-9)$$

$$\frac{\Delta i_{Lm}}{(1-D)T} = -\frac{V_{dc}}{L_m} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (2-10)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_m เท่ากับ

$$(\Delta i_{Lm})_{opened} = -\frac{V_{dc}(1-D)T}{L_m} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (2-11)$$

เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_m มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจากสมการที่ 2-3 และ สมการที่ 2-11 ได้ดังนี้

$$\left(\frac{V_s D T}{L_m} \right) - \left(\frac{V_{dc} (1-D) T}{L_m} \cdot \frac{N_1}{N_2} \right) = 0 \quad (2-12)$$

แรงดันไฟตรงด้านออกเท่ากับ

$$V_{dc} = V_s \cdot \frac{D}{1-D} \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (2-13)$$

จากสมการที่ 2-13 สังเกตได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าและด้านออกคล้ายกับวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงแบบ บั๊ก บูสต์ แตกต่างกันเพียง ในวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กมีการเพิ่มอัตราส่วนของหม้อแปลง เท่านั้น

สำหรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดด้านออก และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสวิตช์สามารถหาได้ดังนี้

$$i_D = i_{Lm} \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \quad (2-14)$$

$$V_{ds} = V_s + V_{dc} \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \quad (2-15)$$

เมื่อ	V_s	คือ	แรงดันด้านเข้าวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก
	v_1	คือ	แรงดันตกคร่อมด้านขดลวดปฐมภูมิ
	v_2	คือ	แรงดันตกคร่อมด้านขดลวดทุติยภูมิ
	i_1	คือ	กระแสเข้าขดลวดปฐมภูมิ
	i_2	คือ	กระแสออกขดลวดทุติยภูมิ
	N_1	คือ	จำนวนขดลวดด้านปฐมภูมิ
	N_2	คือ	จำนวนขดลวดด้านทุติยภูมิ
	v_D	คือ	แรงดันตกคร่อมไดโอด
	I_D	คือ	กระแสไหลผ่านไดโอด
	L_m	คือ	ตัวเหนี่ยวนำของขดลวดด้านปฐมภูมิ
	i_{Lm}	คือ	กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของขดลวดด้านปฐมภูมิ
	Δi_{Lm}	คือ	อัตราเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของขดลวดด้านปฐมภูมิ
	V_{ds}	คือ	แรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟต
	D	คือ	ดิวตีไซเคิล
	T	คือ	คาบเวลาในการสวิตช์

พิจารณาสมการที่ 2-15 แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์ มีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย เท่ากับ $V_o (N_1/N_2)$ สำหรับรูปคลื่นสัญญาณของกระแสและแรงดันไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 2-5

ในอุดมคติ ค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านออกมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนจากแหล่งจ่าย

$$P_s = P_{dc} \quad (2-16)$$

หรือ
$$V_s I_s = \frac{V_{dc}^2}{R} \quad (2-17)$$

สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าด้านเข้าเฉลี่ย (I_s) จะสัมพันธ์กับค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_m ดังสมการที่ 2-18

$$I_s \frac{(I_{Lm})DT}{T} = (I_{Lm})D \quad (2-18)$$

แทนค่าสมการที่ 2-18 ลงในสมการที่ 2-17 เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้า I_{Lm}

$$V_s I_{Lm} D = \frac{V_{dc}^2}{R} \quad (2-19)$$

$$I_{Lm} = \frac{V_{dc}^2}{V_s D R} \quad (2-20)$$

แทนค่าแรงดันไฟฟ้า V_{dc} ในสมการที่ 2-13 ลงในสมการที่ 2-20 ได้ดังนี้

$$I_{Lm} = \frac{V_{dc}}{(1-D)R} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \quad (2-21)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุดที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_m สามารถหาได้ดังนี้

$$I_{Lm,max} = I_{Lm} + \frac{\Delta i_{Lm}}{2}$$

$$I_{Lm,max} = \frac{V_s D}{(1-D)^2 R} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 + \frac{V_s D T}{2 L_m} \quad (2-22)$$

$$I_{Lm,min} = I_{Lm} - \frac{\Delta i_{Lm}}{2}$$

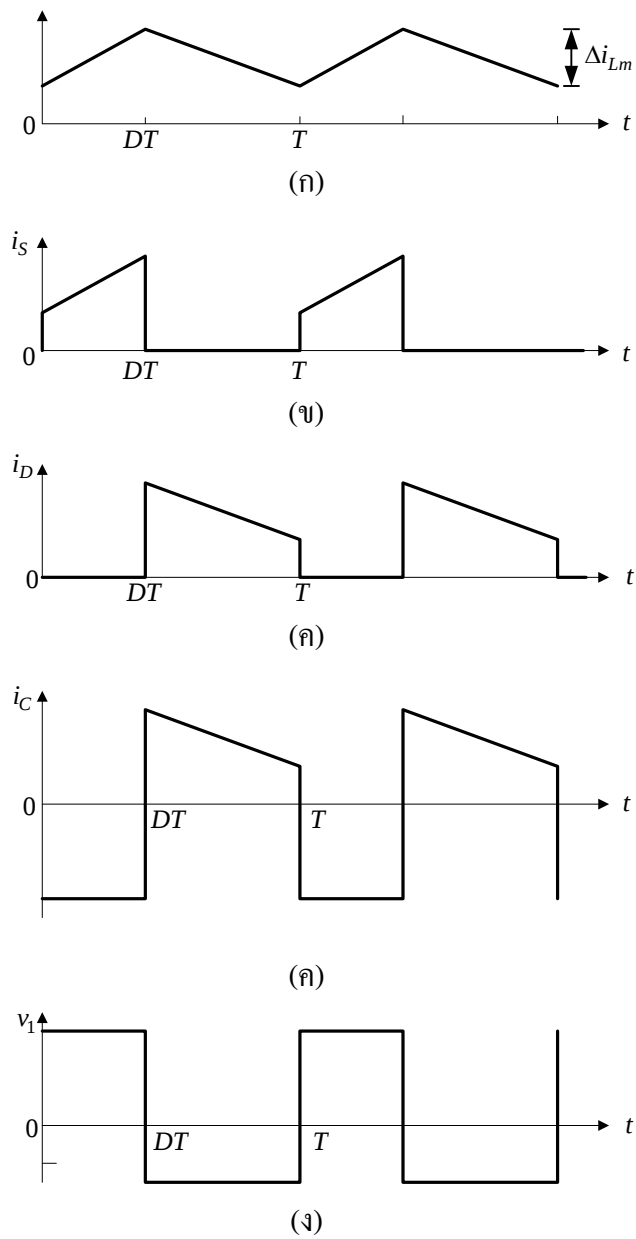
$$I_{Lm,min} = \frac{V_s D}{(1-D)^2 R} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 - \frac{V_s D T}{2 L_m} \quad (2-23)$$

กรณีที่กระแส $I_{Lm,min}$ ในสมการที่ 2-23 มีค่าเท่ากับศูนย์

$$\frac{V_s D}{(1-D)^2 R} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = \frac{V_s D T}{2 L_m f_s} \quad (2-24)$$

การทำงานยังคงอยู่ที่ขอบเขตในโหมดกระแสไหลผ่านต่อเนื่องและค่าความเหนี่ยวนำ L_m ต่ำสุดที่ทำให้กระแสไฟฟ้ายังคงไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องเท่ากับ

$$(L_m)_{min} = \frac{(1-D)^2 R}{2 f_s} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad (2-25)$$



ภาพที่ 2-5 รูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

เนื่องจากโครงสร้างทางด้านออกของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก เหมือนกับวงจรแปลงผันแบบบัก-บูสต์ ดังนั้นค่าระลอกคลื่นด้านออกของวงจรทั้งสองมีค่าเท่ากัน ซึ่งหาได้จากกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ ดังสมการที่ 2-26 มีค่าเท่ากับ

$$\Delta Q = \frac{V_{dc}}{R} DT \quad (2-26)$$

$$\Delta V_{dc} = \frac{DV_{dc}}{R \cdot C \cdot f_s} \quad (2-27)$$

เมื่อ	P_s	คือ	กำลังไฟฟ้าด้านเข้าวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก
	P_{dc}	คือ	กำลังไฟฟ้าด้านออกวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก
	$I_{Lm,max}$	คือ	กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของขดลวดด้านปฐมภูมิมากที่สุด
	$I_{Lm,min}$	คือ	กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของขดลวดด้านปฐมภูมิน้อยสุด
	f_s	คือ	ความถี่สวิตช์
	ΔV_{dc}	คือ	อัตราเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านออกวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก
	R	คือ	ความต้านทาน
	C	คือ	ตัวเก็บประจุ
	ΔQ	คือ	อัตราเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้า

2.1.3 สมการทางคณิตศาสตร์ของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

จากเงื่อนไขที่ $S_1 = 0$ ลักษณะของวงจรแสดงดังภาพที่ 2-3 และหาสมการได้ดังนี้

$$\frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{-V_{dc}}{L_m} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \quad (2-28)$$

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{i_{Lm}}{C} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right) - \frac{V_{dc}}{RC} \quad (2-29)$$

จากเงื่อนไขที่ $S_1 = 1$ ลักษณะของวงจรแสดงดังภาพที่ 2-4 และสมการหาได้ดังนี้

$$\frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{V_s}{L_m} \quad (2-30)$$

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = -\frac{V_{dc}}{RC}$$

(2.31)

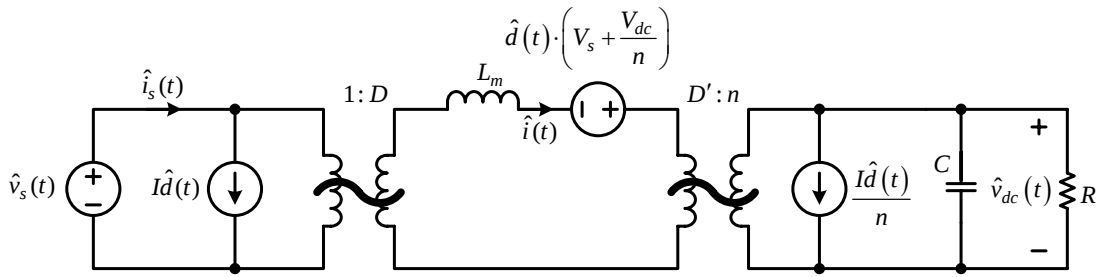
กำหนดสถานะของสวิตช์ S_1 เท่ากับ 1 เมื่อสวิตช์ ON และเท่ากับ 0 เมื่อสวิตช์ OFF และ นำสมการที่ได้จากสมการที่ 2-28 ถึง 2-31 มารวมกันและคูณกับสวิตช์ ดังสมการที่ 2-32 และ 2-33

$$\frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{1}{L_m} \left(S_1 \cdot V_s - (1 - S_1) \cdot V_{dc} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \right) \quad (2-32)$$

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{1}{C} \left((1 - S_1) \cdot i_{Lm} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right) - \frac{V_{dc}}{R} \right) \quad (2-33)$$

สมการที่ 2-32 และ 2-33 จะนำไปใช้ในการเขียนแบบจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรม การทำงานของวงจรต่อไป

2.1.4 ฟังก์ชันโอนย้ายของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก



ภาพที่ 2-6 แบบจำลองวงจรเทียบเคียงสัญญาณขนาดเล็ก

จากสมการที่สมการที่ 2-34 ถึง 2-36 เป็นสมการที่ได้จากแบบจำลองวงจรเทียบเคียงสัญญาณขนาดเล็กของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก จากภาพที่ 2-6

$$L_m \frac{d\hat{i}_{Lm}(t)}{dt} = D\hat{v}_s(t) - \frac{D'}{n}\hat{v}_{dc}(t) + \left(V_s + \frac{V_{dc}}{n}\right)\hat{d}(t) \quad (2-34)$$

$$C \frac{d\hat{v}_{dc}(t)}{dt} = \frac{D'}{n}\hat{i}_{Lm}(t) - \frac{1}{R}\hat{v}_{dc}(t) - \frac{I_{Lm}}{n}\hat{d}(t) \quad (2-35)$$

$$\hat{i}_s(t) = D\hat{i}_{Lm}(t) + I_{Lm}\hat{d}(t) \quad (2-36)$$

- เมื่อ $\hat{v}_s(t)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กเชิงเวลาแรงดันด้านเข้า
 $\hat{i}_{Lm}(t)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กเชิงเวลากระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำขดลวดด้านปฐมภูมิ
 $\hat{v}_{dc}(t)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กเชิงเวลาแรงดันด้านออกวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก
 $\hat{d}(t)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กเชิงเวลาของคัตตีไซเคิล
 D' คือ $1-D$

วงจรประกอบด้วย สัญญาณด้านเข้าสองสัญญาณ คือ สัญญาณ $\hat{d}(t)$ และสัญญาณ $\hat{v}_s(t)$ สำหรับสัญญาณขนาดเล็กด้านขาออก $\hat{v}_{dc}$ ประกอบไปด้วยเทอมของสัญญาณทั้งสอง ทำการวิเคราะห์เชิงความถี่โดยการแปลงลาปาส จะได้ดังสมการที่ 2-37

$$\hat{v}_{dc}(s) = G_{vd}(s)\hat{d}(s) + G_{vs}(s)\hat{v}_s(s) \quad (2-37)$$

ทำการแปลงลาปาส สมการที่ 2-34 และ 2-35

$$sL_m\hat{i}_{Lm}(s) = D\hat{v}_s(s) - \frac{D'}{n}\hat{v}_{dc}(s) + \left(V_s + \frac{V_{dc}}{n}\right)\hat{d}(s) \quad (2-38)$$

$$sC\hat{v}_{dc}(s) = \frac{D'}{n}\hat{i}_{Lm}(s) - \frac{1}{R}\hat{v}_{dc}(s) - \frac{I_{Lm}}{n}\hat{d}(s) \quad (2-39)$$

จากสมการที่ 2-38 สามารถหา $\hat{i}_{Lm}(s)$ ได้ดังสมการที่ 2-40

$$\hat{i}_{Lm}(s) = \frac{D\hat{v}_s(s) - \frac{D'}{n}\hat{v}_{dc}(s) + \left(V_s + \frac{V_{dc}}{n}\right)\hat{d}(s)}{sL_m} \quad (2-40)$$

แทนค่ากระแส $\hat{i}_{Lm}(s)$ จากสมการที่ 2-40 ลงในสมการที่ 2-39

$$sC\hat{v}_{dc}(s) = \frac{D'}{nL_m} \left(D\hat{v}_s(s) - \frac{D'}{n}\hat{v}_{dc}(s) + \left(V_s + \frac{V_{dc}}{n}\right)\hat{d}(s) \right) - \frac{1}{R}\hat{v}_{dc}(s) - \frac{I_{Lm}}{n}\hat{d}(s) \quad (2-41)$$

จากสมการที่ 2-41 หาแรงดัน $\hat{v}_{dc}(s)$ ได้ดังแสดงในสมการที่ 2-42

$$\hat{v}_{dc}(s) = \frac{\frac{D'D}{\frac{D'^2}{n} + s\frac{nL_m}{R} + s^2nL_mC}}{\cdot \hat{v}_s(s) + \frac{D'\left(V_s + \frac{V_{dc}}{n}\right) - s\frac{L_mI_{Lm}}{n}}{\frac{D'^2}{n} + s\frac{nL_m}{R} + s^2nL_mC}} \cdot \hat{d}(s) \quad (2-42)$$

เมื่อ $\hat{v}_s(s)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กเชิงความถี่แรงดันด้านเข้า

$\hat{i}_{Lm}(s)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กเชิงความถี่กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำคลวดด้านปฐมภูมิ

$\hat{v}_{dc}(s)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กเชิงความถี่แรงดันด้านออกวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

$\hat{d}(s)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กเชิงความถี่ของดิวตี้ไซเคิล

$G_{vd}(s)$ คือ ฟังก์ชันโอนย้ายของสัญญาณควบคุมไปยังด้านออก

$G_{vs}(s)$ คือ ฟังก์ชันโอนย้ายของแรงดันด้านเข้าไปยังด้านออก

ดังนั้นจากสมการที่ 2-42 ฟังก์ชันโอนย้ายของสัญญาณควบคุมไปยังด้านออกสามารถหาได้ดังนี้

$$G_{vd}(s) = \left. \frac{\hat{v}_{dc}(s)}{\hat{d}(s)} \right|_{\hat{v}_s(s)=0} = \frac{n}{D'} \left(V_s + \frac{V_{dc}}{n} \right) \frac{\left(1 - s \frac{L_m I_{Lm}}{nD' \left(V_s + \frac{V_{dc}}{n} \right)} \right)}{\left(1 + s \frac{n^2 L_m}{RD'^2} + s^2 \frac{n^2 L_m C}{D'^2} \right)} \quad (2-43)$$

$$G_{vd}(s) = G_{d0} \frac{\left(1 - \frac{s}{\omega_z} \right)}{\left(1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0} \right)^2 \right)} \quad (2-44)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 2-42 และ 2-43 จะพบว่า

$$G_{d0} = \frac{n}{D'} \left(V_s + \frac{V_{dc}}{n} \right) = \frac{V_{dc}}{DD'} \quad (2-45)$$

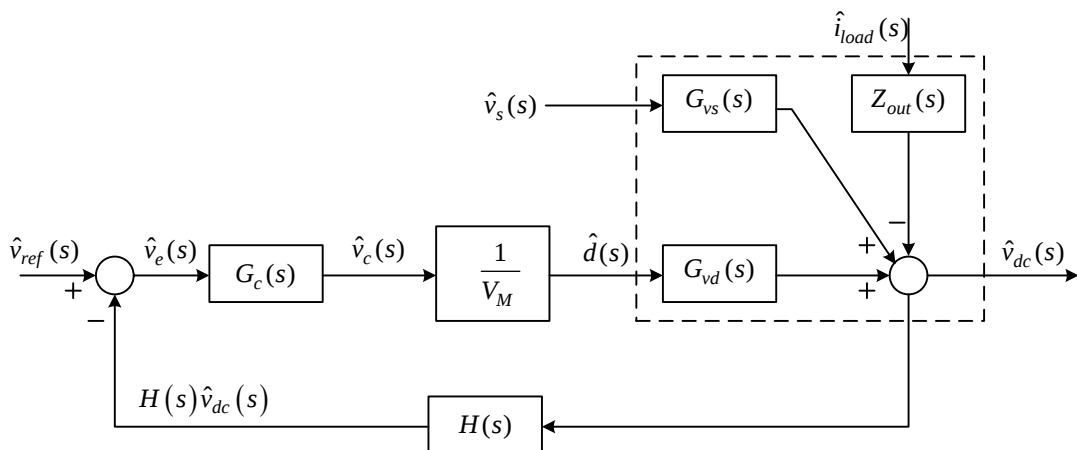
$$\omega_z = \frac{nD' \left(V_s + \frac{V_{dc}}{n} \right)}{L_m I_{Lm}} = \frac{RD'^2}{nL_m D} \quad (2-46)$$

$$\omega_0 = \frac{D'}{n\sqrt{L_m C}} \quad (2-47)$$

$$Q = \frac{RD'}{n} \cdot \sqrt{\frac{C}{L_m}} \quad (2-48)$$

2.2 การควบคุมแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

จากภาพที่ 2-7 เป็นการแสดงการควบคุมแรงดันทางด้านออกของวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรง สำหรับการวิเคราะห์ ทำการออกแบบโดยการพิจารณาที่เกณฑ์เสถียรภาพของระบบโดยใช้เกณฑ์ของ เรท-เฮอวิตซ์ (Routh-Hurwitz Criterion) ในการวิเคราะห์ ซึ่งทำให้สามารถทราบถึงค่าเกณฑ์ของตัวแปร PI ที่ทำให้ระบบมีเสถียรภาพได้



ภาพที่ 2-7 แผนภาพบล็อกการควบคุมวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

เมื่อ $G_c(s)$ คือ ฟังก์ชันระบบควบคุม

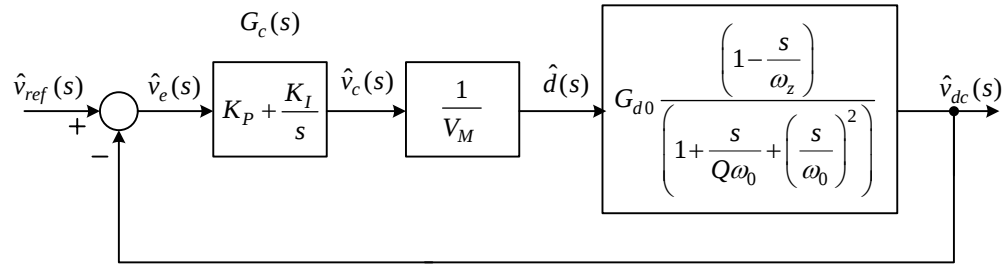
$H(s)$ คือ ฟังก์ชันตรวจวัดป้อนกลับ

$Z_{out}(s)$ คือ ฟังก์ชันโหลดอิมพีแดนซ์ด้านออก

$\hat{v}_{ref}(s)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กระบบความถี่แรงดันอ้างอิง

$\hat{v}_e(s)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กระบบความถี่แรงดันผิดพลาด

$\hat{v}_c(s)$ คือ สัญญาณขนาดเล็กระบบความถี่แรงดันควบคุม



ภาพที่ 2-8 แผนภาพบล็อกการควบคุมแรงดันด้านออก

2.2.1 การหาเสถียรภาพของระบบโดยใช้เกณฑ์ของ เรท-เฮอวิทซ์

จากภาพที่ 2-15 พิจารณาที่วงรอบเปิดเขียนสมการคุณลักษณะ (Characteristic Equation)

ได้ดังสมการที่ 2-49 และ 2-50

$$1 + \left(K_p + \frac{K_I}{s} \right) \cdot \left(\frac{G_{d0}}{V_M} \right) \cdot \left(\frac{1 - \frac{s}{\omega_z}}{1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0} \right)^2} \right) = 0 \quad (2-49)$$

$$\omega_z Q s^3 + (\omega_z \omega_0 - K_p G_{d0} \omega_0^2 Q) s^2 + ((1 + K_p G_{d0}) \omega_z - K_I G_{d0}) \omega_0^2 Q s + K_I G_{d0} \omega_z \omega_0^2 Q = 0 \quad (2-50)$$

นำสมการที่ 2-50 ซึ่งเป็นสมการคุณลักษณะมาทำการวิเคราะห์เพื่อทำการตรวจสอบ

เสถียรภาพของระบบ ดังสมการที่ 2-51

$$\begin{array}{c|ccc} s^3 & \omega_z Q & & ((1 + K_p G_{d0}) \omega_z - K_I G_{d0}) \omega_0^2 Q \\ s^2 & \omega_z \omega_0 - K_p G_{d0} \omega_0^2 Q & & K_I G_{d0} \omega_z \omega_0^2 Q \\ s^1 & ((1 + K_p G_{d0}) \omega_z - K_I G_{d0}) \omega_0^2 Q - \frac{K_I G_{d0} \omega_0 (\omega_z Q)^2}{\omega_z - K_p G_{d0} \omega_0 Q} & & 0 \\ s^0 & K_I G_{d0} \omega_z \omega_0^2 Q & & \end{array} \quad (2-51)$$

พิจารณาที่ คอลัมน์ที่ 1 ค่าในตำแหน่งนี้ ทุกแถวจะต้องมีค่ามากกว่า 0 สำหรับในแถวที่ S^2 วิเคราะห์หาค่า K_p ที่ทำให้ระบบยังคงมีเสถียรภาพได้ดังนี้

$$\omega_z \omega_0 - K_p G_{d0} \omega_0^2 Q > 0 \quad (2-52)$$

$$K_p < \frac{\omega_z}{G_{d0} \omega_0 Q} \quad (2-53)$$

สำหรับในแถวที่ S^0 วิเคราะห์หาค่า K_I ที่ทำให้ระบบยังคงมีเสถียรภาพได้ดังนี้

$$K_I G_{d0} \omega_z \omega_0^2 Q > 0 \quad (2-54)$$

$$K_I > 0 \quad (2-55)$$

สำหรับในแถวที่ S^1 แทนค่า $K_I = 0$ วิเคราะห์หาค่า K_P ที่ทำให้ระบบมีเสถียรภาพได้ดังนี้

$$(1 + K_P G_{d0}) \omega_z \omega_0^2 Q > 0 \quad (2-56)$$

$$K_P > \frac{-1}{G_{d0}} \quad (2-57)$$

จากสมการที่ 2-53 ,2-54 และ 2-57 ทำให้พอที่จะทราบค่าของ PI ที่ยังทำให้ระบบมีเสถียรภาพได้ดังนี้

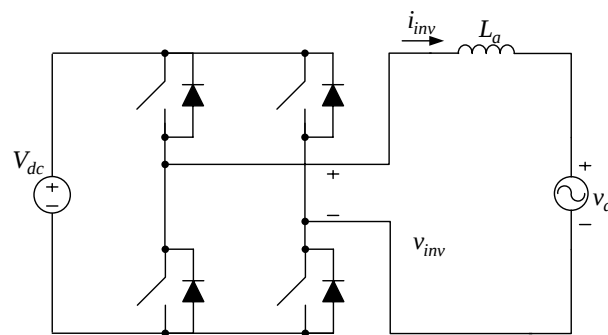
$$\frac{-1}{G_{d0}} < K_P < \frac{\omega_z}{G_{d0} \omega_0 Q} \quad (2-58)$$

$$K_I > 0$$

จากการวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์ของ เรท-เฮอวิตซ์ สามารถหาค่าเกณฑ์ของ PI ที่ทำให้ระบบมีเสถียรภาพได้

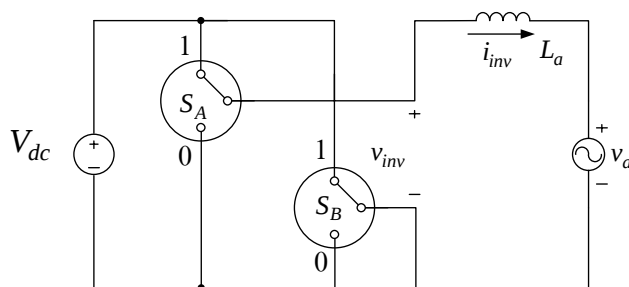
2.3 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้าสลับแบบเต็มบริดจ์

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเต็มบริดจ์เมื่อเทียบกับวงจรแบบครึ่งบริดจ์ วงจรแบบเต็มบริดจ์มีความต้องการแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าต่ำกว่าแบบครึ่งบริดจ์และจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบครึ่งบริดจ์สองเท่า ในภาพที่ 2-9 แสดงลักษณะของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเต็มบริดจ์ที่เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_a เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์ของวงจรเพื่อใช้ในการจำลองการทำงาน จึงทำการปรับวงจรโดยแทนสวิทช์ S_A และ



ภาพที่ 2-9 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเต็มบริดจ์

จากภาพที่ 2-10 ประกอบด้วยสวิทช์ 2 ตัวคือ S_A และ S_B โดยที่ S_A จะแทนการสวิทช์ในกึ่ง A และ S_B จะแทนการสวิทช์ในกึ่ง B และเงื่อนไขการสวิทช์แสดงดังตารางที่ 2-1

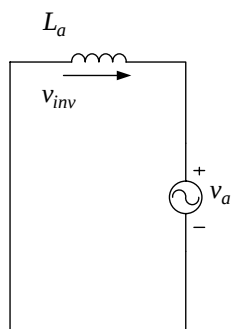


ภาพที่ 2-10 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเต็มบริดจ์ที่ปรับวงจรใหม่

ตารางที่ 2-1 เงื่อนไขการสวิตช์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

เงื่อนไขที่	S_B	S_A
1	0	0
2	0	1
3	1	0
4	1	1

2.3.1 ขณะที่ $S_B = 0, S_A = 0$ และ $S_B = 1, S_A = 1$ ลักษณะของวงจรแสดงดังภาพที่ 2-11 และสามารถหาสมการได้ดังนี้

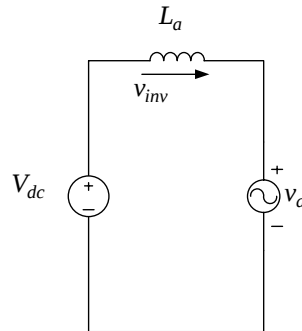


ภาพที่ 2-11 วงจรขณะที่ $S_B = 0, S_A = 0$ และ $S_B = 1, S_A = 1$

$$v_{inv} = 0 \quad (2-59)$$

$$\frac{di_{inv}}{dt} = \frac{-v_a}{L_a} \quad (2-60)$$

2.3.2 จากเงื่อนไขที่ $S_B = 0, S_A = 1$ ลักษณะของวงจรแสดงดังภาพที่ 2-12 และสามารถหาสมการได้ดังนี้

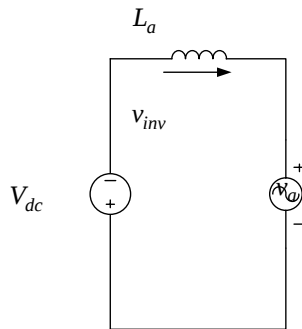


ภาพที่ 2-12 วงจรขณะที่ยุ่ $S_B = 0, S_A = 1$

$$v_{inv} = V_{dc} \quad (2-61)$$

$$\frac{di_{inv}}{dt} = \frac{V_{dc} - v_a}{L_a} \quad (2-62)$$

2.3.3 จากเงื่อนไขที่ $S_B = 1, S_A = 0$ ลักษณะของวงจรแสดงดังภาพที่ 2-13 และสามารถหาสมการได้ดังนี้



ภาพที่ 2-13 วงจรขณะที่ยุ่ $S_B = 1, S_A = 0$

$$v_{inv} = -V_{dc} \quad (2-63)$$

$$\frac{di_{inv}}{dt} = \frac{-V_{dc} - v_a}{L_a} \quad (2-64)$$

กำหนดสถานะของสวิตช์ S_B และ S_A เท่ากับ 1 เมื่อสวิตช์ ON และเท่ากับ 0 เมื่อสวิตช์ OFF และ นำสมการที่ได้ในแต่ละเงื่อนไขจากสมการที่ 2-59 ถึง 2-64 รวมกันและคูณกับสวิตช์ ดังสมการที่ 2-65 และ 2-66

$$v_{inv} = S_A \cdot (1 - S_B) \cdot V_{dc} - (1 - S_A) \cdot S_B \cdot V_{dc} \quad (2-65)$$

$$\frac{di_{inv}}{dt} = \frac{1}{L_a} [S_A \cdot (1 - S_B) \cdot V_{dc} - (1 - S_A) \cdot S_B \cdot V_{dc} - v_a] \quad (2-66)$$

เมื่อ V_{dc} คือ แรงดันด้านเข้าวงจรแปลงผัน

v_{inv} คือ แรงดันด้านออกวงจรแปลงผัน

v_a คือ แรงดันการไฟฟ้า

L_a คือ ตัวเหนี่ยวนำทางด้านออกของวงจร

2.4 การควบคุมกระแสด้านออกวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

เมื่อพิจารณาจากสมการเฟสเซอร์ ดังสมการที่ 2-9 ถึงสมการที่ 2-11 จะเห็นได้ว่ากระแสด้านออก i_{inv} เข้าจังหวะกับแรงดันการไฟฟ้า v_a ได้ โดยการทำให้มุมต่างเฟสของแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ V_{La} นำหน้าเฟสแรงดันการไฟฟ้า V_a ให้น้ำหนั้อยู่ 90° ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับเฟสแรงดัน V_{inv} ดังแสดงในภาพที่ 2-14

$$V_{La} = V_{inv} - V_a \quad (2-67)$$

$$V_{La} = j\omega L_a I_{inv} \quad (2-68)$$

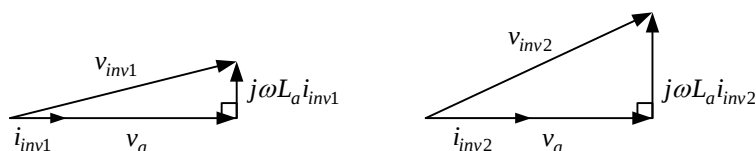
$$I_{inv} = \frac{V_{inv} - V_a}{j\omega L_a} \quad (2-69)$$

เมื่อ V_{La} คือ เฟสเซอร์แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำด้านออกของวงจร

V_{inv} คือ เฟสเซอร์แรงดันด้านออกวงจรแปลงผัน

V_a คือ เฟสเซอร์แรงดันการไฟฟ้า

I_{inv} คือ เฟสเซอร์กระแสด้านออกวงจรแปลงผัน



ภาพที่ 2-14 แผนภาพเฟสเซอร์กรณีเฟสของกระแส i_{inv} ตรงกับเฟสเซอร์ของแรงดัน v_a

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 2-14 พบว่าสามารถควบคุมกระแสให้เข้าจังหวะกับแรงดันการไฟฟ้า และมีขนาดตามที่กำหนดได้โดยการสร้างค่าอ้างอิงแรงดันด้านออกวงจรแปลงผัน V_{inv}^* ที่เหมาะสม

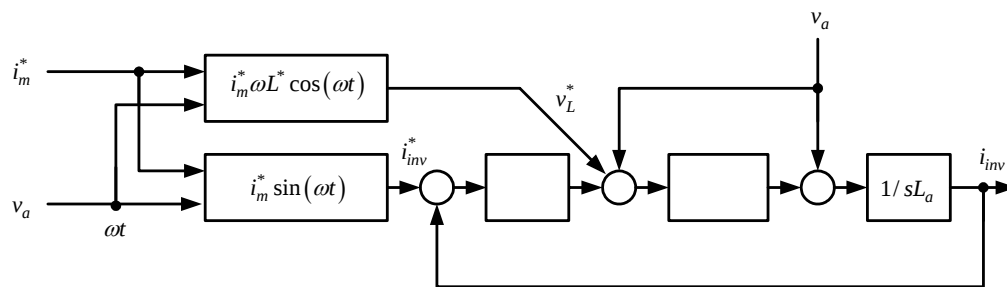
ในการควบคุมใช้วิธีการสร้างแรงดันไฟตรงเป็นไฟสลับจากการป้อนไปหน้าของแรงดันการไฟฟ้า v_a และชดเชยแรงดันคร่อมตัวเหนี่ยวนำตามที่ได้อ้างไว้ในช่วงต้น นอกจากนี้ยังเพิ่มวงรอบการป้อนกลับค่ากระแสเพื่อลดความผิดพลาดจากการมอดูเลตความกว้างพัลส์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและความผิดพลาดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งความผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจวัด ดังแสดงในสมการที่ 2-70 ดังแสดงในภาพที่ 2-15 เพื่อให้กระแส

ด้านออกของอินเวอร์เตอร์เข้าจังหวะกับแรงดันการไฟฟ้า ค่ากระแสที่ใช้อ้างอิงของการควบคุมแบบป้อนกลับถูกสร้างขึ้นจากสมการที่ 2-71

$$v_{inv}^* = v_a + i_m^* \omega L_a^* \cos(\omega t) + K_p (i_{inv}^* - i_{inv}) + K_I \int (i_{inv}^* - i_{inv}) dt \quad (2-70)$$

$$i_{inv}^* = i_m^* \sin(\omega t) \quad (2-71)$$

เมื่อ v_{inv}^* คือ ค่าอ้างอิงแรงดันด้านออกวงจรแปลงผัน
 L_a^* คือ ค่าอ้างอิงตัวเหนี่ยวนำด้านออกวงจรแปลงผัน
 i_m^* คือ ค่าอ้างอิงค่ายอดกระแสด้านออกวงจรแปลงผัน



ภาพที่ 2-15 แผนภาพบล็อกการควบคุมกระแส

สำหรับการหาค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม PI ใช้วิธีการหาเสถียรภาพของระบบโดยใช้เกณฑ์ของเรท-เฮอวิทซ์ ซึ่งค่าของเกณฑ์ที่ได้คือ $K_p > 0$ และ $K_I > 0$

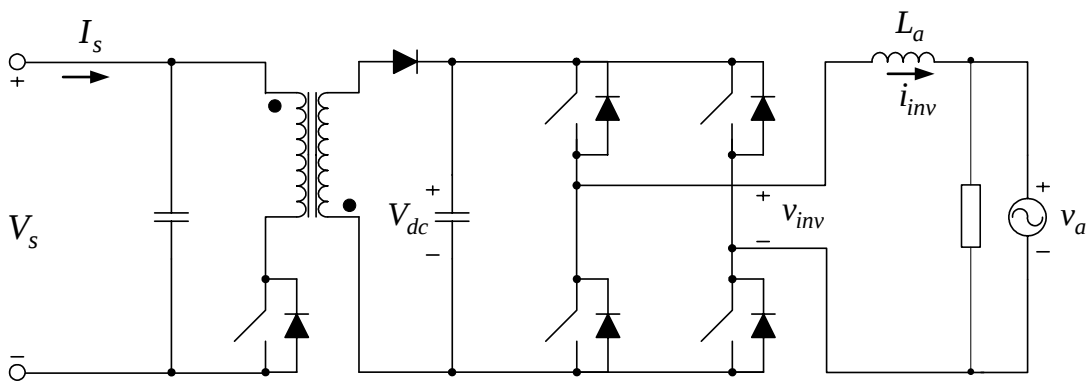
2.5 สรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์ ของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเต็มบริดจ์ เพื่อใช้ในการจำลองการทำงาน of ระบบ โดยใช้ Simulink ในโปรแกรมของ MATLAB สร้างแบบจำลองขึ้นมาและการหาค่าเกณฑ์ของ PI โดยใช้เกณฑ์ของ เรท-เฮอวิทซ์ ซึ่งวิธีการนี้จะไม่สามารถระบุค่าเกณฑ์ PI ที่แน่นอนได้ แต่จะบอกช่วงของค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมได้ ซึ่งในการสร้างทดสอบและสร้างจริงจะใช้เป็นแนวทางในการปรับค่าเกณฑ์ PI ของระบบให้ระบบมีเสถียรภาพที่ดีและสามารถควบคุมได้ตรงตรงขอบเขตที่กำหนดไว้

บทที่ 3

การจำลองระบบและการออกแบบสร้างระบบต้นแบบ

ในบทนี้เป็นการจำลองการทำงานโดยใช้ Simulink ของโปรแกรม MATLAB เพื่อศึกษาการทำงานของระบบของแบบจำลองวงจรที่สร้างขึ้นในการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าและออกแบบสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า วงจรภาคกำลัง วงจรภาคควบคุม และวงจรภาคแหล่งจ่าย



ภาพที่ 3-1 วงจรระบบที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

จากทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 เพื่อเป็นการศึกษาการทำงานของระบบ ในภาพที่ 3-1 แสดงวงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงาน โดยการจำลองการทำงานจะจำลองการทำงานที่พิกัดกำลังไฟฟ้าด้านออกสูงสุด 160 W และนำโหลดต่อเข้าไปในระบบดังภาพ เพื่อทำการจำลองพฤติกรรมของกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และกระแสที่ระบบของการไฟฟ้า โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง ดังนี้

วงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ

$$v_a = 220 \text{ V}, \quad f = 50 \text{ Hz},$$

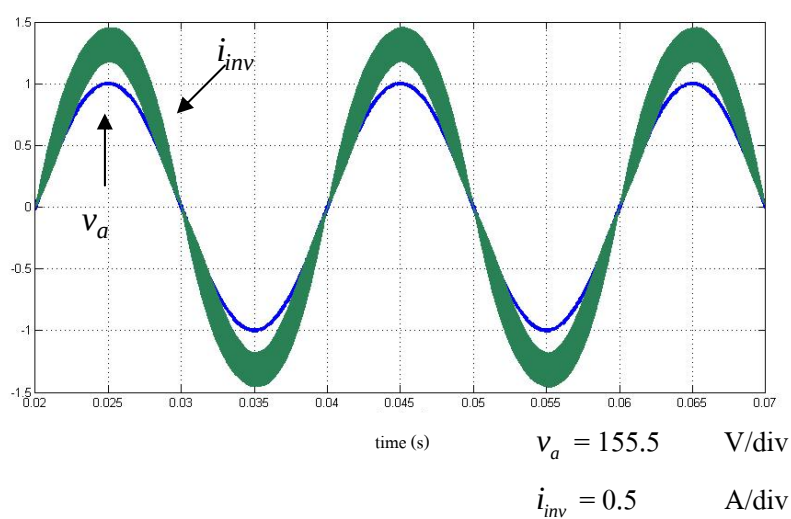
$$L_a = 3 \text{ mH}, \quad f_{sw} = 30 \text{ kHz},$$

วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

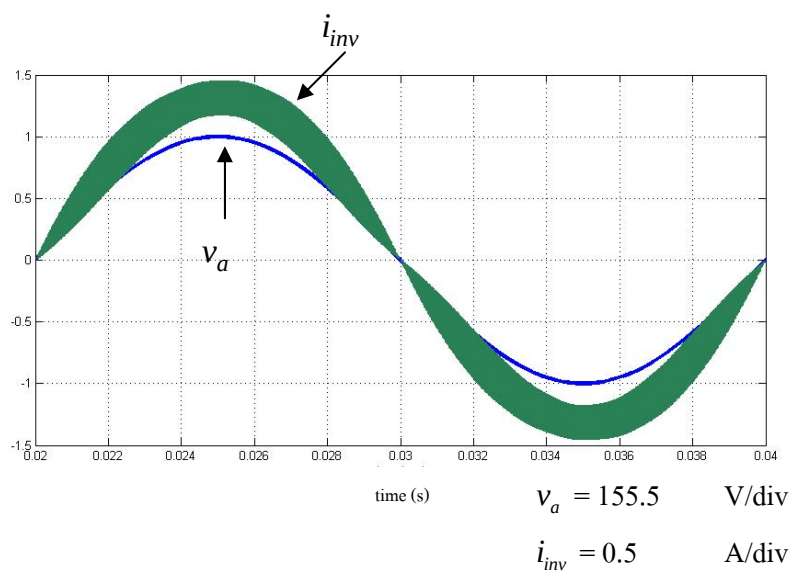
$$V_s = 36 \text{ V}, V_{dc} = 400 \text{ V}, n = 11, L_m = 120 \mu\text{H}, C = 220 \mu\text{F}, f_{sw} = 30 \text{ kHz}$$

$$D=0.5, K_p = 4 \text{ และ } K_I = 4$$

3.1.1 จำลองการทำงานที่กำลังด้านออก 160 W



ภาพที่ 3-2 รูปคลื่นกระแสด้านออกและแรงดันการไฟฟ้า ที่พิกัด 160 W



ภาพที่ 3-3 ภาพขยายรูปคลื่นกระแสด้านออกและแรงดันการไฟฟ้า ที่พิกัด 160 W

ในการจำลองนี้เป็นการจำลองเพื่อศึกษาลักษณะของกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเทียบกับแรงดันการไฟฟ้าที่พิกัดกำลังไฟฟ้าด้านออกสูงสุด 160 W

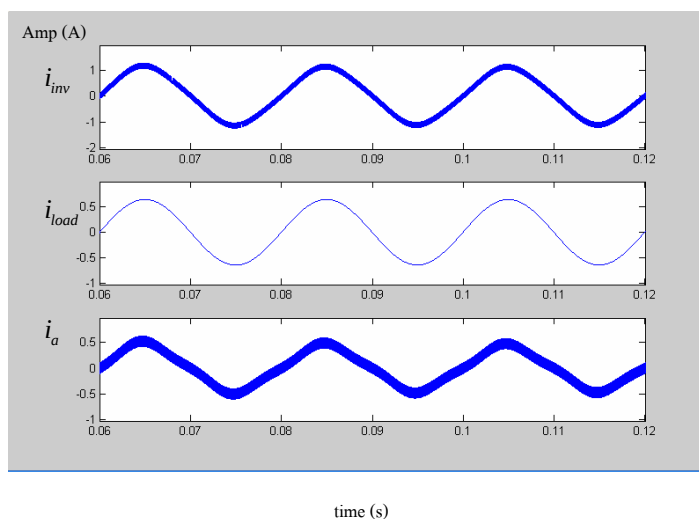
จากภาพที่ 3-2 เป็นรูปสัญญาณของกระแสด้านออกของวงจรเทียบกับแรงดันการไฟฟ้าซึ่งได้จากการจำลอง พบว่า กระแสเข้าจ้งหะกับแรงดันการไฟฟ้าและตรงเฟสกัน กำลังไฟฟ้าขนาด 160 W สำหรับในภาพที่ 3-3 เป็นภาพขยายเพื่อแสดงให้เห็นรูปสัญญาณได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3.1.2 จำลองการทำงานที่กําลังด้านออก 160 วัตต์ต่อโหลด

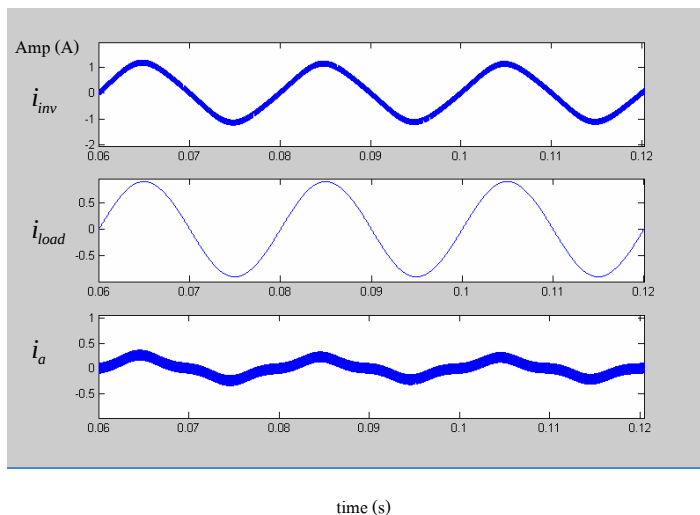
ในการจำลองการทำงานนี้เป็นการจำลองการทำงานเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และกระแสที่ระบบของการไฟฟ้าเมื่อมีการต่อโหลดและเปลี่ยนแปลงค่าโหลด

ในภาพที่ 3-4 และ 3-5 จะพบว่าจากการจำลองโดยการต่อโหลดและทำการเพิ่มค่าโหลด กระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่กระแสที่จ่ายให้กับระบบของการไฟฟ้ามีขนาดลดลง

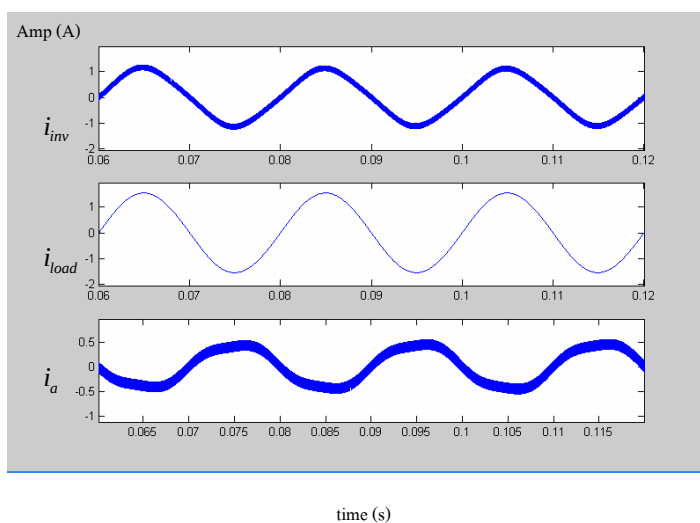
ในภาพที่ 3-6 เมื่อมีการเพิ่มค่าโหลดมากกว่าพิกัดกำลังไฟฟ้าด้านออกสูงสุดของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ กระแสด้านออกของวงจรไม่เปลี่ยนแปลงแต่ กระแสที่ระบบของการไฟฟ้ากลับเฟส 180°



ภาพที่ 3-4 ภาพสัญญาณกระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ขณะต่อโหลด 100W



ภาพที่ 3-5 ภาพสัญญาณกระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ขณะต่อโหลด โหลด 140W



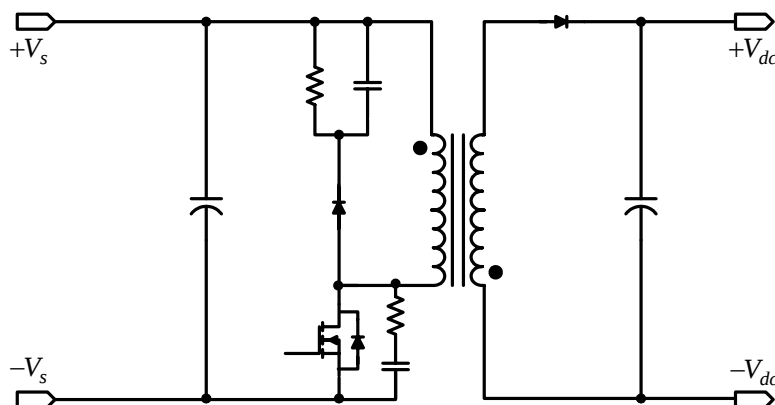
ภาพที่ 3-6 ภาพสัญญาณกระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ขณะต่อโหลด 240W

3.2 การออกแบบวงจรภาคกำลัง

วงจรภาคกำลังของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับแบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าจะประกอบด้วย วงจรภาคกำลังสองส่วนต่อร่วมกัน คือ วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กและวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับโดยจะกล่าวถึงการออกแบบวงจรทั้งสองตามลำดับ

3.2.1 วงจรภาคกำลังวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กทำหน้าที่เพิ่มแรงดันทางด้านเข้า สูงขึ้นเป็น 400 V



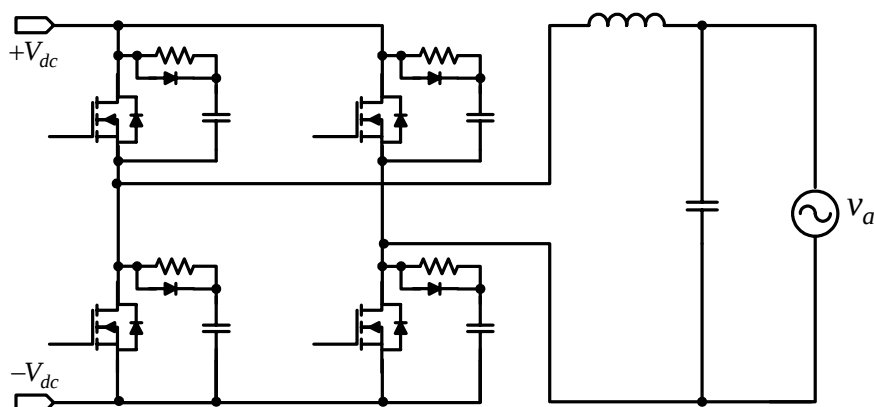
ภาพที่ 3-7 ภาคกำลังของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

จากภาพที่ 3-7 ในการออกแบบเลือกใช้ MOSFET เบอร์ IRFP250N เป็นสวิตช์กำลัง เนื่องจากมีอัตราทรานส์คอนดักชันและแรงดันได้สูง ราคาถูก สำหรับวงจรสับเบอร์เป็นส่วนที่เพิ่มเข้ามาในวงจรซึ่งจะเห็นได้ว่าจะต่อไว้สองแบบ โดยวงจรสับเบอร์ที่ต่อคร่อมด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงสวิตช์ จะช่วยจำกัดค่ายอดแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ขณะสวิตช์ หยุดนำกระแสไม่ให้สูงเกินกว่าที่กำหนด และวงจรสับเบอร์ที่ต่อคร่อมสวิตช์เพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมสวิตช์ ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ ลดลงได้ทันกัน ซึ่งจะทำให้กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในสวิตช์มีค่าต่ำแต่จะไปสูญเสียที่ตัวต้านทานของวงจรสับเบอร์แทน สำหรับหม้อแปลงสวิตช์จะทำหน้าที่เป็นทั้งหม้อแปลงและตัวเหนี่ยวนำซึ่งในการออกแบบจะอธิบายในภาคผนวก

3.2.2 วงจรภาคกำลังวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

ด้านเข้าของวงจรจะเชื่อมต่อกับภาคกำลังของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก ด้านออกของวงจรจะเชื่อมต่อกับแรงดันการไฟฟ้าโดยผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ

จากภาพที่ 3-8 ในการออกใช้ MOSFET เบอร์ IRFBC30 ที่มีพิกัด ทนแรงดัน 600 V 3.6 A เป็นสวิตช์กำลังเนื่องจากแรงดันด้าน V_{dc} เท่ากับ 400 V จึงเลือกอุปกรณ์ให้สามารถทนแรงดันได้เป็น 1.5 เท่าของแรงดันด้านเข้า และป้องกันด้วยวงจร RCD สับเบอร์เพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมสวิตช์ ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านตัว สวิตช์ลดลงได้ทันกันซึ่งจะทำให้กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นใน สวิตช์ มีค่าต่ำแต่จะไปสูญเสียที่ตัวต้านทานของวงจรสับเบอร์แทน สำหรับวงจรกรองความถี่ต่ำที่ต่อระหว่างด้านออกของวงจรกับแรงดันการไฟฟ้าเป็นวงจร LC โดยค่าตัวเหนี่ยวนำที่นำมาต่อ มีค่าเท่ากับ 3 mH และ ตัวเก็บประจุ เท่ากับ 0.1 μ F



ภาพที่ 3-8 วงจรภาคกำลังวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ

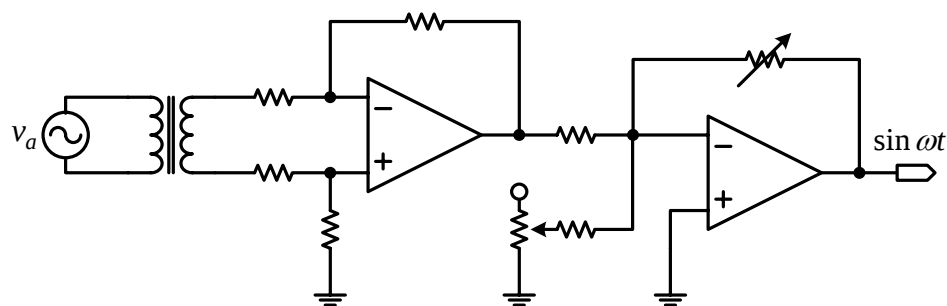
3.3 การออกแบบวงจรควบคุม

สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณ วงจรควบคุมทั้งในส่วน
ของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กและวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ

3.3.1 วงจรตรวจจับสัญญาณไซน์

เป็นวงจรที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อสร้างสัญญาณไซน์ขนาดยอดของสัญญาณ 1 V เพื่อใช้เป็น
สัญญาณอ้างอิงในการควบคุมให้กระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็น
ไฟกระแสสลับเข้าจังหวะกับแรงดันการไฟฟ้า แต่เนื่องจากตัวควบคุมที่สร้างขึ้นเป็น
ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้สามารถอ่านสัญญาณได้เข้าใจ จึงจำเป็นต้องเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้า
กระแสตรงขึ้นอีก 2.5 V

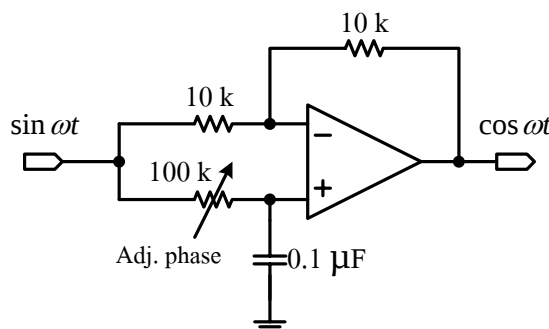
จากภาพที่ 3-9 ลักษณะของวงจรใช้หม้อแปลงไฟฟ้า ที่ให้แรงดันด้านออก 12 V เป็นตัว
ลดทอนแรงดันการไฟฟ้าที่ทำการเชื่อมต่อ จากนั้นใช้วงจรขยายผลต่างและลดทอนขนาดของ
สัญญาณลงก่อนที่จะทำการกลับเฟสสัญญาณและยกระดับแรงดันขึ้นอีก 2.5 V



ภาพที่ 3-9 ภาควงจรตรวจจับสัญญาณไซน์

3.3.2 วงจรสร้างสัญญาณโคไซน์

เป็นวงจรที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อสร้างสัญญาณโคไซน์ขนาดยอดของสัญญาณ 1 V ซึ่งจะวงจรเลื่อนเฟสสัญญาณ $\sin \omega t$ ไปอีก $\frac{\pi}{2}$ ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจะเป็น $\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ เพื่อใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงของแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ L_a ในการชดเชยแรงดันดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2

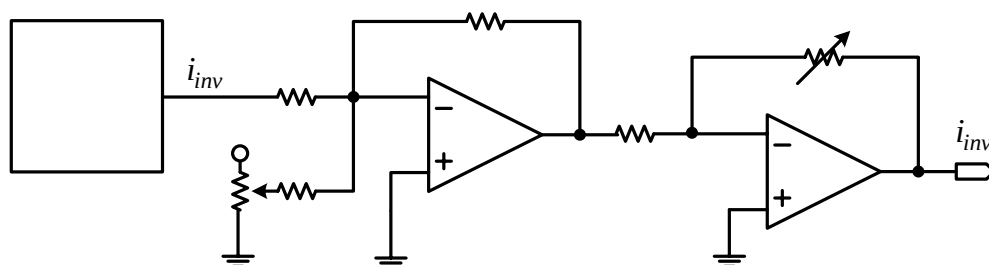


ภาพที่ 3-10 วงจรสร้างสัญญาณโคไซน์

จากภาพที่ 3-10 ลักษณะของวงจรใช้ออปแอมป์ต่อเป็นวงจรเลื่อนเฟสสัญญาณไปข้างหน้า โดยการปรับที่ตัวต้านทาน 100 k

3.3.3 วงจรตรวจจับกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ

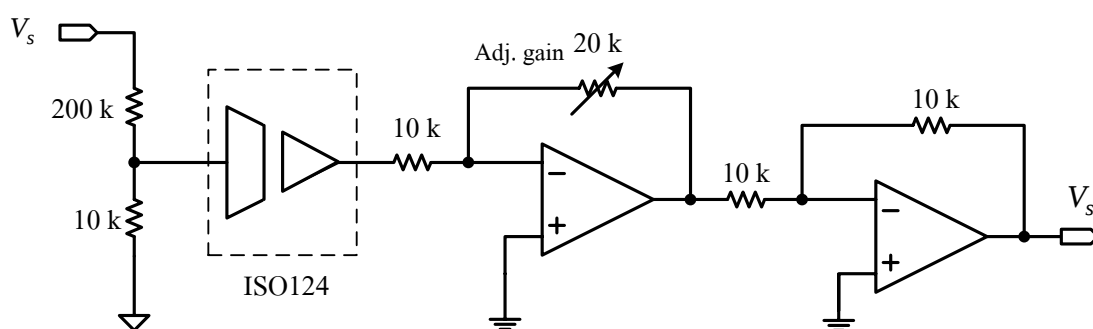
เป็นวงจรที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อตรวจจับกระแสด้านออกของวงจรเพื่อนำกลับมาเปรียบเทียบกับกระแสอ้างอิงที่สร้างขึ้น LTS-25NP เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับกระแสโดยกระแสที่วัดได้จะมีค่าไฟตรง 2.5 V รวมอยู่ด้วย ดังนั้นในการขยายสัญญาณจึงจำเป็นที่จะต้องลดค่าไฟตรงลงก่อนแล้วจึงทำการขยายให้ได้ค่าตามที่กำหนด ดังแสดงในภาพที่ 3-11



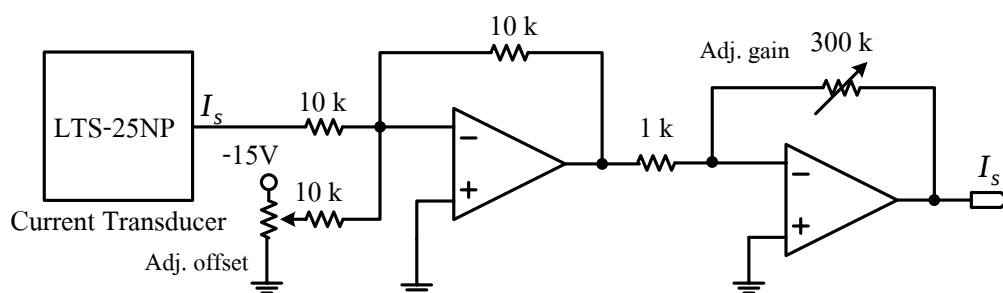
ภาพที่ 3-11 วงจรตรวจจับกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ

3.3.4 วงจรตรวจจับกระแสต้านและแรงดัน

จากภาพที่ 3-12 (ก) เป็นวงจรที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อตรวจจับแรงดันด้านเข้าของวงจรเพื่อนำกลับมาคำนวณหาค่ากระแสชดอ้างอิง (i_m^*) จากวงจรใช้ไอซีเบอร์ ISO124 ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่มีคุณสมบัติแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างด้านเข้ากับด้านออก เพื่อตรวจจับแรงดันทางด้านเข้าซึ่งต่อวงจรแบ่งแรงดันเพื่อลดขนาดของแรงดันลง เข้ามา แล้วทำการปรับแต่งสัญญาณด้วยวงจรขยายเพื่อให้ได้ค่าตามที่กำหนด



(ก)



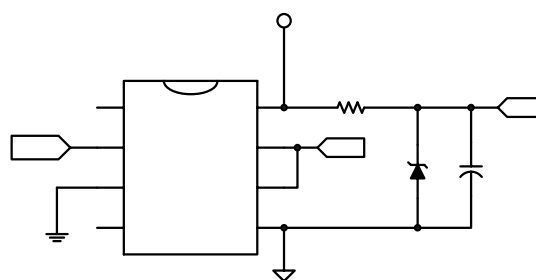
(ข)

ภาพที่ 3-12 (ก) วงจรตรวจจับแรงดัน (ข) วงจรตรวจจับกระแส

3.3.5 วงจรขั้วนำเกต

วงจรขั้วนำเกตโดยไอซี TLP250 ดังแสดงในภาพที่ 3-13 เป็นวงจรที่ไม่ซับซ้อนและมีการแยกกันทางไฟฟ้า วงจรนี้จะใช้ขั้วเกต ของวงจรภาคกำลังทั้งสองภาค

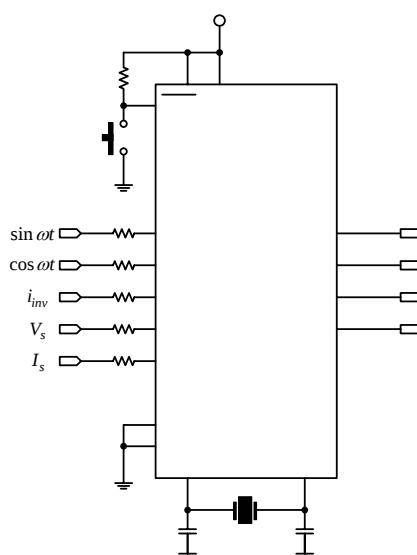
สำหรับการทำงานของวงจรเมื่อวงจรได้รับสัญญาณ PWM เข้ามาวงจรจะทำการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อไปขับเกต โดยสัญญาณที่ออกไป จะถูกลดระดับแรงดันลง ด้วย ซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4733 ลงมาเป็น -5 V เพื่อให้การขับเกตในขณะสวิตช์ ปิดทำงานได้อย่างถูกต้องและมั่นใจว่าสวิตช์ปิดการทำงานจริง



ภาพที่ 3-13 วงจรขั้วนำเกิดโดยไอซีออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์ TLP250

3.3.6 วงจรควบคุมกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ

สำหรับการควบคุมกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับแบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ควบคุมให้กระแสด้านออกของวงจรเข้าจังหวะกับแรงดันการไฟฟ้า มีรูปสัญญาณใกล้เคียงไซน์ ในภาพที่ 2-14 วงจรควบคุมจะสร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30F2010 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 28 ขา ขนาด 16 บิต มีอินพุตนาฬิก ขนาด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง และเอาต์พุต PWM จำนวน 6 ช่อง สำหรับเอาต์พุต PWM สามารถกำหนดให้ทำงานอิสระต่อกัน หรือใช้งานร่วมกันแบบคอมพลีเมนต์เทอร์รี่ คือ กำหนดให้เป็น บิตสูง (PWMHx) และบิตต่ำ (PWMLx) เพื่อใช้ในการขับวงจรสวิตช์แบบ ครึ่งบริดจ์ หรือเต็มบริดจ์ ได้ และยังสามารถกำหนดช่วงเวลาไร้ผลตอบสนอง (Dead Time) ในการทำงานของแต่ละคู่ได้

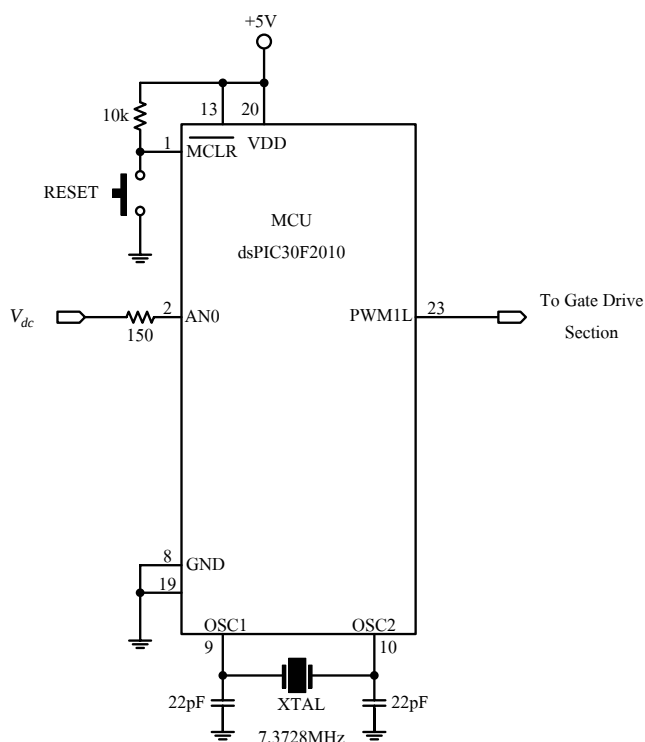


ภาพที่ 3-14 วงจรควบคุมกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ

สำหรับการออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30F2010 ทำให้ลดขนาดและความยุ่งยากในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลง และเมื่อเทียบราคา ถูกกว่า และการแก้ไข หรือปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทำได้สะดวก เมื่อเทียบกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์

3.3.7 วงจรควบคุมกระแสต้านออกของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

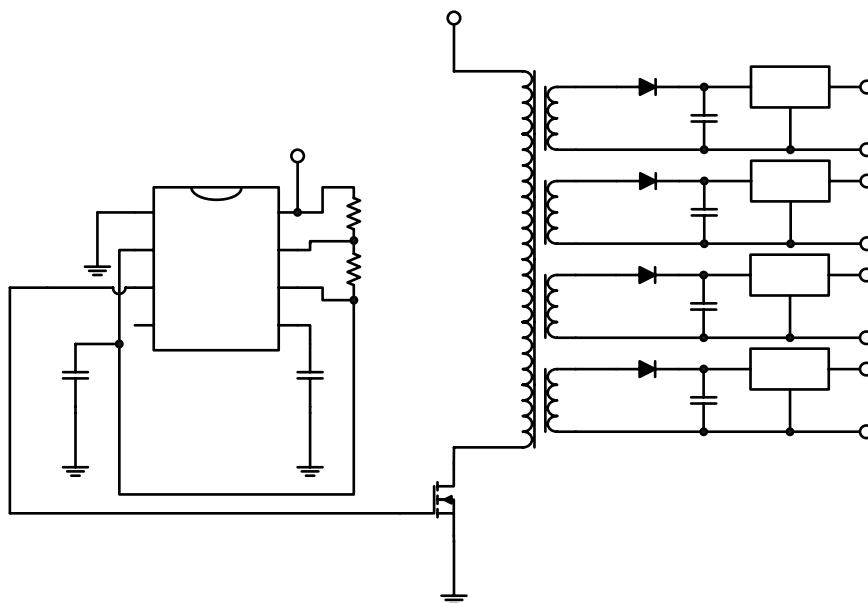
การควบคุมแรงดันต้านออกของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 เช่นเดียวกับ การควบคุมแรงดันดังหัวข้อที่ 3.3.6 ซึ่งเหตุผลในการออกแบบเหมือนกันคือการแก้ไขและปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก วงจรมีขนาดเล็ก



ภาพที่ 3-15 วงจรควบคุมแรงดันต้านออกของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

3.3.8 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรขับเคลื่อน

วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กมีข้อดีคือสามารถใช้งานได้โดยมีหลายเอาต์พุตและมีการแยกกราวด์ออกจากกัน ใช้สำหรับเป็นไฟเลี้ยงของวงจรขับเคลื่อน แหล่งจ่ายไฟ 18 V โดยใช้กับวงจรแปลงผันฟลายแบ็กแสดงในภาพที่ 3-3 ใช้ไอซี555 เป็นตัวผลิตสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อนำไปสวิตช์ มอสเฟต IRF640 โดยใช้ความถี่ในการสวิตช์ประมาณ 50 kHz



ภาพที่ 3-16 แหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรขับเคลื่อน

3.4 สรุป

ในการจำลองการทำงานของระบบต้นแบบได้ทำการนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการคำนวณในบทที่ 2 นำมาสร้างแบบจำลองโดยใช้ Simulink ในโปรแกรม MATLAB จากผลการจำลองได้ว่า กระแสต้านออกของวงจรเข้าจังหวะกับแรงดันการไฟฟ้าให้กำลังต้านออก 160 W

เมื่อทำการจำลองโดยการต่อโหลดเข้าไปในระบบได้ว่า วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับจะจ่ายกระแสที่พิกัดกำลังไฟฟ้าต้านออกสูงสุดตลอดแต่กระแสที่ระบบของการไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามโหลดคือถ้าโหลดมีขนาดน้อยกว่าพิกัดกำลังไฟฟ้าต้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรจะจ่ายกระแสเข้าส่วนที่เหลือเข้าระบบของการไฟฟ้าแต่ถ้าโหลดมีขนาดมากกว่าพิกัดกำลังไฟฟ้าต้านออกสูงสุดของวงจรระบบของการไฟฟ้าจะจ่ายกระแสส่วนที่ขาดให้กับโหลด

สำหรับในการออกแบบระบบต้นแบบ ได้ทำการออกแบบในส่วนของวงจรภาคกำลังและวงจรควบคุมโดยในส่วนของวงจรควบคุม ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30F2010 เป็นตัวเป็นตัวสร้างวงจรควบคุมทำให้ในส่วนของวงจรควบคุมมีขนาดเล็ก

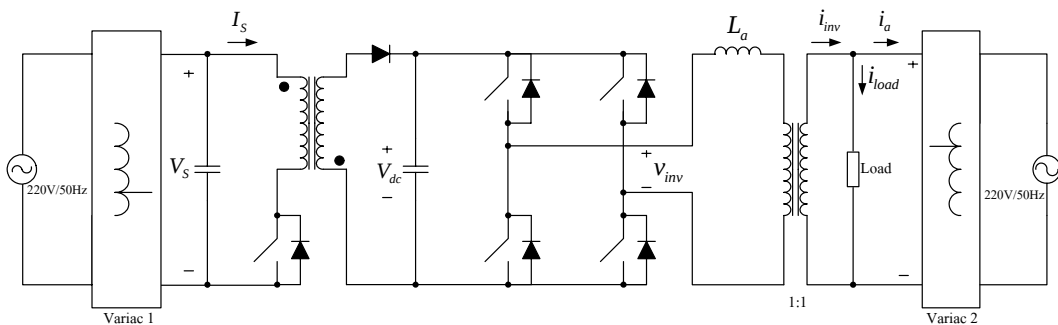
C
1.5nF

บทที่ 4

ผลการทดสอบระบบต้นแบบ

บทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบระบบต้นแบบที่สร้างเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ในภาพที่ 4-1 เป็นวงจรต้นแบบที่ใช้ทดสอบ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาแพงจึงนำหม้อแปลงปรับค่า (Variac) ใช้สร้างแรงดันแรงดันไฟตรงป้อนให้กับระบบต้นแบบ ในส่วนของแรงดันการไฟฟ้าที่ระบบต้นแบบได้เชื่อมต่อได้นำหม้อแปลงปรับค่า (Variac) ใช้สร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 V / 50 Hz เพื่อให้ได้แรงดันตามที่กำหนด เนื่องจากการที่นำหม้อแปลงปรับค่ามาใช้แทนเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ทางด้านเข้าของวงจรเชื่อมต่อกับแรงดันการไฟฟ้า จึงใช้หม้อแปลงอัตราส่วน 1:1 ทำการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างด้านออกของวงจรและแรงดันการไฟฟ้าแรงดัน

ในการทดสอบจะทำการทดสอบที่พิกัดกำลังไฟฟ้าด้านออกสูงสุดคือ 160 W และทำการต่อโหลดเพิ่มเข้าไปในระบบดังภาพที่ 4-1 เพื่อทำการตรวจสอบผลของกระแสที่จ่ายให้กับระบบของการไฟฟ้า



ภาพที่4-1 เป็นวงจรต้นแบบที่ใช้ทดสอบ

ซึ่งระบบต้นแบบที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

แรงดันด้านเข้า 36 V

แรงดันออกวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ค 400 V

เชื่อมต่อแรงดัน 220 V / 50 Hz

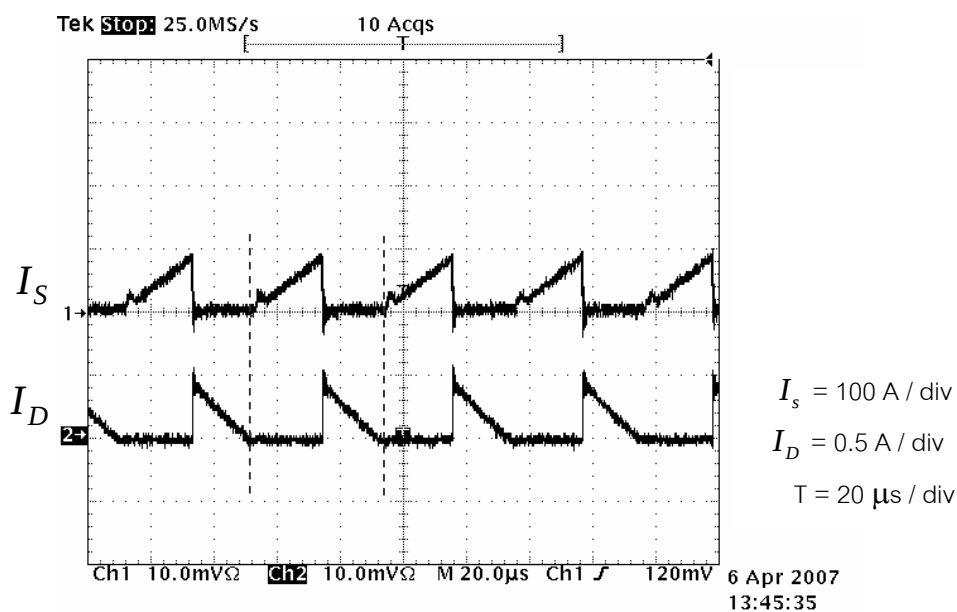
กำลังไฟฟ้าด้านออก 160 W

โดยใช้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการทดสอบดังนี้

1. ดิจิตอลออสซิลโลสโคป (Digital Oscilloscope) ยี่ห้อ Tektronix รุ่น 420 A 1 เครื่อง
2. โพรบกระแส ยี่ห้อ Tektronix รุ่น AM503S 3 ชุด
3. โพรบแรงดัน 1 ตัว
4. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล YOGOGAWA รุ่น WT130 1 เครื่อง

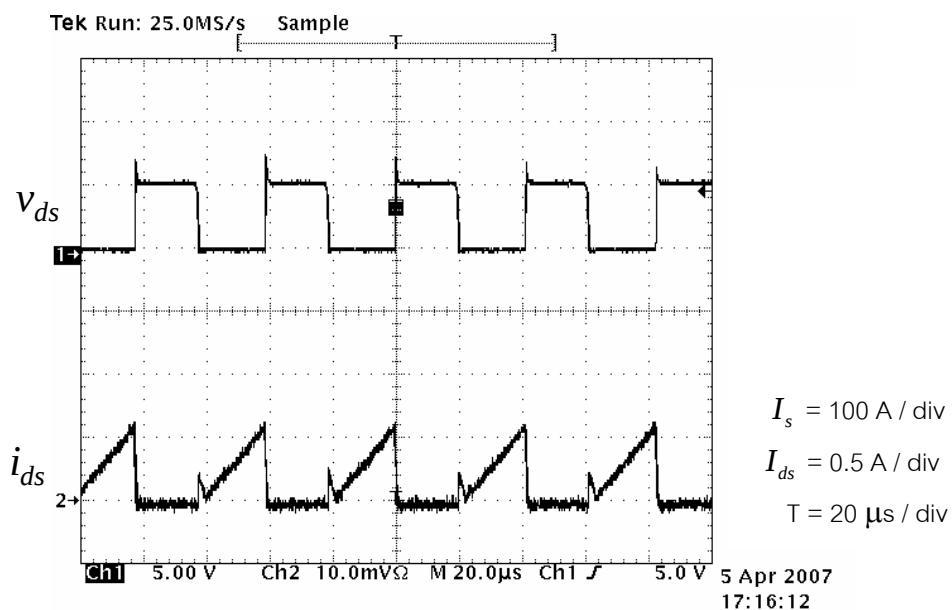
4.1 การทดสอบการทำงานวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก

วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กที่นำมาใช้ในวงจรเพื่อขยายแรงดันด้านเข้าจากแรงดัน 36 V เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 400 V เพื่อป้อนให้กับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับการทดสอบในส่วนของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก จะทำการทดสอบเพื่อตรวจสอบโหมดการทำงาน และแรงดันด้านออกของวงจร



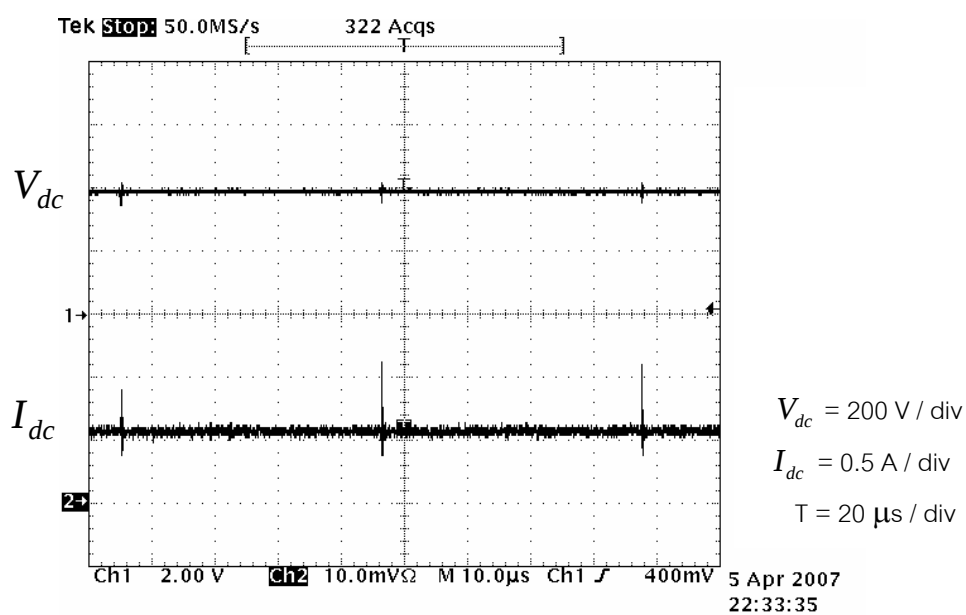
ภาพที่ 4-2 แสดงลักษณะของกระแส I_S และกระแส I_D ที่เกิดขึ้น

ในภาพที่ 4-2 แสดงรูปสัญญาณของกระแสด้านเข้า (I_S) และกระแสที่ไหลผ่านไดโอดทางด้านออก(I_D) พบว่าลักษณะของกระแสทั้งสองเป็นไปตามทฤษฎีของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กและกระแสเมื่อพิจารณาร่วมกันจะแสดงให้เห็นวงจรแปลงผันยังคงทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง



ภาพที่ 4-3 แรงดันตกคร่อมสวิตช์ v_{ds} และกระแส i_{ds}

ในภาพที่ 4-3 แสดงรูปสัญญาณของแรงดันตกคร่อมสวิตช์และกระแสที่ไหลผ่าน จะสังเกตว่าแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์จะมีค่าสูงกว่าแรงดันด้านเข้ามาก และค่ายอดของกระแสจะมีค่าสูง ดังนั้นในการเลือกใช้อุปกรณ์ในการสวิตช์สำหรับวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สวิตช์ที่มีพิกัดทนแรงดันได้สูง



ภาพที่ 4-4 รูปสัญญาณแรงดันด้านออกที่ 400V เทียบกับกระแสด้านออก

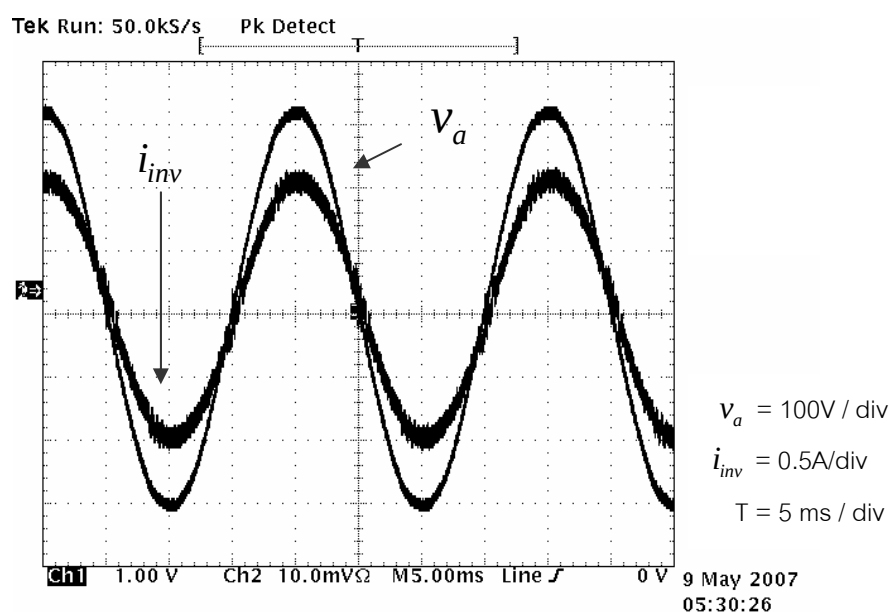
ในภาพที่ 4-4 แสดงให้เห็นว่าวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 400 V ได้จริง

4.2 การทดสอบการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า

สำหรับการทดสอบการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าจะทำการทดสอบที่พิกัดกำลังไฟฟ้านี้ออกสูงสุด สำหรับโหลดที่ต่อดังภาพที่ 4-1 จะใช้ทดสอบกระแสที่จ่ายให้กับระบบของการไฟฟ้าที่ค่าโหลดต่างๆ โดยโหลดที่ใช้ในการทดสอบจะประกอบด้วย โหลดความต้านทาน และ โหลดหลอดไฟ

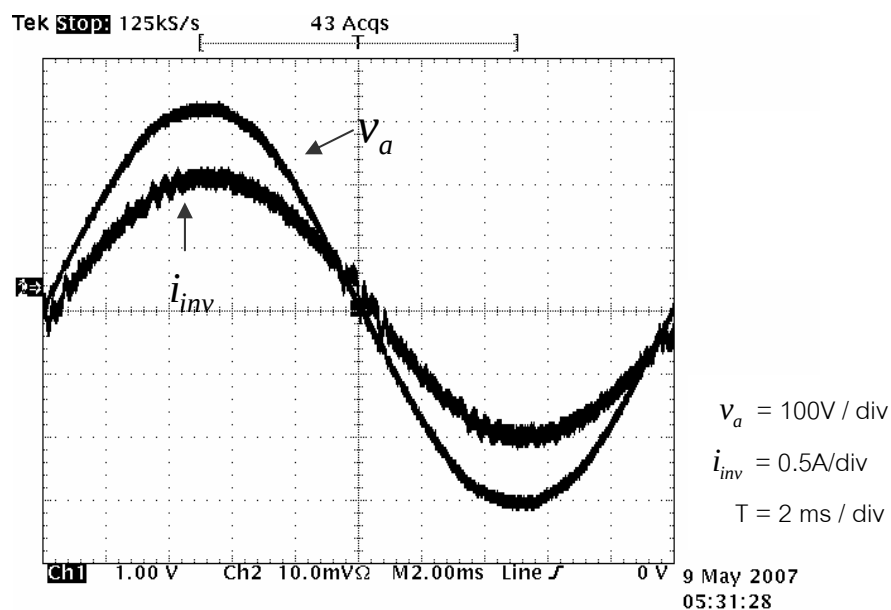
4.2.1 ไม่ต่อโหลด

สำหรับในการทดสอบนี้ จะยังไม่ต่อโหลดเข้าในระบบโดยจะทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบในการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้านี้ออกสูงสุด 160 W



ภาพที่ 4-5 กระแส i_{inv} ด้านออกและแรงดันการไฟฟ้า v_a ที่กำลังด้านออก 160 W

ในภาพที่ 4-5 พบว่าสัญญาณกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับเข้าจังหวะและตรงเฟสกับแรงดันการไฟฟ้า แสดงว่ากระแสจ่ายเข้าระบบของการไฟฟ้าจริงโดยกำลังไฟฟ้านี้ออกเท่ากับ 160 W ส่วนในภาพที่ 4-6 เป็นภาพที่ขยายเพื่อให้เห็นรูปสัญญาณชัดเจน



ภาพที่ 4-6 ขยายภาพกระแส i_{inv} ด้านออกและแรงดันการไฟฟ้า v_a ที่กำลังด้านออก 160 W

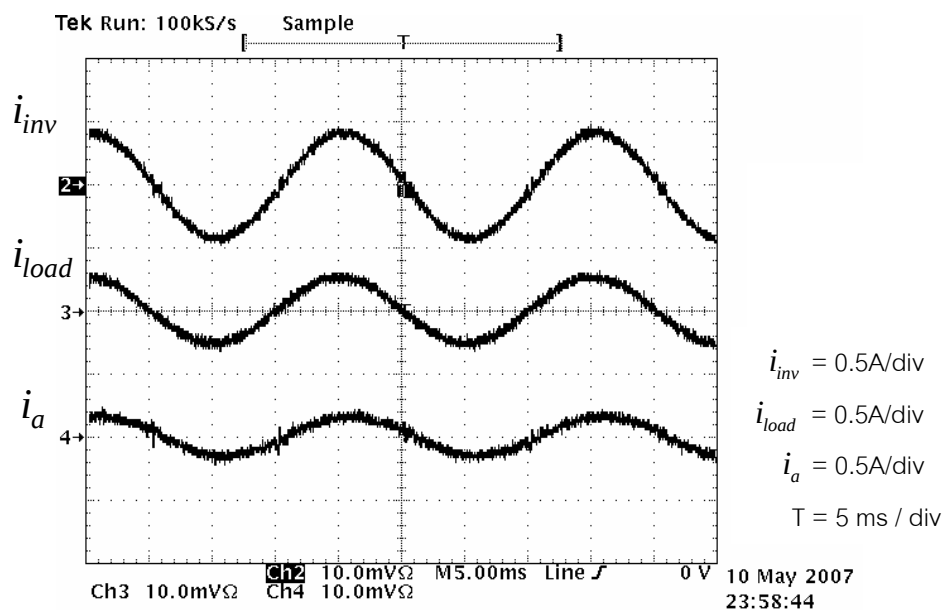
ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบต้นแบบ ที่กำลังด้านออก 160 W

Power Input	203.2W
Power factor	0.967
Output Current	0.731
THD Current	6.3 %
Grid Voltage	220V /50Hz
Efficiency	78.7%

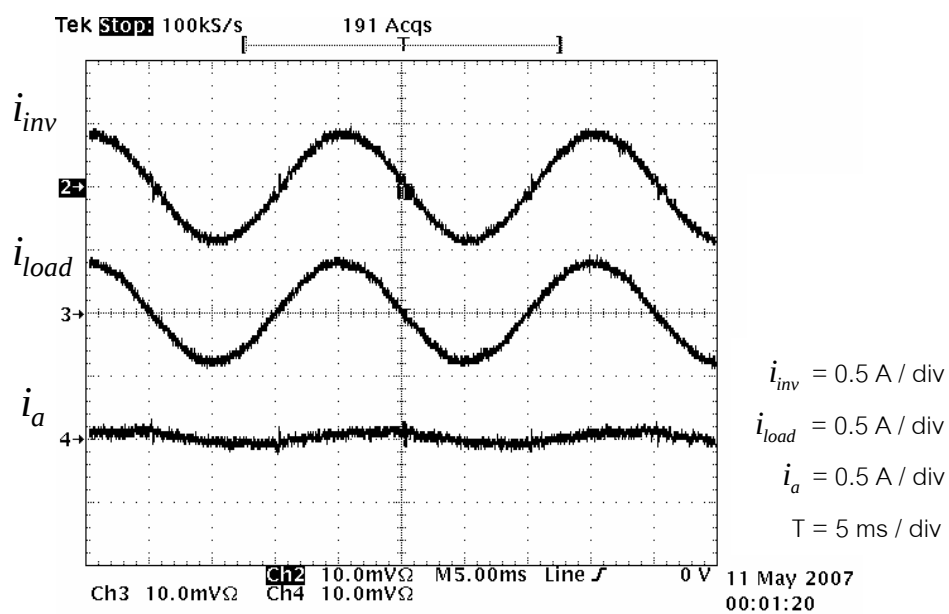
จากภาพที่ 4-1 เป็นผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับเชื่อมต่อกับแรงดันการไฟฟ้า ที่กำลังด้านออก 160 W จะพบว่ากระแสด้านออกของวงจรแปลงผันมีรูปคลื่นใกล้เคียงไซน์ โดยมีค่าความผิดเพี้ยนของกระแสที่ 6.3% และค่าตัวประกอบกำลังที่ 0.967 ดังตารางที่ 4-1

4.2.2 โหลดเป็นตัวต้านทาน

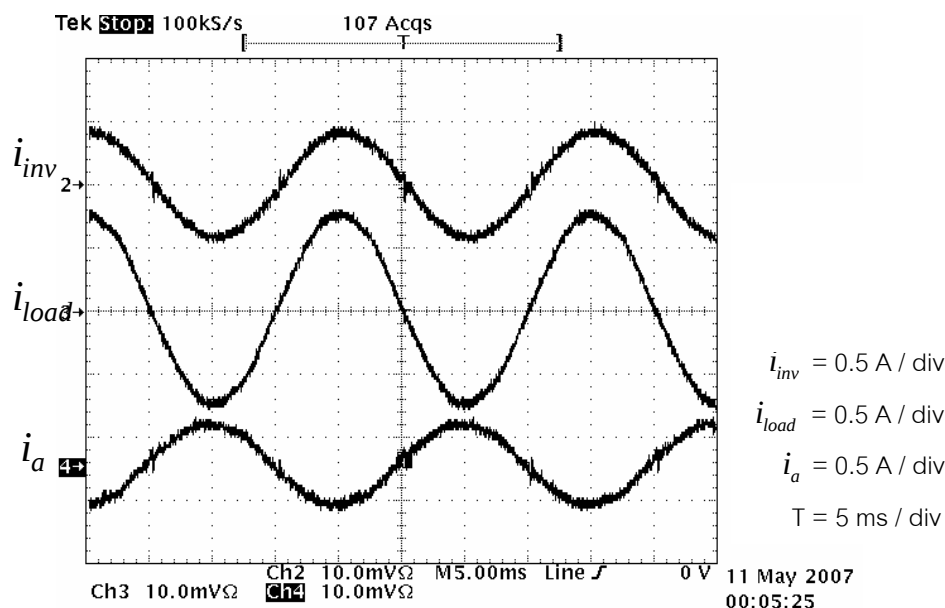
ในหัวข้อนี้ได้ทำการเพิ่มโหลดตัวต้านทานเข้าไปในระบบเพื่อทำการทดสอบกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และกระแสที่ระบบของการไฟฟ้า



ภาพที่ 4-7 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดตัวต้านทาน 100 W



ภาพที่ 4-8 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดตัวต้านทาน 140 W



ภาพที่ 4-9 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดตัวต้านทาน 280 W

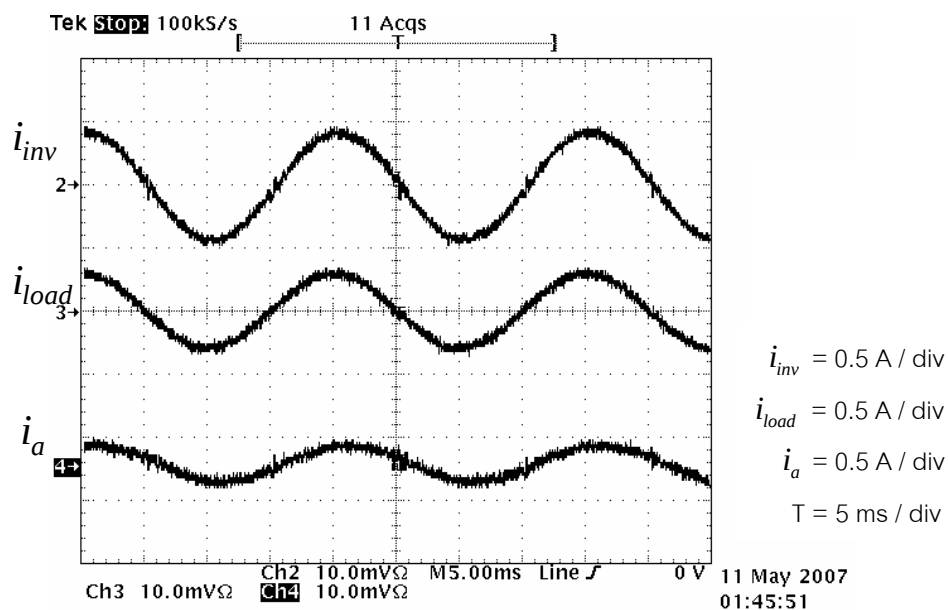
ผลจากการทดสอบ ในภาพที่ 4-7 และ 4-8 จะพบว่าเมื่อโหลดตัวต้านทานมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จะยังคงมีขนาดเท่าเดิม แต่กระแสที่จ่ายเข้าระบบของการไฟฟ้ามีขนาดลดลง และในภาพที่ 4-9 เมื่อโหลดตัวต้านทานมีความต้องการกำลังไฟฟ้ามากกว่าพิกัดกำลังไฟฟ้านี้ออกสูงสุดของวงจร กระแสด้านออกของวงจรจะยังคงมีขนาดเท่าเดิม แต่ กระแสที่ระบบของการไฟฟ้าจะกลับเฟส นั่นหมายความว่า ระบบของการไฟฟ้าช่วยจ่ายส่วนที่ขาดให้กับโหลดตัวต้านทาน

4.2.3 โหลดเป็นหลอดไฟ

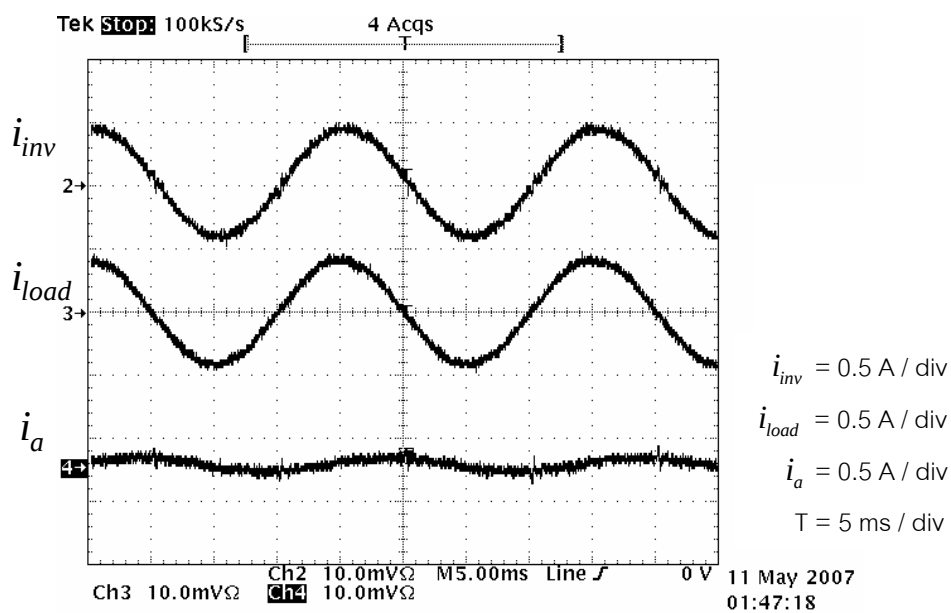
ในการทดสอบนี้จะทำการเปลี่ยนโหลดเป็นหลอดไฟและทำการทดสอบกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และกระแสที่ระบบของการไฟฟ้า

ในภาพที่ 4-10 และ 4-11 เมื่อทำการเพิ่มขนาดของโหลดหลอดไฟกระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับยังคงจ่ายกระแสออกที่พิกัดกำลังไฟฟ้านี้ออก 160 W แต่กระแสที่จ่ายให้กับระบบของการไฟฟ้ามีขนาดลดลง ในภาพที่ 4-12 เมื่อเพิ่มขนาดของหลอดไฟจนมีขนาดมากกว่าพิกัดกำลังไฟฟ้านี้ออกสูงสุดของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบของการไฟฟ้าจะจ่ายกระแสในส่วนที่ขาดให้กับโหลดหลอดไฟ

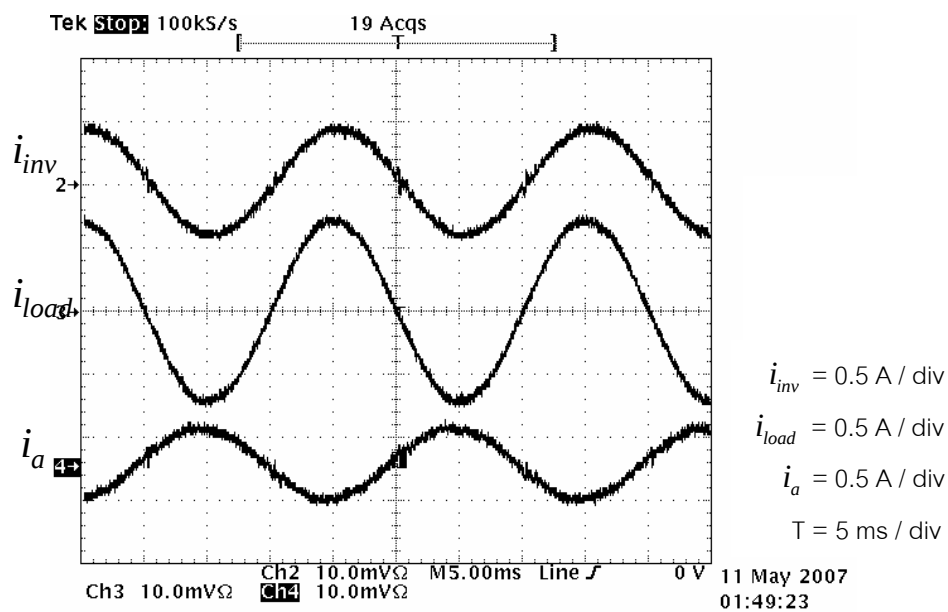
ในภาพที่ 4-13 แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของกระแส i_d ในขณะที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งพบว่ากระแสที่ระบบของการไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงเฟสและขนาดของกระแสตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด



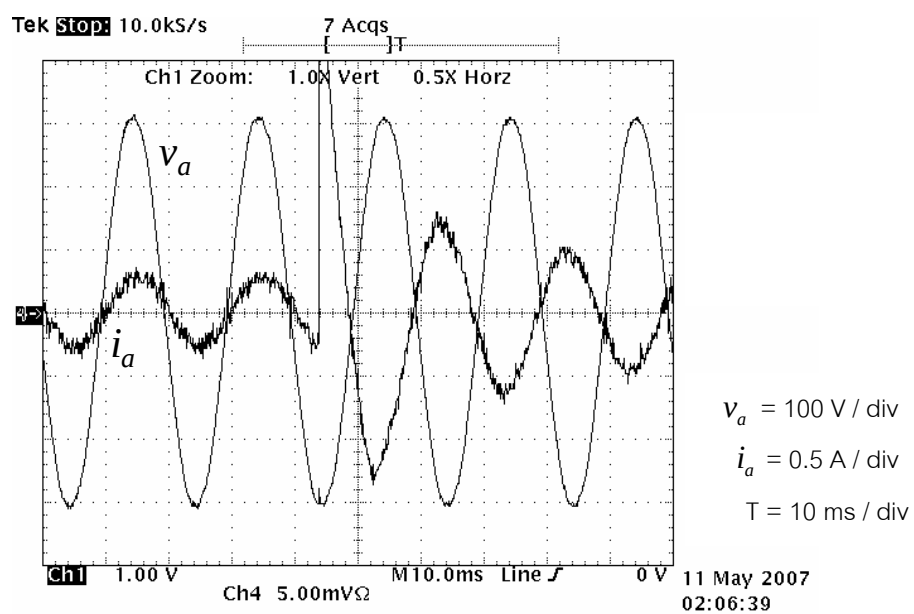
ภาพที่ 4-10 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดหลอดไฟ 100 W



ภาพที่ 4-11 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดหลอดไฟ 140 W



ภาพที่ 4-12 กระแส i_{inv} , i_{load} และ i_a ที่โหลดหลอดไฟ 240 W



ภาพที่ 4-13 กระแส i_a และแรงดัน v_a ที่ภาระเปลี่ยนจาก 100W เป็น 200W

4.3 สรุป

จากผลการทดสอบการทดสอบวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็ก พบว่าระบบสามารถสร้างแรงดันขนาด 400V ให้กับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้ วงจรทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง แต่อุปกรณ์สวิตช์จำเป็นต้องมีพิกัดทนแรงดันได้สูงกว่าแรงดันด้านเข้าของวงจรฟลายแบ็ก

การทำงานของระบบต้นแบบที่สร้างมีขนาด 160 W กระแสด้านออกเข้าจื้หะวะกับแรงดันการไฟฟ้ามีขนาดมีรูปคลื่นใกล้เคียงไซน์และตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง โดยมีค่าความผิดเพี้ยนของกระแสด้านออกที่ 6.3% และค่าตัวประกอบกำลังที่ 0.967 ประสิทธิภาพ 78.7%

การทดสอบโดยการต่อโหลด เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง กระแสด้านออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่กระแสที่ระบบของการไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลง โดยถ้าโหลดที่ต่อในระบบมีขนาดน้อยกว่าพิกัดกำลังไฟฟ้าด้านออกของวงจรกระแส จะจ่ายเข้าระบบของการไฟฟ้าแต่ขนาดลดลง แต่ถ้าโหลดมีมีค่ามากกว่าพิกัดกำลังไฟฟ้าด้านออกของวงจร ระบบของการไฟฟ้าจะจ่ายกระแสส่วนที่ขาดให้กับโหลด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษา ค้นคว้า ออกแบบสร้างและทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ที่ใช้วงจรภาคกำลังสองวงจรต่อร่วมกันคือวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กและวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบเต็มบริดจ์ โดยการควบคุมกระแสด้านออกเป็นแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่มีความถี่การสวิตช์

5.1.1 การนำวงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กต่อร่วมกับวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบเต็มบริดจ์

ทำให้ระบบสามารถขยายแรงดันเป็น 400 V ได้จริง แรงดันด้านเข้าของวงจรประมาณ 36 V ทำให้ลดการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาอนุกรมเพื่อสร้างแรงดันป้อนให้กับระบบลงได้ มีการแยกกันทางไฟฟ้า และขนาดหม้อแปลงมีขนาดเล็ก

5.1.2 การควบคุมกระแสด้านออกเป็นแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่มีความถี่การสวิตช์คง

ใช้MCU เบอร์ dsPIC30F2010 สร้างวงจรควบคุม ทำให้ลดความซับซ้อนของวงจรควบคุมลงได้จริง การแก้ไขง่าย มีขนาดเล็ก ราคาประหยัด กำลังไฟฟ้าด้านออกสูงสุด 160 W กระแสด้านออกของวงจรแปลงผันมีรูปคลื่นใกล้เคียงไซน์ โดยมีค่าความผิดเพี้ยนของกระแสที่ 6.3% และค่าตัวประกอบกำลังที่ 0.967 ประสิทธิภาพ 78.7 %

การทดสอบการทำงานวงจรแปลงผันต้นแบบที่สร้างขึ้น ได้ผลสอดคล้องกับผลการจำลองการทำงาน และขอบเขตที่กำหนดไว้

5.2 ปัญหาที่พบในการวิจัย

5.2.1 ขาดการทดลองจริงกับเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาแพง

5.2.2 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าของระบบทำได้ยาก เพราะจะทำให้อุปกรณ์สวิตช์ เกิดการเสียหาย จึงจำเป็นต้องกำหนดกำลังไฟฟ้าให้คงที่

5.2.3 การเชื่อมต่อกับแรงดันการไฟฟ้าไม่สามารถเชื่อมต่อได้อย่างทันทีทันใดเนื่องจากจะทำให้เกิดกระแสในขณะที่เชื่อมต้อมีค่ายอดสูงมากทำให้อุปกรณ์สวิตช์เกิดความเสียหาย

5.3 ข้อดีของระบบ

- 5.3.1 ลดจำนวนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มาอนุกรมในการสร้างแรงดันไฟตรงป้อนให้กับ
วงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ
- 5.3.2 มีการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับแรงดันการไฟฟ้า
- 5.3.3 หม้อแปลงที่ใช้แยกกันทางไฟฟ้ามีขนาดเล็ก
- 5.3.4 กระแสด้านออกของระบบมีรูปคลื่นใกล้เคียงไซน์

5.4 ข้อบกพร่องของระบบ

- 5.4.1 วงจรมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากใช้อุปกรณ์ในการสวิตช์จำนวนมาก
- 5.4.2 ระบบไม่มีการตรวจหาค่าลัดสูงสุด
- 5.4.3 ระบบไม่มีการป้องกันการปรากฏการณ์ไอส์แลนด์ (Islanding)
- 5.4.4 กระแสด้านเข้ามีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ไม่ต่อเนื่อง

5.5 ข้อเสนอแนะ

- 5.5.1 ระบบควรมีการตรวจหาค่าลัดงานสูงสุด
- 5.5.2 ระบบควรมีการป้องกันปรากฏการณ์ไอส์แลนด์
- 5.5.3 นำวิธีการสวิตช์แบบนุ่มนวลเพื่อลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นอุปกรณ์สวิตช์กำลัง
- 5.5.4 สร้างเป็นโมดูลขนาดกำลังไฟฟ้าทำให้เหมาะสมกับโมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารอ้างอิง

1. T. J. Liang, Y. C. Kou, and J. R. Chen. "Single-stage photovoltaic energy conversion system." Proc. Inst. Elect. 2001 : 339-344.
2. M. Calais, J. M. A. Myrzik, T. Spooner and V. G. Agelidis. "Inverters for Single-Phase Grid Connected Photovoltaic Systems – An Overview." IEEE PESC. 2002 : 1995-2000.
3. N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins. Power Electronics Converter Applications and Design. New York : Wiley, 1989.
4. เจษฎา ขัดทองงาม. วงจรแปลงผันไฟตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟสลับเพื่อต่อเข้าระบบจ่ายไฟฟ้าหลักโดยวิธีการควบคุมเฟส และสวิตช์ที่แรงดันศูนย์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.
5. สาคร ชีรชัยสกุล. การพัฒนาอินเวอร์เตอร์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
6. วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราชเรศรัย. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง, 2547.
7. Simon S. Ang. Power-Switching Converter. New York : Basel, 1995.
8. Abraham I. Pressman. Switching Power Supply Design. Singapore : McGraw-Hill, 1992.
9. Benjamin C. Automatic Control Systems. New Jersey : Prentice Hall, 1995.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายกิตติพงษ์ พุ่มโกชนา
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ สำหรับเซลล์
 แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า
 สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ. 2523 ที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
 ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่าง
 อิเล็กทรอนิกส์ จากวิทยาลัยเทคนิคนครปฐม เมื่อปี พ.ศ. 2541 ระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร
 ศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (ค.อ.บ) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 พระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2545 จากนั้นได้เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าในปีการศึกษา 2546