



การพัฒนารูปแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุท
ที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

**Development of an Integrated Double-Input Multiple-Output Converter
Topology with Battery Charger**

ปรัชญา สัตยารักษ์

Pratchaya Sattayarak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University**

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนารูปแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุตที่รีจันต์
แบบเตอรี

ผู้เขียน นายปรัชญา ลี้ คยารักษ์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุสุมาลย์ เถลิ มยานน (รองศาสตราจารย์) บุญเจริญ ญวงส์ กิติ คติ ศึกษา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ งามวิฑูริย์ ชาติ ศ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภา จินดาเพ็ชร) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุสุมาลย์ เถลิ มยานน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภา จินดาเพ็ชร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรักษ์ รัตน์ พงษ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนารูปแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุทที่รวมวงจร
ชาร์จแบตเตอรี่
ผู้เขียน นายปรัชญา สัตยารักษ์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

วงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายอินพุทหลายเอาต์พุท เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งาน เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบที่มีการใช้พลังงานจากหลายแหล่ง เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดที่ต้องการระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลายระดับเช่น ในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เป็นต้น

ในบทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างต้นแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุท ที่มีการรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มเสถียรภาพในการทำงานของวงจร วงจรคอนเวอร์เตอร์นี้แบ่งการทำงานออกเป็น 3 โหมด คือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดเบรกอัพ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายทั้งสอง รวมถึงควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ แหล่งจ่ายทั้งสองสามารถชาร์จประจุได้ขณะทำงานพร้อมกันหรือแม้กระทั่งแยกกันชาร์จประจุอย่างอิสระ ในกรณีที่อินพุททั้งสองไม่ทำงานกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับโหลดแทน โดยระบบจะทำงานแบบอัตโนมัติในทุกสถานการณ์ วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทสามเอาต์พุท ขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 30 วัตต์ มีแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ ได้ถูกออกแบบ และทดสอบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะการทำงานของวงจรต้นแบบ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบ นอกจากนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยังสามารถควบคุมการทำงานของวงจรอย่างเป็นอัตโนมัติในทุกเงื่อนไขการออกแบบ อย่างไรก็ตามวงจรต้นแบบนี้มีค่าประสิทธิภาพการทำงานต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกำลังสูญเสียในหม้อแปลงและในวงจรสวิตชิ่งเบอร์มากเกินไป

คำสำคัญ : สองอินพุท หลายเอาต์พุท คอนเวอร์เตอร์ แบตเตอรี่ การชาร์จประจุ

Thesis Title Development of an Integrated Double-Input Multiple-Output Converter
Topology with Battery Charger

Author Mr.Pratchaya Sattayarak

Major Program Electrical Engineering

Academic Year 2010

ABSTRACT

Multiple-input multiple-output converters are properly used as a power supply for the system that is required different levels of dc voltages and uses two or more renewable energy sources as hybrid sources for example in the wireless sensor network system.

This paper presents a novel double-input multiple-output converter topology integrated with battery charger to increase reliability of the system. Modes of operation in this converter are divided into 3 modes: normal mode, charging mode and backup mode. Microcontroller is used to control power supplying from two sources. Moreover, it is used to control charging battery from either one source or both. When two main sources are absent, the converter is switched to backup mode. Battery is used as an auxiliary source to the converter. All operation modes are automatically controlled by microcontroller. A 30-W two-input three-output prototype with a 24-V battery charger is constructed and tested. The experimental measurements are demonstrated to verify the performance of the converter and the effectiveness of the control system. However, the total efficiency of the prototype is not quite good. It is because high power losses happened in a transformer and snubber circuit.

Keywords : Double-input, Multiple-output, Converter, Battery charger

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุสุมาลย์ เจริญยานนท์ ที่ปรึกษาหลักงานวิจัย ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนและฝึกฝนการทำวิจัย ให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ในด้านการทำวิจัย เอกสาร ข้อมูลต่างๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งขัดเกลาระบวนการคิดและให้กำลังใจในการแก้ปัญหาตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา จินดาเพชร ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำทางด้านโปรแกรมและไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย และตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งเป็นที่ศึกษาหาความรู้และที่ยึดเหนี่ยวจิตใจตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานต่าง ๆ

ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อน ๆ รวมทั้งน้องๆ นักศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ บิดามารดาและครอบครัว ที่เข้าใจและสละเวลาให้กระผมได้มาศึกษาเล่าเรียนตลอดระยะเวลาจนจบ

ปรัชญา สัตยารักษ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 ระเบียบวิธีการวิจัย	5
1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน	5
2. ทฤษฎีและหลักการ	7
2.1 วงจรดับเบิลอินพุตดิซซี-ดิซซีคอนเวอร์เตอร์ (Double input dc-dc converters)	7
2.1.1 วงจรดับเบิลอินพุตแบบบัค บัค-บูสคอนเวอร์เตอร์ (Double input buck/buck-boost converter)	7
2.1.2 วงจรดับเบิลอินพุตแบบบัค บัคคอนเวอร์เตอร์ (Double input buck/buck converter)	8
2.1.3 วงจรดับเบิลอินพุตแบบบัค-บูส บัค-บูสคอนเวอร์เตอร์ (Double input buck-boost/buck-boost converter)	9
2.2 วงจรมัลติเพิลเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์ (Multiple output converter)	11
2.2.1 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์และฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge and Half-Bridge Converters)	11
2.2.2 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)	12
2.2.3 วงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)	13
2.2.4 วงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)	14

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 รูปแบบโครงสร้างของวงจรสองอินพุทหลายเอาต์พุท ที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่	15
3. การออกแบบวงจร	
3.1 ออกแบบวงจรสองอินพุทหลายเอาต์พุทที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่	17
3.1.1 วิเคราะห์การทำงานในโหมดปกติ	18
3.1.1.1 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในโหมดปกติ	19
3.1.2 วิเคราะห์การทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	2□
3.1.2.1 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	21
3.1.3 วิเคราะห์การทำงานในโหมดเบรกอ็อพ	22
3.1.3.1 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในโหมดเบรกอ็อพ	23
3.2 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรต้นแบบ	26
3.2.1 การคำนวณหาอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง	26
3.2.2 การคำนวณหารอบทำงาน d_2 ของสวิตช์ Q_2	27
3.2.3 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	27
3.3 การจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบ	35
3.3.1 ผลการจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบในโหมดทำงานปกติ	35
3.3.2 ผลการจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบในโหมดเบรกอ็อพ	36
3.4 โพรซาร์ทสำหรับการควบคุมการทำงานของวงจรต้นแบบ	38
3.5 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน	39
3.6 วงจรยกระดับแรงดันสัญญาณขับสวิตช์	4□
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	43
4.1 ทดสอบหม้อแปลงความถี่สูง	43
4.1.1 ทดสอบค่าความเหนี่ยวนำ	43
4.1.2 การทดสอบการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงความถี่สูง	44

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดลองของวงจรต้นแบบ	45
4.2.1 ผลการทำงานของวงจรในโหมดปกติ	45
4.2.2 ผลการทำงานของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	48
4.2.3 ผลการทำงานของวงจรในโหมดเบรกฮัพ	52
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพ	53
4.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพในโหมดปกติ	53
4.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	55
4.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพในโหมดเบรกฮัพ	57
5. บทสรุป	59
5.1 บทสรุป	59
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา	60
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป	60
บรรณานุกรม	61
ประวัติผู้เขียน	62

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1-1	แผนการดำเนินงาน	6
2-1	แสดงการเปรียบเทียบค่ารอบการทำงาน (Duty cycle) ของวงจรดับเบิ้ลอินพุทคอนเวอร์เตอร์	10
2-2	แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนจำนวนรอบของวงจรมัลติเปลเอาท์พุทคอนเวอร์	15
3-1	แสดงความสัมพันธ์ของสวิตช์ในแต่ละโหมดการทำงาน	24
3-2	ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบวงจรต้นแบบ	26
3-3	สรุปจำนวนรอบขดลวดและอัตราส่วนขดลวดต่อพื้นที่การพันในแกนหม้อแปลง	33
3-4	ค่าอุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรสองอินพุทหลายเอาท์พุทที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่	35
4-1	เปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำ (L_m) ของหม้อแปลงความถี่สูง	44
4-2	ผลการทดสอบแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง เปรียบเทียบกับค่าคำนวณ	44
4-3	สถานะของสวิตช์ในโหมดปกติใน 3 กรณี	45
4-4	สถานะของสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ใน 3 กรณี	48
4-5	สถานะของสวิตช์ในโหมดเบรกอ็อป	52
4-6	ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดปกติ	54
4-7	ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมดปกติ	55
4-8	ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	57
4-9	ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	57
4-10	ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดเบรกอ็อป	58
4-11	ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมดเบรกอ็อป	58

รายการภาพประกอบ

	ภาพประกอบ	หน้า
1-1	ระบบที่ประกอบด้วยสองวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อร่วมกับสองแหล่งจ่าย	1
1-2	ระบบที่ประกอบด้วยหนึ่งวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อร่วมกับสองแหล่งจ่าย	2
2-1	วงจรดับเบิลอินพุทแบบบัก บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์	7
2-2	สภาวะการทำงานของวงจรบัก บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์	7
2-3	ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์วงจรบัก บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์	7
2-4	วงจรบัก บักคอนเวอร์เตอร์	8
2-5	ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์วงจรบัก บักคอนเวอร์เตอร์	8
2-6	วงจรบัก-บูส บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์	9
2-7	ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์วงจรบัก-บูส บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์	9
2-8	วงจรสมมูลแบบฟลูบริดจ์บักคอนเวอร์เตอร์แบบมีหม้อแปลงแยกโดด	11
2-9	วงจรสมมูลแบบฮาล์ฟบริดจ์บักคอนเวอร์เตอร์แบบมีหม้อแปลงแยกโดด	12
2-10	วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	12
2-11	วงจรสมมูลภายในของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	13
2-12	วงจรสมมูลแบบฟูล-พูลบักคอนเวอร์เตอร์แบบมีหม้อแปลงแยกโดด	13
2-13	การสร้างวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์จากวงจรบัก-บูสคอนเวอร์เตอร์	14
2-14	รูปแบบโครงสร้างของวงจรสองอินพุทหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรซาร์จแบตเตอรี่	16
3-1	โครงสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุตที่รวม วงจรซาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ	17
3-2	สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมคปกติ	19
3-3	วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมคปกติ	19
3-4	สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	21
3-5	วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	21

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

	ภาพประกอบ	หน้า
3-6	สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดเบรกอัตโนมัติ	23
3-7	วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดเบรกอัตโนมัติ	23
3-8	รูปคลื่นแรงดันและกระแสในแต่ละโหมดการทำงาน	25
3-9	ความสัมพันธ์ของความถี่กับขนาดตัวนำเทียบกับอุณหภูมิ	33
3-10	ทิศทางการพันและลำดับการวางชั้นขดลวด	34
3-11	วงจรที่ใช้จำลองผลในโหมดปกติ	36
3-12	แรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตในโหมดปกติ	36
3-13	แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดปกติ	36
3-14	วงจรที่ใช้จำลองผลในโหมดเบรกอัตโนมัติ	37
3-15	แรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตในโหมดเบรกอัตโนมัติ	37
3-16	แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดเบรกอัตโนมัติ	37
3-17	แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	38
3-18	วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน	40
3-19	อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง	40
3-20	แผนภาพวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวม วงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ออกแบบ	41
3-21	ภาพวงจรสองอินพุตที่ออกแบบ	42
3-22	ภาพวงจรหลายเอาต์พุตที่ออกแบบ	42
3-23	ภาพไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรชาร์จแบตเตอรี่และวงจรระดับแรงดัน ที่ออกแบบ	42
4-1	หม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้ในการทดสอบค่าความเหนี่ยวนำ	43
4-2	แสดงการวัดค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กกับเครื่อง R-L-C มิเตอร์	43
4-3	แรงดันที่สวิตช์ในโหมดปกติ	46

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

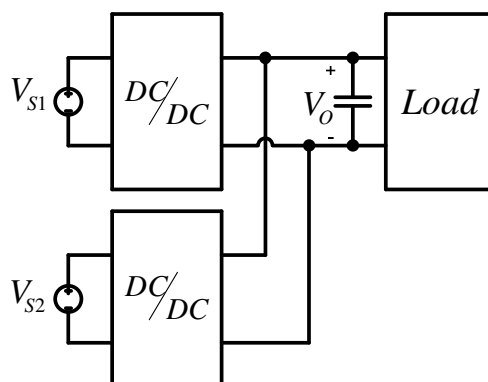
	ภาพประกอบ	หน้า
4-4	แรงดันด้านปฐมภูมิในโหมคปกติ	46
4-5	แรงดันด้านทุติยภูมิในโหมคปกติ	47
4-6	แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุทในโหมคปกติ	48
4-7	แรงดันที่สวิตช์ในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	49
4-8	แรงดันด้านปฐมภูมิในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	50
4-9	แรงดันด้านทุติยภูมิในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	50
4-10	แรงดันและกระแสที่ไดโอดขณะซาร์จประจุในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	51
4-11	แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุทในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	51
4-12	แรงดันที่สวิตช์ในโหมคแบ็กอัพ	52
4-13	แรงดันด้านปฐมภูมิในโหมคแบ็กอัพ	52
4-14	แรงดันด้านทุติยภูมิในโหมคแบ็กอัพ	52
4-15	แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุทในโหมคแบ็กอัพ	53
4-16	กระแสอินพุทในขณะที่แหล่งจ่ายแยกกันทำงานอย่างอิสระในโหมคปกติ	53
4-17	กระแสอินพุทในขณะที่แหล่งจ่ายทำงานร่วมกันในโหมคปกติ	53
4-18	กระแสเอาต์พุททั้งสามในโหมคปกติ	54
4-19	กระแสอินพุทในขณะที่แหล่งจ่ายแยกกันทำงานอย่างอิสระในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	55
4-20	กระแสอินพุทในขณะที่แหล่งจ่ายทำงานร่วมกันในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	55
4-21	กระแสที่ไดโอด D_B ในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	56
4-22	กระแสเอาต์พุททั้งสามในโหมคซาร์จแบตเตอรี่	56
4-23	กระแสที่สวิตช์ Q_B ในโหมคแบ็กอัพ	57
4-24	กระแสเอาต์พุททั้งสามในโหมคแบ็กอัพ	58

บทที่ 1

บทนำ

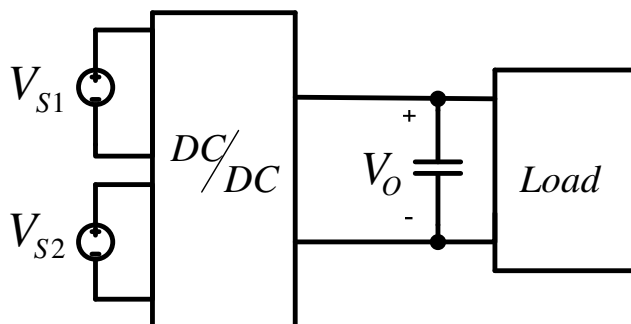
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติถูกนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนมากขึ้น พลังงานเหล่านี้สามารถนำมาใช้ได้ตลอด ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ทั้งยังช่วยลดปัญหาการสูญเสียทรัพยากรจากธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น ก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมันที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงาน จึงได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการนำพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น โดยทั่วไปพลังงานไฟฟ้าที่มาจากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือพลังงานจากลม ยังไม่สามารถนำไปจ่ายกับโหลดได้โดยตรง เนื่องจากระดับและรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าอาจยังไม่เหมาะสมตามที่โหลดต้องการ จึงจำเป็นต้องมีการใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ เพื่อปรับรูปแบบและเปลี่ยนระดับแรงดันให้เหมาะสมตามที่โหลดต้องการ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งพลังงานเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และไม่สามารถควบคุมได้ [1]-[7] แหล่งพลังงานทดแทนเพียงแหล่งเดียวอาจไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เพียงพอตามที่โหลดต้องการ ดังนั้นในบางครั้งจึงต้องใช้แหล่งพลังงานจากหลายๆ แหล่ง เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด ที่ผ่านมาจะใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งตัวต่อเชื่อมกับแหล่งพลังงานหนึ่งแหล่ง แสดงในภาพประกอบที่ 1-1 [8] ซึ่งทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ตามจำนวนแหล่งจ่าย



ภาพประกอบ 1-1 ระบบที่ประกอบด้วยสองวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อร่วมกับสองแหล่งจ่าย [8]

ต่อมาได้มีการพัฒนางจรให้มีขนาดเล็ก โดยรวมวงจรคอนเวอร์เตอร์เข้าด้วยกัน [8]-[9] ทำให้สามารถรับพลังงานจากทั้งสองแหล่ง โดยใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์เพียงวงจรเดียวและยังทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-2



ภาพประกอบ 1-2 ระบบที่ประกอบด้วยหนึ่งวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อร่วมกับสองแหล่งจ่าย [8]

และเนื่องจากในงานประยุกต์บางอย่าง เช่น แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอาจต้องการแรงดันด้านออกที่มีหลายระดับ เช่น 12 โวลต์ 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์ เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะทำการออกแบบและสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุท เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว อย่างไรก็ตามข้อจำกัดอย่างหนึ่งของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนคือ ความไม่ต่อเนื่องของแหล่งพลังงานทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงได้มีออกแบบการรวมส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรอง นอกเหนือจากแหล่งจ่ายทั้งสอง ซึ่งการทำงานของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกออกแบบและควบคุมแบบอัตโนมัติผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะมีการกำหนดโหมดการทำงาน วิเคราะห์วงจรรวม ออกแบบ สร้างและทดสอบวงจร เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุทต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 Double – Input PWM DC/DC Converter for High-/Low – Voltage Sources [8] งานวิจัยนี้เขียนโดย Yaow-Ming Chen และคณะได้เสนอวงจรต้นแบบ โดยแหล่งจ่ายแต่ละตัวสามารถจ่ายพลังงานให้โหลดได้อย่างอิสระ หรือจ่ายพลังงานให้กับโหลดแบบพร้อมกันได้ หากระดับของแรงดันอินพุท ตัวใดมีค่าแรงดันเปลี่ยนแปลงไป วงจรจะปรับระดับแรงดันที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ เพื่อจ่ายกำลังงานให้กับโหลดต่อไป

วงจรนี้ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็ก โดยแหล่งจ่ายสามารถจ่ายพลังงานให้กับโหลดได้โดยตรงไม่ต้องใช้หม้อแปลงในการส่งผ่านพลังงาน แม้ว่าแหล่งจ่ายใดแหล่งจ่ายหนึ่งถูกตัดออกจากระบบแหล่งจ่ายที่เหลือยังสามารถจ่ายพลังงานให้โหลดแทนได้

1.2.2 New Double Input DC-DC Converters for Automotive Applications [9]

งานวิจัยนี้เขียนโดย Krishna P. Yalamanchili และคณะ ได้เสนอวงจร ดับเบิลอินพุตดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบใหม่ทั้งสองวงจร โหมดการทำงานของวงจรดับเบิลอินพุตแบบอินทิเกรตเต็ด บั๊ก บั๊กคอนเวอร์เตอร์ ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานให้กับโหลดในโหมดต่อเนื่อง และวงจรดับเบิลอินพุตแบบ อินทิเกรตเต็ด บั๊ก-บูส บั๊ก-บูส คอนเวอร์เตอร์ ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานให้กับโหลดในโหมดไม่ต่อเนื่อง ซึ่งวงจรดับเบิลอินพุตแบบ อินทิเกรตเต็ด บั๊ก-บูส บั๊ก-บูส คอนเวอร์เตอร์ ถูกนำมาใช้ในการทดลองขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยการจำลองการทำงาน โดยแหล่งจ่ายเป็น อัลตราคาปาซิเตอร์ใช้เป็นตัวเร่งความเร็วของมอเตอร์ โดยมีแบตเตอรี่สำหรับทำหน้าที่จ่ายพลังงานในช่วงความเร็วคงที่ และเมื่อความเร็วตก อัลตราคาปาซิเตอร์จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งความเร็วมอเตอร์

วงจรดับเบิลอินพุตทั้งสอง ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็ก โหมดการทำงานของวงจรที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการเลือกนำไปใช้งาน

1.2.3 An Integrated Flyback Converter for DC Uninterruptible Power Supply [10]

งานวิจัยนี้เขียนโดย Kwok-wai Ma และคณะ ได้เสนอวงจร อินทิเกรตเต็ดฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ สำหรับยูพีเอส โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำพลังงานจากขดลวดด้านปฐมภูมิไปยังด้านทุติยภูมิเพื่อส่งผ่านพลังงาน ไปจ่ายโหลด โดยใช้หม้อแปลงฟลายแบ็กและในขณะเดียวกันที่จ่ายพลังงานให้กับโหลด ยังสามารถทำการชาร์จประจุแบตเตอรี่ ด้วยการใส่สวิตช์แม่เหล็ก ด้วยเงื่อนไขแรงดันอินพุต สูงกว่าแรงดันของแบตเตอรี่โดยกระแสที่ชาร์จประจุ มีค่าเท่ากับกระแสของโหลดในคาบเวลาที่ทำการชาร์จประจุ โหมดการทำงานแบ่งออกเป็น 3 โหมด คือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดแบ็กอัพ

วงจรมีประสิทธิภาพสูง ทั้งยังมีขนาดเล็ก และราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับการเชื่อมต่อแบบโดยตรงระหว่างยูพีเอส และเพาเวอร์ซัพพลาย เหมาะสำหรับนำไปใช้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง

1.2.4 A Multiple-Input Multiple –Output Power Converter With Efficient Power Management [11]

งานวิจัยนี้เขียนโดย Yi-Nung Chung และคณะ ได้เสนอวงจรแบบสามอินพุตสองเอาต์พุต โดยอินพุตทั้งสามที่ใช้คือ จากโซล่าเซลล์ จากยูทิลิตี้ และจากแบตเตอรี่ ซึ่งอินพุตแต่ละตัวถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานให้กับโหลดได้โดยอิสระต่อกันหากมีพลังงานเพียงพอสำหรับการจ่ายโหลด อินพุตที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์สามารถจ่ายโหลดร่วมกับอินพุตอื่นได้ หากระดับ

พลังงานมีไม่เพียงพอ ในขณะที่ยูลิตีอินพุท จ่ายโหลดร่วมกับแบตเตอรี่ไม่ได้ เนื่องจากวงจรถูกออกแบบมาให้จ่ายพลังงานให้โหลดและทำการชาร์จแบตเตอรี่ วงจรทำงานโดยใช้ชิพ EM78P458 วงจรนี้เป็นอีกแนวทางของการประยุกต์นำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ร่วมกับพลังงานหลัก

สรุปการทบทวนวรรณกรรม

ต้นแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ เป็นที่มาของการนำวงจรสองอินพุทมาพัฒนาร่วมกับวงจรหลายเอาต์พุท โดยรวมส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่เข้าไปด้วยเพื่อที่จะเป็นต้นแบบวงจรสองอินพุทหลายเอาต์พุทต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

- 1.3.1 เพื่อศึกษารูปแบบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทที่เหมาะสม
- 1.3.2 เพื่อศึกษารูปแบบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายเอาต์พุทที่เหมาะสม
- 1.3.3 เพื่อออกแบบและสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุทที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

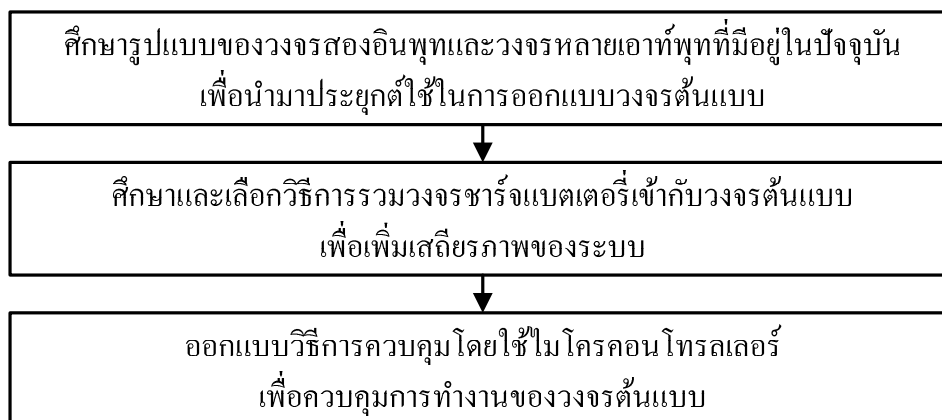
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ต้นแบบของวงจรสองอินพุทหลายเอาต์พุท
- 1.4.2 นำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ได้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ออกแบบวงจรสองอินพุทหลายเอาต์พุทขนาด 30 วัตต์
- 1.5.2 ออกแบบวงจรให้สามารถรับอินพุทแรงดันต่ำที่ 30 โวลต์และแรงดันสูงที่ 60 โวลต์
- 1.5.3 ออกแบบให้มีค่าแรงดันทางเอาต์พุทที่ 12 โวลต์ 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์

1.6 ระเบียบวิธีการวิจัย



1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.7.1 ทำการศึกษารูปแบบของวงจรสองอินพุตและวงจรหลายเอาต์พุตที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.7.2 พัฒนารูปแบบการรวมของวงจร

วัตถุประสงค์ คือทำการประยุกต์ วงจรสองอินพุต วงจรหลายเอาต์พุต และวงจรซาร์จแบตเตอรี่โดยหาแนวทางรวมวงจรทั้งหมดเข้าด้วยกัน

1.7.3 กำหนดโหมดการทำงาน

วัตถุประสงค์ คือเพื่อกำหนดโหมดการทำงานให้กับวงจรสองอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรซาร์จแบตเตอรี่

1.7.4 ออกแบบวงจรต้นแบบตามข้อกำหนด

ออกแบบวงจรต้นแบบตามที่ตั้งสมมุติฐานไว้โดยวิเคราะห์โหมดการทำงาน รวมถึงไปถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในวงจร เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดค่าอุปกรณ์ที่จะเลือกใช้

1.7.5 จำลองการทำงานของวงจร

ใช้โปรแกรมในการจำลองการทำงาน สังเกตพฤติกรรมของอุปกรณ์ในแต่ละช่วงคาบเวลาของการสวิตช์ เพื่อดูแนวโน้มความเป็นไปได้ของวงจรที่จะทำการออกแบบ

1.7.6 สร้างวงจรต้นแบบ

1.7.7 ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

ทำการศึกษาวิธีใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมดการทำงาน

1.7.8 ทำการทดลองวงจรที่ได้สร้างขึ้นมาจากการออกแบบและเก็บผล

1.7.9 ตรวจสอบสรุปผลและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

ขั้นตอนการดำเนินงานที่กล่าวมาแสดงเป็นรูปแบบที่สอดคล้องกับระยะเวลาที่กำหนดได้ดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรมขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.7.1 ศึกษารูปแบบของวงจรสองอินพุตและวงจรหลายเอาต์พุตที่มีอยู่ในปัจจุบัน	■	■	■															
1.7.2 พัฒนารูปแบบการรวมของวงจร		■	■	■														
1.7.3 กำหนดโหมดการทำงาน			■	■	■													
1.7.4 ออกแบบวงจรต้นแบบตามข้อกำหนด				■	■	■												
1.7.5 จำลองการทำงานของวงจร						■	■											
1.7.6 สร้างวงจรต้นแบบ								■	■	■	■							
1.7.7 ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์										■	■	■						
1.7.8 ทำการทดลองวงจรที่ได้สร้างขึ้นมาจากการออกแบบและเก็บผล												■	■	■	■			
1.7.9 ตรวจสอบสรุปผลและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์															■	■	■	■

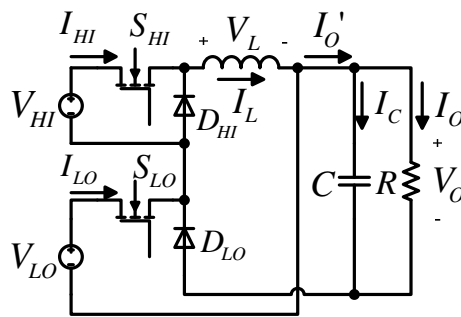
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาขั้นตอนการทำงานของวงจรสองอินพุตรวมไปถึง โหมดการทำงานของสวิตช์ การศึกษาหลักการของวงจรหลายเอาต์พุต และรูปแบบโครงสร้างของ การรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่เข้าด้วยกัน ทำการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสีย ของวงจรในแต่ละแบบ ที่ทำการศึกษา เพื่อนำมาพัฒนาวงจรต้นแบบต่อไป

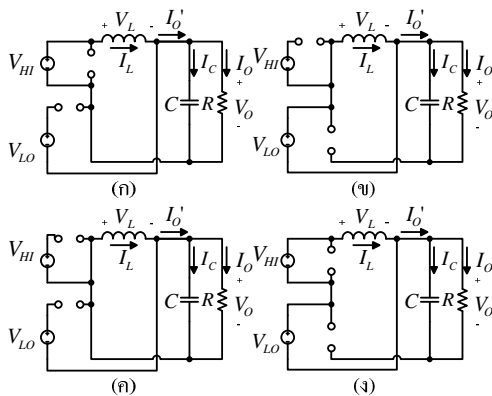
2.1 วงจรดับเบิลอินพุตซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (Double input dc-dc converters)

2.1.1 วงจรดับเบิลอินพุตแบบบัค บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์ (Double input buck /buck-boost converter)

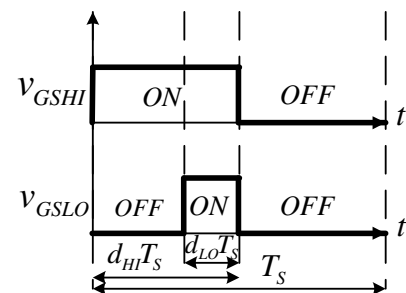


ภาพประกอบ 2-1 วงจรดับเบิลอินพุตแบบบัค บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์ [8]

ภาพประกอบที่ 2-1 เป็นการรวมวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์และบัค-บูสคอนเวอร์เตอร์ เข้าด้วยกัน โดยแหล่งจ่าย V_{HI} ในขณะที่จ่ายพลังงานให้กับโหลดจะเป็นวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ และ แหล่งจ่าย V_{LO} ในขณะที่จ่ายพลังงานให้กับโหลดจะเป็นวงจรบัค-บูสคอนเวอร์เตอร์



ภาพประกอบ 2-2 สภาวะการทำงานของวงจร บัก บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์ [8]



ภาพประกอบ 2-3 ช่วงคาบเวลา การทำงานของสวิตช์ [8]

ช่วงคาบเวลาการทำงานของสวิตช์ จากภาพประกอบ 2-2 เทียบกับภาพประกอบ 2-3 ใช้สภาวะการทำงาน 3 สภาวะ

จากหลักการสมดุลของโวลต์-วินาที (Volt-second balance) จะได้สมการดังนี้

$$(d_{HI} - d_{LO})T_S(V_{HI} - V_O) + d_{LO}T_S(V_{HI} + V_{LO}) + (1 - d_{HI})T_S(-V_{LO}) = 0 \quad (2-1)$$

จากสมการที่ (2-1) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V_O = \frac{d_{HI}}{1-d_{LO}} V_{HI} + \frac{d_{LO}}{1-d_{LO}} V_{LO} \quad (2-2)$$

ถ้าหากช่วงเวลาที่แหล่งจ่ายทางด้านแรงดันต่ำมีมากกว่าจะได้สมการดังนี้

$$(d_{LO} - d_{HI})T_S V_{LO} + d_{HI}T_S(V_{HI} + V_{LO}) + (1 - d_{LO})T_S(-V_O) = 0 \quad (2-3)$$

ความสัมพันธ์ของกระแสอินพุตกับกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำโดยกำหนดให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีกระแสเพื่อมเล็กน้อยจนสามารถละเลยได้หาได้จากสมการดังนี้

$$I_{HI} = d_{HI}I_L \quad (2-4)$$

$$I_{LO} = d_{LO}I_L \quad (2-5)$$

ดังนั้นกระแสเอาต์พุต (I_O) จะมีค่าในช่วงที่ไม่มี d_{LO}

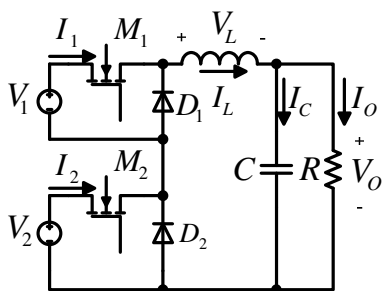
$$I_O = (1 - d_{LO})I_L \quad (2-6)$$

ความสัมพันธ์ของกระแสอินพุตและเอาต์พุตหาได้จากการแทนค่าสมการที่ (2-4) ใน (2-6) และ (2-5) ใน (2-6) ตามลำดับจะได้

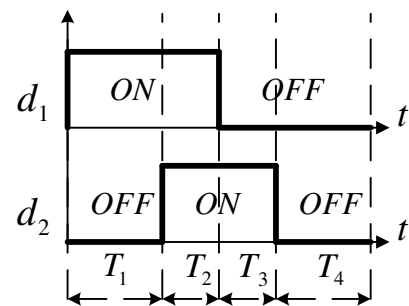
$$I_{HI} = \frac{d_{HI}}{1-d_{LO}} I_O \quad (2-7)$$

$$I_{LO} = \frac{d_{LO}}{1-d_{LO}} I_O \quad (2-8)$$

2.1.2 วงจรดับเบิลอินพุตแบบบัก บักคอนเวอร์เตอร์ (Double input buck/buck converter)



ภาพประกอบ 2-4 วงจรบัก บักคอนเวอร์เตอร์ [9]



ภาพประกอบ 2-5 ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์ [9]

ช่วงคาบเวลาการทำงานของสวิตช์ จากภาพประกอบ 2-4 เทียบกับภาพประกอบ 2-5 ใช้สภาวะการทำงาน 4 สภาวะ

จากหลักการสมดุลของโวลต์-วินาที (Volt-second balance) จะได้สมการดังนี้

$$(V_1 - V_o)T_1 + (V_1 + V_2 - V_o)T_2 + (V_2 - V_o)T_3 - V_oT_4 = 0 \quad (2-9)$$

ความสัมพันธ์ของคาบเวลาคือ

$$T_1 + T_2 = d_1T \quad (2-10)$$

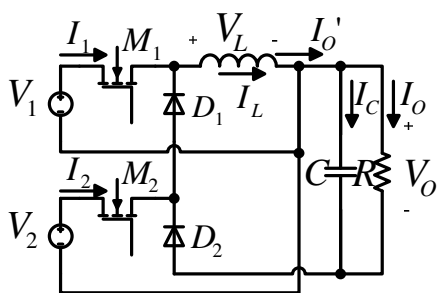
$$T_2 + T_3 = d_2T \quad (2-11)$$

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = T \quad (2-12)$$

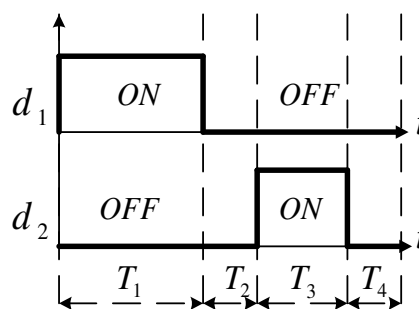
ดังนั้นจากสมการที่ (2-9) (2-10) (2-11) และ (2-12) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V_o = V_1d_1 + V_2d_2 \quad (2-13)$$

2.1.3 วงจรดับเบิลอินพุตแบบบัค-บูส บัค-บูสคอนเวอร์เตอร์ (Double input buck-boost/buck-boost converter)



ภาพประกอบ 2-6 วงจรบัค-บูส บัค-บูสคอนเวอร์เตอร์ [9]



ภาพประกอบ 2-7 ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์ [9]

ช่วงคาบเวลาการทำงานของสวิตช์จากภาพประกอบ 2-6 เทียบกับภาพประกอบ 2-7 ใช้สภาวะการทำงาน 3 สภาวะ

แรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์หาได้จากสมการดังนี้

$$V_{D2} + V_{D1} = -V_1 - V_o \quad (2-14)$$

$$V_{D2} = -V_2 - V_o \quad (2-15)$$

ความสัมพันธ์ของคาบเวลาคือ

$$T_1 = d_1 T \quad (2-16)$$

$$T_3 = d_2 T \quad (2-17)$$

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = T \quad (2-18)$$

จากหลักการสมดุลของโวลต์-วินาที (Volt-second balance) จะได้สมการดังนี้

$$T_1 V_1 + V_2 T_3 + (T_2 + T_4)(-V_o) = T \quad (2-19)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตจะได้ดังสมการนี้

$$V_o = \frac{d_1}{1-d_1-d_2} V_1 + \frac{d_2}{1-d_1-d_2} V_2 \quad (2-20)$$

จากการศึกษาการทำงานของวงจรดับเบิลอินพุตคอนเวอร์เตอร์ทั้งหมดข้างต้นสามารถนำมาสรุปเป็นตารางเปรียบเทียบการทำงานของแต่ละวงจรในลักษณะของรอบทำงาน (D) ดังตารางที่ 2-1 เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาเลือกรูปแบบของวงจรดับเบิลอินพุตคอนเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในวงจรต้นแบบต่อไป

ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบค่ารอบการทำงาน (Duty cycle) ของวงจรดับเบิลอินพุตคอนเวอร์เตอร์ทั้งสามที่ค่าแรงดันอินพุตและเอาต์พุตเท่ากัน

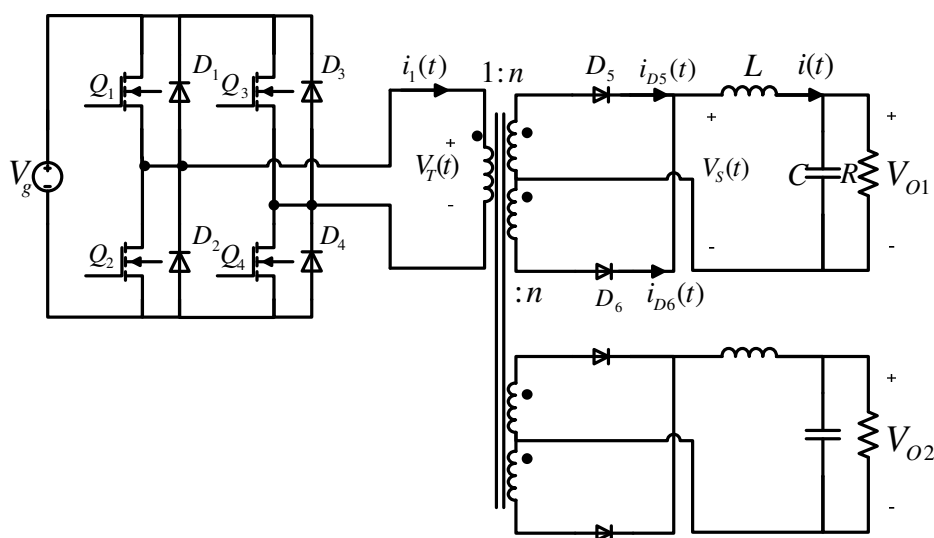
ชนิด วงจร คอนเวอร์เตอร์	แรงดัน อินพุต 1	แรงดัน อินพุต 2	แรงดัน เอาต์พุต	ดีวตีไซเคิล อินพุต 1	ดีวตีไซเคิล อินพุต 2
	หน่วย (โวลต์)			รอบทำงาน D	รอบทำงาน D
บัก บัก	60	60	60	50%	50%
	60	30	30	35%	30%
	30	30	30	50%	50%
บัก บัก-บูส	60	60	60	50%	25%
	60	30	30	25%	25%
	30	30	30	50%	25%
บัก-บูส บัก-บูส	60	60	60	25%	25%
	60	30	30	20%	20%
	30	30	30	25%	25%

จากตารางที่ 2-1 เห็นได้ว่าวงจรบัก-บูส บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์ มีรอบทำงานน้อยกว่าวงจรอื่นทำให้พลังงานสูญเสียจากการสวิตช์น้อยกว่าวงจรอื่นเมื่อเทียบที่พิกัดแรงดันเท่ากัน

2.2 วงจรมัลติเพิลเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์ (Multiple output converter)

ในงานประยุกต์ที่ต้องการแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันหลายระดับ หม้อแปลงความถี่สูงถูกนำมาใช้ในวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์เพื่อแยกระหว่างด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต และสามารถขยายจำนวนเอาต์พุตได้มากกว่าหนึ่งเอาต์พุต ซึ่งวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายเอาต์พุตที่นิยมนำมาใช้งานมีอยู่หลากหลายวงจร

2.2.1 วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์และฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge and Half-Bridge Converters)

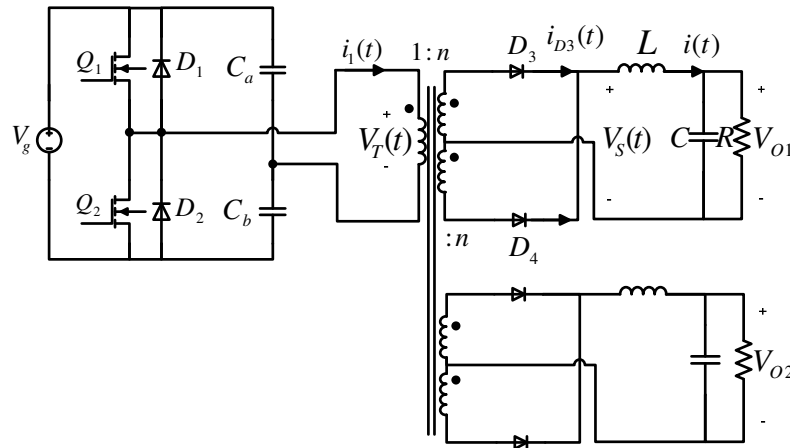


ภาพประกอบ 2-8 วงจรสมมูลแบบฟลูบริดจ์บักคอนเวอร์เตอร์แบบมีหม้อแปลงแยกโดด [12]

จากภาพประกอบ 2-8 วงจรประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิที่ถูกแบ่งออกค่าอัตราส่วนรอบของวงจรนี้คือ $1:n$ การทำงานของอุปกรณ์ช่วงแรกเป็นเวลา $0 < t < DT_s$ ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_4 นำกระแสและแรงดันตกคร่อมหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิจะมีค่าเท่ากับ V_g เป็นแรงดันบวกซึ่งจะเหนี่ยวนำไปสู่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ด้วยอัตราส่วน nV_g ด้วยซ้ำของหม้อแปลง D_5 นำกระแส และ D_6 หักนำกระแส แรงดันที่ $V_s(t) = nV_g$ กระแส $i(t)$ ของเอาต์พุต จะไหลผ่าน D_5 ต่อมาในช่วง $DT_s < t < T_s$ ขณะที่ทรานซิสเตอร์ทุกตัวหยุดนำกระแส ดังนั้น $V_s = 0$ ในระหว่างนี้ไดโอด D_5 และ D_6 ทั้งคู่ นำกระแสไดโอดแต่ละตัวนำกระแสได้เพียงครั้งเดียวของกระแสเอาต์พุตจากตัวเหนี่ยวนำคือ $0.5i$ ต่อมาช่วงเวลา $T_s < t < T_s + DT_s$ ทรานซิสเตอร์ Q_2 และ Q_3 นำกระแสและขดลวดปฐมภูมิจะมีค่าแรงดันเท่ากับ $-V_g$ เป็นแรงดันลบจะถูกเหนี่ยวนำไปสู่ขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V = nDV_g \tag{2-21}$$



ภาพประกอบ 2-9 วงจรสมมูลแบบฮาล์ฟบริดจ์ขับเคลื่อนด้วย MOSFET แบบมีหม้อแปลงแยกโคด [12]

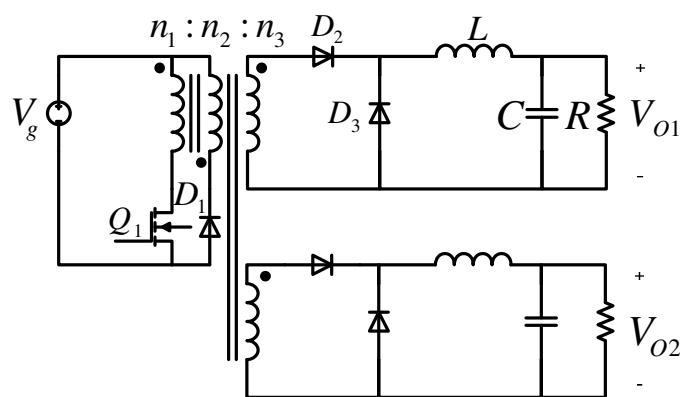
วงจรในภาพประกอบ 2-9 มีลักษณะการทำงานคล้ายแบบฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ใช้สวิตช์ในการทำงานเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้น โดยมีตัวเก็บประจุ C_a และ C_b มาต่อขนานแทนสวิตช์ ดังนั้นแรงดันที่ได้จะเหลือเพียงครึ่งเดียวของวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

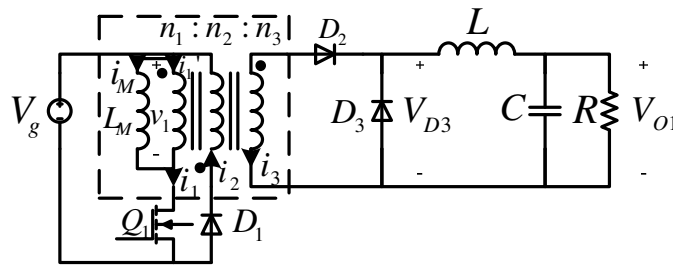
$$V = 0.5nDV_g \tag{2-22}$$

2.2.2 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์แบบสองเอาต์พุตและวงจรสมมูลแสดงในภาพประกอบ 2-10 และ 2-11



ภาพประกอบ 2-10 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ [12]



ภาพประกอบ 2-11 วงจรสมมูลภายในของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ [12]

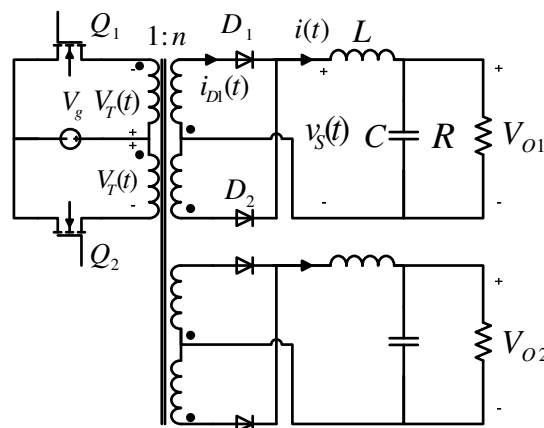
วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีพื้นฐานจากวงจรบักคอนเวอร์เตอร์วงจรนี้ขับกระแสเอาต์พุตได้สูง โดยกระแสทำแม่เหล็ก Magnetizing current (i_M) จะถูกตั้งค่าใหม่ให้เป็น 0 เมื่อทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส อัตราส่วนจำนวนรอบ $n_1 = n_2$ ค่ารอบทำงาน (D) ปรับได้ตั้งแต่ $0 \leq D < 0.5$ ช่วงการทำงานที่คาบเวลา $0 < t < DT_S$ นั้นสวิตช์ Q_1 และไดโอด D_2 จะนำกระแส ซึ่งแรงดัน V_{D3} ที่ตกคร่อมไดโอด D_3 ขณะนั้นจะมีค่าเท่ากับ $V_g \frac{n_3}{n_1}$ และกระแส $i_M = \frac{V_g}{L_M}$ ต่อมาช่วงคาบเวลา $DT_S < t < D_2 T_S$ นั้นไดโอด D_1 และ D_3 จะนำกระแส แรงดัน V_{D3} ที่ตกคร่อมไดโอด D_3 ขณะนั้นจะมีค่าเท่ากับ 0 และกระแส $i_M = -\frac{n_1}{n_2} \frac{V_g}{L_M}$ และช่วงคาบเวลา $D_2 T_S < t < D_3 T_S$ ไดโอด D_3 จะนำกระแส ซึ่งแรงดัน V_{D3} ที่ตกคร่อมไดโอด D_3 ขณะนั้นจะมีค่าเท่ากับ 0 และกระแส $i_M = 0$

ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V_{D3} = V = \frac{n_3}{n_1} DV_g \tag{2-23}$$

2.2.3 วงจรpush-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)

วงจรpush-พูล บักคอนเวอร์เตอร์ที่มีหม้อแปลงแยกโศดแสดงในภาพประกอบ 2-12



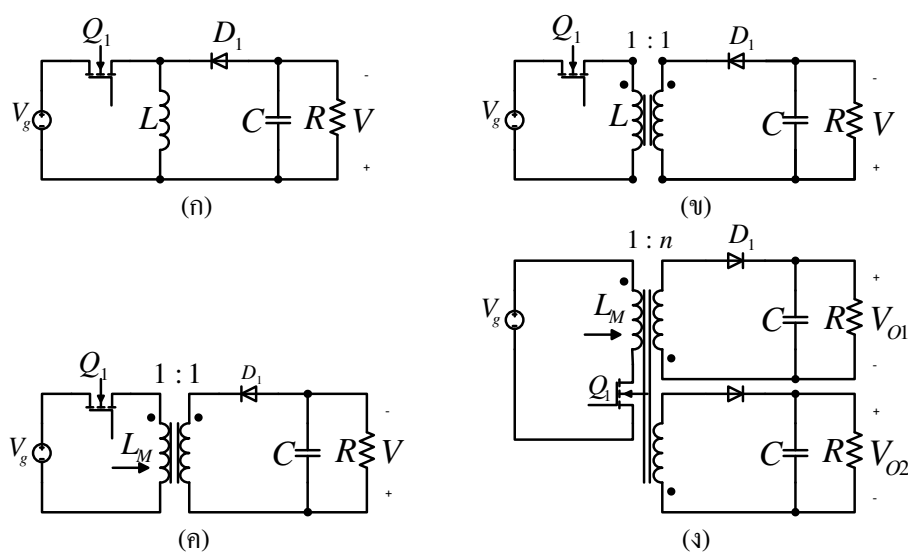
ภาพประกอบ 2-12 วงจรสมมูลแบบpush-พูลบักคอนเวอร์เตอร์แบบมีหม้อแปลงแยกโศด [12]

ด้านพฤติกรรมของวงจรพุก-พุกคอนเวอร์เตอร์ จะมีลักษณะเหมือนวงจรฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์และฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์วงจรทางด้านปฐมภูมิจะมีส่วนประกอบของหม้อแปลงแบบแท่งตรงกลาง ทรานซิสเตอร์ Q_1 และไดโอด D_1 นำกระแสในช่วงคาบเวลา $0 < t < DT_s$ แรงดันที่ขดลวดค้ำปฐมภูมิ(บน) $V_T = V_g$ และ $v_s(t) = nV_g$ ช่วงคาบเวลา $DT_s < t < T_s$ ไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแส $0.5i$ ช่วงเวลา $T_s < t < T_s + DT_s$ ทรานซิสเตอร์ Q_2 และไดโอด D_2 นำกระแสแรงดันที่ขดลวดค้ำปฐมภูมิ(ล่าง) $V_T = -V_g$ และ $v_s(t) = nV_g$ ช่วงคาบเวลา $T_s + DT_s < t < 2T_s$ ไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแส $0.5i$ คอนเวอร์เตอร์นี้สามารถทำงานช่วงคิวดีไซ์เกิดตั้งแต่ $0 \leq D < 1$

ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุทและเอาต์พุทคือ

$$V = nDV_g \quad (2-24)$$

2.2.4 วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)



ภาพประกอบ 2-13 การสร้างวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์จากวงจรบัค-บูสคอนเวอร์เตอร์ [12]

วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่มีพื้นฐานมาจากวงจรบัค-บูสคอนเวอร์เตอร์ การสร้างวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์จากวงจรบัค-บูสคอนเวอร์เตอร์แสดงดังภาพประกอบ 2-13 ภาพประกอบ 2-13 (ก) เป็นวงจรบัค-บูสคอนเวอร์เตอร์ ภาพประกอบ 2-13 (ข) แสดงโครงสร้างซึ่งใช้ตัวเหนี่ยวนำแยกเป็นอัตราส่วน 1:1 ภาพประกอบ 2-13 (ค) แสดงการแยกวงจรออกจากกัน ภาพประกอบ 2-13 (ง) อัตราส่วนเปลี่ยนเป็น 1:n และกลับขั้วทางด้านเอาต์พุตเป็นวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์โดยสมบูรณ์ ช่วงคาบเวลาที่ $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 นำกระแสแรงดัน $V_L = V_g$ ขดลวด

ทางด้าน ทฤษฎีมีมีแรงดันเท่ากับ nV_g ไดโอด D_1 จะหยุดนำกระแส ช่วงคาบเวลาที่ $DT_s < t < D'T_s$ สวิตช์ Q_1 หยุดนำกระแส ไดโอด D_1 นำกระแส แรงดันเอาต์พุต V_o จะมีค่าเท่ากับ $-nV_g$

ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V = nV_g \frac{D}{D'} \quad (2-25)$$

จากการศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเปลเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์ทั้งหมดข้างต้น สามารถนำมาสรุปเป็นตารางเปรียบเทียบการทำงานของแต่ละวงจรในลักษณะของอัตราส่วนรอบ (n) ดังตารางที่ 2-2 เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาเลือกรูปแบบของวงจรมัลติเปลเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในวงจรต้นแบบต่อไป

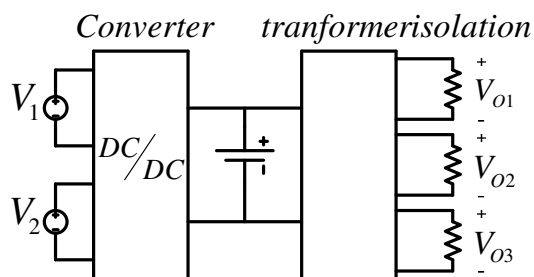
ตารางที่ 2-2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนจำนวนรอบ (n) ของวงจรมัลติเปลเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์ โดยกำหนดค่าแรงดัน $V/V_g = 1$ และรอบทำงาน D เท่ากับ 0.5 0.25 และ 0.1 ตามลำดับ

ชนิด คอนเวอร์เตอร์	$D = 0.5$	$D = 0.25$	$D = 0.1$
	อัตราส่วนจำนวนรอบ (n)		
ฟลูบริดจ์ไอโซเลทบ็ก	2	4	10
ฮาล์ฟบริดจ์ไอโซเลทบ็ก	4	8	20
ฟอร์เวิร์ด	2	4	10
พุก-พุลไอโซเลทบ็ก	2	4	10
ฟลายแบ็ก	1	3	9

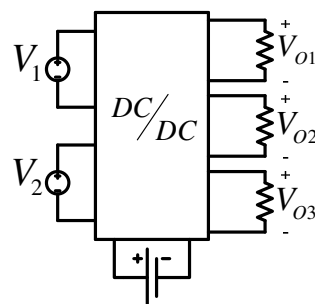
จากตารางที่ 2-2 จะเห็นได้ว่าวงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์มีอัตราส่วนจำนวนรอบ (n) น้อยกว่าวงจรอื่นทำให้งจรมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพเท่าๆ กันนอกจากนี้ วงจรฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ยังใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์น้อยกว่าวงจรอื่น การเกิดพลังงานสูญเสียในตัวอุปกรณ์ย่อมน้อยกว่าวงจรอื่น และยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสร้างวงจรอีกด้วย

2.3 รูปแบบโครงสร้างของวงจรสองอินพุตหลายเอาต์พุตแบบรวมวงจรซาร์จแบตเตอร์

การออกแบบวงจรดับเบิลอินพุตมัลติเปลเอาต์พุตที่รวมวงจรซาร์จแบตเตอร์ สามารถทำได้ใน 2 รูปแบบคือต่อเรียง (Cade case construction) และแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential construction) แสดงดังภาพประกอบ 2-14



(ก) แบบต่อเรียง



(ข) ดิฟเฟอเรนเชียล

ภาพประกอบ 2-14 รูปแบบโครงสร้างของวงจรสองอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

ซึ่งการต่อแบตเตอรี่ในทั้งสองรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน โดยการต่อแบตเตอรี่แบบต่อเรียงนั้น ทำให้วงจรมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน เพราะเป็นการนำแบตเตอรี่ต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์โดยตรงแล้วใช้หม้อแปลงความถี่สูงทำหน้าที่เป็นตัวแยกโคดและขยายจำนวนเอาต์พุต อย่างไรก็ตามการต่อแบบนี้หากวงจรแบตเตอรี่เกิดความเสียหาย ทำให้แหล่งจ่ายที่เหลือคือ V_1 และ V_2 จะไม่สามารถส่งพลังงานไปยังโหลดได้ ส่วนการต่อแบบดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่จะแยกออกมาจากวงจรคอนเวอร์เตอร์ โดยการทำงานที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นหากมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่วงจรก็ยังคงทำงานได้ จึงทำให้วงจรมีเสถียรภาพมากกว่า อย่างไรก็ตามการต่อในลักษณะนี้จะมีความซับซ้อนกว่า

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้เลือก วงจรดับเบิ้ลอินพุตแบบบู้ก-บูส บู้ก-บูสคอนเวอร์เตอร์ วงจรมัลติเปิลเอาต์พุตแบบฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ และเลือกรูปแบบการรวมวงจรแบตเตอรี่ โดยการต่อแบบดิฟเฟอเรนเชียลเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบ

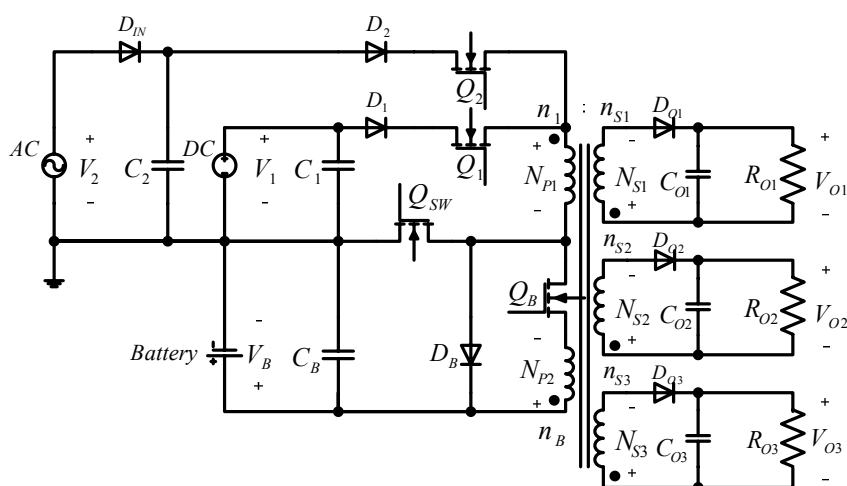
บทที่ 3

การออกแบบวงจร

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการออกแบบวงจร โดยเริ่มจากสมมุติฐานของการรวมวงจรสองอินพุต วงจรหลายเอาต์พุต และวงจรชาร์จแบตเตอรี่เข้าด้วยกันโดยกำหนดโหมดทำงานทั้ง 3 โหมดคือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดเบรก

ด้านอินพุตของวงจรต้นแบบกำหนดให้มี 2 อินพุตเพื่อรับกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย 2 ชนิด คือ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเลือกใช้วงจรสองอินพุตแบบบู้ท-บู้ท/บู้ท-บู้ท คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถสร้างเป็นวงจรหลายเอาต์พุตแบบฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ได้โดยไม่ต้องมีการตัดแปลงวงจรแต่อย่างใด ส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่จะต่อร่วมกับวงจรในลักษณะการต่อแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล โดยมีสวิตช์ควบคุมการประจุของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองในกรณีที่แหล่งจ่ายหลักทั้งสองไม่สามารถทำงานได้ กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะถูกส่งไปยังเอาต์พุตผ่านทางสวิตช์และขดลวดปฐมภูมิอีกชุดหนึ่ง ภาพประกอบ 3-1 แสดงโครงสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ

3.1 ออกแบบวงจรสองอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่



ภาพประกอบ 3-1 โครงสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ต้นแบบ

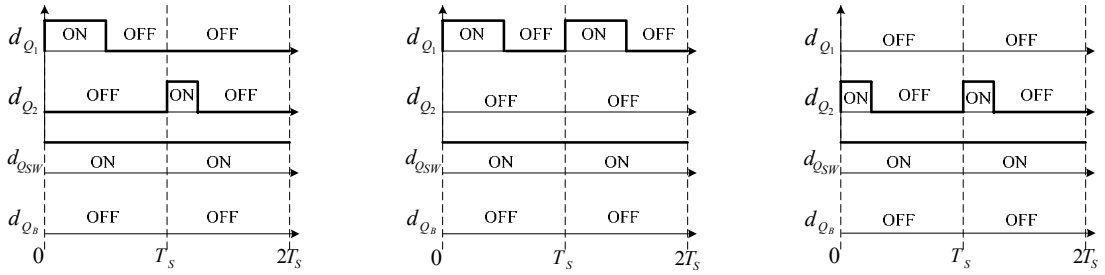
จากภาพประกอบ 3-1 เป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุทที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่เข้าด้วยกัน โดยมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง DC และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ AC ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายของวงจรต้นแบบ สวิตช์ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าคือ Q_1 และ Q_2 ตามลำดับ หม้อแปลงความถี่สูงทำหน้าที่เป็นวงจรหลายเอาต์พุท โดยมีขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} ต่อร่วมกับวงจรสองอินพุท ขดลวดปฐมภูมิ N_{P2} ต่อร่วมกับแบตเตอรี่ซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง ทางด้านทุติยภูมิมีขดลวด 3 ชุด N_{S1} N_{S2} และ N_{S3} ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดที่ระดับแรงดันต่างกัน โดยผ่านไดโอด D_{O1} D_{O2} และ D_{O3} สวิตช์ Q_{SW} ทำหน้าที่ควบคุมการชาร์จประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งมีไดโอด D_B เป็นอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานไปยังแบตเตอรี่ สวิตช์ Q_B ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในกรณีแหล่งจ่ายพลังงานทั้งสองไม่สามารถทำงานได้

โหมดการทำงานของวงจรนี้แบ่งเป็น 3 โหมดหลัก คือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดเบรกอ็อป โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของสวิตช์แบบอัตโนมัติ

ในการวิเคราะห์โหมดการทำงานทุกโหมด กำหนดให้ d_{Q1} d_{Q2} d_{Qsw} และ d_{QB} เป็นสัญญาณควบคุมสวิตช์ Q_1 Q_2 Q_{SW} และ Q_B ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์และการคำนวณค่าพารามิเตอร์ กำหนดให้ $Z = 1$ 2 และ 3 แทนลำดับเอาต์พุท

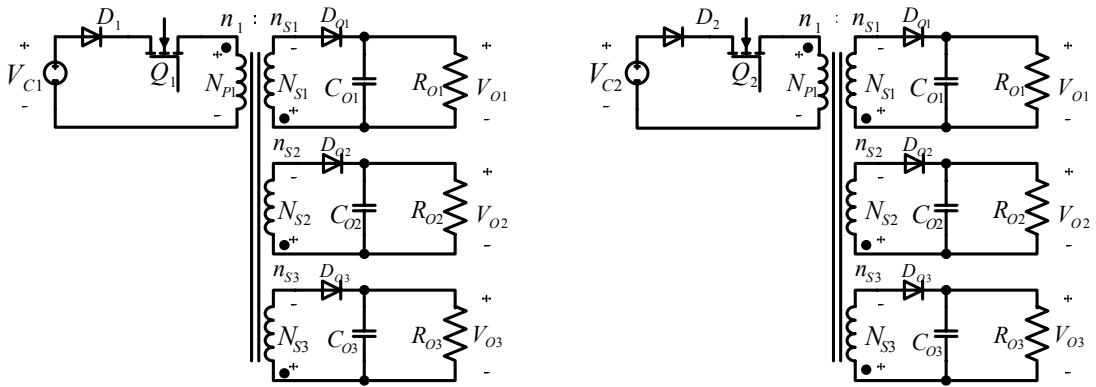
3.1.1 วิเคราะห์การทำงานในโหมดปกติ

เงื่อนไขการทำงานในโหมดนี้คือหากไมโครคอนโทรลเลอร์มีการตรวจสอบค่าแรงดันที่แบตเตอรี่แล้วพบว่ามีความสูงกว่าค่าแรงดันอ้างอิง นั่นคือแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้ว ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้สวิตช์ Q_{SW} “ON” ซึ่งหมายถึงไม่มีการชาร์จประจุให้แบตเตอรี่ และควบคุมให้สวิตช์ Q_1 และ Q_2 ให้นำกระแสตามรอบทำงานที่กำหนดไว้ โดยจะสลับกันทำงาน สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติแสดงดังภาพประกอบ 3-2 (ก) นอกจากนี้หากมีแหล่งจ่ายใดแหล่งจ่ายหนึ่งไม่สามารถทำงานได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้สวิตช์ของแหล่งจ่ายที่เหลือเพิ่มรอบการทำงานเพื่อชดเชยส่วนที่ขาดหายไปดังแสดงในภาพประกอบ 3-2 (ข) และ (ค) โดย รูปวงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดปกติแสดงดังภาพประกอบ 3-3



(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ

ภาพประกอบ 3-2 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมคปกติ



(ก) ขณะแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทำงาน (ข) ขณะแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับทำงาน

ภาพประกอบ 3-3 วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมคปกติ

3.1.1.1 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในโหมคปกติ

แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ขณะสวิตช์ Q_1 ทำงานในโหมคปกติ

$$0 < t < d_1 T_s$$

$$V_{P1} = V_{C1}$$

$$V_{P2} = V_{C1} \frac{n_B}{n_1}$$

$$V_{SZ} = V_{C1} \frac{n_{SZ}}{n_1}$$

$$V_{DS1} = 0$$

$$V_{DS2} = V_{C2} - V_{C1}$$

$$V_{DSB} = V_B - V_{C1} \frac{n_B}{n_1}$$

$$V_{DOZ} = V_{OZ} + V_{C1} \frac{n_{SZ}}{n_1}$$

$$d_1 T_s < t < d_1' T_s$$

$$V_{P1} = -V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \tag{3-1}$$

$$V_{P2} = -V_{OZ} \frac{n_B}{n_{SZ}} \tag{3-2}$$

$$V_{SZ} = -V_{OZ} \tag{3-3}$$

$$V_{DS1} = V_{C1} + V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \tag{3-4}$$

$$V_{DS2} = V_{C2} + V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \tag{3-5}$$

$$V_{DSB} = V_B + V_{OZ} \frac{n_B}{n_{SZ}} \tag{3-6}$$

$$V_{DOZ} = 0 \tag{3-7}$$

กระแสขณะสวิตช์ Q_1 ทำงานในโหมดปกติ

$$I_{Q_1 V_{C1}(ON)} = \frac{I_{OZ} n_{SZ}}{d_1' n_1} \quad (3-8)$$

ความสัมพัทธ์ของแรงดันขณะสวิตช์ Q_1 ทำงานในโหมดปกติ

$$V_{OZ V_{C1}(ON)} = V_{C1} \frac{d_1 n_{SZ}}{d_1' n_1} \quad (3-9)$$

แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ขณะสวิตช์ Q_2 ทำงานในโหมดปกติ

$$\begin{array}{ll} T_S < t < d_2 2T_S & d_2 2T_S < t < d_2' 2T_S \\ V_{P1} = V_{C2} & V_{P1} = -V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \end{array} \quad (3-10)$$

$$V_{P2} = V_{C2} \frac{n_B}{n_1} \quad V_{P2} = -V_{OZ} \frac{n_B}{n_{SZ}} \quad (3-11)$$

$$V_{SZ} = V_{C2} \frac{n_{SZ}}{n_1} \quad V_{SZ} = -V_{OZ} \quad (3-12)$$

$$V_{DS1} = 0; (V_{D1} = V_{C1} - V_{C2}) \quad V_{DS1} = V_{C1} + V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \quad (3-13)$$

$$V_{DS2} = 0 \quad V_{DS2} = V_{C2} + V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \quad (3-14)$$

$$V_{DSB} = V_B - V_{C2} \frac{n_B}{n_1} \quad V_{DSB} = V_B + V_{OZ} \frac{n_B}{n_{SZ}} \quad (3-15)$$

$$V_{DOZ} = V_{OZ} + V_{C2} \frac{n_{SZ}}{n_1} \quad V_{DOZ} = 0 \quad (3-16)$$

กระแสขณะสวิตช์ Q_2 ทำงานในโหมดปกติ

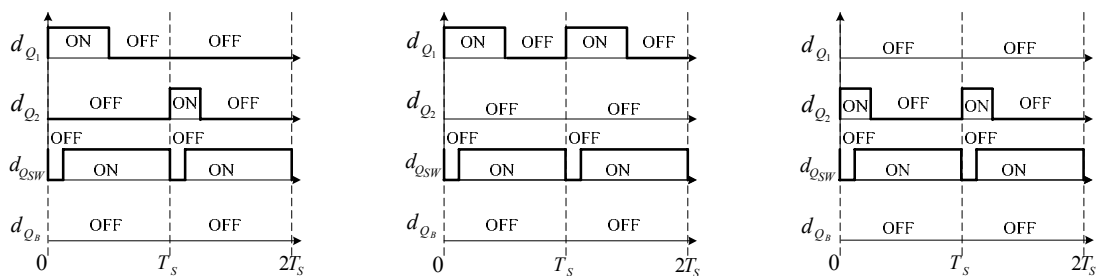
$$I_{Q_2 V_{C2}(ON)} = \frac{I_{OZ} n_{SZ}}{d_2' n_1} \quad (3-17)$$

ความสัมพัทธ์ของแรงดันขณะสวิตช์ Q_2 ทำงานในโหมดปกติ

$$V_{OZ V_{C2}(ON)} = V_{C2} \frac{d_2 n_{SZ}}{d_2' n_1} \quad (3-18)$$

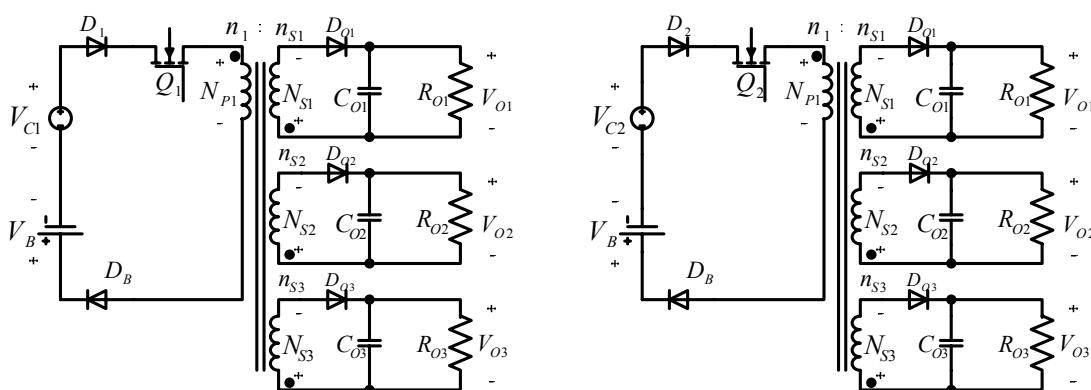
3.1.2 วิเคราะห์การทำงานในโหมดซาร์จแบตเตอรี่

หากไมโครคอนโทรลเลอร์มีการตรวจสอบพบว่า ค่าแรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันอ้างอิง สวิตช์ Q_{SW} จะมีการ “ON” และ “OFF” เป็นรอบโดยช่วงที่สวิตช์ Q_{SW} “OFF” จะต้องเป็นช่วงเวลาที่สวิตช์ Q_1 หรือ Q_2 นำกระแส ซึ่งในช่วงเวลานี้กระแสจากแหล่งจ่ายจะทำการชาร์จประจุแบตเตอรี่ผ่านทางไดโอด D_B ส่วนการทำงานของสวิตช์ตัวอื่นจะเหมือนในกรณีโหมดปกติ สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดซาร์จแบตเตอรี่แสดงดังภาพประกอบ 3-4 และวงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดซาร์จแบตเตอรี่แสดงดังภาพประกอบ 3-5



(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ

ภาพประกอบ 3-4 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมคซาร์จแบตเตอรี่



(ก) ขณะแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทำงาน (ข) ขณะแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับทำงาน

ภาพประกอบ 3-5 วงจรสมมูลวงจรถับแบบในโหมคซาร์จแบตเตอรี่

3.1.2.1 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในโหมคซาร์จแบตเตอรี่

แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ขณะสวิตช์ Q_1 ทำงานในโหมคซาร์จแบตเตอรี่

$$0 < t < d_1 T_s$$

$$V_{P1} = V_{C1} - V_B$$

$$V_{P2} = 0$$

$$V_{SZ} = (V_{C1} - V_B) \frac{n_{SZ}}{n_1}$$

$$V_{DS1} = 0$$

$$V_{DS2} = V_{C2} - V_{C1}$$

$$V_{DSB} = 0$$

$$V_{DOZ} = (V_{C1} - V_B) \frac{n_{SZ}}{n_1} + V_{OZ}$$

$$V_{SW} = V_B$$

$$d_1 T_s < t < d_1' T_s$$

$$V_{P1} = -V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \tag{3-19}$$

$$V_{P2} = -V_{OZ} \frac{n_B}{n_{SZ}} \tag{3-20}$$

$$V_{SZ} = -V_{OZ} \tag{3-21}$$

$$V_{DS1} = (V_{C1} - V_B) + V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \tag{3-22}$$

$$V_{DS2} = (V_{C2} - V_B) + V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \tag{3-23}$$

$$V_{DSB} = 0 \tag{3-24}$$

$$V_{DOZ} = 0 \tag{3-25}$$

$$V_{SW} = V_B + V_{OZ} \frac{n_2}{n_{SZ}} \tag{3-26}$$

กระแสขณะสวิตช์ Q_1 ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอร์

$$I_{Q_1 V_B(ON)} = \frac{I_{OZ} n_{SZ}}{d_{B'} n_B} \quad (3-27)$$

ความสัมพันธ์ของแรงดันขณะสวิตช์ Q_1 ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอร์

$$V_{OZ V_{C1}(ON)} = (V_{C1} - V_B) \frac{d_1 n_{SZ}}{d_{1'} n_1} \quad (3-28)$$

แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ขณะสวิตช์ Q_2 ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอร์

$$\begin{array}{ll} T_S < t < d_2 2T_S & d_2 2T_S < t < d_2' 2T_S \\ V_{P1} = V_{C2} - V_B & V_{P1} = -V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \end{array} \quad (3-29)$$

$$V_{P2} = 0 \quad V_{P2} = -V_{OZ} \frac{n_B}{n_{SZ}} \quad (3-30)$$

$$V_{SZ} = (V_{C2} - V_B) \frac{n_{SZ}}{n_1} \quad V_{SZ} = -V_{OZ} \quad (3-31)$$

$$V_{DS1} = 0; (V_{D1} = V_{C1} - V_{C2}) \quad V_{DS1} = (V_{C1} - V_B) + V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \quad (3-32)$$

$$V_{DS2} = 0 \quad V_{DS2} = (V_{C2} - V_B) + V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \quad (3-33)$$

$$V_{DSB} = 0 \quad V_{DSB} = 0 \quad (3-34)$$

$$V_{DOZ} = (V_{C2} - V_B) \frac{n_{SZ}}{n_1} + V_{OZ} \quad V_{DOZ} = 0 \quad (3-35)$$

$$V_{SW} = V_B \quad V_{SW} = V_B + V_{OZ} \frac{n_B}{n_{SZ}} \quad (3-36)$$

กระแสขณะสวิตช์ Q_2 ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอร์

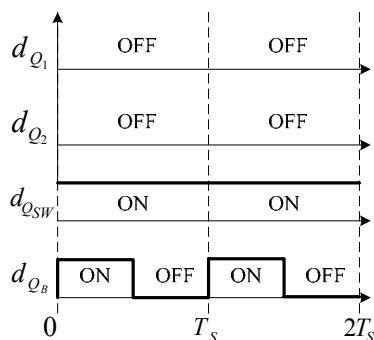
$$I_{Q_2 V_{C2}(ON)} = \frac{I_{OZ} n_{SZ}}{d_{2'} n_1} \quad (3-37)$$

ความสัมพันธ์ของแรงดันขณะสวิตช์ Q_2 ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอร์

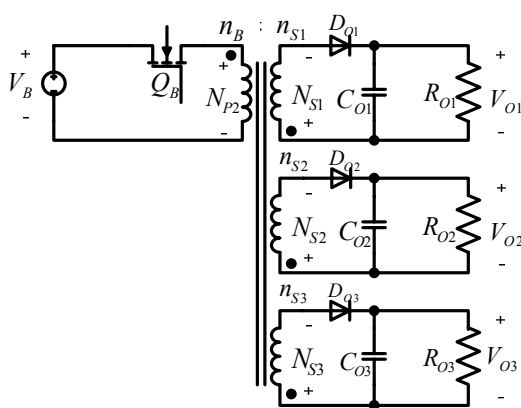
$$V_{OZ V_{C2}(ON)} = (V_{C2} - V_B) \frac{d_2 n_{SZ}}{d_{2'} n_1} \quad (3-38)$$

3.1.3 วิเคราะห์การทำงานในโหมดเบ็ทกัฟ

กรณีแหล่งจ่ายพลังงานทั้งสองไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมสวิตช์ Q_B ให้นำกระแสตามรอบทำงานที่ออกแบบไว้ สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดเบ็ทกัฟแสดงดังภาพประกอบ 3-6 และวงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดเบ็ทกัฟแสดงดังภาพประกอบ 3-7



ภาพประกอบ 3-6 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดเบิ้ลกัฟ



ภาพประกอบ 3-7 วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดเบิ้ลกัฟ

3.1.3.1 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในโหมดเบิ้ลกัฟ

แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ขณะสวิตช์ QB ทำงานในโหมดเบิ้ลกัฟ

$$0 < t < d_B T_S \qquad d_B T_S < t < T_S$$

$$V_{P1} = V_B \frac{n_1}{n_B} \qquad V_{P1} = -V_{OZ} \frac{n_1}{n_{SZ}} \qquad (3-39)$$

$$V_{P2} = V_B \qquad V_{P2} = -V_{OZ} \frac{n_B}{n_{SZ}} \qquad (3-40)$$

$$V_{SZ} = V_B \frac{n_{SZ}}{n_B} \qquad V_{SZ} = -V_{OZ} \qquad (3-41)$$

$$V_{DSB} = 0 \ ; \ (V_{DB} = V_B) \qquad V_{DSB} = V_B + V_{OZ} \frac{n_B}{n_{SZ}} \qquad (3-42)$$

$$V_{DOZ} = V_{OZ} + V_B \frac{n_{SZ}}{n_B} \qquad V_{DOZ} = 0 \qquad (3-43)$$

กระแสขณะสวิตช์ QB ทำงานในโหมดเบิ้ลกัฟ

$$I_{QB V_B(ON)} = \frac{I_{OZ} n_{SZ}}{d_B' n_B} \qquad (3-44)$$

ความสั้มพันธ์ของแรงดันขณะสวิตช์ QB ทำงานในโหมดเบิ้ลกัฟ

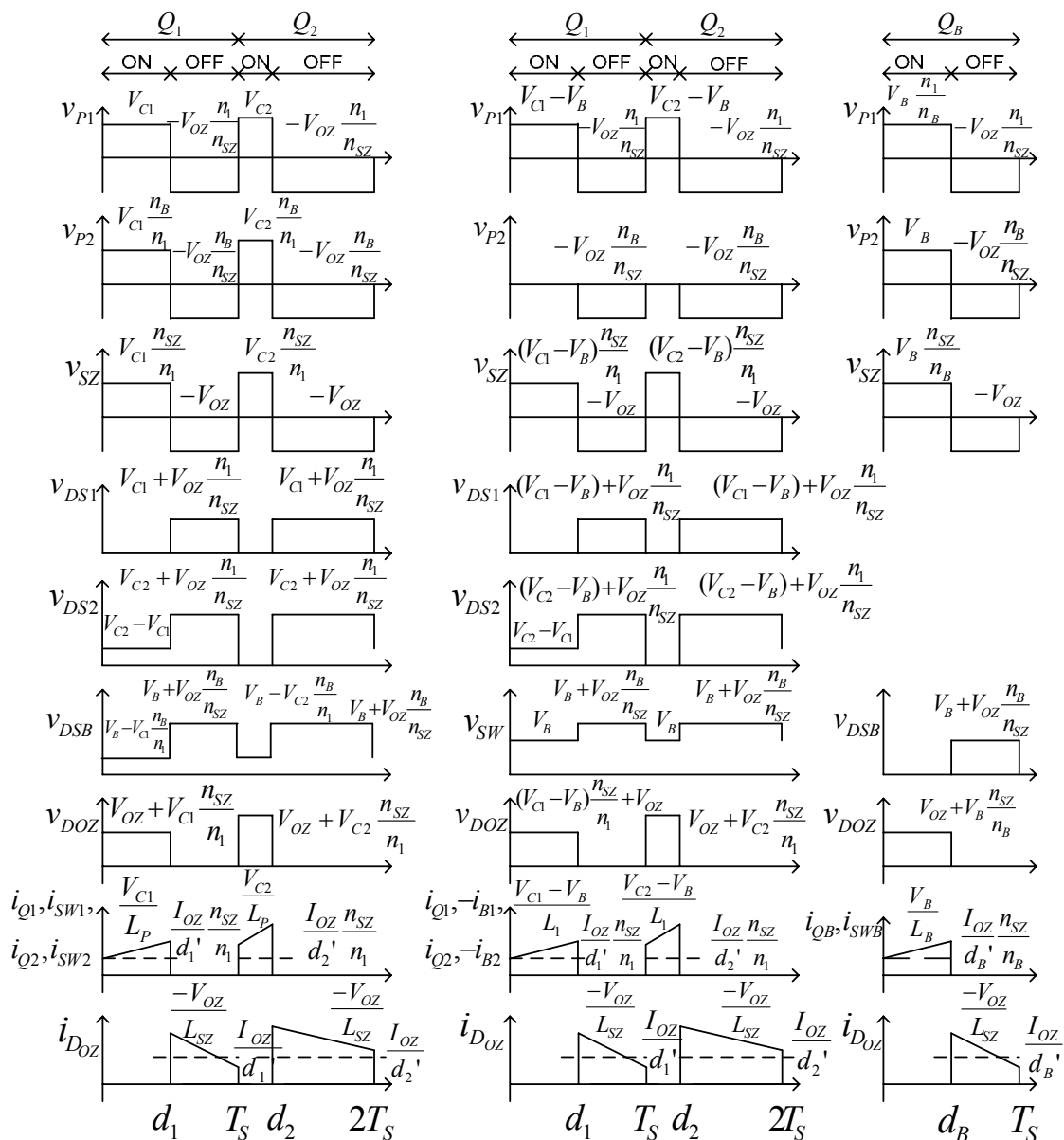
$$V_{OZ V_B(ON)} = V_B \frac{d_B n_{SZ}}{d_B' n_B} \qquad (3-45)$$

ในแต่ละโหมดการทำงานของวงจรสามารถเขียนสรุปการทำงานของสวิตช์ทุกตัวในวงจรต้นแบบได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 แสดงความสัมพันธ์ของสวิตช์ในแต่ละโหมดการทำงาน

สวิตช์	โหมดปกติ	โหมดชาร์จแบตเตอรี่	โหมดแบ็กอัพ
Q_1, Q_2	PWM	PWM	OFF
Q_B	OFF	OFF	PWM
Q_{SW}	ON	PWM	ON

จากการวิเคราะห์ห้วงจรสมมูลของวงจรต้นแบบในทั้งสามโหมดการทำงานสามารถเขียนรูปคลื่นแรงดันและกระแสในส่วนประกอบหลักของวงจรได้ดังภาพประกอบ 3-8 โดย V_{P1} แทนแรงดันด้านปฐมภูมิ 1 V_{P2} แทนแรงดันด้านปฐมภูมิ 2 V_{SZ} แทนแรงดันด้านทุติยภูมิใดๆ V_{DS1} แทนแรงดันที่สวิตช์ Q_1 V_{DS2} แทนแรงดันที่สวิตช์ Q_2 V_{DB} แทนแรงดันที่สวิตช์ Q_B V_{DOZ} แทนแรงดันที่ไดโอดเอาต์พุท กระแสที่สวิตช์ Q_1 กระแสที่สวิตช์ Q_2 และกระแสที่ไดโอดเอาต์พุทตามลำดับ โดยค่าแรงดันและกระแสเหล่านี้จะนำไปใช้ในการออกแบบและเลือกอุปกรณ์สำหรับวงจรต้นแบบต่อไป



(ก) โหมคปกกติ

(ข) โหมคซาร์จแบตเตอร์

(ค) โหมคเบื่อกั๊พ

ภาพประกอบ 3-8 รูปคลื่นแรงดันและกระแสในแต่ละโหมคการทำงาน

3.2 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรต้นแบบ

สำหรับการออกแบบและสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่จะพิจารณาภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบวงจรต้นแบบ

คุณสมบัติของวงจรต้นแบบ	
Output Power	30 วัตต์
Input 1: V_{C1}	30 โวลต์
Input 2: V_{C2}	60 โวลต์
Battery: V_B	24 โวลต์
Output 1: V_{O1}	12 โวลต์
Output 2: V_{O2}	5 โวลต์
Output 3: V_{O3}	3.3 โวลต์
Switching Frequency	100 kHz
Duty cycle input 1: d_1	0.5
Duty cycle battery: d_B	0.5

กำหนดให้กำลังไฟฟ้ารวมด้านออกทั้งสามเอาต์พุตเท่ากับ 30 วัตต์ โดยแต่ละเอาต์พุตมีกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตละ 10 วัตต์ วงจรทำงานที่ความถี่ 100 kHz ในการออกแบบจะเลือกรอบทำงาน d_1 และ d_B ให้เท่ากับ 0.5 เพื่อสามารถคำนวณอัตราส่วนรอบของหม้อแปลงได้

3.2.1 การคำนวณหาอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง

หาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบ n_{S1} , n_{S2} และ n_{S3} ด้านทุติยภูมิสามารถหาได้จากสมการ (3-9)

อัตราส่วนรอบของขดลวดทุติยภูมิ n_{S1}

$$V_{O1V_{C1}(ON)} = V_{C1} \frac{d_1 n_{S1}}{d_1' n_1}$$

$$12V = 30V \frac{0.5 n_{S1}}{0.5 \cdot 1}$$

$$n_{S1} = 0.4$$

อัตราส่วนรอบของขดลวดทุติภูมิ n_{S2}

$$\begin{aligned} V_{O2V_{C1}(ON)} &= V_{C1} \frac{d_1 n_{S2}}{d_{1'} n_1} \\ 5V &= 30V \frac{0.5 n_{S2}}{0.5 \cdot 1} \\ n_{S2} &= 0.17 \end{aligned}$$

อัตราส่วนรอบของขดลวดทุติภูมิ n_{S3}

$$\begin{aligned} V_{O3V_{C1}(ON)} &= V_{C1} \frac{d_1 n_{S3}}{d_{1'} n_1} \\ 3.3V &= 30V \frac{0.5 n_{S3}}{0.5 \cdot 1} \\ n_{S3} &= 0.11 \end{aligned}$$

อัตราส่วนจำนวนรอบ n_B ด้านปฐมภูมิ 2 จากสมการ (3-45) จะได้

$$\begin{aligned} V_{OZV_B(ON)} &= V_B \frac{d_B n_{S2}}{d_{B'} n_B} \\ V_{O1} &= V_B \frac{d_B n_{S1}}{d_{B'} n_B} \\ 12V &= 24V \frac{0.5 \cdot 0.4}{0.5 n_B} \\ n_B &= 0.8 \end{aligned}$$

3.2.2 การคำนวณหารอบทำงาน d_2 ของสวิตช์ Q_2 จากสมการ (3-18) จะได้

$$\begin{aligned} V_{O1V_{C2}(ON)} &= V_{C2} \frac{d_2 n_{S1}}{d_{2'} n_1} \\ 12V &= 60V \frac{d_2 \cdot 0.4}{d_{2'} \cdot 1} \\ d_2 &= 0.33 \end{aligned}$$

3.2.3 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง [12]

คำนวณค่ากระแส I_{O1} , I_{O2} และ I_{O3} ด้านเอาต์พุต

จากค่ากำลังไฟฟ้านำออก w_{OZ} ต่อค่าแรงดันเอาต์พุต v_{OZ} สามารถคำนวณหากระแสได้ดังนี้

$$\begin{aligned} I_{OZ} &= \frac{w_{OZ}}{V_{OZ}} & (3-46) \\ I_{O1} &= \frac{w_{O1}}{V_{O1}} = \frac{10W}{12V} = 0.83A \\ I_{O2} &= \frac{w_{O2}}{V_{O2}} = \frac{10W}{5V} = 2A \\ I_{O3} &= \frac{w_{O3}}{V_{O3}} = \frac{10W}{3.3V} = 3.03A \end{aligned}$$

คำนวณค่ากระแสทำแม่เหล็ก (Magnetizing current I_M) ของขดลวดปฐมภูมิ N_{P1}

เนื่องจากในวงจรต้นแบบมีแรงดันอินพุต 2 ค่าซึ่งแต่ละอินพุตจะสลับกันจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดผ่านทางหม้อแปลงความถี่สูง 1 ตัว นอกจากนี้ในโหมดแบ็กอัพกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะถูกส่งไปยังโหลดผ่านหม้อแปลงตัวเดียวกัน ดังนั้นในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงนี้จึงต้องคำนวณค่าต่างๆ โดยพิจารณาจากทั้งสามกรณีเพื่อหาค่าวิกฤติมาทำการเลือกขนาดและออกแบบหม้อแปลงต่อไป

- ค่ากระแสทำแม่เหล็กของขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} เนื่องจากอินพุต 1 (I_{M1})
กระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} หม้อแปลงทั้งหมดเนื่องจากอินพุต 1
สามารถคำนวณผลรวมของกระแสจากแต่ละเอาต์พุตที่รอบทำงาน d_1 จากสมการที่ (3-8)

กระแสผ่านหม้อแปลงเนื่องมาจากเอาต์พุตที่ 1

$$I_{Q1V_{C1}(ON)} = \frac{I_{O1} n_{S1}}{d_1' n_1} = \frac{0.83A \cdot 0.4}{0.5 \cdot 1} = 0.664A$$

กระแสผ่านหม้อแปลงเนื่องมาจากเอาต์พุตที่ 2

$$I_{Q1V_{C1}(ON)} = \frac{I_{O2} n_{S2}}{d_1' n_1} = \frac{2A \cdot 0.17}{0.5 \cdot 1} = 0.68A$$

กระแสผ่านหม้อแปลงเนื่องมาจากเอาต์พุตที่ 3

$$I_{Q1V_{C1}(ON)} = \frac{I_{O3} n_{S3}}{d_1' n_1} = \frac{3.03A \cdot 0.11}{0.5 \cdot 1} = 0.67A$$

ค่ากระแสทำแม่เหล็กรวม (I_{M1}) ของขดลวดปฐมภูมิ N_{P1}

$$I_{M1} = 0.664A + 0.68A + 0.67A = 2A$$

- ค่ากระแสทำแม่เหล็กของขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} เนื่องจากอินพุต 2 (I_{M2})
กระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ N_{P1} หม้อแปลงทั้งหมดเนื่องจากอินพุต 2
สามารถคำนวณผลรวมของกระแสจากแต่ละเอาต์พุตที่รอบทำงาน d_2 จากสมการที่ (3-17)

กระแสผ่านหม้อแปลงเนื่องมาจากเอาต์พุตที่ 1

$$I_{Q2V_{C2}(ON)} = \frac{I_{O1} n_{S1}}{d_2' n_1} = \frac{0.83A \cdot 0.4}{0.67 \cdot 1} = 0.5A$$

กระแสผ่านหม้อแปลงเนื่องมาจากเอาต์พุตที่ 2

$$I_{Q2V_{C2}(ON)} = \frac{I_{O2} n_{S2}}{d_2' n_1} = \frac{2A \cdot 0.17}{0.67 \cdot 1} = 0.5A$$

กระแสผ่านหม้อแปลงเนื่องมาจากเอาต์พุตที่ 3

$$I_{Q2V_{C2}(ON)} = \frac{I_{O3} n_{S3}}{d_2' n_1} = \frac{3.03A \cdot 0.11}{0.67 \cdot 1} = 0.5A$$

ค่ากระแสทำแม่เหล็กรวม (I_{M2}) ของขดลวดปฐมภูมิ N_{P1}

$$I_{M2} = 0.5A + 0.5A + 0.5A = 1.5A$$

- ค่ากระแสทำแม่เหล็กของขดลวดปฐมภูมิ N_{PB} เนื่องจากเบตเตอร์ (I_{MB})
กระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ N_{PB} หม้อแปลงทั้งหมดเนื่องจากเบตเตอร์
สามารถคำนวณผลรวมของกระแสจากแต่ละเอาต์พุตที่รอบทำงาน d_B จากสมการที่ (3-44)

กระแสผ่านหม้อแปลงเนื่องมาจากเอาต์พุตที่ 1

$$I_{QBV_B(ON)} = \frac{I_{O1} n_{S1}}{d_B' n_B} = \frac{0.83A \cdot 0.4}{0.5 \cdot 0.8} = 0.83A$$

กระแสผ่านหม้อแปลงเนื่องมาจากเอาต์พุตที่ 2

$$I_{QBV_B(ON)} = \frac{I_{O2} n_{S2}}{d_B' n_B} = \frac{2A \cdot 0.17}{0.5 \cdot 0.8} = 0.85A$$

กระแสผ่านหม้อแปลงเนื่องมาจากเอาต์พุตที่ 3

$$I_{QBV_B(ON)} = \frac{I_{O3} n_{S3}}{d_B' n_B} = \frac{3.03A \cdot 0.11}{0.5 \cdot 0.8} = 0.83A$$

ค่ากระแสทำแม่เหล็กรวม (I_{MB}) ของขดลวดปฐมภูมิ N_{P1}

$$I_{MB} = 0.83A + 0.85A + 0.83A = 2.5A$$

กำหนดกระแสกระเพื่อมของ (Δi_M) กระแสทำแม่เหล็กเท่ากับ 20% ของกระแสทำแม่เหล็ก I_M จะได้

$$\Delta i_{M1} = 0.2I_{M1} = 0.2 \times 2A = 0.4A$$

$$\Delta i_{M2} = 0.2I_{M2} = 0.2 \times 1.5A = 0.3A$$

$$\Delta i_{MB} = 0.2I_{MB} = 0.2 \times 2.5A = 0.5A$$

ค่ายอดกระแสทำแม่เหล็ก

$$I_{M,max} = I_M + \Delta i_M \quad (3-47)$$

$$I_{M1,max} = I_{M1} + \Delta i_{M1} = 2A + 0.4A = 2.4A$$

$$I_{M2,max} = I_{M2} + \Delta i_{M2} = 1.5A + 0.3A = 1.8A$$

$$I_{MB,max} = I_{MB} + \Delta i_{MB} = 2.5A + 0.5A = 3A$$

คำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (L_M)

$$\Delta i_L = \frac{V_{in}}{2L} D_{in} T_S \quad (3-48)$$

$$L_{M1} = \frac{V_{C1} d_1 T_S}{2 \Delta i_{M1}} = \frac{30V \times 0.5 \times 10^{-5} s}{2 \times 0.4A} = 0.187mH$$

$$L_{M2} = \frac{V_{C2} d_2 T_S}{2 \Delta i_{M2}} = \frac{60V \times 0.33 \times 10^{-5} s}{2 \times 0.3A} = 0.334mH$$

$$L_{MB} = \frac{V_B d_B T_S}{2 \Delta i_{MB}} = \frac{24V \times 0.5 \times 10^{-5} s}{2 \times 0.5A} = 0.12mH$$

คำนวณค่ากระแสอาร์เอ็มเอสสูงสุดด้านปฐมภูมิ จาก

$$I_1 = I_M \sqrt{D} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_M}{I_M} \right)^2} \quad (3-49)$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสด้านทุติยภูมิเนื่องจากอินพุท 1

$$I_{P1V_{C1}(ON)} = I_{M1} \sqrt{d_1} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{M1}}{I_{M1}} \right)^2} = 2A \times \sqrt{0.5} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.4A}{2A} \right)^2} = 1.42A$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสด้านทุติยภูมิเนื่องจากอินพุท 2

$$I_{P1V_{C2}(ON)} = I_{M2} \sqrt{d_2} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{M2}}{I_{M2}} \right)^2} = 1.5A \times \sqrt{0.33} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.3A}{1.5A} \right)^2} = 0.87A$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสด้านทุติยภูมิเนื่องจากแบตเตอรี่

$$I_{P2V_B(ON)} = I_{MB} \sqrt{d_B} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{MB}}{I_{MB}} \right)^2} = 2.5A \times \sqrt{0.5} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.5A}{2.5A} \right)^2} = 1.78A$$

คำนวณค่ากระแสอาร์เอ็มเอสสูงสุดด้านทุติยภูมิจาก

$$I_2 = \frac{n_1}{n_2} I_M \sqrt{D'} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_M}{I_M} \right)^2} \quad (3-50)$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสด้านทุติยภูมิเนื่องจากอินพุต 1

$$I_{S1V_{C1}(ON)} = \frac{n_1}{n_{S1}} I_{M1} \sqrt{d_1'} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{M1}}{I_{M1}} \right)^2} = \frac{1}{0.4} \times 2A \times \sqrt{0.5} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.4A}{2A} \right)^2} = 3.56A$$

$$I_{S2V_{C1}(ON)} = \frac{n_1}{n_{S2}} I_{M1} \sqrt{d_1'} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{M1}}{I_{M1}} \right)^2} = \frac{1}{0.17} \times 2A \times \sqrt{0.5} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.4A}{2A} \right)^2} = 8.37A$$

$$I_{S3V_{C1}(ON)} = \frac{n_1}{n_{S3}} I_{M1} \sqrt{d_1'} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{M1}}{I_{M1}} \right)^2} = \frac{1}{0.11} \times 2A \times \sqrt{0.5} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.4A}{2A} \right)^2} = 12.94A$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสด้านทุติยภูมิเนื่องจากอินพุต 2

$$I_{S1V_{C2}(ON)} = \frac{n_1}{n_{S1}} I_{M2} \sqrt{d_2'} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{M2}}{I_{M2}} \right)^2} = \frac{1}{0.4} \times 1.5A \times \sqrt{0.666} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.3A}{1.5A} \right)^2} = 3.08A$$

$$I_{S2V_{C2}(ON)} = \frac{n_1}{n_{S2}} I_{M2} \sqrt{d_2'} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{M2}}{I_{M2}} \right)^2} = \frac{1}{0.17} \times 1.5A \times \sqrt{0.666} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.3A}{1.5A} \right)^2} = 7.25A$$

$$I_{S3V_{C2}(ON)} = \frac{n_1}{n_{S3}} I_{M2} \sqrt{d_2'} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{M2}}{I_{M2}} \right)^2} = \frac{1}{0.11} \times 1.5A \times \sqrt{0.666} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.3A}{1.5A} \right)^2} = 11.2A$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสด้านทุติยภูมิเนื่องจากแบตเตอรี่

$$I_{S1V_B(ON)} = \frac{n_B}{n_{S1}} I_{MB} \sqrt{d_B'} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{MB}}{I_{MB}} \right)^2} = \frac{0.8}{0.4} \times 2.5A \times \sqrt{0.5} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.5A}{2.5A} \right)^2} = 3.56A$$

$$I_{S2V_B(ON)} = \frac{n_B}{n_{S2}} I_{MB} \sqrt{d_B'} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{MB}}{I_{MB}} \right)^2} = \frac{0.8}{0.17} \times 2.5A \times \sqrt{0.5} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.5A}{2.5A} \right)^2} = 8.37A$$

$$I_{S3V_B(ON)} = \frac{n_B}{n_{S3}} I_{MB} \sqrt{d_B'} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_{MB}}{I_{MB}} \right)^2} = \frac{0.8}{0.11} \times 5.5A \times \sqrt{0.5} \times \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{0.5A}{2.5A} \right)^2} = 12.94A$$

คำนวณค่ากระแสอาร์เอ็มเอสรวมเนื่องจากอินพุตทั้ง 3 ตัว

$$I_{tot} = I_1 + \frac{n_2}{n_1} I_2 + \dots \quad (3-51)$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสรวมด้านอินพุตเนื่องจากอินพุต 1

$$\begin{aligned} I_{totV_{C1}(ON)} &= I_{P1V_{C1}(ON)} + \frac{n_{S1}}{n_1} I_{S1V_{C1}(ON)} + \frac{n_{S2}}{n_1} I_{S2V_{C1}(ON)} + \frac{n_{S3}}{n_1} I_{S3V_{C1}(ON)} \\ &= 1.42A + \left(\frac{0.4}{1}\right) 3.56A + \left(\frac{0.17}{1}\right) 8.37A + \left(\frac{0.11}{1}\right) 12.94A = 5.69A \end{aligned}$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสรวมด้านอินพุตเนื่องจากอินพุต 2

$$\begin{aligned} I_{totV_{C2}(ON)} &= I_{P1V_{C2}(ON)} + \frac{n_{S1}}{n_1} I_{S1V_{C2}(ON)} + \frac{n_{S2}}{n_1} I_{S2V_{C2}(ON)} + \frac{n_{S3}}{n_1} I_{S3V_{C2}(ON)} \\ &= 0.87A + \left(\frac{0.4}{1}\right) 3.08A + \left(\frac{0.17}{1}\right) 7.25A + \left(\frac{0.11}{1}\right) 11.2A = 4.57A \end{aligned}$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสรวมด้านอินพุตเนื่องจากเบตเตอร์

$$\begin{aligned} I_{totV_B(ON)} &= I_{P2V_B(ON)} + \frac{n_{S1}}{n_B} I_{S1V_B(ON)} + \frac{n_{S2}}{n_B} I_{S2V_B(ON)} + \frac{n_{S3}}{n_B} I_{S3V_B(ON)} \\ &= 1.78A + \left(\frac{0.4}{0.8}\right) 3.56A + \left(\frac{0.17}{0.8}\right) 8.37A + \left(\frac{0.11}{0.8}\right) 12.94A = 7.12A \end{aligned}$$

คำนวณค่าคงที่ของแกนหม้อแปลง K_g

$$K_g = \frac{\rho L^2 M I_{tot}^2 M_{max}}{B^2 maxP_{cu} K_u} 10^8 \quad (3-52)$$

เลือกค่าตัวเหนี่ยวนำที่มากที่สุดคือ $L_{M2} = 0.334mH$

ค่าคงที่ของแกนหม้อแปลง K_{g1} เนื่องจากอินพุต 1

$$\begin{aligned} K_{g1} &= \frac{\rho L^2 M_2 I_{totV_{C1}(ON)}^2 M_{1,max}}{B^2 maxP_{cu} K_u} 10^8 \\ K_{g1} &= \frac{(1.724 \times 10^{-6} \Omega-cm)(0.334 \times 10^{-3} H)^2 (5.69A)^2 (2.4A)^2}{(0.25T)^2 (1.5W)(0.3)} 10^8 = 127.5 \times 10^{-3} cm^5 \end{aligned}$$

ค่าคงที่ของแกนหม้อแปลง K_{g2} เนื่องจากอินพุต 2

$$\begin{aligned} K_{g2} &= \frac{\rho L^2 M_2 I_{totV_{C2}(ON)}^2 M_{2,max}}{B^2 maxP_{cu} K_u} 10^8 \\ K_{g2} &= \frac{(1.724 \times 10^{-6} \Omega-cm)(0.334 \times 10^{-3} H)^2 (4.57A)^2 (1.8A)^2}{(0.25T)^2 (1.5W)(0.3)} 10^8 = 46.3 \times 10^{-3} cm^5 \end{aligned}$$

ค่าคงที่ของแกนหม้อแปลง K_{gB} เนื่องจากเบตเตอร์

$$\begin{aligned} K_{gB} &= \frac{\rho L^2 M_2 I_{totV_B(ON)}^2 M_{B,max}}{B^2 maxP_{cu} K_u} 10^8 \\ K_{gB} &= \frac{(1.724 \times 10^{-6} \Omega-cm)(0.334 \times 10^{-3} H)^2 (7.12A)^2 (3A)^2}{(0.25T)^2 (1.5W)(0.3)} 10^8 = 312 \times 10^{-3} cm^5 \end{aligned}$$

จากผลการคำนวณทั้ง 3 กรณี

ใช้ค่า $K_{gB} = 312 \times 10^{-3} \text{ cm}^5$ อ้างอิงในการเลือกแกนดังนั้น $K_g \geq 312 \times 10^{-3} \text{ cm}^5$ เลือกขนาดแกน

ซึ่งเลือกเป็นแกน ETD44 ที่มีค่า $K_g = 846 \times 10^{-3} \text{ cm}^5$

จาก Appendix D [12] โดยแกนดังกล่าวมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} A_c &= 1.74 \text{ cm}^2 \\ W_A &= 2.13 \text{ cm}^2 \\ MLT &= 7.62 \text{ cm} \\ l_m &= 10.3 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

คำนวณค่าระยะห่างของช่องว่างอากาศ (l_g) ใช้พารามิเตอร์ของเบคเตอร์จาก

$$\begin{aligned} l_g &= \frac{\mu_0 L M I^2 M_{max}}{B^2_{max} A_c} 10^4 \\ l_g &= \frac{\mu_0 L M B I^2 M_{B,max}}{B^2_{max} A_c} 10^4 \\ l_g &= \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m})(0.12 \times 10^{-3} \text{ H})(3)^2}{(0.25 \text{ T})^2 (1.74 \text{ cm}^2)} 10^4 = 0.125 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3-53)$$

คำนวณจำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ (N_{PB})

$$\begin{aligned} N_{PB} &= \frac{L M I_{max}}{B_{max} A_c} 10^4 \\ N_{PB} &= \frac{(0.12 \times 10^{-3} \text{ H})(3 \text{ A})}{(0.25 \text{ T})(1.74 \text{ cm}^2)} 10^4 = 8.27 \times 2 = 16.54 \approx 17 \text{ รอบ} \end{aligned} \quad (3-54)$$

คำนวณจำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ (N_{P1}) จาก

$$\begin{aligned} N_{PB} &= 0.8 N_{P1} \\ N_{P1} &= \frac{n_B}{0.8} = \frac{16.54}{0.8} = 20.68 \approx 21 \text{ รอบ} \end{aligned} \quad (3-55)$$

คำนวณจำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ (N_S) จากสมการ (3-45)

$$V_{OZV_B(ON)} = V_B \frac{d_B}{d_B'} \frac{n_{SZ}}{n_B}$$

จะได้

$$\begin{aligned} N_{S1} &= V_{O1V_B(ON)} \left(\frac{d_B'}{d_B} \right) \left(\frac{n_B}{V_B} \right) = 12 \left(\frac{0.5}{0.5} \right) \left(\frac{17}{24} \right) = 8.5 \approx 9 \text{ รอบ} \\ N_{S2} &= V_{O2V_B(ON)} \left(\frac{d_B'}{d_B} \right) \left(\frac{n_B}{V_B} \right) = 5 \left(\frac{0.5}{0.5} \right) \left(\frac{17}{24} \right) = 3.54 \approx 4 \text{ รอบ} \\ N_{S3} &= V_{O3V_B(ON)} \left(\frac{d_B'}{d_B} \right) \left(\frac{n_B}{V_B} \right) = 3.3 \left(\frac{0.5}{0.5} \right) \left(\frac{17}{24} \right) = 2.34 \approx 3 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

ตารางที่ 3-3 แสดงสรุปจำนวนรอบขดลวดและอัตราส่วนต่อพื้นที่การพัน (α)
สำหรับสร้างหม้อแปลงความถี่สูงในวงจรต้นแบบ

ตารางที่ 3-3 สรุปจำนวนรอบขดลวดและอัตราส่วนขดลวดต่อพื้นที่การพันในแกนหม้อแปลง

N_{PB}	N_{P1}	N_{S1}	N_{S2}	N_{S3}
17 รอบ	21 รอบ	9 รอบ	4 รอบ	3 รอบ
α_{P2}	α_{P1}	α_{S1}	α_{S2}	α_{S3}
0.315	0.389	0.167	0.074	0.056

คำนวณขนาดลวด

$$A_{W1,P2} \leq \frac{\alpha_{P2} K_u W A}{n_B} = \frac{(0.315)(0.3)(2.13)}{17} = 11.84 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

$$A_{W1,P1} \leq \frac{\alpha_{P1} K_u W A}{n_1} = \frac{(0.389)(0.3)(2.13)}{21} = 11.84 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

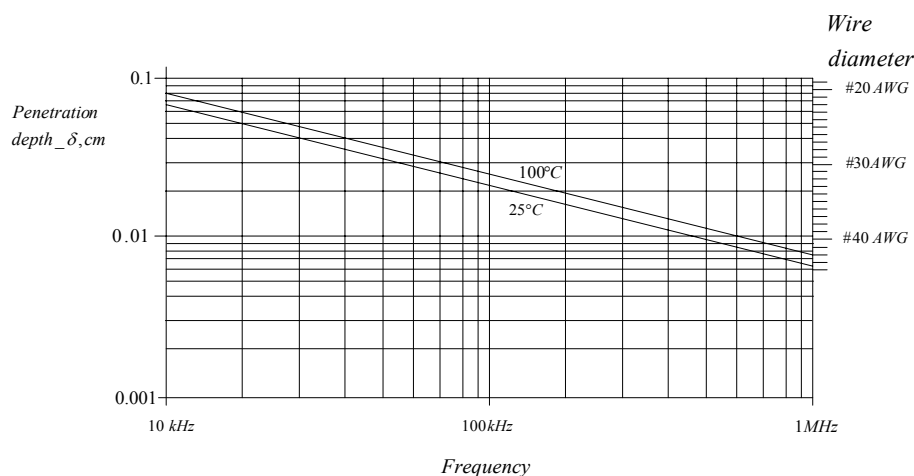
$$A_{W2,S1} \leq \frac{\alpha_{S1} K_u W A}{n_{S1}} = \frac{(0.167)(0.3)(2.13)}{9} = 11.86 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

$$A_{W2,S2} \leq \frac{\alpha_{S2} K_u W A}{n_{S2}} = \frac{(0.074)(0.3)(2.13)}{4} = 11.82 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

$$A_{W2,S3} \leq \frac{\alpha_{S3} K_u W A}{n_{S3}} = \frac{(0.056)(0.3)(2.13)}{3} = 11.93 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

จาก Appendix D [12] สามารถเลือกลวดเบอร์ #23AWG ซึ่งทนกระแสสูงสุดได้ 4.7A [13] ในทุกชุดขดลวด อย่างไรก็ตามเพื่อลดผลของ skin effect เนื่องจากการทำงานที่ความถี่สูง จึงเลือกใช้ขดลวดเบอร์#31 ซึ่งเหมาะสมสำหรับการทำงานที่ความถี่ 100 kHz ดังแสดงในภาพประกอบ (3-9) โดยการคำนวณจำนวนเส้นในการตีเกลียวเป็นไปตามสมการ (3-56)

ใช้เบอร์ #23AWG ทนกระแสสูงสุดได้ 4.7A [13]



ภาพประกอบ 3-9 ความสัมพันธ์ของความถี่กับขนาดตัวนำเทียบกับอุณหภูมิ

ที่ความถี่ 100 kHz ค่าการนำกระแสของวัสดุทองแดงที่อุณหภูมิ 100°C คือเบอร์ #31AWG [12]

#23AWG มี Bare area = $2.508 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$

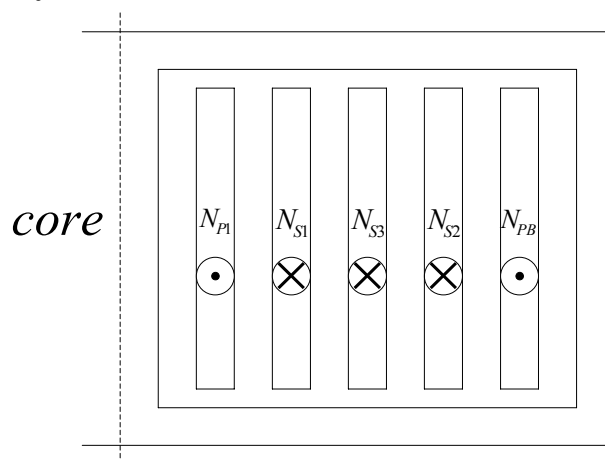
#31AWG มี Bare area = $0.4013 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$

จะได้

$$\frac{\text{Bare area 23AWG}}{\text{Bare area 31AWG}} = \frac{2.508 \times 10^{-3} \text{ cm}^2}{0.4013 \times 10^{-3} \text{ cm}^2} = 6.24 \approx 7 \text{ เส้น (พื้นที่เก็ลียว)} \quad (3-56)$$

การวางชั้นขดลวดในหม้อแปลงความถี่สูง

ทิศทางการพันทางด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิมีทิศทางตรงข้ามกันเพื่อช่วยในการลดค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลที่เกิดขึ้นขณะส่งผ่านพลังงาน ในทางอุดมคติการทำงานใน โหมดปกติขณะ N_{P1} เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กทางด้านขดลวดทางด้านปฐมภูมิ N_{PB} จะมีสนามแม่เหล็กเป็น 0 เพราะถูกหักล้างโดยสนามแม่เหล็กทางด้านลบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ N_{S1} N_{S2} และ N_{S3} เช่นเดียวกันกับโหมดเบ็กอัพขณะ N_{PB} เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กทางด้านขดลวดทางด้านปฐมภูมิ N_{P1} จะมีสนามแม่เหล็กเป็น 0 เพราะถูกหักล้างโดยสนามแม่เหล็กทางด้านลบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ N_{S1} N_{S2} และ N_{S3} ลำดับการเรียงขดลวดคือ N_{S1} - N_{S3} - N_{S2} เพื่อกำหนดการรับพลังงานทางด้านทุติยภูมิเนื่องจาก N_{S3} มีการรับกระแสมากกว่า N_{S1} และ N_{S2} จึงจัดตำแหน่งให้อยู่ห่างจากทางปฐมภูมิเพื่อป้องกันการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งในวงจรต้นแบบนี้ชั้นของขดลวดจะถูกวางตามภาพประกอบ (3-10)



ภาพประกอบ 3-10 ทิศทางการพันและลำดับการวางชั้นขดลวด [10]

ค่าพิกัดของสวิทช์และอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรต้นแบบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3-4 ตารางที่ 3-4 ค่าอุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุทที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

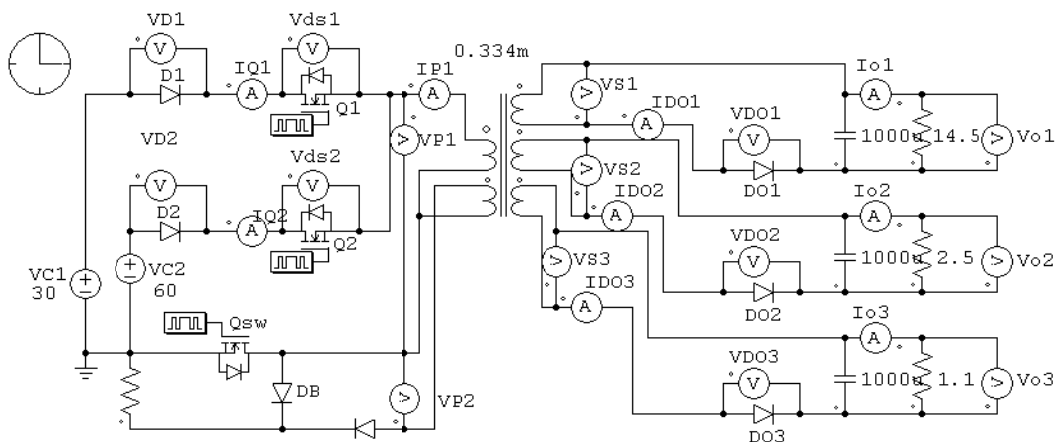
พารามิเตอร์	อุปกรณ์/ค่าที่เลือก	พารามิเตอร์	อุปกรณ์/ค่าที่เลือก
Q_1, Q_2, Q_B, Q_{SW}	IRFP250N	N_{S2}	4 รอบ
$D_1, D_2, D_B, D_{O1}, D_{O2}, D_{O3}$	MUR1520G	N_{S3}	3 รอบ
D_{IN}	FR605	L_{P1}	1.27mH
C_1, C_2, C_B	470 μ F	L_{P2}	0.838mH
C_{O1}, C_{O2}, C_{O3}	1,000 μ F	R_{O1}	14.5 Ω
N_1	21 รอบ	R_{O2}	2.5 Ω
N_B	17 รอบ	R_{O3}	1.1 Ω
N_{S1}	9 รอบ	แกนเฟอร์ไรท์	ETD44

3.3 การจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบ

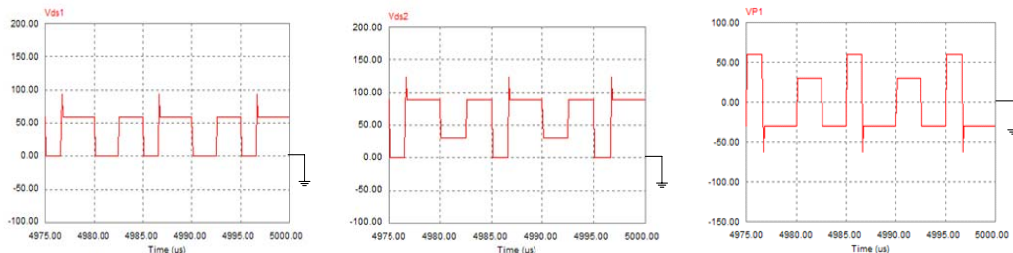
จากการนำค่าต่างๆ ของอุปกรณ์ในการสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุทที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่มาสร้างแบบจำลองในโปรแกรม PSIM และจำลองการทำงานซึ่งแสดงเป็นสองโหมดคือโหมดปกติและโหมดเบรกอ็อปเท่านั้น ในส่วนของโหมดชาร์จแบตเตอรี่ไม่สามารถทำการจำลองผลได้เนื่องจากขีดจำกัดของโปรแกรมจำลอง โดยกำหนดให้รูปคลื่นแรงดันเป็นสัญญาณบนและรูปคลื่นกระแสเป็นสัญญาณล่าง กรณีมีรูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสอยู่ในรูปเดียวกันทุกกรณี

3.3.1 ผลการจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบในโหมดทำงานปกติ

การจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบได้กำหนดแรงดันอินพุทให้มีขนาดต่างกัน โดยกำหนดให้ $V_{C1} = 30$ โวลต์ และ $V_{C2} = 60$ โวลต์ แรงดันเอาต์พุทมีขนาดแรงดัน 12 โวลต์ 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์ ตามลำดับ ความถี่สวิทช์ 100 kHz โดยแหล่งจ่ายทั้งสองทำงานพร้อมกันรูปวงจรที่ใช้จำลองแสดงดังภาพประกอบ 3-11 รูปคลื่นของแรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุท แสดงดังภาพประกอบที่ 3-12 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอดของเอาต์พุททั้งสามแสดงดังภาพประกอบที่ 3-13



ภาพประกอบ 3-11 วงจรที่ใช้จำลองผลในโหมดปกติ

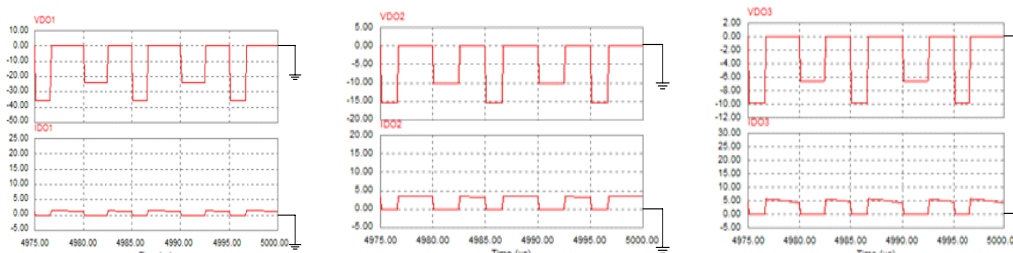


(ก) แรงดันที่สวิตช์ Q_1

(ข) แรงดันที่สวิตช์ Q_2

(ค) แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{p1}

ภาพประกอบ 3-12 แรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตในโหมดปกติ



(ก) เอาท์พุท 1

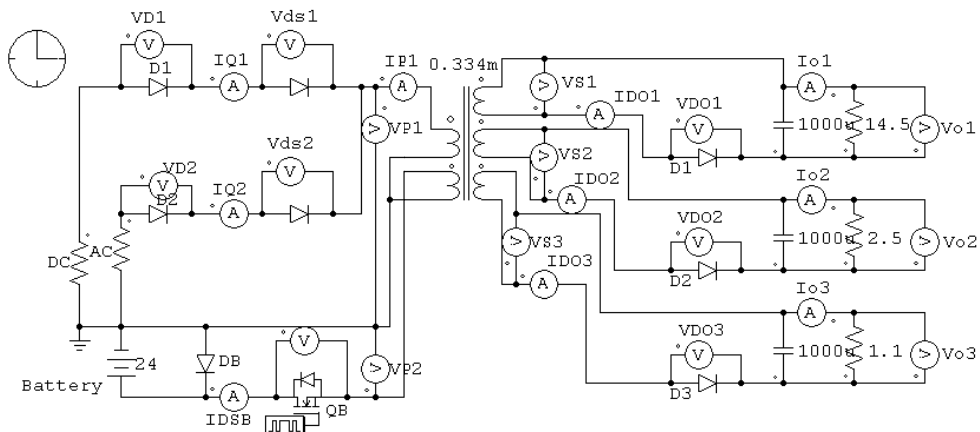
(ข) เอาท์พุท 2

(ค) เอาท์พุท 3

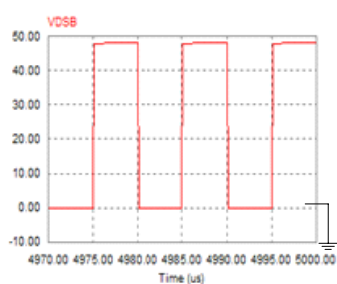
ภาพประกอบ 3-13 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาท์พุทในโหมดปกติ

3.3.2 ผลการจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบในโหมดเบรก

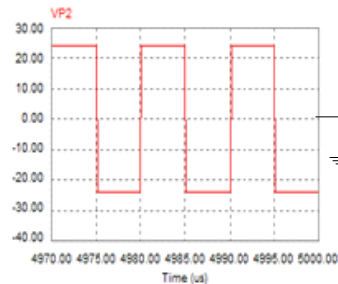
กำหนดให้แรงดันแบตเตอรี่ $V_B = 24$ โวลต์ แรงดันเอาท์พุทมีขนาดแรงดัน 12 โวลต์ 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์ ตามลำดับความถี่สวิตซ์ซึ่ง 100 kHz วงจรที่ใช้จำลองผลแสดงดังภาพประกอบ 3-14 รูปคลื่นแรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุทแสดงดังภาพประกอบ 3-15 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาท์พุททั้งสามแสดงดังภาพประกอบ 3-16



ภาพประกอบ 3-14 วงจรที่ใช้จำลองผลในโหมดเบกอัพ

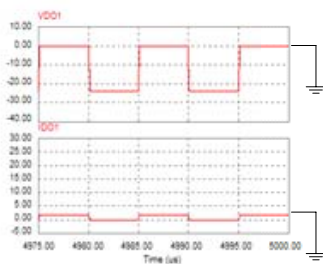


(ก) แรงดันที่สวิตช์ Q_b

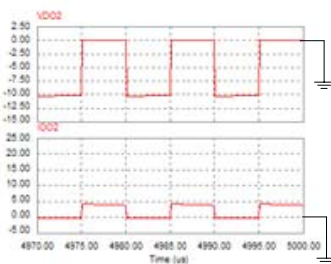


(ข) แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{p2}

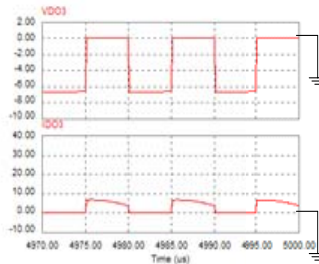
ภาพประกอบ 3-15 แรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตในโหมดเบกอัพ



(ก) เอาต์พุต 1



(ข) เอาต์พุต 2

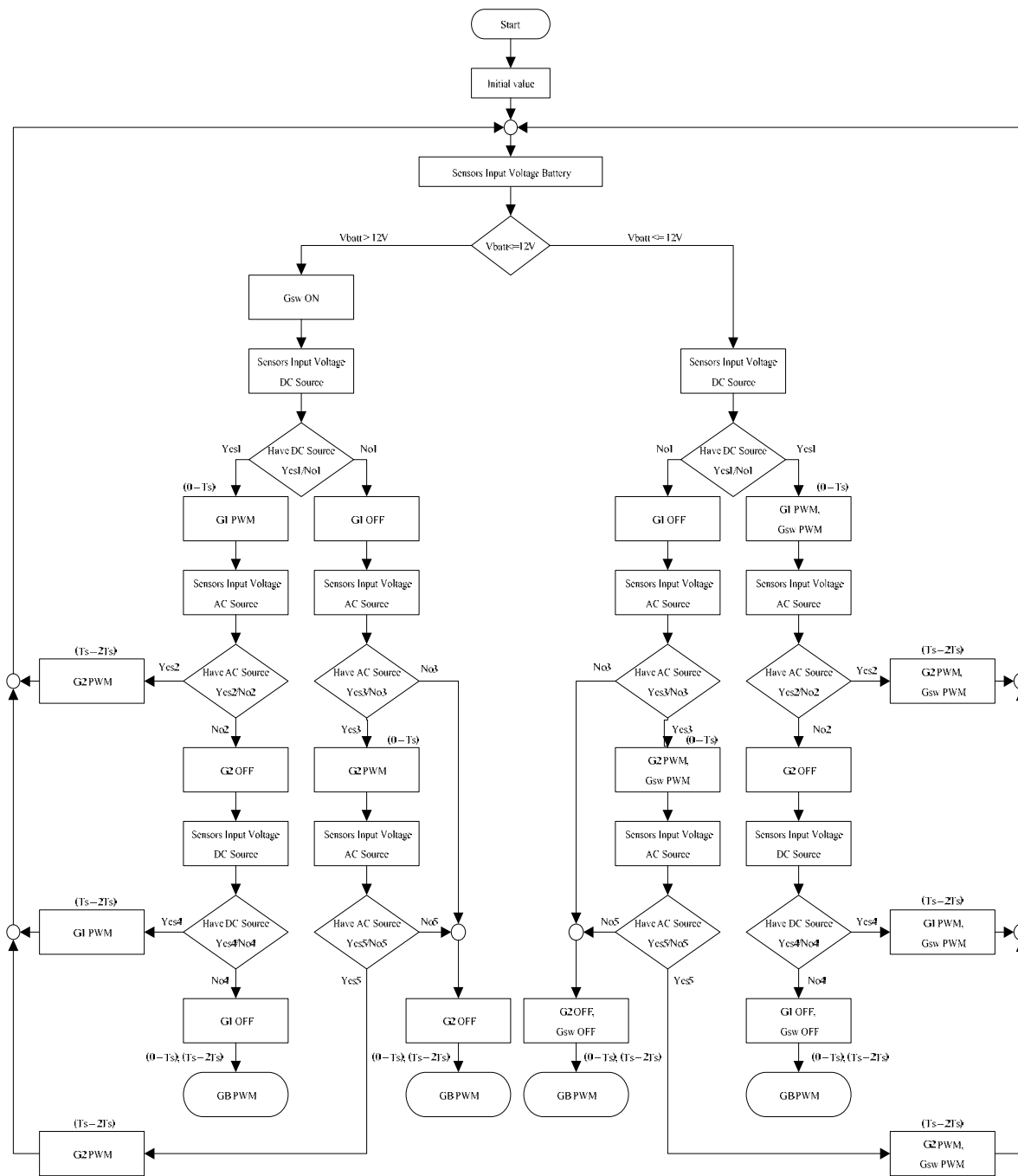


(ค) เอาต์พุต 3

ภาพประกอบ 3-16 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดเบกอัพ

3.4 โฟลว์ชาร์ตสำหรับการควบคุมการทำงานของวงจรต้นแบบ

เพื่อให้การควบคุมการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ออกแบบเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ในงานวิจัยนี้จึงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 เป็นตัวควบคุมการทำงานของสวิทช์และในการเปลี่ยนโหมดการทำงาน โดยมีตัวตรวจจับแรงดันอินพุตทั้งสองและแรงดันที่แบตเตอรี่ เงื่อนไขในการควบคุมแสดงเป็น Flow chart ดังภาพประกอบ 3-17 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้



ภาพประกอบ 3-17 แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ถ้าแรงดันแบตเตอรี่มีมากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง ($V_{batt} > 12V$) สวิตช์ที่ทำหน้าที่ชาร์จแบตเตอรี่ G_{SW} จะ “ON” ซึ่งจะไม่มีการชาร์จประจุให้แบตเตอรี่ซึ่งเป็นโหมดการทำงานปกติ ถ้าหากแรงดันแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับแรงดันอ้างอิง ($V_{batt} \leq 12V$) สวิตช์ G_{SW} จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณ PWM ซึ่งจะเข้าสู่โหมดชาร์จแบตเตอรี่ สวิตช์ G_{SW} จะทำงานพร้อมกับสวิตช์ G_1 และสวิตช์ G_2 ในช่วงนำกระแส ต่อมาเป็นการเชื่อมแหล่งจ่ายพลังงานหลักของวงจร โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทำงานเป็นอันดับแรกและแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับทำงานเป็นอันดับที่สองตามลำดับ

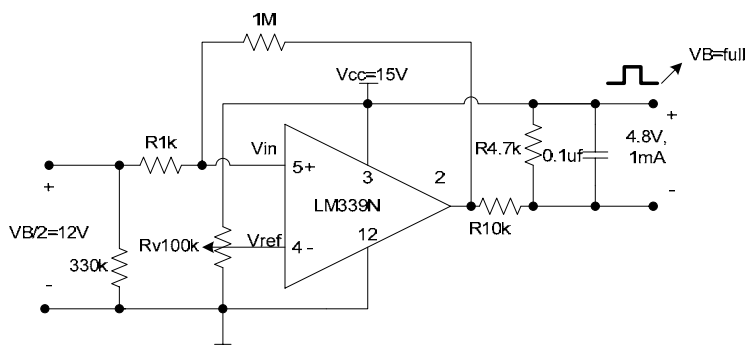
เซ็นเซอร์ตรวจจับแรงดันอินพุทของวงจรจะตรวจสอบว่ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงหรือไม่ (Yes1/No1) ถ้ามี (Yes1) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณ PWM ไปควบคุมสวิตช์ G_1 ให้ทำงานช่วงเวลา $(0-T_s)$ ต่อจากนั้น เซ็นเซอร์ตรวจจับแรงดันอินพุท 2 ของวงจรจะตรวจสอบว่ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหรือไม่ (Yes2/No2) ถ้ามี (Yes2) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณ PWM ไปควบคุมสวิตช์ G_2 ให้ทำงานในช่วงคาบเวลา (T_s-2T_s) แล้ววนกลับไปจุดเริ่มต้นใหม่

ถ้าเซ็นเซอร์ตรวจจับแรงดันอินพุท 2 เป็น “No2” สวิตช์ G_2 จะ OFF จากนั้น เซ็นเซอร์ตรวจจับแรงดันอินพุท 1 จะตรวจสอบว่ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงหรือไม่ (Yes4/No4) ถ้ามี (Yes4) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณ PWM ไปควบคุมสวิตช์ G_1 ให้ทำงานช่วงคาบเวลา (T_s-2T_s) ต่อ แล้ววนกลับไปจุดเริ่มต้น ถ้าไม่มี (No4) สวิตช์ G_1 จะ OFF และวงจรจะเข้าสู่โหมดเบรกต่อไป โดยจะมีสัญญาณ PWM ไปควบคุม สวิตช์ G_B ให้ทำงานช่วงคาบเวลา $(0-T_s)$ และ (T_s-2T_s)

ถ้าหากไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงช่วงแรก (No1) สวิตช์ G_1 จะ OFF จากนั้น เซ็นเซอร์ตรวจจับแรงดันอินพุท 2 จะตรวจสอบว่ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหรือไม่ (Yes3/No3) ถ้ามี (Yes3) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณ PWM ไปควบคุมสวิตช์ G_2 ให้ทำงานช่วงคาบเวลา (T_s-2T_s) ต่อถ้าไม่มี (No5) สวิตช์ G_2 จะ OFF และวงจรจะเข้าสู่โหมดเบรกต่อไป โดยจะมีสัญญาณ PWM ไปควบคุม สวิตช์ G_B ให้ทำงานช่วงคาบเวลา $(0-T_s)$ และ (T_s-2T_s)

3.5 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน

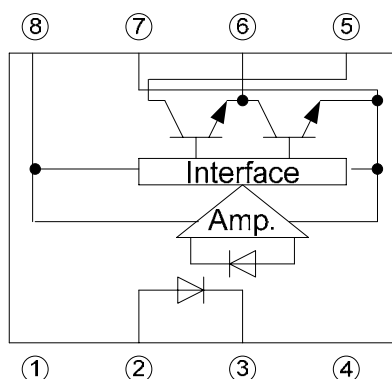
สวิตช์ Q_{SW} ในวงจรที่ออกแบบทำหน้าที่ชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รับอินพุทเข้ามาประมวลผลการทำงาน จากเอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันโดยใช้ IC LM339N ดังภาพประกอบ 3-18 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันนี้จะรับอินพุทมาจากแบตเตอรี่ด้วยระดับแรงดันที่ถูกลดทอนลง $\frac{V_B}{2} = 12$ โวลต์ เปรียบเทียบกับระดับแรงดันที่ใช้เป็นไฟเลี้ยงวงจรนี้คือ 15 โวลต์



ภาพประกอบ 3-18 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน

ชิพที่ใช้คือ IC LM339N สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรนี้จะต้องผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง และลดทอนระดับแรงดันลงก่อนจะต่อกับอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากระดับแรงดันที่ใช้ไม่ได้เทียบกับกราวด์เดียวกันลอจิก 0 แสดงถึงระดับพลังงานเต็มของแบตเตอรี่สวิตช์ Q_{SW} (ON) ลอจิก 1 แสดงถึงการชาร์จแบตเตอรี่สวิตช์ Q_{SW} (PWM)

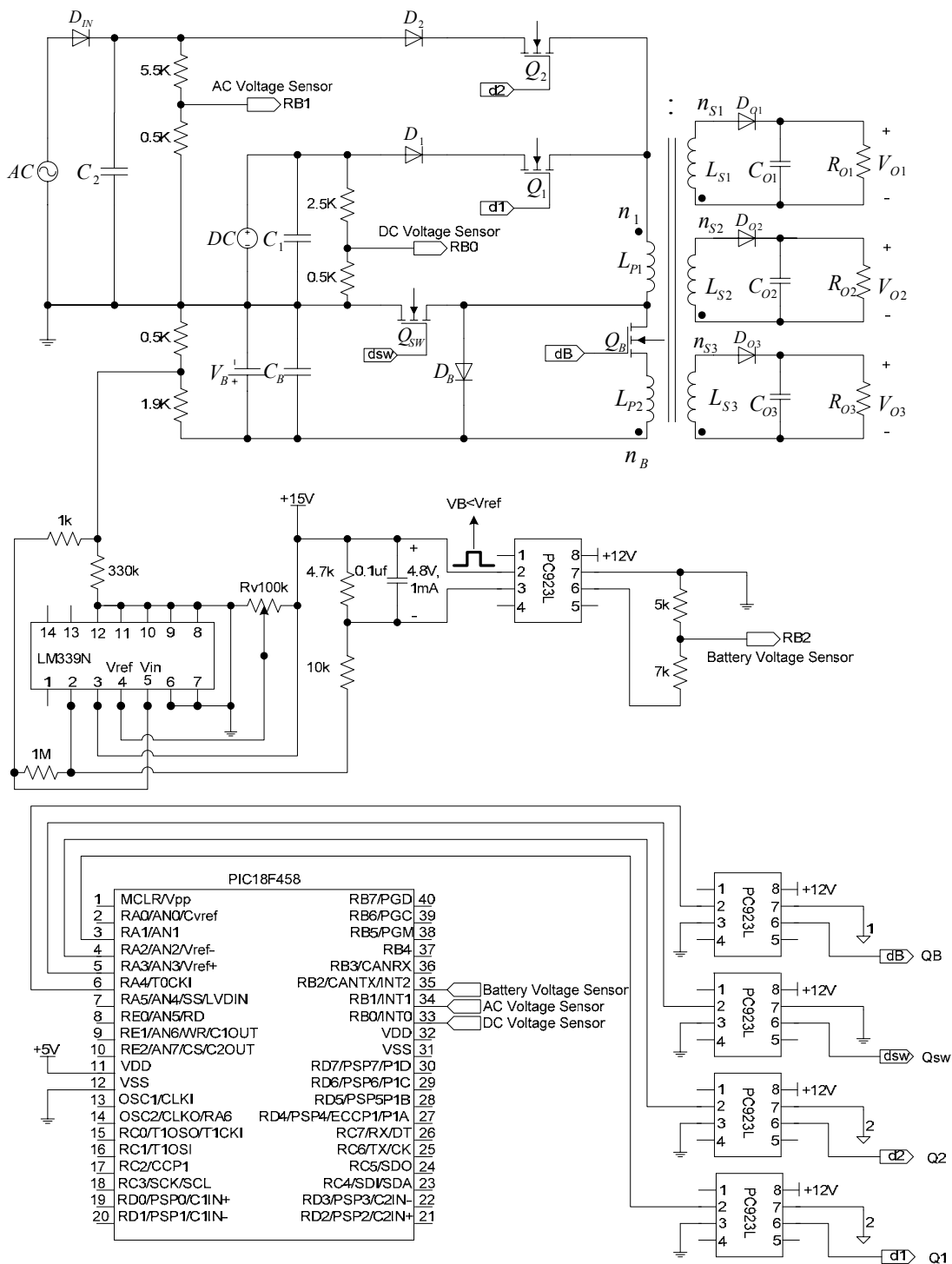
3.6 วงจรยกระดับแรงดันสัญญาณขับสวิตช์



ภาพประกอบ 3-19 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง

เพื่อยกระดับแรงดันควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สูงขึ้นในการขับสวิตช์ และเพื่อแยกระบบกราวด์แรงดันต่ำกับแรงดันสูงออกจากกัน ชิพ IC PC923L จึงถูกนำมาใช้กับวงจรต้นแบบ เนื่องจากระดับแรงดันเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าระดับแรงดันต่ำซึ่งไม่เพียงพอในการขับสวิตช์ให้ทำงานได้อย่างเต็มที่ การเชื่อมต่อทางแสงทำให้ระบบกราวด์ถูกแยกจากกันโดยสิ้นเชิง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับวงจรควบคุมได้ในขณะส่งสัญญาณขับสวิตช์ให้กับวงจรเพาเวอร์

ภาพประกอบ 3-20 แสดงแผนภาพวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ออกแบบทั้งหมด ทั้งในส่วนวงจรภาคกำลัง วงจรขับ และวงจรควบคุม ภาพประกอบ 3-21 ถึง 3-23 แสดงภาพวงจรจริงที่สร้างขึ้น

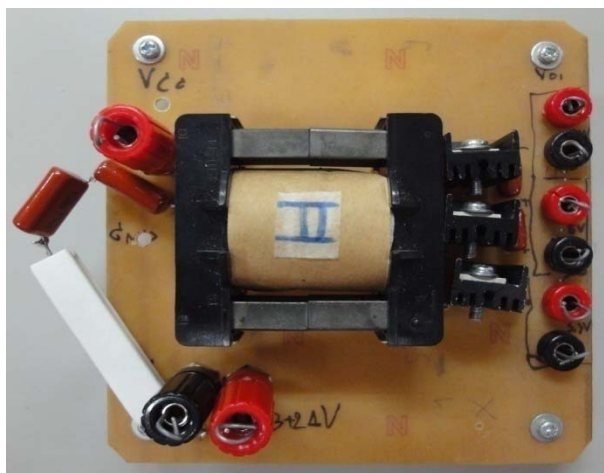


Schematic of an Integrated Double-Input Multiple-Output Converter Topology with Battery Charger

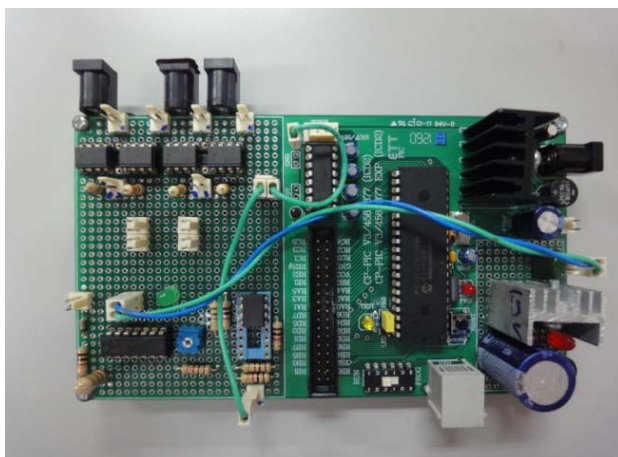
ภาพประกอบ 3-20 แผนภาพวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ออกแบบ



ภาพประกอบ 3-21 ภาพวงจรสองอินพุตที่ออกแบบ



ภาพประกอบ 3-22 ภาพวงจรหลายเอาต์พุตที่ออกแบบ



ภาพประกอบ 3-23 ภาพไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรชาร์จแบตเตอรี่
และวงจรยกระดับแรงดันที่ออกแบบ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ทดสอบหม้อแปลงความถี่สูง

4.1.1 ทดสอบค่าความเหนี่ยวนำ

หม้อแปลงความถี่สูงดังแสดงในภาพประกอบ 4-1 ที่นำมาใช้กับวงจรสองอินพุทหลายเอาต์พุทที่รวมวงจรชาร์จ์แบตเตอรี่ จะต้องมียุคความเหนี่ยวนำมากพอสำหรับเก็บพลังงานสะสมไว้ จึงต้องทำการทดสอบวัดค่าความเหนี่ยวนำ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าผลที่ได้จากการออกแบบไว้ ภาพประกอบ 4-2 แสดงการวัดค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กกับเครื่อง R-L-C มิเตอร์ ซึ่งสามารถสรุปค่าความเหนี่ยวนำที่วัดได้เปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบไว้ได้ ดังตารางที่ 4-1



ภาพประกอบ 4-1 หม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้ในการทดสอบค่าความเหนี่ยวนำ



ภาพประกอบ 4-2 แสดงการวัดค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กกับเครื่อง R-L-C มิเตอร์

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำ (Lm) ของหม้อแปลงความถี่สูง

ค่าความเหนี่ยวนำ (Lm)	ผลจากการออกแบบ (mH)	ผลจากการทดสอบ (mH)
ด้านปฐมภูมิที่1 L_{P1}	0.334	1.23
ด้านปฐมภูมิที่2 L_{P2}	0.12	0.814

ผลจากการทดสอบจากตารางที่ 4-1 ค่าความเหนี่ยวนำที่วัดได้ทีค่ามากกว่าผลจากการออกแบบ หม้อแปลงความถี่สูงที่ออกแบบมีค่าความเหนี่ยวนำเพียงพอที่จะสะสมพลังงานสำหรับจ่ายไปยังโหลด

4.1.2 การทดสอบการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงความถี่สูง

การทดสอบการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากด้านปฐมภูมิไปยังด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงโดยใช้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จ่ายแรงดันกระแสสลับค่ายอดถึงยอดขนาด 10 โวลท์ ให้กับหม้อแปลงความถี่สูงที่ความถี่ 100 kHz เพื่อทดสอบผลการแปลงระดับแรงดันว่าเป็นไปตามจำนวนรอบที่ได้ทำการออกแบบหรือไม่ ซึ่งผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ

Primary voltage $V_{P1} = 10\text{ V}$				Primary voltage $V_{P2} = 10\text{ V}$			
ผลการคำนวณ		ผลจากการทดสอบ		ผลการคำนวณ		ผลจากการทดสอบ	
V_{S1}	4 V	V_{S1}	$\approx 4\text{ V}$	V_{S1}	5 V	V_{S1}	$\approx 5\text{ V}$
V_{S2}	1.7 V	V_{S2}	$\approx 1.7\text{ V}$	V_{S2}	2.125 V	V_{S2}	$\approx 2.125\text{ V}$
V_{S3}	1.1 V	V_{S3}	$\approx 1.1\text{ V}$	V_{S3}	1.375 V	V_{S3}	$\approx 1.375\text{ V}$

จากตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2 สรุปได้ว่าผลจากการทดสอบค่าความเหนี่ยวนำ ทำแม่เหล็กและผลจากการทดสอบเปรียบเทียบแรงดันเป็นไปตามค่าตามต้องการ ดังนั้นหม้อแปลงความถี่สูงนี้สามารถนำมาใช้กับวงจรที่ออกแบบได้

4.2 ผลการทดลองของวงจรต้นแบบ

การทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบได้กำหนดแรงดันอินพุทให้มีขนาดต่างกัน โดยให้แรงดันกระแสตรงที่อินพุท 1 $V_{C1} = 30$ โวลต์ และแรงดันกระแสตรงที่อินพุท 2 $V_{C2} = 60$ โวลต์ แรงดันเอาต์พุทกระแสตรงมีขนาด 12 โวลต์ 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์ ตามลำดับ โดยวงจรทำงานที่ความถี่สวิตช์ 100 kHz โดยการทดสอบจะทำในทั้ง 3 โหมดการทำงาน

โดยภาพประกอบแสดงรูปคลื่นแรงดันเป็นสัญญาณด้านบนและรูปคลื่นกระแสเป็นสัญญาณด้านล่าง กรณีที่ภาพประกอบมีรูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสอยู่ในรูปเดียวกันทุกกรณี

4.2.1 ผลการทำงานของวงจรในโหมดปกติ

การทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ตัวในวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบขึ้นอยู่กับสถานะของแหล่งจ่ายซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้แบบอัตโนมัติโดยการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์สถานะของสวิตช์ใน 3 กรณีคือ สองแหล่งจ่ายทำงาน มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน และมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน แสดงดังตารางที่ 4-3

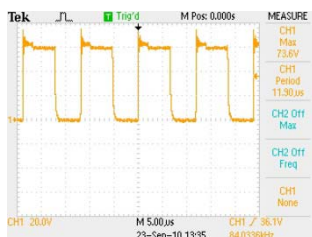
ตารางที่ 4-3 สถานะของสวิตช์ในโหมดปกติ ใน 3 กรณี

สถานะ	Q_1	Q_2	Q_B	Q_{SW}
ทำงานสองแหล่งจ่าย	PWM	PWM	OFF	ON
มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง	PWM	OFF	OFF	ON
มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ	OFF	PWM	OFF	ON

รูปคลื่นของแรงดันที่สวิตช์ในโหมดปกติแสดงในภาพประกอบ 4-3 ภาพประกอบ 4-4 และ 4-5 แสดงแรงดันด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิในโหมดปกติ ตามลำดับ ในขณะที่ภาพประกอบ 4-6 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอดด้านเอาต์พุททั้ง 3 ในโหมดปกติ



แรงดันที่สวิตช์ Q_1



แรงดันที่สวิตช์ Q_1



แรงดันที่สวิตช์ Q_1



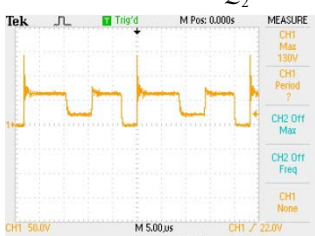
แรงดันที่สวิตช์ Q_2



แรงดันที่สวิตช์ Q_2



แรงดันที่สวิตช์ Q_2



แรงดันที่สวิตช์ Q_B



แรงดันที่สวิตช์ Q_B

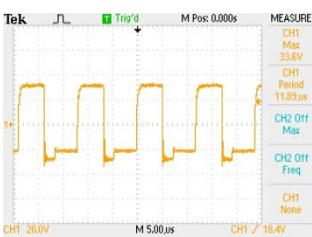


แรงดันที่สวิตช์ Q_B

(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ
ภาพประกอบ 4-3 แรงดันที่สวิตช์ในโหมดปกติ



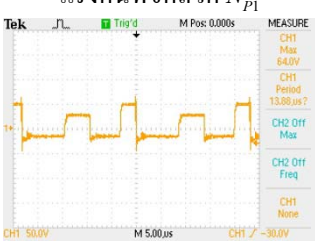
แรงดันที่ขดลวด N_{P1}



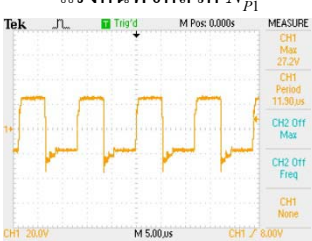
แรงดันที่ขดลวด N_{P1}



แรงดันที่ขดลวด N_{P1}



แรงดันที่ขดลวด N_{P2}

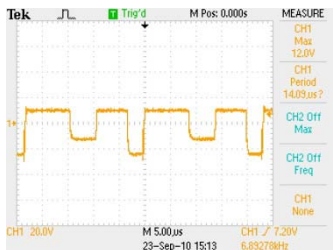


แรงดันที่ขดลวด N_{P2}



แรงดันที่ขดลวด N_{P2}

(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ
ภาพประกอบ 4-4 แรงดันด้านปฐมภูมิในโหมดปกติ



แรงดันที่ขดลวด N_{S1}



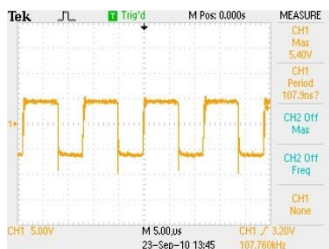
แรงดันที่ขดลวด N_{S1}



แรงดันที่ขดลวด N_{S1}



แรงดันที่ขดลวด N_{S2}



แรงดันที่ขดลวด N_{S2}



แรงดันที่ขดลวด N_{S2}



แรงดันที่ขดลวด N_{S3}



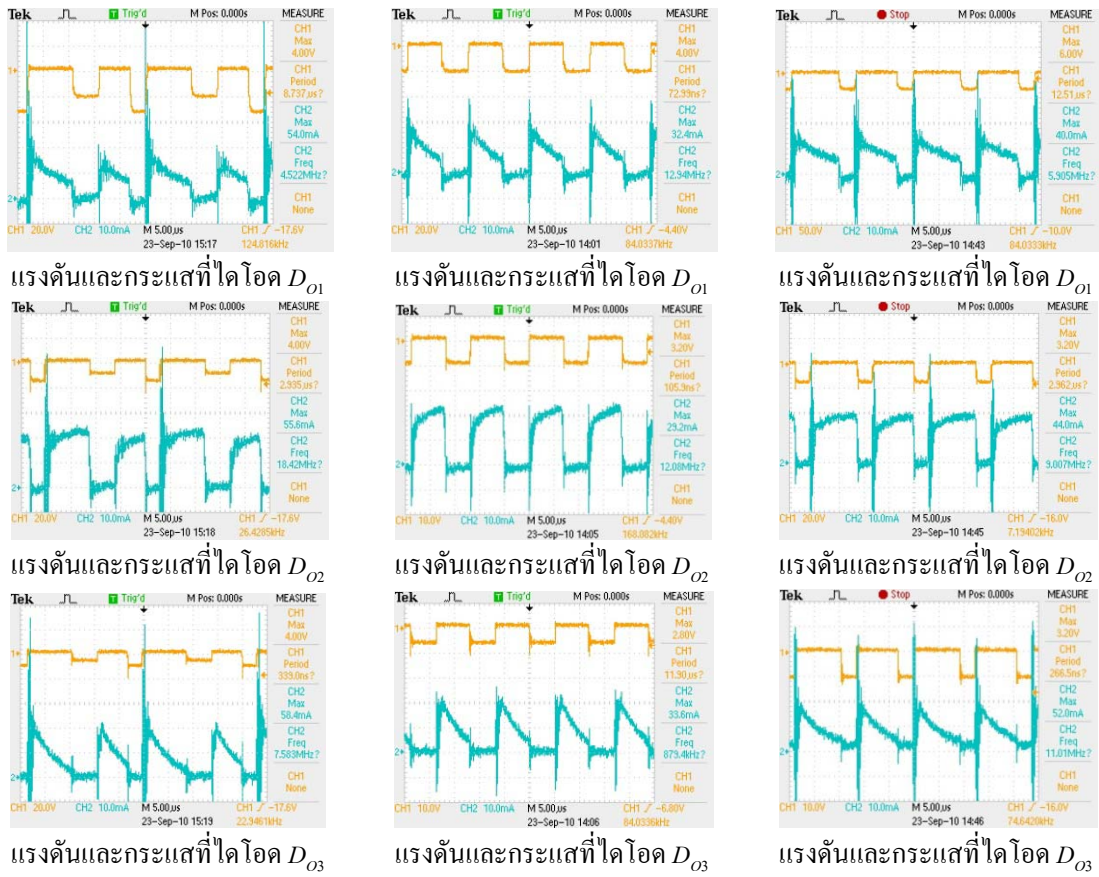
แรงดันที่ขดลวด N_{S3}



แรงดันที่ขดลวด N_{S3}

(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ

ภาพประกอบ 4-5 แรงดันด้านทุติยภูมิในโหมดปกติ



(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ
ภาพประกอบ 4-6 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาท์พุทในโหมดปกติ

4.2.2 ผลการทำงานของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

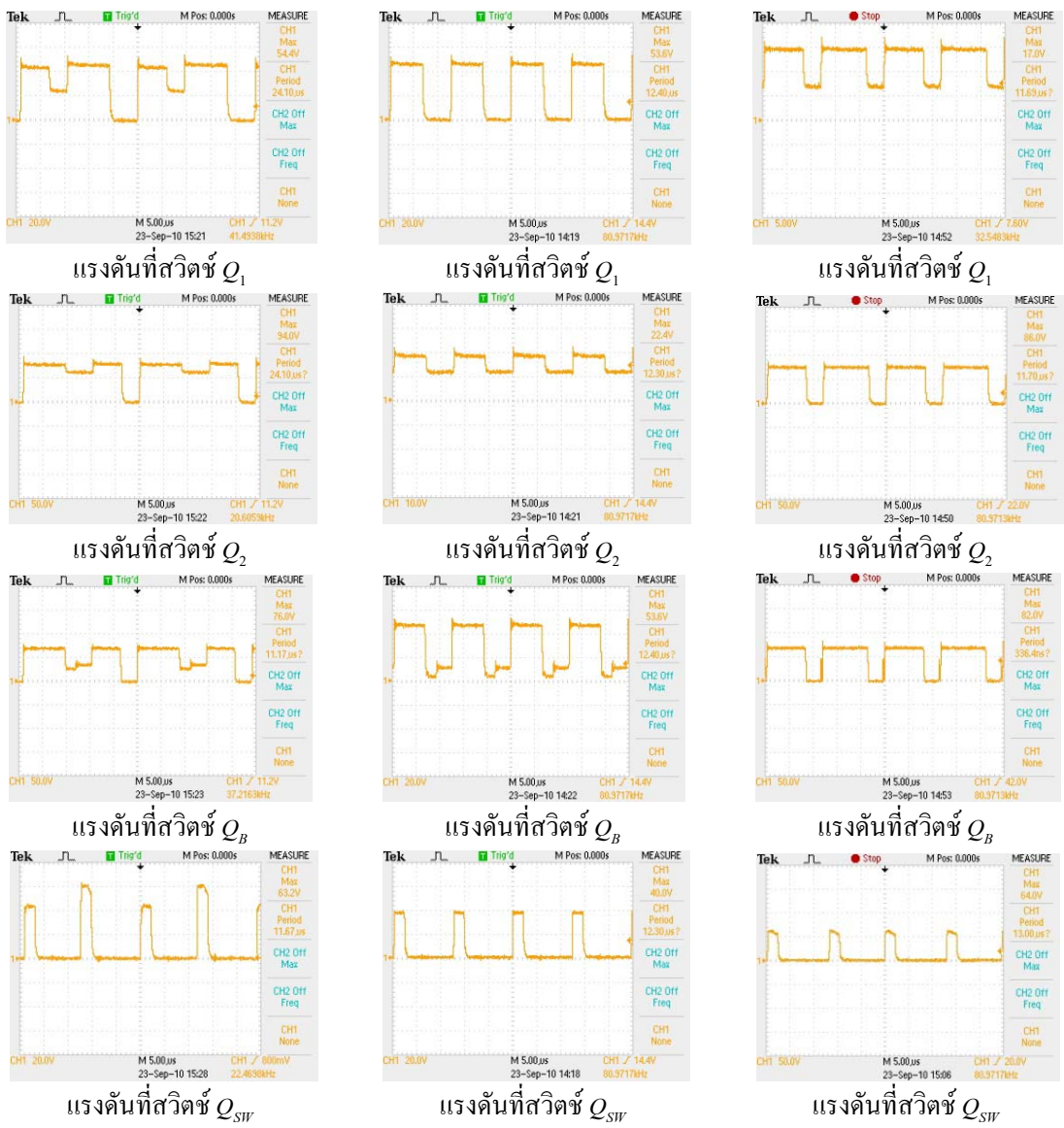
การทำงานในโหมดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำกว่าระดับแรงดันอ้างอิง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้วงจรเข้าสู่การทำงานโหมดการชาร์จประจุโดยอัตโนมัติ อย่างไรก็ตามหากแรงดันแบตเตอรี่สูงกว่าระดับแรงดันอ้างอิงเมื่อไหร่โหมดนี้สามารถที่จะเปลี่ยนไปยังโหมดปกติได้โดยอัตโนมัติเช่นกัน

การทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ตัวในวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบใน 3 กรณี แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 สถานะของสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ใน 3 กรณี

สถานะ	Q_1	Q_2	Q_B	Q_{SW}
ทำงานสองแหล่งจ่าย	PWM	PWM	OFF	PWM
มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง	PWM	OFF	OFF	PWM
มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ	OFF	PWM	OFF	PWM

รูปคลื่นของแรงดันที่สวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่แสดงในภาพประกอบ 4-7 ภาพประกอบ 4-8 และ 4-9 แสดงแรงดันด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิในโหมดปกติ ตามลำดับ ภาพประกอบ 4-10 แรงดันและกระแสที่ไดโอดขณะชาร์จประจุในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ ในขณะที่ ภาพประกอบ 4-11 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอดด้านเอาต์พุตทั้ง 3 ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่



(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ

ภาพประกอบ 4-7 แรงดันที่สวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{p1}



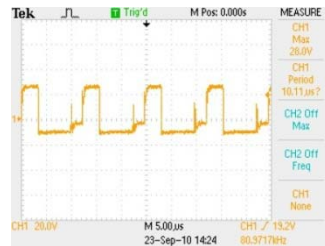
แรงดันที่ขั้วคลวด N_{p1}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{p1}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{p2}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{p2}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{p2}

(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ
ภาพประกอบ 4-8 แรงดันด้านปฐมภูมิในโหมคซาร์จแบตเตอรี่



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{s1}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{s1}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{s1}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{s2}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{s2}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{s2}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{s3}



แรงดันที่ขั้วคลวด N_{s3}

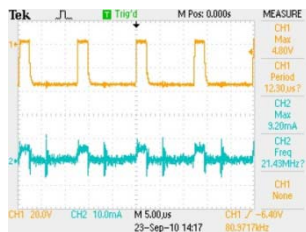


แรงดันที่ขั้วคลวด N_{s3}

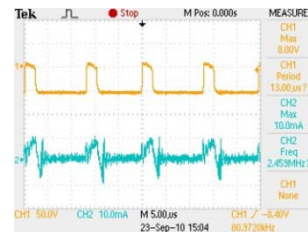
(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ
ภาพประกอบ 4-9 แรงดันด้านทุติยภูมิในโหมคซาร์จแบตเตอรี่



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_B



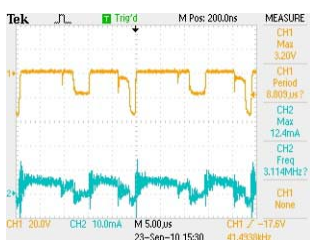
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_B



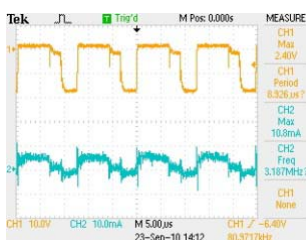
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_B

(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ

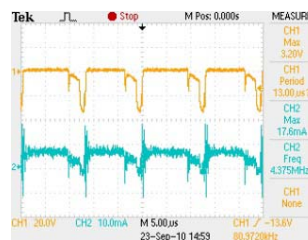
ภาพประกอบ 4-10 แรงดันและกระแสที่ไดโอดขณะชาร์จประจุในโหมดชาร์จแบตเตอรี่



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O1}



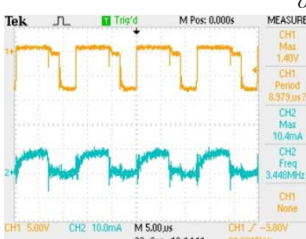
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O1}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O1}



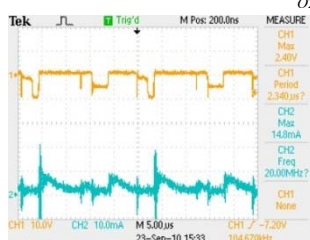
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O2}



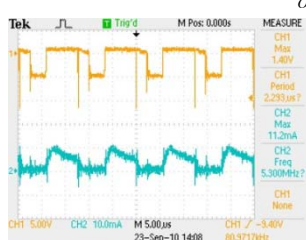
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O2}



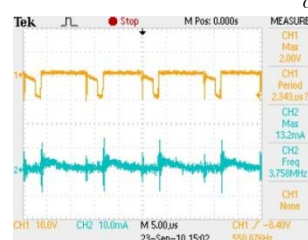
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O2}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O3}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O3}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O3}

(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ

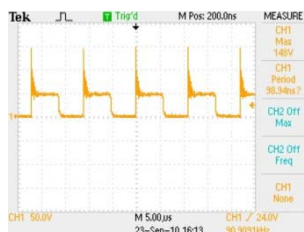
ภาพประกอบ 4-11 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

4.2.3 ผลการทำงานของวงจรในโหมดเบ็กอัพ

โหมดนี้แบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ จ่ายกำลังงานให้กับโหลดแทนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักทั้งสอง ตารางที่ 4-5 แสดงสถานะของสวิตช์ในโหมดเบ็กอัพ ภาพประกอบ 4-12 แรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ในโหมดเบ็กอัพ ภาพประกอบ 4-13 และ 4-14 แสดงรูปคลื่นแรงดันด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิในโหมดเบ็กอัพตามลำดับ ในขณะที่ภาพประกอบ 4-15 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาท์พุทในโหมดเบ็กอัพ

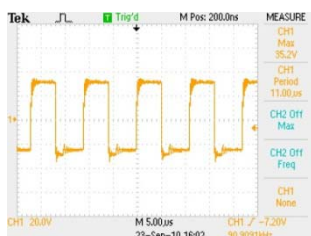
ตารางที่ 4-5 สถานะของสวิตช์ในโหมดเบ็กอัพ

สถานะ	Q_1	Q_2	Q_B	Q_{SW}
แบตเตอรี่จ่ายกำลังงาน	OFF	OFF	PWM	ON



แรงดันที่สวิตช์ Q_B

ภาพประกอบ 4-12 แรงดันที่สวิตช์ในโหมดเบ็กอัพ

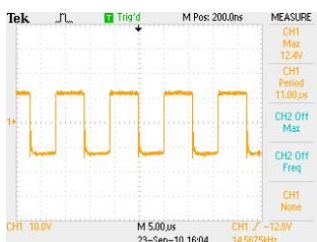


แรงดันที่ขดลวด N_{P1}

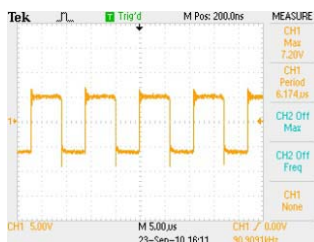


แรงดันที่ขดลวด N_{P2}

ภาพประกอบ 4-13 แรงดันด้านปฐมภูมิในโหมดเบ็กอัพ



แรงดันที่ขดลวด N_{S1}

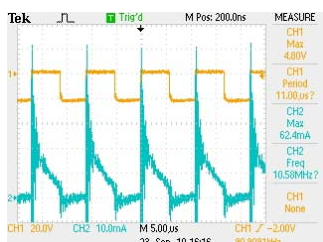


แรงดันที่ขดลวด N_{S2}

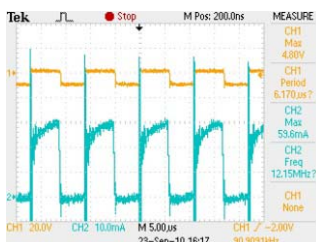


แรงดันที่ขดลวด N_{S3}

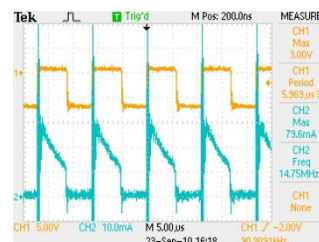
ภาพประกอบ 4-14 แรงดันด้านทุติยภูมิในโหมดเบ็กอัพ



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{01}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{02}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{03}

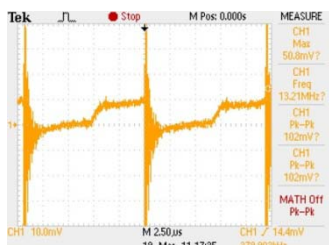
ภาพประกอบ 4-15 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาท์พุทในโหมดเบ็กอัพ

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพ

ในการทดสอบค่าประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบจะทำการทดสอบโดยให้วงจรทำงานที่กระแสฟีดแบ็คของโหลด วัดค่าแรงดันและกระแสทางด้านอินพุทและเอาท์พุทเพื่อใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพ โดยจะทำการทดสอบทั้ง 3 โหมดทำงานคือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดเบ็กอัพ กำหนดให้รูปคลื่นกระแสมีค่าเท่ากับ 1A/DIV ทุกค่าการทดสอบ

4.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพในโหมดปกติ

ภาพประกอบ 4-16 และ 4-17 แสดงรูปคลื่นกระแสทางด้านอินพุทในกรณีที่แหล่งจ่ายทั้งสองแยกกันทำงานและในกรณีทำงานร่วมกันตามลำดับ รูปคลื่นกระแสเอาท์พุททั้ง 3 ขณะทำงานที่ค่าฟีดแบ็คแสดงดังภาพประกอบ 4-18

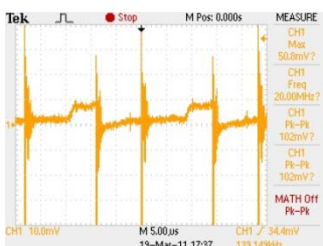


(ก) กระแสที่สวิตช์ Q_1

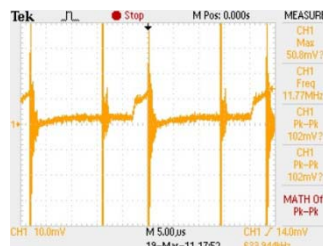


(ข) กระแสที่สวิตช์ Q_2

ภาพประกอบ 4-16 กระแสอินพุทในขณะแหล่งจ่ายแยกกันทำงานอย่างอิสระในโหมดปกติ

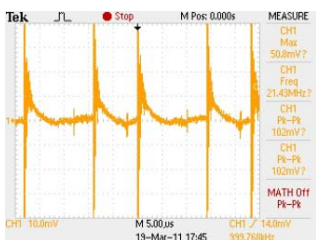


(ก) กระแสที่สวิตช์ Q_1

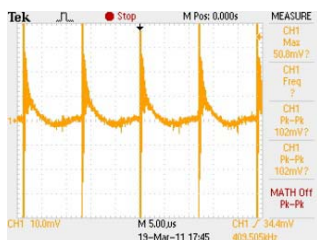


(ข) กระแสที่สวิตช์ Q_2

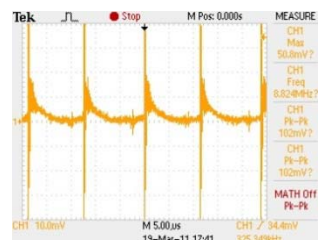
ภาพประกอบ 4-17 กระแสอินพุทในขณะแหล่งจ่ายทำงานร่วมกันในโหมดปกติ



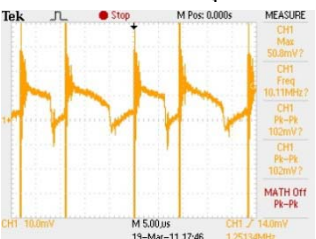
กระแสที่เอาต์พุต 1



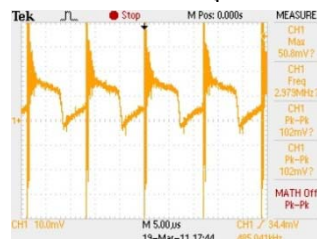
กระแสที่เอาต์พุต 1



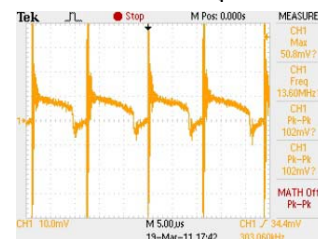
กระแสที่เอาต์พุต 1



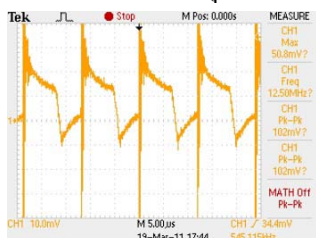
กระแสที่เอาต์พุต 2



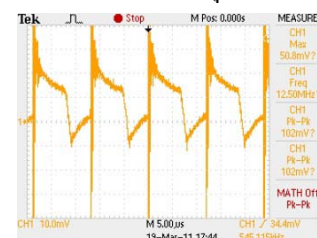
กระแสที่เอาต์พุต 2



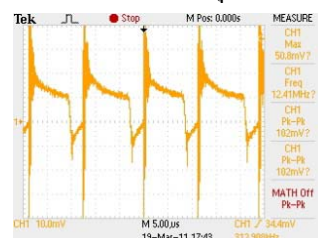
กระแสที่เอาต์พุต 2



กระแสที่เอาต์พุต 3



กระแสที่เอาต์พุต 3



กระแสที่เอาต์พุต 3

(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ
ภาพประกอบ 4-18 กระแสเอาต์พุตทั้งสามในโหมดปกติ

ค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตในโหมดปกติแสดงดังตารางที่ 4-6 ซึ่งค่าทั้งหมดสามารถนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบในโหมดปกติได้ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-6 ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดปกติ

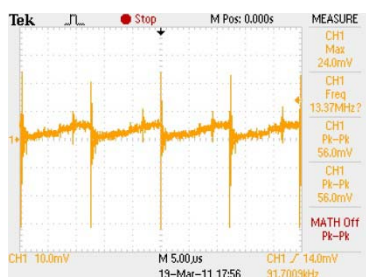
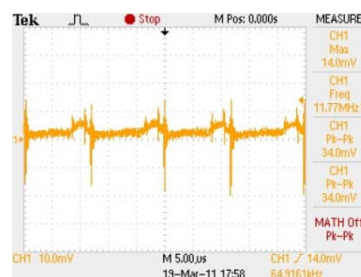
สถานะการทำงาน	อินพุต		เอาต์พุต 1		เอาต์พุต 2		เอาต์พุต 3	
	V	A	V	A	V	A	V	A
ทำงานสองแหล่งจ่าย	30	0.5	8	0.8	2.5	2.2	1.1	3.4
	60	0.25						
แหล่งจ่ายกระแสตรง	30	1	8	0.8	2.5	2.2	1.1	3.4
แหล่งจ่ายกระแสสลับ	60	0.5	8	0.8	2.5	2.2	1.1	3.4

ตารางที่ 4-7 ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมคปกติ

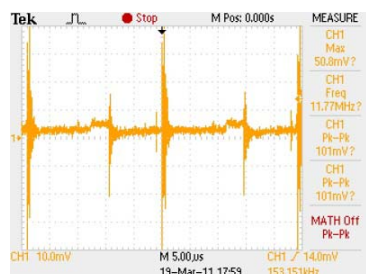
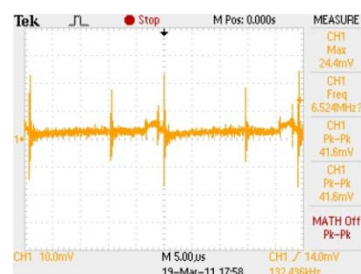
สถานะการทำงาน	กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)				ประสิทธิภาพ
	อินพุท	เอาต์พุท 1	เอาต์พุท 2	เอาต์พุท 3	
ทำงานสองแหล่งจ่าย	30	6.4	5.5	3.74	52%
แหล่งจ่ายกระแสตรง	30	6.4	5.5	3.74	52%
แหล่งจ่ายกระแสสลับ	30	6.4	5.5	3.74	52%

4.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพในโหมคชาร์จแบตเตอรี่

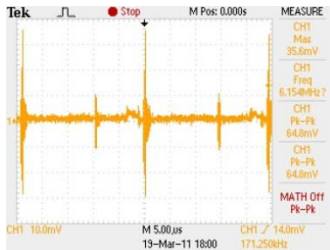
ภาพประกอบ (4-19) และ (4-20) แสดงรูปคลื่นกระแสทางด้านอินพุทในกรณีที่แหล่งจ่ายทั้งสองแยกกันทำงานและในกรณีทำงานร่วมกันตามลำดับ รูปคลื่นกระแสเอาต์พุททั้ง 3 ขณะทำงานที่ค่าพิกัดแสดงดังภาพประกอบ (4-21)

(ก) กระแสที่สวิตช์ Q_1 (ข) กระแสที่สวิตช์ Q_2

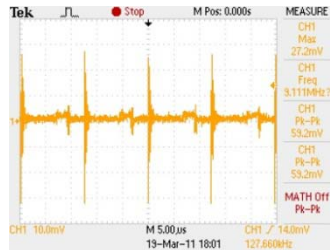
ภาพประกอบ 4-19 กระแสอินพุทในขณะแหล่งจ่ายแยกกันทำงานอย่างอิสระในโหมคชาร์จแบตเตอรี่

(ก) กระแสที่สวิตช์ Q_1 (ข) กระแสที่สวิตช์ Q_2

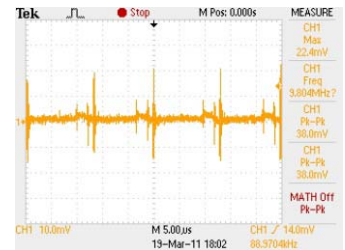
ภาพประกอบ 4-20 กระแสอินพุทในขณะแหล่งจ่ายทำงานร่วมกันในโหมคชาร์จแบตเตอรี่



(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย

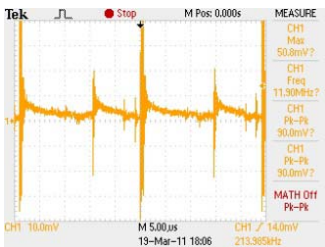


(ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง

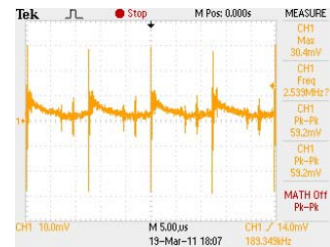


(ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ

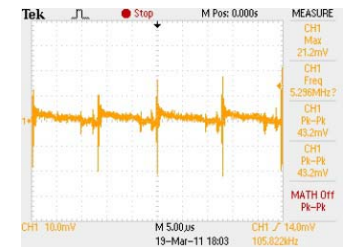
ภาพประกอบ 4-21 กระแสที่ไดโอด D_B ในโหมคซาร์จแบตเตอรี่



กระแสที่เอาต์พุต 1



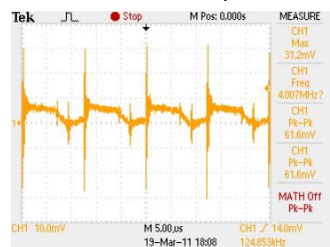
กระแสที่เอาต์พุต 1



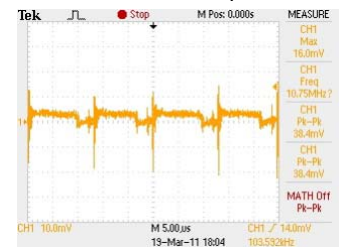
กระแสที่เอาต์พุต 1



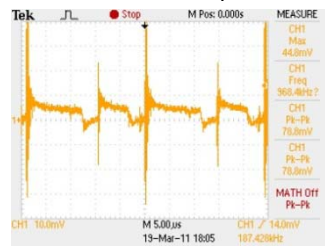
กระแสที่เอาต์พุต 2



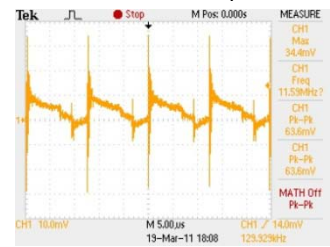
กระแสที่เอาต์พุต 2



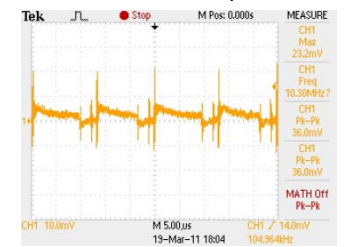
กระแสที่เอาต์พุต 2



กระแสที่เอาต์พุต 3



กระแสที่เอาต์พุต 3



กระแสที่เอาต์พุต 3

ภาพประกอบ 4-22 กระแสเอาต์พุตทั้งสามใน โหมคซาร์จแบตเตอรี่

ค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตใน โหมคซาร์จแบตเตอรี่ แสดงดังตารางที่ 4-8 ซึ่งค่าทั้งหมดสามารถนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบใน โหมคซาร์จแบตเตอรี่ได้ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-8 ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมคซาร์จแบตเตอรี่

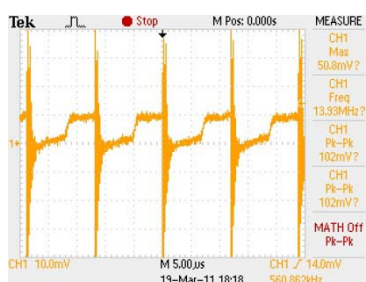
สถานะการทำงาน	อินพุท		เอาต์พุท 1		เอาต์พุท 2		เอาต์พุท 3		แบตเตอรี่	
	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A
สองแหล่งจ่าย	30	0.4	5	0.5	1.7	1.5	0.7	2.5	60	0.09
	60	0.2								
แหล่งจ่ายกระแสตรง	30	0.8	5	0.5	1.7	1.5	0.7	2.5	30	0.18
แหล่งจ่ายกระแสสลับ	60	0.4	5	0.5	1.7	1.5	0.7	2.5	60	0.09

ตารางที่ 4-9 ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมคซาร์จแบตเตอรี่

สถานะการทำงาน	กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)					ประสิทธิภาพ
	อินพุท	เอาต์พุท 1	เอาต์พุท 2	เอาต์พุท 3	แบตเตอรี่	
สองแหล่งจ่าย	24	2.5	2.55	1.75	5.4	51%
แหล่งจ่ายกระแสตรง	24	2.5	2.55	1.75	5.4	51%
แหล่งจ่ายกระแสสลับ	24	2.5	2.55	1.75	5.4	51%

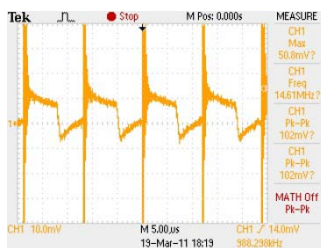
4.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพในโหมคเบ็กอัพ

ภาพประกอบ (4-23) แสดงรูปคลื่นกระแสทางด้านอินพุทในกรณีแบตเตอรี่จ่ายกำลังงาน รูปคลื่นกระแสเอาต์พุททั้ง 3 ขณะทำงานที่ค่าพิกัดแสดงดังภาพประกอบ (4-24)

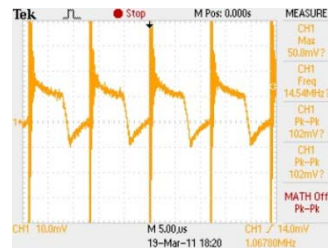
ภาพประกอบ 4-23 กระแสที่สวิตช์ Q_B ในโหมคเบ็กอัพ



กระแสที่เอาต์พุต 1



กระแสที่เอาต์พุต 2



กระแสที่เอาต์พุต 3

ภาพประกอบ 4-24 กระแสเอาต์พุตทั้งสามในโหมดแบ็กอัพ

ค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตในโหมดแบ็กอัพแสดงดังตารางที่ 4-10 ซึ่งค่าทั้งหมดสามารถนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบในโหมดแบ็กอัพได้ดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-10 ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดแบ็กอัพ

สถานะการทำงาน	แบตเตอรี่		เอาต์พุต 1		เอาต์พุต 2		เอาต์พุต 3	
	V	A	V	A	V	A	V	A
แบ็กอัพ	24V	1.25A	8V	0.8A	2.5V	2.2A	1.1V	3.4A

ตารางที่ 4-11 ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมดแบ็กอัพ

สถานะการทำงาน	กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)				ประสิทธิภาพ
	แบตเตอรี่	เอาต์พุต 1	เอาต์พุต 2	เอาต์พุต 3	
แบ็กอัพ	30	6.4	5.5	3.74	52%

จากการทดสอบการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ในกรณีต่างๆ พบว่าวงจรสามารถทำงานได้ทุกโหมดการทำงานอย่างเป็นอัตโนมัติ

ในส่วนของการทำงานในโหมดปกติและโหมดแบ็กอัพประสิทธิภาพของวงจรอยู่ที่ 52% ในขณะที่การทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ประสิทธิภาพของวงจรอยู่ที่ 51% วงจรต้นแบบนี้มีค่าประสิทธิภาพการทำงานต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกำลังสูญเสียในหม้อแปลงและในวงจรสับเบอร์มากเกินไป

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาารูปแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุทที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ โดยดัดแปลงมาจากพื้นฐานวงจรบัคบูทและวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ วงจรชาร์จแบตเตอรี่จะต่อร่วมเข้ากับวงจรผ่านแกนหม้อแปลงความถี่สูงเดียวกัน ทำให้วงจรรวมใช้อุปกรณ์น้อย มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา

การทำงานของวงจรถูกออกแบบแบ่งเป็น 3 โหมดคือโหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดเบรกอ็อป โดยใช้ไมโครชิพ 18F458 ควบคุมการทำงานในโหมดต่างๆ อย่างเป็นอัตโนมัติเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของวงจร มีตัวตรวจจับระดับแรงดันอินพุทและระดับแรงดันแบตเตอรี่ สำหรับใช้เป็นเงื่อนไขในการเปลี่ยนโหมดการทำงาน การทำงานสำหรับโหมดปกติหากมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับแหล่งจ่ายตัวใดตัวหนึ่งวงจรถูกสั่งงานแบบอัตโนมัติให้ดึงกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่เหลือมาทดแทนได้ โหมดชาร์จแบตเตอรี่สามารถสลับเปลี่ยนทำงานร่วมกับโหมดปกติได้อย่างอัตโนมัติขึ้นอยู่กับแรงดันของแบตเตอรี่กับระดับแรงดันอ้างอิง และในกรณีที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากภายนอกไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้ โหมดการทำงานของวงจรจะถูกเปลี่ยนไปเป็นโหมดเบรกอ็อปซึ่งจะใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดแทน อย่างไรก็ตามวงจรไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปยังโหมดปกติและโหมดชาร์จแบตเตอรี่ได้เอง หากต้องการเปลี่ยนกลับไปยังโหมดปกติ หรือโหมดชาร์จแบตเตอรี่อีกครั้งจำเป็นต้องทำการรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่

ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะการทำงานของต้นแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุทหลายเอาต์พุทที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ และการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา

5.2.1 ประสิทธิภาพของวงจรยังไม่สูงมากนัก อาจแก้ไขโดยการจำกัดขนาดของวงจรให้เล็กลง ลดขนาดสายสัญญาณให้มีระยะทางสั้นลง และปรับปรุงวงจรสับเบอร์ให้ดีขึ้น

5.2.2 การควบคุมวงจรในส่วนของกรกลับเข้าสู่โหมดทำงานปกติจากโหมดเบรก อังยังไม่สามารถทำได้เป็นอย่างดี ต้องปรับปรุงการเขียน โปรแกรมควบคุม

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

5.3.1 ปรับปรุงพัฒนาโปรแกรมให้การทำงานในโหมดเบรกยังสามารถเปลี่ยนไปยังโหมดปกติ หรือ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ได้เองอัตโนมัติโดยไม่ต้องทำการรีเซต

5.3.2 ปรับปรุงพัฒนางจรให้มีการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) ทางด้านอินพุตและเอาต์พุตเพื่อรักษาระดับแรงดันอินพุตและเอาต์พุตที่เหมาะสม

5.3.3 ปรับปรุงหม้อแปลงความถี่สูงให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] A.U.Chuku, B.Oni, F.Kuate, E.Overton. “Teaching solar Energy Applications Using In-House Developed Testbench,” *Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium on System Theory*, vol. 05, pp. 346-351, Mar 2005.
- [2] R. Ramakumar, N. G. Butler, A. P. Rodriguez and S. S. Venkata, “Economic aspects of advanced energy technologies,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 81, no. 3, pp. 318–332, Mar 1993.
- [3] E. Muljadi and H. E. McKenna, “Power quality issues in a hybrid power system,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 38, no. 3, pp. 803–809, May/Jun 2002.
- [4] S. M. Alghuwainem, “Performance analysis of a PV powered dc motor driving a 3-phase self-excited induction generator,” *IEEE Transaction on Energy Conversion*, vol. 11, no. 1, pp. 155–161, Mar 1996.
- [5] E. Muljadi and R. Taylor, “PV water pumping with a peak-power tracker using a simple six-step square-wave inverter,” *Conference Record of Industry Applications*, vol. 1, pp. 133-142, Oct 1996.
- [6] Z. Chen and E. Spooner, “Grid power quality with variable speed wind turbines,” *IEEE Transaction on Energy Conversion*, vol. 16, no. 2, pp. 148-154, June 2001.
- [7] F. Giraud and Z. M. Salameh, “Steady-state performance of a gridconnected rooftop hybrid wind-Photovoltaic power system with battery storage,” *IEEE Transaction on Energy Conversion*, vol. 16, no. 1, pp. 1-7, Mar 2001.
- [8] Y. M. Chen, Y. C. Liu and S. H. Lin, “Double-Input PWM DC/DC Converter for High-/Low-Voltage Sources,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no 5, pp. 1538-1545, Oct 2006.
- [9] K. P. Yalamanchili, M. Ferdowsi and K. Corzine, “New Double Input DC-DC Converters for Automotive,” *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, vol.06, pp.1-6, Sept 2006.
- [10] W. M. Kwok and S. L. Yim. “An Integrated Flyback Converter for DC Uninterruptible Power Supply,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol.11, no 2, pp. 318-327, Mar 1996.
- [11] N. C. Yi, C. L. Deng, C. T. Kuo and W. W. Cheng “A Multiple-Input Multiple-Output Power Converter with efficient Power Management,” *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 30, no. 7, pp.1277-1286, 2007.
- [12] R. W. Erickson and D. Maksimovic, “Fundamentals of Power Electronics,” Second Edition, Kluwer Academic Publisher, 2001.
- [13] Powerstream. “Wire Gauge and Current Limits”, Online [available]:
http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm. อ้างอิงวันที่ 27 มกราคม 2553.

ประวัติผู้เขียน**ชื่อ สกุล**

นายปรัชญา สัตยารักษ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5110120081**วุฒิการศึกษา****วุฒิ**

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

(วิศวกรรมไฟฟ้า)

ชื่อสถาบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ปีที่สำเร็จการศึกษา

2548

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วารสารวิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 28 ฉบับที่ 1 เดือนมีนาคม 2554