



วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่
สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานกำลังไฟฟ้าต่ำ

**An Integrated Multiple-Input Multiple-Output Converter with Battery Charger
for Low Power Applications**

ธวัชชัย เครือเตียว

Thawatchai Khruatiew

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**

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วน
เกี่ยวข้องกับทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุสุมาลย์ เฉลิมยานนท์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นายรัชชัย เกรือเตียว)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายรัชชัย เกรือเตียว)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานกำลังไฟฟ้านำต่ำ
ผู้เขียน	นายธวัชชัย เครือเดียว
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

การพัฒนาาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งคือการพัฒนาแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับตัวเซนเซอร์โหนดซึ่งในปัจจุบันจะใช้แบตเตอรี่เป็นหลัก เนื่องจากความจุของแบตเตอรี่จะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของเซนเซอร์โหนด โดยในการนำเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายไปประยุกต์ใช้ในงานที่ยากแก่การเข้าถึงตัวเซนเซอร์โหนด การเปลี่ยนแบตเตอรี่ก็จะเป็นปัญหาสำคัญ แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การแปลงพลังงานรูปแบบอื่นๆ ที่แฝงตัวอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ทั่วไป เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม มาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้แก่เซนเซอร์โหนด แต่ข้อจำกัดของพลังงานเหล่านี้คือขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ฤดูกาล เวลา และอุณหภูมิ จึงทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ นอกจากนี้พลังงานเหล่านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงกับตัวเซนเซอร์โหนด เนื่องจากระดับและรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าไม่ตรงตามที่เซนเซอร์โหนดต้องการ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์รวมแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตที่มีวงจรชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 20 วัตต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเซนเซอร์โหนด โดยอินพุตทั้งสองของวงจรต้นแบบมาจากแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนต่างๆ มีการจัดการพลังงานเพื่อให้สามารถควบคุมใช้พลังงานจากแต่ละแหล่งจ่ายทางด้านอินพุตได้อย่างเหมาะสม ทางด้านเอาต์พุตของวงจรสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ที่สองระดับแรงดันคือ 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ และมีวงจรป้องกันเพื่อรักษาระดับแรงดันด้านเอาต์พุตให้คงที่ นอกจากนี้วงจรยังถูกออกแบบให้สามารถนำกำลังสูญเสียจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลงมาชาร์จแบตเตอรี่เพื่อลดความเครียดที่สวิตช์และทำให้วงจรมีประสิทธิภาพมากขึ้นและใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับวงจร การทำงานแบ่งเป็น 3 โหมดคือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดเบคอัพ โดยประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยของวงจรต้นแบบประมาณร้อยละ 80

คำสำคัญ : วงจรคอนเวอร์เตอร์หลายอินพุต, วงจรคอนเวอร์เตอร์หลายเอาต์พุต, แหล่งจ่ายไฟฟ้า, เซนเซอร์โหนด, แบตเตอรี่

Thesis Title	An Integrated Multiple-Input Multiple-Output Converter with Battery Charger for Low Power Applications
Author	Mr. Thawatchai Khruatiew
Major Program	Electrical Engineering
Academic Year	2012

ABSTRACT

Wireless sensor networks (WSNs) are used in many applications. A severe limitation of WSN is the short network lifetime because sensors node are typically powered by batteries that have limited energy storage capacity. For some applications, the location of the sensor nodes would make it hard to replace power sources each time a node loses power. Renewable energy sources such as solar energy and wind energy provide an excellent solution to remove the lifetime limitation of WSNs. However, these energy sources are not stable because the energy is depending on some factors such as climatic conditions. To solve this problem, multiple varieties of renewable resources must work together for reliability of the system.

This research proposes the design and construction of a 20-watt integrated multiple-input multiple-output converter with battery charger for low power applications such as a power supply of sensor node. The 2-inputs of the prototype converter could be supplied from renewable energy sources. The power management enables the converter to be able to control appropriate power from both sources. The converter provides 2-output voltages of 5 V and 12 V with a feedback control system to regulate the output voltages. The circuit has been designed to bring the power loss from the leakage inductance of the transformer to battery charging in order to reduce the switch stress and improve the converter efficiency as well as to use the battery for a backup power source of the system. The prototype provides three operation modes: normal, charging and backup. The experimental results show that the averaged efficiency provided from three modes are approximately 80 %.

Keywords: Multiple-inputs converter, multiple-outputs converter, power supply, sensor node, battery

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.6 วิธีการวิจัย (Methodology)	5
1.7 แผนการดำเนินงาน	6
2. ทฤษฎีและหลักการ	8
2.1 วงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต	8
2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต	8
2.1.2 การต่อวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตที่ใช้ขดลวดทาง ด้านปฐมภูมิเพียงขดเดียวประเภทต่างๆ	9
2.2 วงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบมีหม้อแปลงแยกกราวด์ออกจากกัน	11
2.2.1 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์และฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	11
2.2.2 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	13
2.2.3 วงจรพช-ฟูลคอนเวอร์เตอร์	13
2.2.4 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	14
2.3 เครื่องข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	15
2.3.1 การใช้กำลังไฟฟ้าในเซนเซอร์โหนด	15
2.3.2 แหล่งพลังงานสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	15
2.4 การพัฒนารูปแบบของวงจรต้นแบบ	16
2.5 การเลือกรูปแบบของวงจรต้นแบบ	17
2.5.1 วงจรหลายอินพุต	17

สารบัญ(ต่อ)

สารบัญ	หน้า
2.5.2 วงจรหลายเอาต์พุต	18
2.5.3 วงจรเบตเตอร์รี	18
2.6 วงจรต้นแบบ	19
2.6.1 โหมดชาร์จเบตเตอร์รี	20
2.6.2 โหมดปกติ	20
2.6.3 โหมดแบ็คอัฟ	20
2.7 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรต้นแบบ	23
2.8 การจัดการพลังงาน	26
3. การออกแบบวงจร	27
3.1 การออกแบบวงจร	27
3.1.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบวงจร	27
3.1.2 การหาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่ารอบทำงาน ของแต่ละสวิตช์	28
3.1.3 การออกแบบหม้อแปลง	29
3.2 การจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบ	32
3.2.1 โหมดชาร์จเบตเตอร์รี (Charging mode)	33
3.2.2 โหมดปกติ (Normal mode)	37
3.2.3 โหมดแบ็คอัฟ (Backup mode)	40
3.3 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของวงจรต้นแบบ	43
3.4 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน	45
3.4.1 วงจรไฟเลี้ยง	46
3.4.2 วงจรสร้างสัญญาณ PWM, สัญญาณควบคุมรีเลย์	47
3.4.3 วงจรควบคุมสวิตช์	49
3.4.4 วงจรป้อนกลับแรงดัน	50
3.4.5 วงจรชาร์จเบตเตอร์รี	50
3.5 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร	51
3.6 วงจรต้นแบบ	52

สารบัญ(ต่อ)

สารบัญ	หน้า
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	53
4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบ	54
4.1.1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่	54
4.1.2 โหมดปกติ	59
4.1.3 โหมดเบ็คอัป	64
4.2 ผลการทำงานของวงจรควบคุม	67
4.2.1 การหาประสิทธิภาพของวงจรในแต่ละโหมด	67
4.2.2 การทดสอบการคงค่าแรงดัน	68
1) โหมดปกติ	68
2) โหมดชาร์จแบตเตอรี่	76
3) โหมดเบ็คอัป	85
4) การเปรียบเทียบการคงค่าแรงดัน	87
4.2.3 การทดสอบการจัดการพลังงานของแต่ละอินพุต	89
1) โหมดปกติ	89
2) โหมดชาร์จแบตเตอรี่	94
3) การเปรียบเทียบค่ารอบการทำงาน	100
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดปกติ	101
4.4 การทดสอบการทำงานของวงจรในระยะเวลา 6 ชั่วโมง	106
5. บทสรุป	109
5.1 บทสรุป	109
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	110
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป	110
บรรณานุกรม	111
ภาคผนวก	114
ภาคผนวก ก ตารางแกนหม้อแปลงเพื่อใช้ในการออกแบบ	115

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
สารบัญ	
ภาคผนวก ข ตารางสายตัวนำสำหรับใช้ในการออกแบบหม้อแปลง	118
ภาคผนวก ค การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน	120
ประวัติผู้เขียน	125

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2-1	หลักในการพิจารณาในการเลือกวงจรและรูปแบบการต่อเซลล์แหล่งจ่าย ของวงจรหลายอินพุต	17
3-1	การหาขนาดของหม้อแปลง	30
3-2	การหาขนาดสาย	31
3-3	พิกัดของอุปกรณ์ในวงจรกำลัง	51
4-1	ผลการทดลองที่แรงดันทั้งสองอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง	69
4-2	ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง	71
4-3	ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง	74
4-4	ผลการทดลองที่แรงดันทั้งสองอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง	78
4-5	ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง	81
4-6	ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง	84
4-7	ผลการทดลองเมื่อค่าโหลดเปลี่ยนแปลงโดยที่แรงดันเบตเตอร์ริงที่	85
4-8	ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง	89
4-9	ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง	92
4-10	ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง	95
4-11	ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง	99

รายการภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ	
1-1 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ 4 พอร์ต	3
1-2 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต	3
1-3 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต	4
1-4 วงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์	4
2-1 เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดแรงดันประเภทต่างๆ	8
2-2 เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดกระแสประเภทต่างๆ	9
2-3 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ประเภทต่างๆ	9
2-4 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดแรงดันต่อแบบอนุกรม	10
2-5 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดแรงดันแบบขนาน	10
2-6 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดกระแสแบบขนาน กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ	11
2-7 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	11
2-8 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	12
2-9 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	13
2-10 วงจรพวย-พุลคอนเวอร์เตอร์	13
2-11 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	14
2-12 การต่อแบตเตอรี่	19
2-13 วงจรต้นแบบ	20
2.14 การทำงานของวงจรในแต่ละช่วงเวลา	21
2-15 รูปคลื่นสัญญาณของวงจร	24
2-16 ความสัมพันธ์ของสัญญาณควบคุมสวิตช์ในแต่ละโหมด	26
3-1 แรงดัน V_{gs1} , V_{ds1} , V_{gs2} และ V_{ds2} ตามลำดับ	34
3-2 แรงดัน V_{gs4} , V_{ds4} , V_p และ V_{batt} ตามลำดับ	34
3-3 กระแส I_{ds1} , I_{ds2} , I_p และ I_{ds4} ตามลำดับ	35
3-4 กระแส I_p , I_{ds4} , I_{Dsn} , I_{batt} และ I_{Rsn} ตามลำดับ	35
3-5 แรงดัน V_p , V_{s1} , V_{s2} , V_{o1} และ V_{o2} ตามลำดับ	36
3-6 กระแส I_p , I_{Do1} , I_{Do2} , I_{o1} และ I_{o2} ตามลำดับ	36

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบ	
3-7 แรงดัน V_{gs1} , V_{ds1} , V_{gs2} และ V_{ds2} ตามลำดับ	37
3-8 แรงดัน V_{gs4} , V_{ds4} , V_p และ V_{batt} ตามลำดับ	38
3-9 กระแส I_{ds1} , I_{ds2} , I_p และ I_{ds4} ตามลำดับ	38
3-10 กระแส I_p , I_{ds4} , I_{Dsn} , I_{Rsn} ตามลำดับ	39
3-11 แรงดัน V_p , V_{s1} , V_{s2} , V_{o1} และ V_{o2} ตามลำดับ	39
3-12 กระแส I_p , I_{Do1} , I_{Do2} , I_{o1} และ I_{o2} ตามลำดับ	40
3-13 แรงดัน V_{gs4} , V_{ds4} , V_p และ V_{batt} ตามลำดับ	41
3-14 กระแส I_p , I_{ds4} , I_{Dsn} , I_{batt} และ I_{Rsn} ตามลำดับ	41
3-15 แรงดัน V_p , V_{s1} , V_{s2} , V_{o1} และ V_{o2} ตามลำดับ	42
3-16 กระแส I_p , I_{Do1} , I_{Do2} , I_{o1} และ I_{o2} ตามลำดับ	42
3-17 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร	43
3-18 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจร	44
3-19 การออกแบบวงจรควบคุม	45
3-20 วงจรไฟเลี้ยง	46
3-21 วงจรกำลัง	46
3-22 การต่อวงจรไฟเลี้ยงเข้ากับวงจรกำลัง	47
3-23 การต่อไดโอด D_{block} เพื่อป้องกันแบตเตอรี่ลัดวงจรตอนที่สวิตช์ S_3 ทำงาน	47
3-24 วงจรสมมูลอย่างง่ายของมอสเฟต	48
3-25 วงจรควบคุมสวิตช์	49
3-26 หม้อแปลงพัลส์ที่ใช้ในวงจร	49
3-27 วงจรวงจรป้อนกลับแรงดัน	50
3-28 วงจรชาร์จแบตเตอรี่	51
3-29 วงจรต้นแบบ	52
3-30 แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต (Li-Fe)	52
4-1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	54
4-2 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_1 (V_{gs1}), แรงดันกร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1}) และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 (I_{ds1}) ตามลำดับ	55

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ			หน้า
4-3	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_2(V_{gs2})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_2(V_{ds2})$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ $S_2(I_{ds2})$ ตามลำดับ		55
4-4	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านปรัฐมภูมิ (I_p) ตามลำดับ		56
4-5	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ $S_4(I_{ds4})$ ตามลำดับ		56
4-6	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลไดโอด D_{sn} ตามลำดับ		57
4-7	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o1})ตามลำดับ		57
4-8	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2})ตามลำดับ		58
4-9	แรงดันเอาท์พุทที่ 1 (V_{o1})		58
4-10	แรงดันเอาท์พุทที่ 1 (V_{o2})		59
4-11	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_1(V_{gs1})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_1(V_{ds1})$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ $S_1(I_{ds1})$ ตามลำดับ		60
4-12	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_2(V_{gs2})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_2(V_{ds2})$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ $S_2(I_{ds2})$ ตามลำดับ		60
4-13	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านปรัฐมภูมิ (I_p) ตามลำดับ		61
4-14	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ $S_4(I_{ds4})$ ตามลำดับ		61
4-15	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลไดโอด D_{sn} ตามลำดับ		62
4-16	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o1})ตามลำดับ		62
4-17	แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2})ตามลำดับ		63
4-18	แรงดันเอาท์พุทที่ 1 (V_{o1})		63

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบ	
4-19 แรงดันเอาต์พุตที่ 1 (V_{o2})	64
4-20 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านปฐมภูมิ (I_p) ตามลำดับ	64
4-21 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ $S_4(I_{ds4})$ ตามลำดับ	65
4-22 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o1})ตามลำดับ	65
4-23 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2}) ตามลำดับ	66
4-24 แรงดันเอาต์พุตที่ 1 (V_{o1})	66
4-25 แรงดันเอาต์พุตที่ 1 (V_{o2})	67
4-26 ภาพรวมของการทดลอง	68
4-27 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	69
4-28 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	70
4-29 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	70
4-30 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	71
4-31 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	72
4-32 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	72
4-33 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	73
4-34 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	73
4-35 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	74
4-36 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	75
4-37 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	75
4-38 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	76
4-39 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	76
4-40 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	77
4-41 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสไหลคที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	77

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบ	
4-42 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	79
4-43 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	79
4-44 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	80
4-45 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	80
4-46 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	82
4-47 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	82
4-48 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	83
4-49 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	83
4-50 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	85
4-51 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	86
4-52 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	86
4-53 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	87
4-54 การเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{oi} ในกรณีที่ 1	87
4-55 การเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{oi} ในกรณีที่ 2	88
4-56 การเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{oi} ในกรณีที่ 3	88
4-57 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุทที่ 2 เปลี่ยนแปลง	90
4-58 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุทที่ 2 เปลี่ยนแปลง	90
4-59 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุทที่ 2 เปลี่ยนแปลง	91
4-60 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุทที่ 2 เปลี่ยนแปลง	91
4-61 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	92
4-62 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	93
4-63 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	93
4-64 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง	94
4-65 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุทที่ 2 เปลี่ยนแปลง	94
4-66 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุทที่ 2 เปลี่ยนแปลง	96

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบ	
4-67 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง	96
4-68 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง	97
4-69 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	97
4-70 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	98
4-71 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	98
4-72 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	100
4-73 การเปรียบเทียบค่า d_1 เมื่อแรงดัน V_{in2} เปลี่ยนแปลง	100
4-74 การเปรียบเทียบค่า d_1 เมื่อแรงดัน V_{in1} เปลี่ยนแปลง	101
4-75 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง โหมคปกติ	102
4-76 ประสิทธิภาพของวงจรเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง โหมคซาร์จแบตเตอรี่	102
4-77 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง กรณีที่ 1	103
4-78 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง กรณีที่ 2	103
4-79 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง กรณีที่ 3	104
4-80 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 (V_{in1}) เปลี่ยนแปลง	104
4-81 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 (V_{in2}) เปลี่ยนแปลง	105
4-82 วงจรไฟเลี้ยง	106
4-83 วงจรควบคุมสวิตช์	107
4-84 วงจรป้อนกลับแรงดัน	107
4-85 วงจรกำลัง	108

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองกับการประยุกต์ใช้งานประเภทต่างๆ การส่งข้อมูลติดต่อสื่อสารระหว่างกันแบบไร้สายจะก่อให้เกิดเป็นเครือข่าย ซึ่งข้อมูลเหล่านี้อาจได้มาจากการวัดของเซนเซอร์ชนิดต่างๆ โดยเซนเซอร์ในเครือข่ายอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะเรียกเซนเซอร์เหล่านี้ว่า เซนเซอร์โหนด (Sensor node) ปัญหาสำคัญในการพัฒนาเซนเซอร์โหนดคือ การพัฒนาแหล่งจ่ายไฟฟ้าของเซนเซอร์โหนด ซึ่งในปัจจุบันจะใช้แบตเตอรี่เป็นหลัก อย่างไรก็ตามเนื่องจากความจุของแบตเตอรี่จะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของเซนเซอร์โหนด ดังนั้นหากจำนวนเซนเซอร์โหนดที่นำไปประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีไม่มากหรือผู้ใช้สามารถเข้าถึงตัวเซนเซอร์โหนดได้สะดวก การเปลี่ยนแบตเตอรี่ก็ไม่ใช่อุปสรรค นอกจากนี้ในงานที่เซนเซอร์โหนดทำงานในช่วงเวลาสั้นๆ และ/หรือสามารถทิ้งเซนเซอร์โหนดเหล่านั้นไว้ได้ก็เหมาะกับการใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า แต่ในทางตรงกันข้ามหากมีการใช้เซนเซอร์โหนดเป็นจำนวนมากและ/หรือติดตั้งอยู่ในสถานที่ที่ยากแก่การเข้าถึงตัวเซนเซอร์โหนด การเปลี่ยนแบตเตอรี่ก็จะเป็นปัญหาสำคัญ ซึ่งหนึ่งในแนวทางในการแก้ปัญหาเหล่านี้ที่น่าสนใจก็คือ การแปลงพลังงานรูปแบบอื่นๆ ซึ่งแฝงตัวอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ทั่วไป เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม มาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้แก่เซนเซอร์โหนด อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของพลังงานเหล่านี้คือปริมาณจะขึ้นอยู่กับ สภาพอากาศ ฤดูกาล เวลา และอุณหภูมิ จึงอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ นอกจากนี้พลังงานเหล่านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงกับตัวเซนเซอร์โหนด เนื่องจากระดับและรูปแบบของแรงดันไฟฟ้ายังไม่ตรงตามที่เซนเซอร์โหนดต้องการ จึงจำเป็นต้องใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์เพื่อปรับเปลี่ยนระดับและรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม แต่เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายพลังงานเหล่านี้ไม่มีความแน่นอนเพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังที่กล่าวมา ดังนั้นการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานเดียวจึงอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพและอาจมีกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอในบางช่วงเวลาที่เซนเซอร์โหนดมีความต้องการการใช้มาก ดังนั้นในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าจึงควรรวมแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลายชนิดเข้าด้วยกัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น โดยที่ผ่านในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีหลายๆแหล่งจ่าย จะใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งวงจรต่อหนึ่งแหล่งจ่าย แล้วนำกำลังไฟฟ้าที่ได้มาจ่ายให้แก่โหลด [1]-[3] ทำให้ระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นตามจำนวนแหล่งจ่ายไฟฟ้า และนอกจากนี้ยังทำให้ระบบมีประสิทธิภาพ

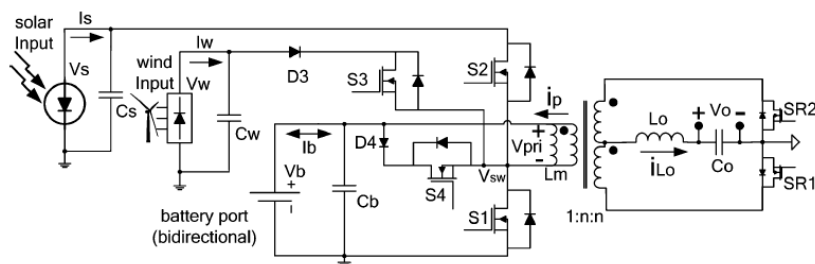
ลดลงเนื่องจากจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มขึ้น ต่อมาได้มีการพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์ โดยการรวมวงจรแต่ละแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลายๆ แหล่งเข้าด้วยกันให้เป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์รวม (Integrated converter) เพียงวงจรเดียวซึ่งทำให้วงจรคอนเวอร์เตอร์ให้มีขนาดเล็กกลง [4] และมีประสิทธิภาพดีขึ้น อย่างไรก็ตามเซนเซอร์โหนดที่ประยุกต์ใช้งานในบริเวณเดียวกันอาจมีด้วยกันหลายชนิดหรืออาจมีอุปกรณ์อื่นๆ ร่วมทำงานอยู่ด้วย วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่พัฒนาเพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าจึงอาจจำเป็นต้องมีระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาพุตที่แตกต่างกันออกไป

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบและสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์รวมแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตที่มีวงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเซนเซอร์โหนด โดยอินพุตของวงจรจะเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มาจากพลังงานหลายๆ แหล่งจ่าย โดยมีการเพิ่มส่วนของแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในกรณีที่พลังงานจากแหล่งจ่ายตามธรรมชาติมีไม่เพียงพอ ซึ่งจะช่วยให้เสถียรภาพของระบบให้มากขึ้น ทางด้านเอาต์พุตของวงจรสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ที่แรงดันหลายระดับ โดยในการออกแบบวงจรจะคำนึงถึงอายุการใช้งานและเสถียรภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นหลัก รวมทั้งวงจรต้นแบบยังต้องสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีโครงสร้างของวงจรที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปเพื่อให้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้จริงได้ โดยจะทำการวิเคราะห์ ออกแบบ กำหนดโหมดการทำงาน สร้างและทดสอบวงจรเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 An Integrated Four-Port DC/DC Converter for Renewable Energy Applications [8]

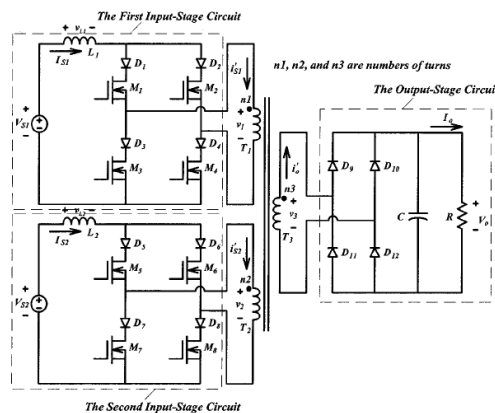
งานวิจัยนี้เขียนโดย Zhijun Quan และคณะได้เสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์รูปแบบใหม่ที่มีการเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้า 4 ส่วนเข้าด้วยกัน ประกอบไปด้วย แหล่งจ่าย 2 แหล่ง แบตเตอรี่ และโหลดดังแสดงในรูปที่ 1-1 รูปแบบของวงจรจะมีลักษณะพื้นฐานมาจากวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์ (Half-bridge converter) แต่จะเพิ่มในส่วนของสวิตช์ 2 ตัว และไดโอดอีก 2 ตัว ทางด้านทฤษฎีของหม้อแปลงจะมีการต่อวงจรเรียงกระแสแบบซิงโครนัส (Synchronous rectifiers) เพื่อลดกำลังสูญเสียจากการนำกระแส (Conduction loss) วงจรนี้เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบพลังงานทดแทนที่ใช้กับงานที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยการใช้การควบคุมแบบวงรอบปิด



ภาพประกอบ 1-1 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ 4 พอร์ต [8]

1.2.2 Multi-Input DC/DC Converter Based on the Multi-winding Transformer for Renewable Energy Applications [2]

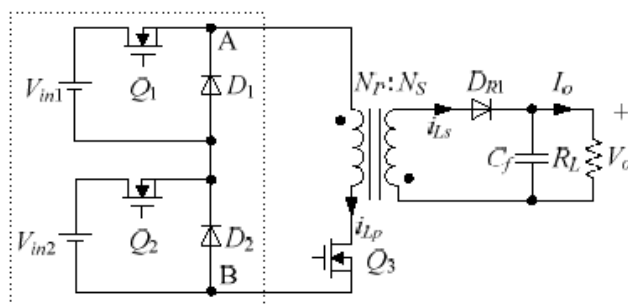
งานวิจัยนี้เขียนโดย Yaow-Ming Chen และคณะ ได้เสนอวงจรฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตโดยในวงจรมีขดลวดของหม้อแปลงจำนวน 3 ขด ใช้หลักการของการรวมฟลักซ์แม่เหล็ก เพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโหลด ทำได้โดยการต่อตัวเหนี่ยวนำเข้าไปในแต่ละแหล่งจ่ายเพื่อให้เป็นแหล่งจ่ายกระแส ทำให้วงจรสามารถทำงานที่แรงดันของแต่ละแหล่งจ่ายมีความแตกต่างกัน และสามารถทำงานพร้อมกันได้ นอกจากนี้สวิตช์แต่ละตัวของแต่ละแหล่งจ่ายจะถูกต่ออนุกรมด้วยไดโอดเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของกำลังไฟฟ้าจากอีกแหล่งจ่าย



ภาพประกอบ 1-2 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต [2]

1.2.3 A Double-Input Flyback DC/DC Converter with Single Primary Winding [4]

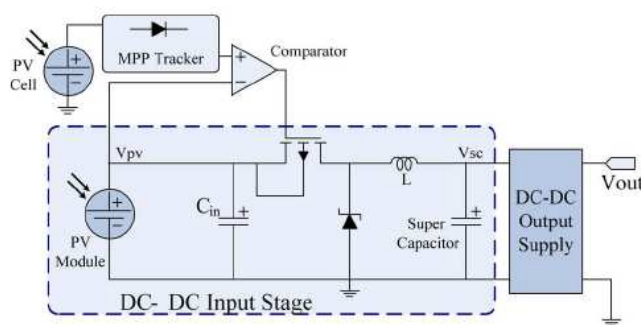
งานวิจัยนี้เขียนโดย Qin Wang และคณะ ได้เสนอวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ที่มีสองอินพุต โดยการใช้ขดลวดทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงเพียงขดเดียว เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ที่มีสองอินพุตแบบเดิม วงจรนี้มีข้อดีก็คือ ความเครียดของสวิตช์ลดลงและสามารถทำงานพร้อมกันทั้งสองแหล่งจ่าย หรือทำงานเพียงแหล่งจ่ายเดียวก็ได้ นอกจากนี้ยังใช้จำนวนอุปกรณ์น้อยกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรดีขึ้น



ภาพประกอบ 1-3 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต [4]

1.2.4 Modeling and Optimization of a Solar Energy Harvester System for Self-Powered Wireless Sensor Networks [9]

งานวิจัยนี้เขียนโดย Denis Dondi และคณะ ได้นำเสนอวิธีการที่จะสามารถเก็บเกี่ยวพลังงาน (energy harvesting) จากพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยจะมุ่งเน้นไปที่การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังอุปกรณ์เก็บพลังงานเท่านั้น



ภาพประกอบ 1-4 วงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์ [9]

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษารูปแบบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตในรูปแบบต่างๆ
- 2) เพื่อศึกษารูปแบบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายเอาต์พุตในรูปแบบต่างๆ
- 3) เพื่อออกแบบและสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์รวมแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

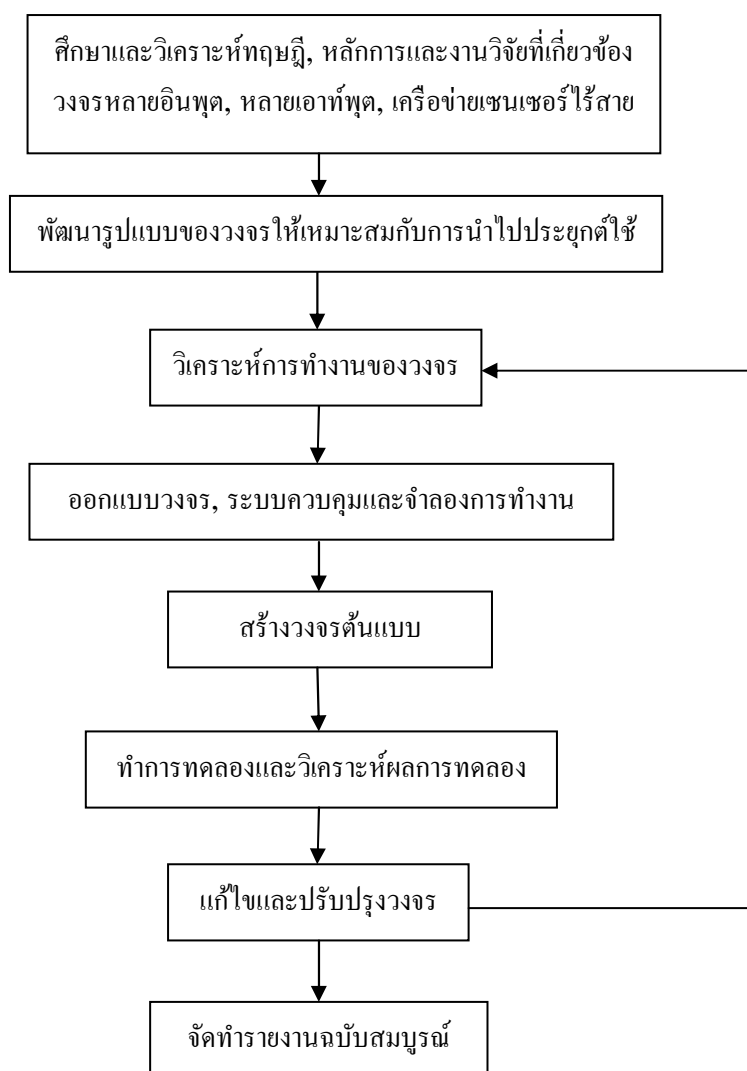
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ต้นแบบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต
- 2) สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์รวมขนาด 20 วัตต์ โดยมีสองอินพุต สองเอาต์พุต และส่วนของแบตเตอรี่สำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง
- 2) ออกแบบวงจรให้แรงดันอินพุตทั้งสองเท่ากับ 30 โวลต์
- 3) ออกแบบวงจรให้มีค่าแรงดันพิกัดทางเอาต์พุตเท่ากับ 5 โวลต์ (1 แอมป์) และ 12 โวลต์ (1.5 แอมป์)
- 4) ออกแบบวงจรให้มีค่าแรงดันสำหรับแบตเตอรี่เท่ากับ 24 โวลต์

1.6 วิธีการวิจัย (Methodology)



บทที่ 2

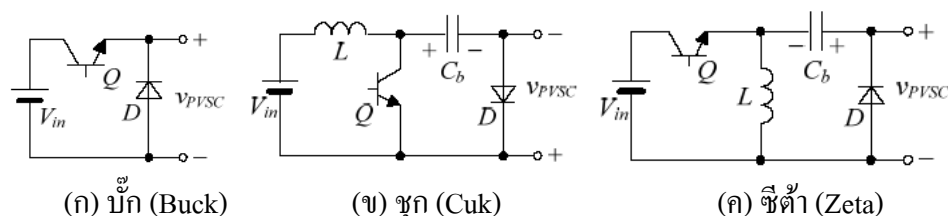
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต (Multiple-input DC/DC converters)

2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต

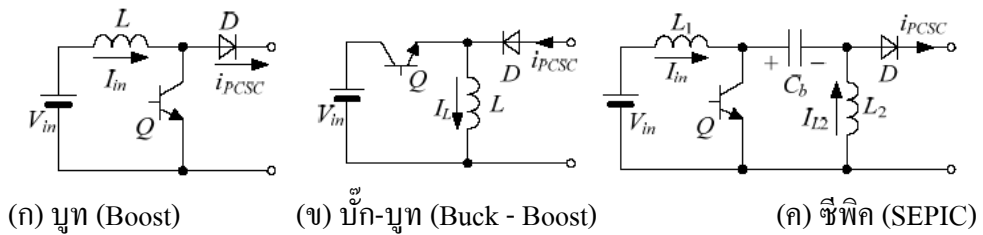
โครงสร้างพื้นฐานของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นเซลล์แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เรียกว่า เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ (Pulsating source cell: PSC) และส่วนที่เป็นเซลล์ของตัวกรองทางด้านเอาต์พุต (Output filter cell: OFC) โดยเซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดแรงดัน (Pulsating voltage-source cell: PVSC) และเซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดกระแส (Pulsating current-source cell: PCSC)

เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดแรงดัน (Pulsating voltage-source cell: PVSC) ประเภทต่างๆ แสดงดังภาพประกอบ 2-1 แหล่งจ่ายประเภทนี้สามารถนำแต่ละเซลล์มาต่อขนานหรือต่ออนุกรมกับเซลล์ของตัวกรองทางด้านเอาต์พุตก็ได้เนื่องจากเป็นแหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดแรงดัน ดังนั้นจึงต้องต่อกับตัวกรองความถี่ต่ำชนิดแรงดัน (Voltage-type low-pass filter) โดยการต่อเข้ากับตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-3(ข) และ (ค)

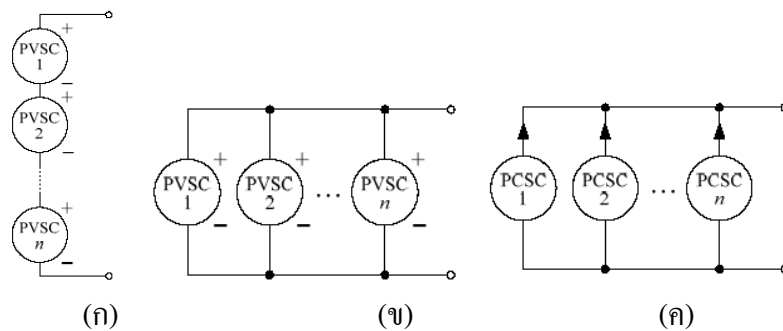


ภาพประกอบ 2-1 เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดแรงดันประเภทต่างๆ [5]

เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดกระแส (Pulsating current-source cell: PCSC) ประเภทต่างๆ แสดงดังภาพประกอบ 2-2 เซลล์แหล่งจ่ายประเภทนี้สามารถต่อแบบขนานเข้ากับเซลล์ของตัวกรองทางด้านเอาต์พุตได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น เนื่องจากเป็นแหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดกระแส ดังนั้นจึงต้องต่อตัวกรองความถี่ต่ำชนิดกระแส (current-type low-pass filter) โดยการต่อเข้ากับตัวเก็บประจุดังแสดงในภาพประกอบ 2-3(ก)



ภาพประกอบ 2-2 เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดกระแสประเภทต่างๆ [5]

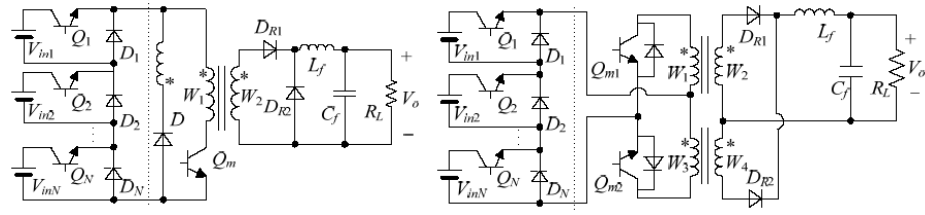


ภาพประกอบ 2-3 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ประเภทต่างๆ [5]

- (ก) เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดกระแสแบบอนุกรม
 (ข) เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดแรงดันแบบอนุกรม
 (ค) เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดแรงดันแบบขนาน

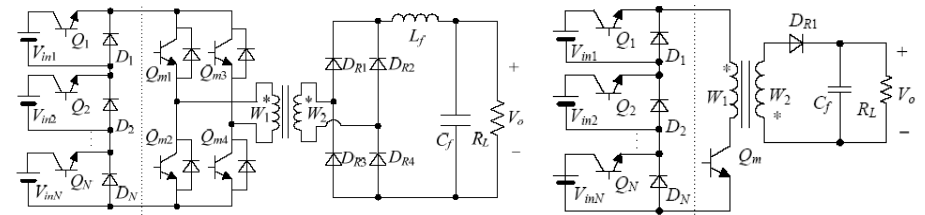
2.1.2 การต่อวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตที่ใช้ขดลวดทางด้านปฐมภูมิเพียงขดเดียวประเภทต่างๆ

เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ทั้งสองชนิดสามารถนำมาต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์พื้นฐานชนิดมีหม้อแปลงแบบต่างๆ ได้แก่ วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์, วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์, วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์, วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ และวงจรพุกพุกคอนเวอร์เตอร์ได้ ภาพประกอบ 2-4 แสดงตัวอย่างการต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดแรงดันแบบอนุกรมกับวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ ภาพประกอบ 2-5 แสดงตัวอย่างการต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดแรงดันแบบขนานกับวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ และภาพประกอบ 2-6 แสดงตัวอย่างการต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดกระแสแบบขนานกับวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ



(ก) วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

(ข) วงจรพุ่ม-พุลคอนเวอร์เตอร์

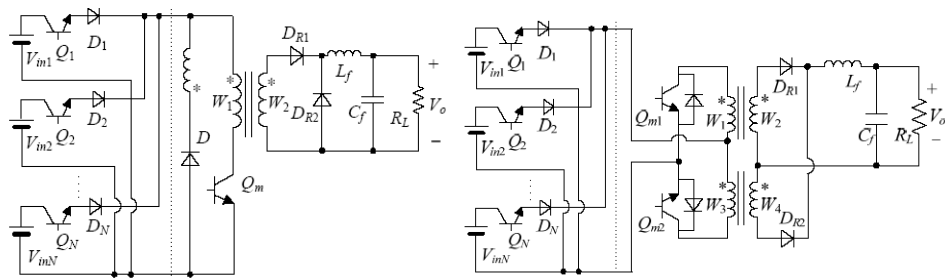


(ค) วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

(ง) วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

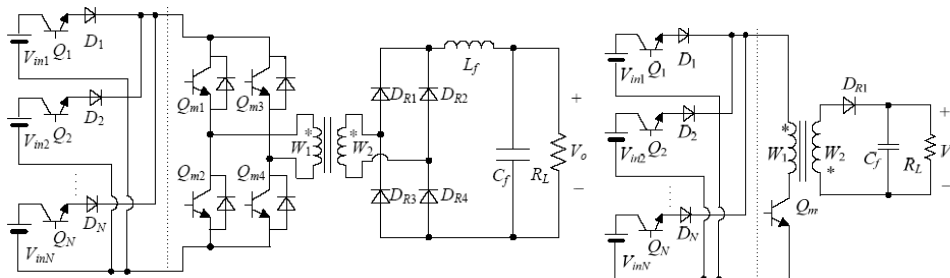
ภาพประกอบ 2-4 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดแรงดันต่อเนื่องแบบอนุกรม

กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ [5]



(ก) วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

(ข) วงจรพุ่ม-พุลคอนเวอร์เตอร์

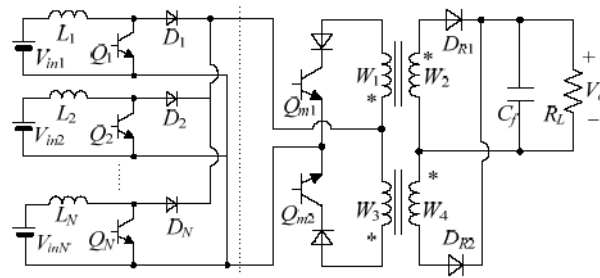


(ค) วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

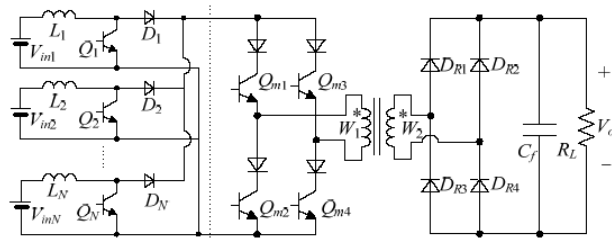
(ง) วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ภาพประกอบ 2-5 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดแรงดันแบบขนาน

กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ [5]



(ก) วงจรพหุ-ฟูลคอนเวอร์เตอร์



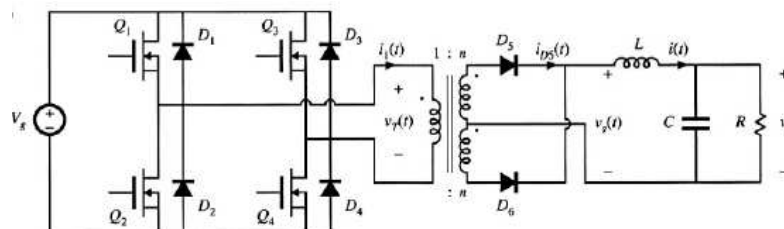
(ข) วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ภาพประกอบ 2-6 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดกระแสแบบขนาน
กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ [5]

2.2 วงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบมีหม้อแปลงแยกกราวด์ออกจากกัน (Transformer isolation DC/DC converters)

ในการนำวงจรคอนเวอร์เตอร์ไปประยุกต์ใช้ในบางงานที่ต้องการแรงดันเอาต์พุตหลายระดับ วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้จะเป็นแบบที่มีหม้อแปลงเพื่อใช้เป็นส่วนแยกกราวด์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตและสามารถขยายจำนวนเอาต์พุตได้มากกว่า 1 เอาต์พุต ซึ่งวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ต่างๆ มีดังนี้

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

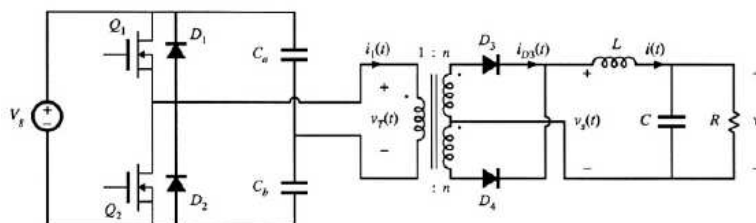


ภาพประกอบ 2-7 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ [7]

จากภาพประกอบ 2-7 วงจรนี้ขจัดความถี่ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจะต่อแบบมีแทปกลาง (Center-tapped) โดยอัตราส่วนหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิต่อด้านทุติยภูมิทั้งสองเท่ากับ $1:n$: n การทำงานของวงจรในช่วงแรกที่เวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 และ Q_4 นำกระแสแรงดันตกคร่อมหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิเท่ากับ V_g ซึ่งทำให้ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ nV_g ไดโอด D_5 จะนำกระแสและ D_6 จะหยุดนำกระแส ต่อมาในช่วง $DT_s < t < T_s$ สวิตช์ทุกตัวหยุดนำกระแสทำให้แรงดันตกคร่อมหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิเท่ากับศูนย์ ในช่วงนี้ไดโอด D_5 และ D_6 แต่ละตัวจะนำกระแสเพียงครั้งเดียวของกระแสเอาต์พุต ต่อมาในคาบที่ 2 ($DT_s < t < T_s$) การทำงานก็จะเหมือนกับในคาบแรกแต่แรงดันที่คร่อมหม้อแปลงจะมีทิศที่ตรงกันข้าม โดยในช่วง $T_s < t < T_s + DT_s$ สวิตช์ Q_2 และ Q_3 นำกระแสแรงดันตกคร่อมหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิเท่ากับ $-V_g$ ทำให้แรงดันตกคร่อมทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเท่ากับ nV_g ไดโอด D_6 จะนำกระแส ต่อมาในช่วง $(T_s + DT_s) < t < 2T_s$ ไดโอด D_5 และ D_6 นำกระแสอีกครั้งเช่นเดียวกับช่วง $DT_s < t < T_s$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V = nDV_g \tag{2.1}$$



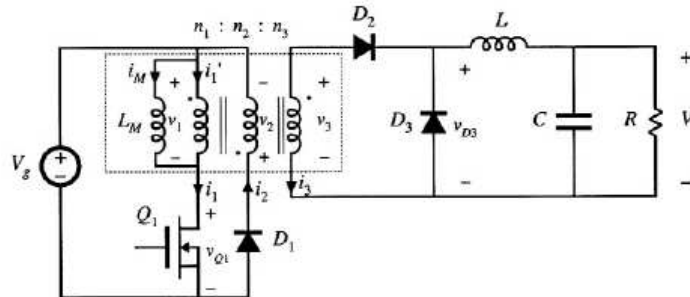
ภาพประกอบ 2-8 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ [7]

วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ในภาพประกอบ 2-8 มีลักษณะการทำงานที่ใกล้เคียงกับวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ใช้สวิตช์ในการทำงานเพียงครั้งเดียว โดยมีตัวเก็บประจุ C_a กับ C_b มาต่อแทนที่สวิตช์อีกสองตัว ทำให้วงจรนี้มีแรงดันเอาต์พุตเพียงครั้งเดียวของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V = 0.5nDV_g \tag{2.2}$$

2.2.2 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)



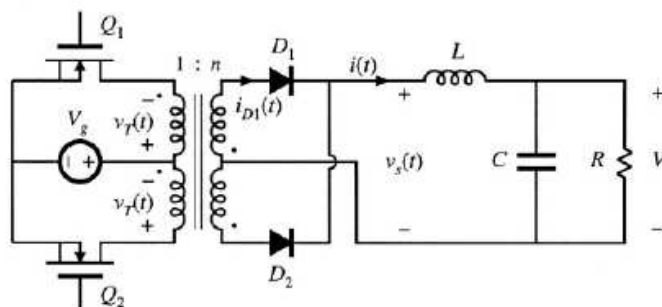
ภาพประกอบ 2-9 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ [7]

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีพื้นฐานมาจากวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) โดยวงจรนี้จะประกอบไปด้วยขดลวดของหม้อแปลง 3 ขด ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9 ซึ่งการต่อในลักษณะนี้จะช่วยให้กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลง (Magnetizing current: i_M) จะถูกตั้งค่าเป็นศูนย์ เมื่อสวิตช์หยุดนำกระแส การทำงานของวงจรนี้ในช่วงแรกที่เวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 และไดโอด D_2 นำกระแส กระแสทำแม่เหล็ก $i_M(t)$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยความชันเท่ากับ V_g/L_M ต่อมาในช่วง $DT_s < t < D_2T_s$ สวิตช์ Q_1 จะหยุดนำกระแส กระแสทำแม่เหล็กจะไหลอยู่ในด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงส่งผลให้ไดโอด D_1 นำกระแสและทำให้ไดโอด D_3 นำกระแสด้วย เมื่อกระแสทำแม่เหล็กลดลงจนเป็นศูนย์ไดโอด D_1 จึงหยุดนำกระแส ช่วงเวลา และช่วงเวลา $D_2T_s < t < D_3T_s$ จึงเริ่มขึ้น โดยในช่วงนี้ไดโอด D_3 ยังคงนำกระแส

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V = (n_3/n_1) DV_g \quad (2.3)$$

2.2.3 วงจรpush-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Isolated Buck Converter)



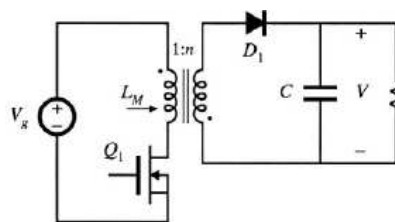
ภาพประกอบ 2-10 วงจรpush-พูลคอนเวอร์เตอร์ [7]

จากภาพประกอบ 2-10 ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงของวงจรพุก – พุกคอนเวอร์เตอร์จะมีลักษณะเหมือนวงจรฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์และฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ส่วนทางด้านปฐมภูมิก็มีการต่อของหม้อแปลงในลักษณะแท่งกลางเช่นเดียวกัน การทำงานของวงจรในช่วงเวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 และไดโอด D_1 นำกระแส แรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิด้านบน $V_T = V_g$ และ $v_s(t) = nV_g$ ต่อมาในช่วงเวลา $DT_s < t < T_s$ สวิตช์ Q_1 หยุดนำกระแส ไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแส ในช่วงคาบต่อมาก็มีหลักการการทำงานเช่นเดียวกัน แต่ในช่วงเวลา DT_s ของคาบถัดมา สวิตช์ Q_2 และไดโอด D_2 จะนำกระแสแทนวงจรนี้สามารถทำงานได้ในช่วงการรอบการทำงาน (D) ตั้งแต่ $0 \leq D \leq 1$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุต คือ

$$V = nDV_g \quad (2.4)$$

2.2.4 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)



ภาพประกอบ 2-11 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ [7]

วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์มีพื้นฐานมาจากวงจรบัก – บุก คอนเวอร์เตอร์ ที่มีการแยกขดลวดตัวเหนี่ยวนำออกเป็น 2 ขด ซึ่งจะเรียกว่าหม้อแปลงฟลายแบคคั้งแสดงในภาพประกอบ 2-11 แม้รูปแบบการเขียนสัญลักษณ์จะเหมือนกับหม้อแปลงทั่วไป แต่หลักการการทำงานจะไม่เหมือนกับหม้อแปลง เนื่องจากกระแสจะไม่ไหลในทั้งสองขดลวดพร้อมกัน การทำงานของวงจรในช่วงเวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 นำกระแสเพื่อนำไปชาร์จตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (Magnetizing inductance: L_M) ในช่วงเวลานี้ ไดโอด D_1 หยุดนำกระแส ต่อมาในช่วงเวลา $DT_s < t < T_s$ สวิตช์ Q_1 หยุดนำกระแส ไดโอด D_1 นำกระแส พลังงานที่ถูกชาร์จไว้ในตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กจะถูกปล่อยออกมาผ่านทางไดโอด D_1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุต คือ

$$V = n(D/(1-D))V_g \quad (2.5)$$

2.3 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะประกอบไปด้วย เซนเซอร์จำนวนมากที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นระบบเครือข่ายโดยจะเรียกเซนเซอร์แต่ละตัวว่าเซนเซอร์โหนด (Sensor node) ในที่นี้จะทำการศึกษเกี่ยวกับการใช้กำลังไฟฟ้าในเซนเซอร์โหนด และแหล่งพลังงานสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การใช้กำลังไฟฟ้าในเซนเซอร์โหนด

การทำงานของเซนเซอร์โหนดจะมี 3 ช่วงหลัก ได้แก่ ช่วงหลับ (Sleep) ซึ่งเป็นช่วงส่วนใหญ่ในการทำงานของเซนเซอร์โหนด ช่วงตื่น (Wake-up) คือช่วงที่เซนเซอร์โหนดเปลี่ยนสถานะจากหลับเป็นทำงานซึ่งต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด และช่วงสุดท้ายเป็นช่วงทำงาน (Active) คือช่วงเวลาที่เซนเซอร์โหนดทำงาน โดยเซนเซอร์โหนดแต่ละชนิดจะใช้เวลาและพลังงานในแต่ละช่วงไม่เท่ากัน ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานหลักที่ใช้ในเซนเซอร์โหนดทั่วไป จะใช้กำลังอยู่ที่ 40-60 มิลลิวัตต์

2.3.2 แหล่งพลังงานสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

โดยทั่วไปแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเซนเซอร์โหนดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) แหล่งจ่ายที่มีพลังงานไฟฟ้าจำกัด (Fixed energy source) ได้แก่ แบตเตอรี่ทั้งแบบชาร์จไม่ได้ (Primary battery) และแบตเตอรี่ชาร์จได้ (Secondary battery), อัลตราคาปาซิเตอร์ (Ultra capacitor) เซลล์เชื้อเพลิงขนาดเล็ก (Micro fuel cell), เครื่องจักรความร้อนขนาดเล็ก (Micro heat engine) เป็นต้น อายุการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้แปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ต้องจ่ายออกไป หากต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปมาก พลังงานสะสมในตัวก็จะหมดไปอย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปการเปรียบเทียบแหล่งจ่ายประเภทนี้จึงพิจารณาในเทอมของพลังงานต่อหน่วยปริมาตร

2) แหล่งจ่ายที่มีกำลังไฟฟ้าจำกัด (Fixed power source) แหล่งจ่ายประเภทนี้ไม่มีพลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงเก็บไว้ในตัวเองแต่จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวแปลงพลังงานตั้งต้นในรูปแบบอื่นเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นตราบดีที่ตัวแปลงพลังงานยังได้รับพลังงานตั้งต้นอยู่ ก็จะสามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง จึงทำให้แหล่งจ่ายประเภทนี้ทำงานได้โดยไม่มีข้อจำกัดของอายุการใช้งาน แต่ก็มีข้อจำกัดเรื่องอัตราการแปลงพลังงานซึ่งส่งผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าที่เซนเซอร์โหนดสามารถดึงไปใช้ได้ในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนี้อาจมีความเป็นไปได้ที่เซนเซอร์โหนดในบางตำแหน่งต้องใช้เทคนิคการแปลงพลังงานที่แตกต่างจากเซนเซอร์โหนดในตำแหน่งอื่นๆ และในบางเวลาเซนเซอร์โหนดอาจไม่สามารถแปลงพลังงานได้เลย การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่อยู่ของเซนเซอร์โหนดและรูปแบบพลังงานในที่นั้น

โดยทั่วไปการระบุความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจึงพิจารณาจากพิกัดกำลังไฟฟ้าที่สามารถแปลงได้และการเปรียบเทียบมักจะพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่

สภาพแวดล้อมต่างๆไปที่เช่นเซอร์โหนดติดตั้งอยู่มักจะมีพลังงานรูปแบบต่างๆแฝงอยู่ โดยทั่วไปแบ่งออกได้ 4 ชนิดด้วยกัน คือ

- พลังงานจากแสง ได้แก่ พลังงานจากแสงอาทิตย์ รวมทั้งพลังงานจากแสงของหลอดไฟในอาคารด้วย
- พลังงานจลน์ ได้แก่ พลังงานจากการสั่นสะเทือน พลังงานจากลมหรือการไหลของอากาศ พลังงานจากการเปลี่ยนแปลงความดัน และพลังงานจากการเคลื่อนไหวยว้างกาย เป็นต้น
- พลังงานความร้อน ได้แก่ พลังงานจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature gradient)
- พลังงานจากคลื่นเสียง ได้แก่ พลังงานจากเสียงรบกวน (Acoustic noise)

2.4 การพัฒนารูปแบบของวงจรต้นแบบ

ในการออกแบบวงจรต้นแบบเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย มีปัจจัยที่จะต้องคำนึงถึงได้แก่ อายุการใช้งานและเสถียรภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่าย ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่จะใช้ในการพัฒนางจรต้นแบบ โดยจะใช้การผสมผสานพลังงานไฟฟ้าจากหลายๆแหล่งเข้าด้วยกัน ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ และพลังงานไฟฟ้าจากสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ต้องสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่ระดับแรงดันแตกต่างกันโดยแรงดันแต่ละระดับจะต้องถูกรักษาให้คงที่ ต่อมาที่ต้องพิจารณาก็คือประสิทธิภาพของระบบ เนื่องจากวงจรต้นแบบทำงานที่กำลังไฟฟ้าน้อย ดังนั้นอุปกรณ์ในวงจรต้องมีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดกำลังสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากอุปกรณ์เหล่านี้ และจะทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงได้การทำงานของวงจรต้นแบบก็ต้องมีความเรียบง่าย ไม่ซับซ้อนจนเกินไปเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงได้

เพื่อตอบสนองกับความต้องการต่างๆดังที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนประกอบสำคัญของวงจรต้นแบบที่จะต้องนำมาพิจารณาเพื่อหาความเหมาะสมได้แก่ 3 ส่วนของวงจรหลายอินพุต วงจรหลายเอาพุต และส่วนของวงจรแบตเตอรี่ โดยจะข้อกำหนดที่สำคัญเพื่อใช้พิจารณาเลือกรูปแบบวงจรที่เหมาะสมมีดังนี้

$$\begin{aligned} \text{แรงดันอินพุตที่ 1} &= 30 \text{ V} \\ \text{แรงดันอินพุตที่ 2} &= 30 \text{ V} \end{aligned}$$

แรงดันแบตเตอรี่	= 24 V
แรงดัน/กระแสเอาต์พุตที่ 1	= 5V/1.5A
แรงดัน/กระแสเอาต์พุตที่ 2	= 12V/1A
พิกัดกำลังเอาต์พุต	= 20 W

2.5 การเลือกรูปแบบของวงจรต้นแบบ

2.5.1 วงจรหลายอินพุต

ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบวงจรที่สามารถนำมาเชื่อมต่อเป็นวงจรหลายอินพุตได้ โดยแบ่งเป็นสองชนิดคือ วงจรพัลส์แบบแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งได้แก่ วงจรบู้ก วงจรชุก และวงจรซีต้า แบบที่สองคือ วงจรพัลส์แบบแหล่งจ่ายกระแส ได้แก่ วงจรบูสต์ วงจรบู้ก-บูสต์ และวงจร SEPIC โดยเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆ เช่น จำนวนอุปกรณ์ วิธีการเชื่อมต่อ การทำงาน และวงจรกรองด้านอินพุต จากตารางที่ 2-1 พบว่าการต่อวงจรหลายอินพุตโดยใช้รูปแบบของวงจรบู้ก ดังแสดงในภาพประกอบ 2-1(a) มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากใช้อุปกรณ์น้อย คือแต่ละเซลล์จะใช้เพียงสวิตช์และไดโอดอย่างละตัวเท่านั้น โดยไม่มีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ การต่อแต่ละเซลล์เข้าด้วยกันจะต่อแบบอนุกรมเพื่อให้สามารถทำงานพร้อมกันได้

ตารางที่ 2-1 การพิจารณาในการเลือกวงจรและรูปแบบการต่อเซลล์แหล่งจ่ายของวงจรหลายอินพุต

หลักการพิจารณา	Pulsating voltage-source cell:			Pulsating current-source cell:		
	Buck	Cuk	Zeta	Boost	Buck - Boost	SEPIC
1. อุปกรณ์						
- ตัวเหนี่ยวนำ	×	✓	✓	✓	✓	✓
- ตัวเก็บประจุ	×	✓	✓	×	✓	✓
2. การต่อเซลล์						
- อนุกรม	✓	✓	✓	×	×	×
- ขนาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3. การทำงานพร้อมกัน	✓*	✓*	✓*	×	×	×
4. พีเวเตอร์ทางค่าน						
เอาต์พุต	✓	✓	✓	×	×	×
- ตัวเหนี่ยวนำ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
- ตัวเก็บประจุ						

* เมื่อต่อเซลล์แบบอนุกรม

2.5.2 วงจรหลายเอาต์พุต

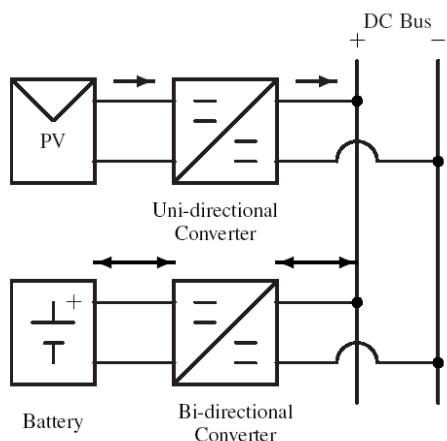
ในการเลือกส่วนของวงจรหลายเอาต์พุต จะพิจารณาวงจรที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ใช้อุปกรณ์น้อยเพื่อให้มีกำลังสูญเสียต่ำสุด และสามารถทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงได้ เนื่องจากการทำงานที่ก่้างไฟฟ้าต่ำปัจจัยที่สำคัญเป็นลำดับต้นๆ คือเรื่องประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเลือกใช้วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในภาพประกอบ 2-11 ซึ่งใช้สวิตช์และไดโอดเพียงหนึ่งอย่างละตัว โดยวงจรมีนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่้างไฟฟ้าต่ำก่น้อย่างแพร่หลาย เช่น วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลายอินพุต ทั่วๆ ไป (30 W) [10], ในงานอิเล็กทรอนิกส์ บัลลาสต์ (35 W) [11], เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับหลอดแอลอีดี (18W) [12], (10-24W) [13]

2.5.3 วงจรเบตเตอร์รี

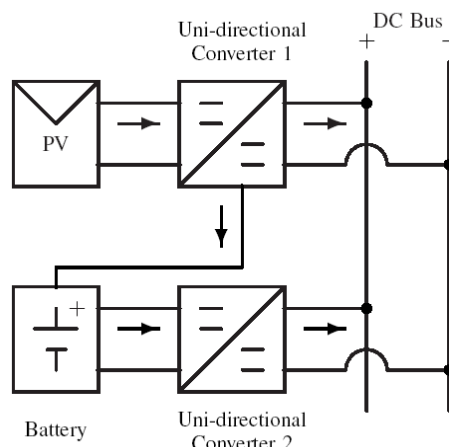
เนื่องจากวงจรต้นแบบมีเบตเตอร์รีเป็นแหล่งไฟฟ้าสำรองไว้ใช้ในกรณีทีแหล่งพลังงานจากทั้งสองอินพุตไม่สามารถจ่ายก่้างไฟฟ้าได้ ดังนั้นการทำงานของวงจรเบตเตอร์รีจึงจำเป็นต้องมี 2 โหมดการทำงานด้วยกัน คือ โหมดชาร์จเบตเตอร์รีและโหมดดิสชาร์จเบตเตอร์รี เพื่อให้ได้โหมดการทำงานทั้งสอง วงจรเบตเตอร์รีสามารถเชื่อมต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์ได้สองรูปแบบคือ

- วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทาง (Bi-directional dc/dc converter) [14] – [16] เหมาะสำหรั้งใช้ในกรณีทีแหล่งจ่ายไฟฟ้าสามารถนำไปต่อเข้ากับโหลดหรือบั๊สได้โดยตรง การเพิ่มส่วนของเบตเตอร์รีผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทางจึงช่วยลดความซับซ้อนของวงจร โดยจะทำให้งจรทำงานแค่สองส่วนคือการชาร์จและดิสชาร์จเบตเตอร์รี แต่หากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่สามารถนำไปต่อเข้ากับโหลดหรือบั๊สโดยตรง แต่ต้องผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์ก่อน การเพิ่มเบตเตอร์รีเข้าไปโดยผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทางดังแสดงในภาพประกอบ 2-12(ก) จะทำให้ทั้งระบบมีวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรและต้องทำงานถึง 3 ส่วน คือนอกจากการชาร์จและดิสชาร์จเบตเตอร์รีแล้วยังมีส่วนของการส่งผ่านก่้างไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังโหลดหรือบั๊ส ทำให้เพิ่มความยุ่งยากและยังจะทำให้ง่้างสูญเสียเพิ่มขึ้นอีกด้วย

- วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว (Uni-directional dc/dc converter) [17] เหมาะสำหรั้งใช้เชื่อมต่อเบตเตอร์รีเข้ากับระบบทีแหล่งจ่ายทีต้องส่งผ่านก่้างไฟฟ้าไปยังโหลดผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์อยู่ก่อนแล้ว ดังแสดงในภาพประกอบ 2-12(ข) ซึ่งแหล่งจ่ายส่งผ่านก่้างไฟฟ้าผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว 1 ไปยังโหลด และในขณะเดียวกันก็ส่งผ่านก่้างไฟฟ้าไปชาร์จเบตเตอร์รี และวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว 2 ก็ทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานจากเบตเตอร์รีไปยังโหลด ทำให้มีการทำงานแค่ 2 ส่วน



ก) การต่อแบตเตอรี่กับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ 2 ทาง



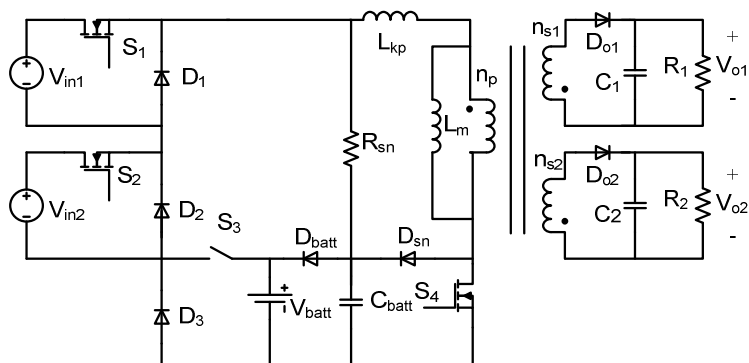
ข) การต่อแบตเตอรี่กับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว

ภาพประกอบ 2-12 การต่อแบตเตอรี่ [17]

ดังนั้นสำหรับการเชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจรต้นแบบจึงเลือกแบบต่อผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว เพื่อช่วยลดกระบวนการทำงาน ความซับซ้อน และกำลังสูญเสียของวงจร

2.6 วงจรต้นแบบ

วงจรต้นแบบในภาพประกอบ 2-13 มีพื้นฐานมาจากวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (flyback converter) ประกอบด้วยอินพุตสองแหล่งจ่ายคือ V_{in1} และ V_{in2} และมีแบตเตอรี่ (V_{batt}) เป็นตัวแบ็คอัพให้กับวงจรโดยมีสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 เป็นตัวควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแต่ละแหล่งจ่าย โดยมี S_4 เป็นสวิตช์หลักในการควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุต เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าใดที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ก็จะมีไดโอด D_1 , D_2 และ D_3 ทำหน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตอนที่แหล่งจ่ายที่ตัวไดโอดนั้นๆ ต่อคร่อมอยู่ไม่ทำงาน พลังงานจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหล (L_{kp}) ของหม้อแปลงซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสไปส์ที่สวิตช์ S_4 จะถูกนำมาชาร์จแบตเตอรี่ผ่านทางไดโอด D_{sn} และ D_{batt} และเมื่อแบตเตอรี่เต็มพลังงานในส่วนนี้จะถูกกำจัดทิ้งผ่านทาง R_{sn} และ C_{batt} ซึ่งทำหน้าที่เป็นสแน็บเบอร์ให้กับวงจร ทางด้านเอาต์พุตจะมีขดลวดหม้อแปลงพันอยู่ 2 ขด เพื่อใช้ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังเอาต์พุตทั้งสองผ่านทางไดโอด D_{o1} และ D_{o2} ตามลำดับ การทำงานของวงจรประกอบด้วยโหมดการทำงาน 3 โหมดคือ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ โหมดปกติ และโหมดแบ็คอัพตามลำดับ



ภาพประกอบ 2-13 วงจรต้นแบบ

2.6.1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode) ในโหมดนี้สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4

ทำงาน การทำงานแต่ละช่วงเวลาใน 1 คาบการสวิตช์อธิบายได้ดังนี้

ช่วงที่ 1 (t_0-t_1) สวิตช์ S_1 และ S_4 นำกระแสพร้อมกัน ตัวเหนี่ยวนำ L_m และ L_{kp} ทางด้านปฐมภูมิจะถูกชาร์จจากแรงดัน V_{in1} ด้วยกระแสที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น ส่วนทางด้านทุติยภูมิกระแสจากพลังงานที่สะสมใน C_1 จะไหลไปที่โหลด ตามภาพประกอบ 2-14(ก)

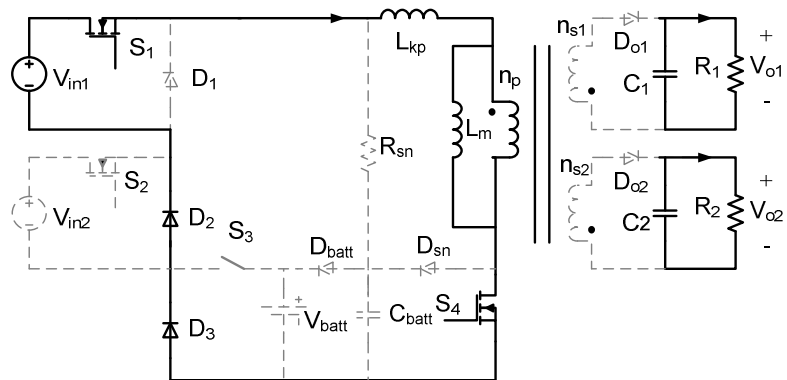
ช่วงที่ 2 (t_1-t_2) สวิตช์ S_2 และ S_4 นำกระแสพร้อมกัน ตัวเหนี่ยวนำ L_m และ L_{kp} ทางด้านปฐมภูมิจะถูกชาร์จต่อจากช่วงที่ 1 ด้วยแรงดัน V_{in2} โดยกระแสจะยังคงเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นต่อไป ส่วนทางด้านทุติยภูมิกระแสจากพลังงานที่สะสมใน C_1 จะไหลไปที่โหลด ตามภาพประกอบ 2-14(ข)

ช่วงที่ 3 (t_2-t_3) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 หยุดนำกระแส พลังงานจาก L_{kp} จะไหลไปชาร์จ C_{batt} และแบตเตอรี่ ผ่านทางไดโอด D_{sn} และ D_{batt} ทางด้านทุติยภูมิกระแสยังคงไหลผ่านไดโอด D_{fw} ตามภาพประกอบ 2-14(ค)

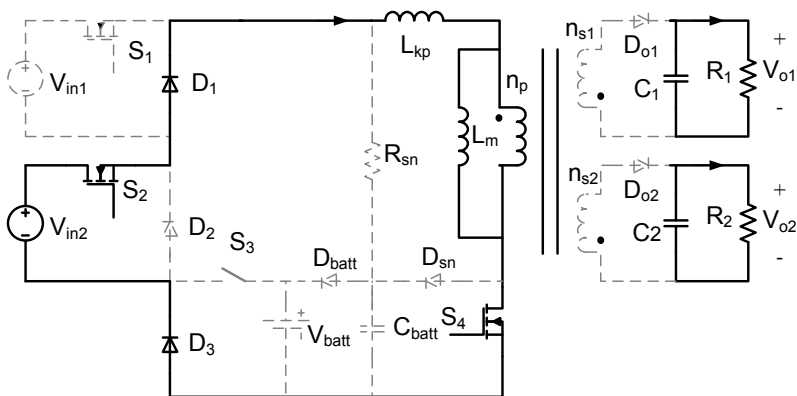
ช่วงที่ 4 (t_3-t_4) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ไม่ทำงาน พลังงานที่สะสมอยู่ใน L_m จะถูกส่งผ่านไปยังโหลด โดยผ่านทางไดโอด D_{o1} และ D_{o2} ตามภาพประกอบ 2-14(ง)

2.6.2 โหมดปกติ (Normal Mode) ในโหมดนี้จะมีการทำงานใกล้เคียงกับโหมดชาร์จแบตเตอรี่ ยกเว้นในช่วงที่ 3 (t_2-t_3) พลังงานจาก L_{kp} จะไหลผ่านไปยัง R_{sn} แทนเนื่องจากแบตเตอรี่เต็ม ตามภาพประกอบ 2-14(จ)

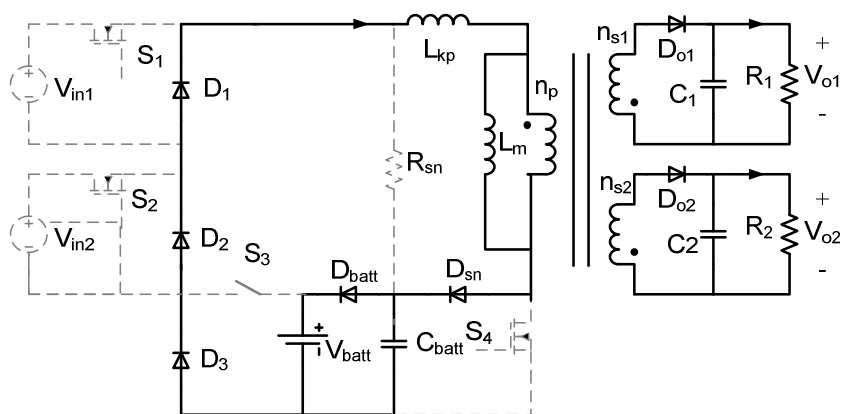
2.6.3 โหมดแบ็คอัพ (Backup mode) ในโหมดนี้สวิตช์ S_3 และ S_4 ทำงาน โดยสวิตช์ S_3 จะนำกระแสอยู่ตลอดเวลา โดยในโหมดนี้จะมีลักษณะการทำงานตามภาพประกอบ 2-14(ฉ), 2-14(ค) หรือ 2-14(จ) และ 2-14(ง)



(ก)

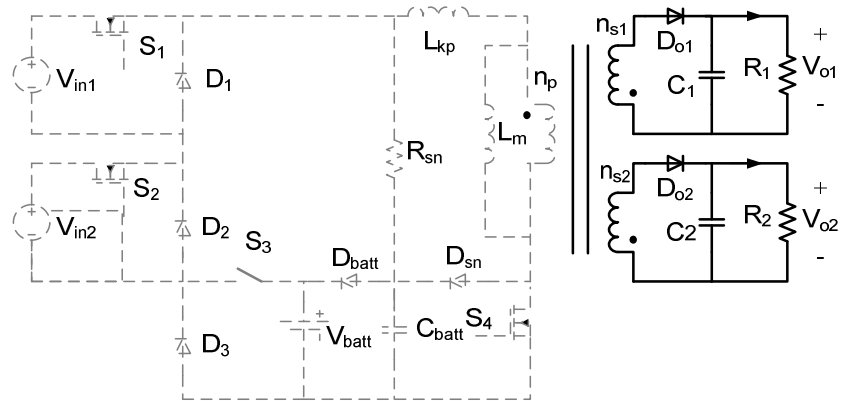


(ข)

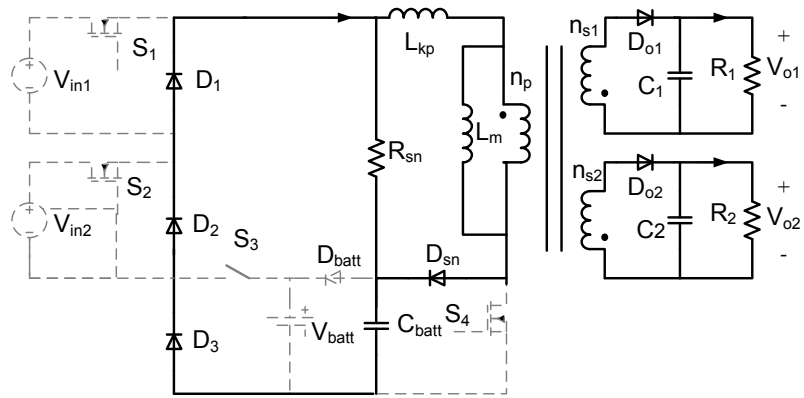


(ค)

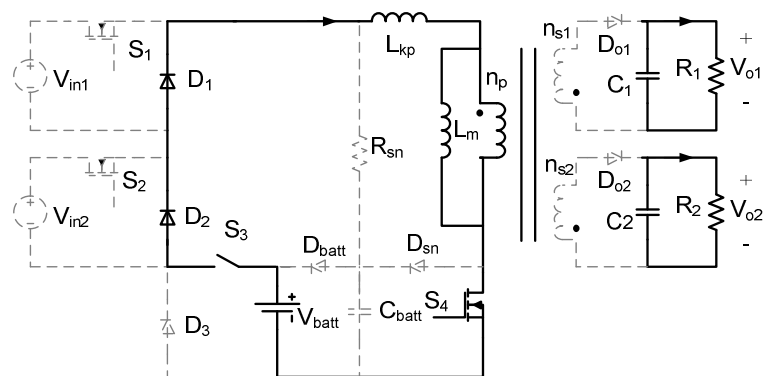
ภาพประกอบ 2-14 การทำงานของวงจรในแต่ละช่วงเวลา



(จ)



(ฉ)



(ค)

ภาพประกอบ 2-14 การทำงานของวงจรในแต่ละช่วงเวลา (ต่อ)

2.7 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรต้นแบบ

ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรในสถานะอยู่ตัว จะสมมุติให้วงจรทำงานแบบต่อเนื่อง สวิตช์แต่ละตัวเป็นอุดมคติ โดยที่ตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็ก L_m มีขนาดใหญ่จนสามารถจ่ายกระแสอย่างต่อเนื่องได้ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีขนาดใหญ่จนทำให้แรงดันเอาต์พุต V_{o1} และ V_{o2} ที่คร่อมตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีค่าคงที่ และกำหนดให้ n_p คือขดลวดทางด้านปฐมภูมิ, n_{s1} และ n_{s2} คือขดลวดทางด้านทุติยภูมิขดที่ 1 และขดที่ 2 ตามลำดับ โดยวงจรต้นแบบมีค่ารอบทำงาน (duty cycle) d_p , d_2 และ d_{batt} ใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด

ในภาพประกอบ 2-15 เป็นรูปคลื่นสัญญาณของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดปกติ ทั้งสองโหมดนี้จะมีลักษณะการทำงานที่ใกล้เคียงกัน โดยมี

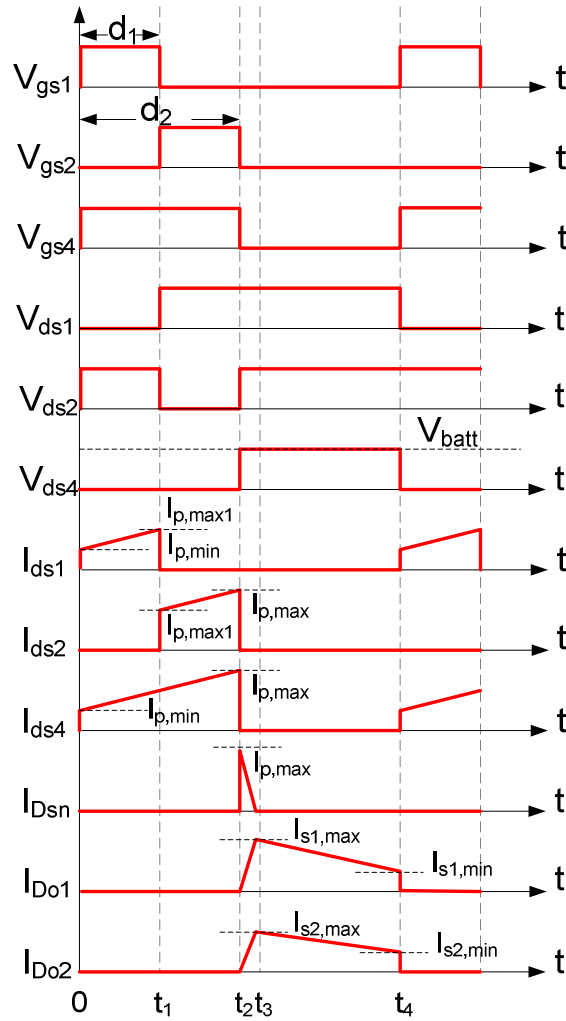
- V_{gs1} , V_{gs2} และ V_{gs3} เป็นสัญญาณควบคุมสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ตามลำดับ
- V_{ds1} , V_{ds2} และ V_{ds4} คือแรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ตามลำดับ
- I_{ds1} , I_{ds2} และ I_{ds4} คือกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ตามลำดับ
- I_{Dsn} เป็นกระแสที่ไหลผ่านไดโอดสับเบอร์
- I_{Do1} และ I_{Do2} เป็นกระแสที่ไหลผ่านไดโอดทางด้านเอาต์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
- $I_{p,max}$ และ $I_{p,min}$ เป็นค่าสูงสุดและต่ำสุดของกระแสผ่านขดลวด ปฐมภูมิของหม้อแปลง
- $I_{s,max}$ และ $I_{s,min}$ เป็นค่าสูงสุดและต่ำสุดของกระแสผ่านขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง
- $I_{p,max1}$ เป็นค่าสูงสุดของกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 ตอนที่ S_1 สวิตช์ทำงาน และ
- $\Delta\phi$ เป็นค่าฟลักซ์แม่เหล็กของหม้อแปลง

ในการวิเคราะห์หาสมการแรงดันของแต่ละเอาต์พุตและกระแสของแต่ละอินพุต จะไม่นำช่วงเวลา (t_2-t_3) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดจากความไม่เป็นอุดมคติของหม้อแปลงมาใช้ในการวิเคราะห์

ในช่วงที่ 1 (t_0-t_1) และ ช่วงที่ 2 (t_1-t_2) ค่าฟลักซ์แม่เหล็กของหม้อแปลงเพิ่มขึ้นจะได้ว่า

$$\Delta\phi_1 = \frac{V_{in1}}{n_p} d_1 T_s \quad (2.6)$$

$$\Delta\phi_2 = \frac{V_{in2}}{n_p} (d_2 - d_1) T_s \quad (2.7)$$



ภาพประกอบ 2-15 รูปคลื่นสัญญาณของวงจร

ในช่วงที่ 4 (t_3-t_4) ค่าฟลักซ์แม่เหล็กของหม้อแปลงจะลดลง ซึ่งจะทำให้ได้ค่า $\Delta\phi$ ของแต่ละเอาต์พุตดังนี้

$$\Delta\phi_{s1} = \frac{V_{o1}}{n_{s1}}(1-d_2)T_s \quad (2.8)$$

$$\Delta\phi_{s2} = \frac{V_{o2}}{n_{s2}}(1-d_2)T_s \quad (2.9)$$

ในช่วงเวลา 1 คาบ จะได้ว่า $\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 = \Delta\phi_{s1}$ (2.10)

และ $\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 = \Delta\phi_{s2}$ (2.11)

จากสมการ (2.6) ถึง (2.11) สามารถหาค่าแรงดันแต่ละเอาต์พุตได้ดังนี้

$$V_{o1} = \frac{n_{s1}}{n_p} \left[\frac{(V_{in1} - V_{in2})d_1 + V_{in2}d_2}{(1-d_2)} \right] \quad (2.12)$$

$$V_{o2} = \frac{n_{s2}}{n_p} \left[\frac{(V_{in1} - V_{in2})d_1 + V_{in2}d_2}{(1-d_2)} \right] \quad (2.13)$$

จากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนหม้อแปลง จะได้ว่า

$$I_{p,\min} n_p = I_{s1,\min} n_{s1} + I_{s2,\min} n_{s2} \quad (2.14)$$

$$I_{p,\max} n_p = I_{s1,\max} n_{s1} + I_{s2,\max} n_{s2} \quad (2.15)$$

จากภาพประกอบ 2-15 จะได้ความสัมพันธ์

$$I_{p,\max 1} = I_{p,\min} + \frac{V_{in1}}{L_p} d_1 T_s \quad (2.16)$$

$$I_{p,\max} = I_{p,\min} + \frac{V_{in1}}{L_p} d_1 T_s + \frac{V_{in2}}{L_p} (d_1 - d_2) T_s \quad (2.17)$$

กระแสทางด้านเอาต์พุตสามารถหาได้จาก

$$I_{o1} = \frac{1}{2} (I_{s1,\min} + I_{s1,\max}) (1 - d_2) \quad (2.13)$$

$$I_{o2} = \frac{1}{2} (I_{s2,\min} + I_{s2,\max}) (1 - d_2) \quad (2.18)$$

จากสมการที่ (2.14) ถึง (2.18) จะได้ว่า

$$I_{p,\min} = \frac{I_{o1}}{n_1(1-d_2)} + \frac{I_{o2}}{n_2(1-d_2)} - \frac{V_{in1}}{2L_p} d_1 T_s - \frac{V_{in2}}{2L_p} (d_1 - d_2) T_s \quad (2.19)$$

$$I_{p,\max} = \frac{I_{o1}}{n_1(1-d_2)} + \frac{I_{o2}}{n_2(1-d_2)} + \frac{V_{in1}}{2L_p} d_1 T_s + \frac{V_{in2}}{2L_p} (d_1 - d_2) T_s \quad (2.20)$$

$$I_{p,\max 1} = \frac{I_{o1}}{n_1(1-d_2)} + \frac{I_{o2}}{n_2(1-d_2)} + \frac{V_{in1}}{2L_p} d_1 T_s - \frac{V_{in2}}{2L_p} (d_1 - d_2) T_s \quad (2.21)$$

กระแสทางด้านอินพุตสามารถหาได้จาก

$$I_{in1} = \frac{1}{2} (I_{p,\min} + I_{p,\max 1}) d_1 \quad (2.22)$$

$$I_{in2} = \frac{1}{2} (I_{p,\max 1} + I_{p,\max}) (d_2 - d_1) \quad (2.23)$$

จากสมการที่ (2.19) ถึง (2.23) จะได้กระแสของแต่ละอินพุตดังนี้

$$I_{in1} = \left[\frac{I_{o1}}{n_1(1-d_2)} + \frac{I_{o2}}{n_2(1-d_2)} - \frac{V_{in2}}{2L_p} (d_1 - d_2) T_s \right] d_1 \quad (2.24)$$

$$I_{in2} = \left[\frac{I_{o1}}{n_1(1-d_2)} + \frac{I_{o2}}{n_2(1-d_2)} + \frac{V_{in1}}{2L_p} d_1 T_s \right] (d_1 - d_2) \quad (2.25)$$

ในส่วนของโหมดเบ็คอัพซึ่งมีทำงานลักษณะเช่นเดียวกับวงจรฟลายเบ็คคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นสามารถหาแรงดันของแต่ละเอาต์พุตดังนี้

$$V_{o1} = \frac{d_b}{1-d_b} \frac{n_{s1}}{n_p} V_{bat} \quad (2.26)$$

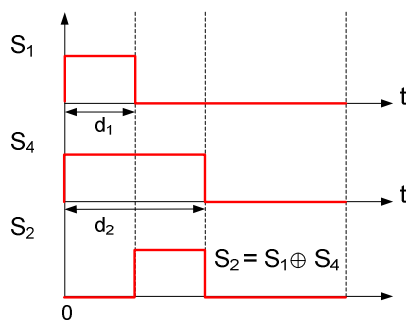
$$V_{o2} = \frac{d_b}{1-d_b} \frac{n_{s2}}{n_p} V_{bat} \quad (2.27)$$

2.8 การจัดการพลังงาน

เนื่องจากทั้งสองอินพุตของวงจรต้นแบบเป็นแหล่งจ่ายมาจากพลังงานทดแทนจึงจำเป็นต้องมีการจัดการพลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่ายอย่างเหมาะสมเพื่อให้วงจรสามารถจ่ายพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีแรงดันแต่ละเอาต์พุตคงที่

จากสมการที่ (2.7), (2.8), (2.20) และ (2.21) จะเห็นได้ว่าแรงดันแต่ละเอาต์พุตและกระแสแต่ละอินพุตเป็นฟังก์ชันกับ d_1 และ d_2 ดังนั้นในการจัดการพลังงานจะใช้การรอบการทำงานในการควบคุมแต่ละสวิตช์

ในภาพประกอบ 2-16 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณควบคุมสวิตช์โดยค่า d_1 ควบคุมสวิตช์ S_1 , ค่า d_2 ควบคุมสวิตช์ S_4 และค่าที่ได้จาก d_1 เอ็กซ์คลูซีฟ ออร์ (Exclusive OR) กับ d_2 ใช้ในการควบคุมสวิตช์ S_2



ภาพประกอบ 2-16 ความสัมพันธ์ของสัญญาณควบคุมสวิตช์ในแต่ละโหมด

การใช้พลังงานจากแต่ละอินพุตจะขึ้นอยู่กับค่า d_1 เช่น ถ้าค่า d_1 มากขึ้นจะทำให้วงจรใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานตัวที่ 1 มากขึ้น และจะทำให้ใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานตัวที่ 2 น้อยลง ส่วนค่า d_2 ใช้ในการควบคุมพลังงานที่จะส่งผ่านไปยังเอาต์พุต เพื่อเป็นการควบคุมแรงดันเอาต์พุต

บทที่ 3

การออกแบบวงจร

3.1 การออกแบบวงจร

3.1.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบวงจร

V_{in1}	= แรงดันอินพุตที่ 1	= 30	(V)
V_{in2}	= แรงดันอินพุตที่ 2	= 30	(V)
V_{batt}	= แรงดันแบตเตอรี่	= 24	(V)
V_{o1}	= แรงดันเอาต์พุตที่ 1	= 5	(V)
V_{o2}	= แรงดันเอาต์พุตที่ 2	= 12	(V)
I_{o1}	= กระแสเอาต์พุตที่ 1	= 1.5	(A)
I_{o2}	= กระแสเอาต์พุตที่ 2	= 1	(A)
$P_{o,max}$	= พิกัดกำลังเอาต์พุต	= 20	(W)
ρ	= สภาพต้านทานไฟฟ้าในสายทองแดง	= 1.724×10^{-6}	(Ω -cm)
P_{cu}	= กำลังสูญเสียรวมที่ยอมรับได้ กำหนดให้เท่ากับ 1.5		(W)
K_u	= ค่าเฟคเตอร์ในการพันขดลวด กำหนดให้เท่ากับ 0.3		
A_c	= พื้นที่ส่วนที่ผ่านแกน		(cm ²)
W_A	= ช่องพื้นที่ของแกน		(cm ²)
MLT	= ค่าเฉลี่ยความยาวต่อรอบ		(cm)
L_m	= ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก		(μ H)
B_{max}	= ความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดที่หม้อแปลงไม่อิ่มตัว กำหนดให้เท่ากับ 0.25		(Tesla)
$Wire\ areas$	= พื้นที่หน้าตัดของสาย		(cm ²)
I_M	= กระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็ก		(A)
Δi_M	= กระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็กกระแสเพิ่ม		(A)
$I_{M,max}$	= กระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็กสูงสุด		(A)
I_p	= กระแสอาร์เอ็มเอสทางด้านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง		(A)
I_s	= ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสทางด้านขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง		(A)
I_{tot}	= ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสรวมที่ไหลผ่านขดลวดหม้อแปลง อ้างอิงทางค้ำปฐมภูมิ		(A)

n_p	= จำนวนรอบขดลวดทางด้านปฐมภูมิ	(รอบ)
n_s	= จำนวนรอบขดลวดทางด้านทุติยภูมิ	(รอบ)
α	= อัตราส่วนพื้นที่ของแกน	
A_w	= ขนาดสาย	(cm ²)
p	= ขดลวดทางด้านปฐมภูมิ	
s_1, s_2	= ขดลวดทางด้านทุติยภูมิขดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ	

3.1.2 การหาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่ารอบทำงานของแต่ละ

สวิตช์

ค่ารอบทำงาน (Duty cycle) จะมีค่าสูงสุดตอนที่วงจรทำงานในโหมดแบ็คอัพ ($V_{batt} = 24 \text{ V}$) โดยจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.45 และให้อัตราส่วนหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิเท่ากับ 1

$$\text{จากสมการที่ (2.26); } V_{o1} = \frac{d_b}{1-d_b} \frac{n_{s1}}{n_p} V_{batt}$$

$$\text{แทนค่า } V_{o1} = 5\text{V}, V_{bat} = 24 \text{ V}, d_b = 0.45 \text{ และ } n_p = 1$$

$$\text{จะได้ว่า } 5 = \frac{0.45}{1-0.45} \frac{n_{s1}}{(1)} (24)$$

$$n_{s1} = 0.25$$

$$\text{จากสมการที่ (2.27); } V_{o2} = \frac{d_b}{1-d_b} \frac{n_{s2}}{n_p} V_{batt}$$

$$\text{แทนค่า } V_{o2} = 12 \text{ V}, V_{bat} = 24 \text{ V}, d_b = 0.45 \text{ และ } n_p = 1$$

$$12 = \frac{0.45}{1-0.45} \frac{n_{s2}}{(1)} (24)$$

$$n_{s2} = 0.6$$

ดังนั้นจะได้อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง $n_p : n_{s1} : n_{s2} = 1:0.25:0.6$

3.1.3 การออกแบบหม้อแปลง

ในการออกแบบเพื่อหาขนาดของแกนหม้อแปลงที่เหมาะสมและขนาดของสายตัวนำที่นำมาใช้ในการพันหม้อแปลงจะใช้วิธีแบบ K_g [7] โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) หาค่ากระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

$$I_M = \left(\frac{n_{s1}}{n_p} \right) \frac{1}{1-d} I_{o1} + \left(\frac{n_{s2}}{n_p} \right) \frac{1}{1-d} I_{o2} \quad (3.1)$$

2) หาค่ากระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็กกระแสเพิ่ม

- กำหนดให้ค่ากระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็กกระแสเพิ่ม = 20%

$$\Delta i_M = (20\%) I_M \quad (3.2)$$

3) หาค่ากระแสเหนี่ยวนำแม่เหล็กสูงสุด

$$I_{M,\max} = I_M + \Delta i_M \quad (3.3)$$

4) หาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

$$L_M = \frac{V_m D T_s}{2 \Delta i_M} \quad (3.4)$$

5) หาค่ากระแสอาร์เอ็มเอสทางด้านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง

$$I_p = I_M \sqrt{d} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_M}{I_M} \right)^2} \quad (3.5)$$

6) หาค่ากระแสอาร์เอ็มเอสทางด้านขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง

$$I_{s1} = \frac{n_p}{n_{s1}} I_M \sqrt{1-d} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_M}{I_M} \right)^2} \quad (3.6)$$

$$I_{s2} = \frac{n_p}{n_{s2}} I_M \sqrt{1-d} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta i_M}{I_M} \right)^2} \quad (3.7)$$

7) หาค่ากระแสอาร์เอ็มเอสรวมที่ไหลผ่านขดลวดหม้อแปลง

$$I_{tot} = I_p + \frac{n_{s1}}{n_p} I_{s1} + \frac{n_{s2}}{n_p} I_{s2} \quad (3.8)$$

8) ขนาดของแกน

$$K_g \geq \frac{\rho L_M^2 I_{tot}^2 I_{M,\max}^2}{B_{\max}^2 P_{cu} K_u} 10^8 \quad (3.9)$$

9) ความยาวของช่องอากาศ

$$l_g = \frac{\mu_0 L_M I_{M,\max}^2}{B_{\max}^2 A_C} 10^8 \quad (3.10)$$

10) จำนวนรอบขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

$$n_p = \frac{L_M I_{M,\max}}{B_{\max} A_C} 10^4 \quad (3.11)$$

11) จำนวนรอบขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

$$n_{s1} = \frac{n_{s1}}{n_p} n_p \quad (3.12)$$

$$n_{s2} = \frac{n_{s2}}{n_p} n_p \quad (3.13)$$

12) อัตราส่วนพื้นที่ระหว่างแกน

$$\alpha_p = \frac{I_p}{I_{tot}} \quad (3.14)$$

$$\alpha_{s1} = \frac{n_{s1} I_{s1}}{n_p I_{tot}} \quad (3.15)$$

$$\alpha_{s2} = \frac{n_{s2} I_{s2}}{n_p I_{tot}} \quad (3.16)$$

13) ขนาดสายของขดลวด

$$A_{wp} \leq \frac{\alpha_p K_u W_A}{n_p} \quad (3.17)$$

$$A_{ws1} \leq \frac{\alpha_{s1} K_u W_A}{n_{s1}} \quad (3.18)$$

$$A_{ws2} \leq \frac{\alpha_{s2} K_u W_A}{n_{s2}} \quad (3.19)$$

ตารางที่ 3-1 การหาขนาดของหม้อแปลง

V_{in} (v)	D	n_{s1} $v_o=5$	n_{s2} $v_o=12$	I_M (A)	Δi_m (A)	$I_{M,\max}$ (A)	L_M (H)	I_1 (A)	I_2 (A)		I_{tot} (A)	K_g	n_p
									I_{s1}	I_{s2}			
24.0	0.45	0.25	0.61	1.77	0.35	2.13	2.54E-4	1.20	5.29	2.21	3.84	0.036	28.42
30.0	0.45	0.20	0.49	1.77	0.35	2.13	3.17E-4	1.20	5.29	2.21	3.84	0.041	35.53

จากตารางที่ 3-1 จะเห็นได้ว่าค่า K_g ที่ $V_{in} = 30$ V เป็นค่าสูงสุดซึ่งเท่ากับ 0.041 cm^5 ดังนั้นในการเลือกหม้อแปลงจะต้องเลือกให้มีค่า $K_g \geq 0.08 \text{ cm}^5$ ดังนั้นจึงได้เลือกแกน ETD29 ซึ่งมีค่า $K_g = 0.098 \text{ cm}^5$ ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

$$A_c = 0.76 \text{ cm}^2$$

$$W_A = 0.903 \text{ cm}^2$$

$$MLT = 5.33 \text{ cm}$$

$$l_m = 7.2 \text{ cm}$$

และจากการคำนวณจะได้ ค่ารอบทางด้านปฐมภูมิทั้งสามกรณีจะได้จำนวนรอบอยู่ระหว่าง 28 - 36 รอบ แต่เนื่องจากจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลต่อเรื่องกำลังสูญเสียที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเลือกจำนวนรอบที่ 25 รอบ ทำให้สามารถคำนวณจำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจากสมการที่ 3.5 ได้ดังนี้

$$n_{s1} = 7 \text{ รอบ}$$

$$n_{s2} = 15 \text{ รอบ}$$

ตารางที่ 3-2 การหาขนาดสาย

V_{in} (v)	α_p	α_{s1}	α_{s2}	A_{wp} (cm^2)	A_{ws1} (cm^2)	A_{ws2} (cm^2)
24	0.31	0.34	0.34	3.37E-03	1.33E-02	6.22E-03
30	0.31	0.34	0.34	3.37E-03	1.33E-02	6.22E-03

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าค่าพื้นที่หน้าตัดของขดลวดแต่ละขดที่แรงดันต่างกัน มีค่าเท่ากัน เนื่องจากค่าพื้นที่หน้าตัดไม่ได้แปรตามขนาดของแรงดันอินพุต ซึ่งจะสามารถหาเบอร์ขดลวดและจำนวนเส้นได้ดังนี้

$$n_p \text{ ใช้ขดลวดเบอร์ SWG 22 จำนวน 1 เส้น}$$

$$n_{s1} \text{ ใช้ขดลวดเบอร์ SWG 23 จำนวน 2 เส้น}$$

$$n_{s2} \text{ ใช้ขดลวดเบอร์ SWG 22 จำนวน 1 เส้น}$$

3.2 การจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบ

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงานมีดังนี้

V_{in1}, V_{in2}	= แรงดันอินพุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
$V_{gs1}, V_{gs2}, V_{gs4}$	= แรงดันควบคุมสวิตช์ S_1, S_2 และ S_4 ตามลำดับ
$V_{ds1}, V_{ds2}, V_{ds4}$	= แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1, S_2 และ S_4 ตามลำดับ
R_{sn}	= ตัวต้านทานสแน็บเบอร์
C_{batt}	= ตัวเก็บประจุสแน็บเบอร์
V_p	= แรงดันคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
V_{s1}, V_{s2}	= แรงดันคร่อมขดลวดทางด้านทุติยภูมิขดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
V_{o1}, V_{o2}	= แรงดันเอาต์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
V_{batt}	= แรงดันแบตเตอรี่
$I_{ds1}, I_{ds2}, I_{ds4}$	= กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1, S_2 และ S_4 ตามลำดับ
I_p	= กระแสทางด้านปฐมภูมิ
I_{Dsn}	= กระแสที่ไหลผ่านไดโอดสแน็บเบอร์
I_{batt}	= กระแสแบตเตอรี่
I_{Rsn}	= กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานสแน็บเบอร์
I_{Do1}, I_{Do2}	= กระแสที่ไหลผ่านไดโอดทางด้านเอาต์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
I_{o1}, I_{o2}	= กระแสเอาต์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
d_1, d_2, d_b	= ค่ารอบการทำงานของสวิตช์อินพุตที่ 1,2 และอินพุตแบตเตอรี่
L_p	= ค่าเหนี่ยวนำรั่วไหลทางด้านปฐมภูมิ
L_s	= ค่าเหนี่ยวนำรั่วไหลทางด้านทุติยภูมิ
L_m	= ค่าเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก
f_s	= ความถี่ในการสวิตช์

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

V_{in1}, V_{in2}	= 30	V
R_{sn}	= 5	k Ω
C_{batt}	= 10	μ F
d_1	= 0.2	

d_2	= 0.4
d_b	= 0.45
L_p	= 5 uH
L_s	= 1 uH
L_m	= 400 uH
f_s	= 50 kHz

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจร จากนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลองการทำงาน โดยใช้โปรแกรม PSIM เพื่อจำลองการทำงานของวงจร ซึ่งแบ่งออกการทำงานออกเป็น 3 โหมด ดังนี้

3.2.1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode)

ภาพประกอบ 3-1 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์และแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ S_1 และ S_2 ตามลำดับ

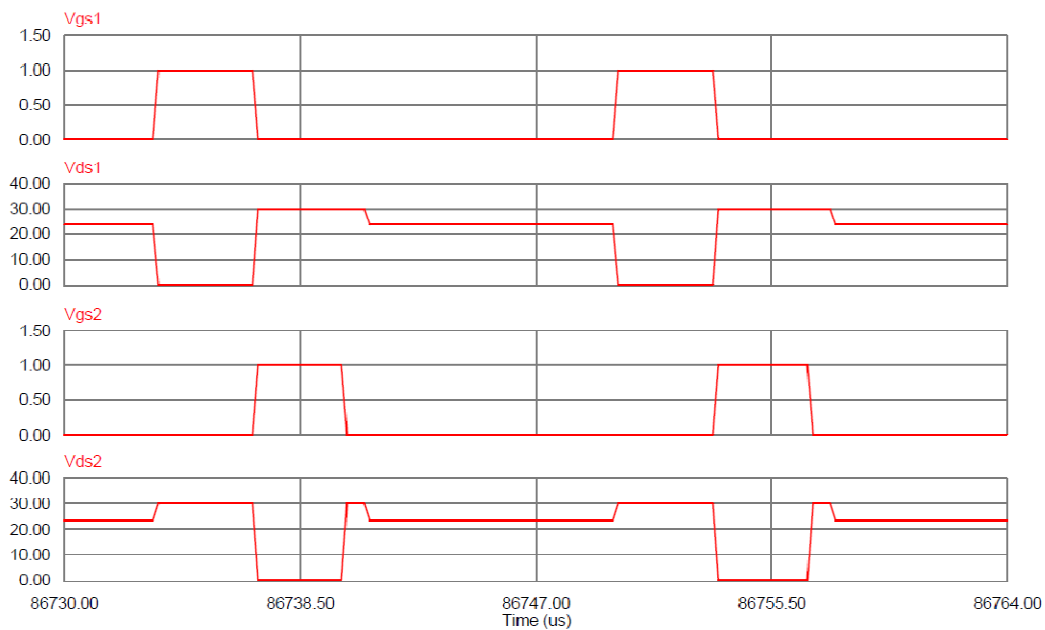
ภาพประกอบ 3-2 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์และแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ S_1 , แรงดันคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิและแรงดันแบตเตอรี่ตามลำดับ

ภาพประกอบ 3-3 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 , S_2 กระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 ตามลำดับ

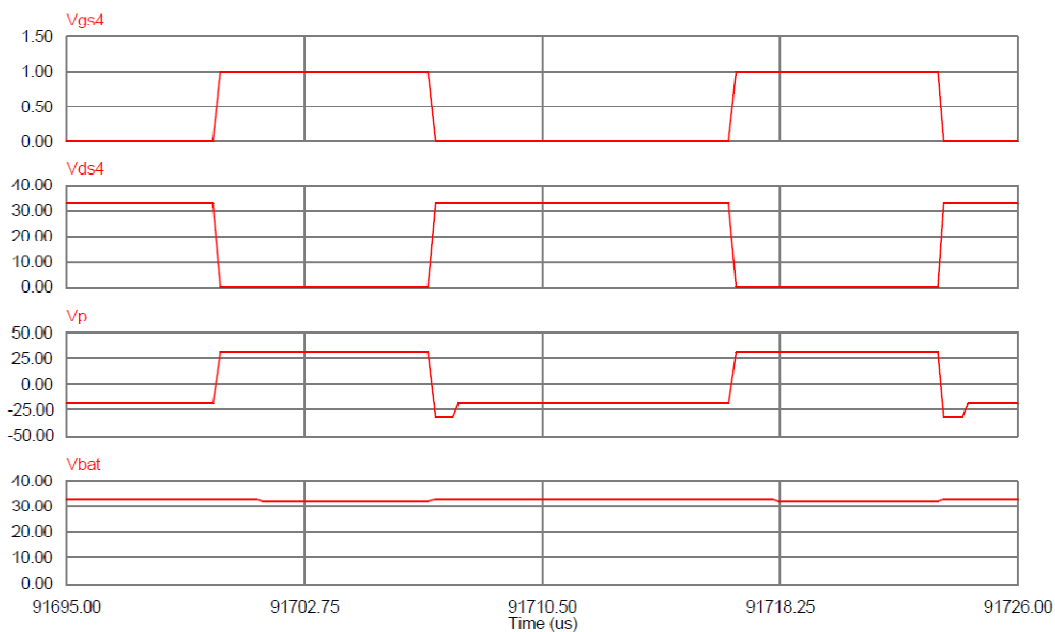
ภาพประกอบ 3-4 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 , กระแสที่ไหลผ่านไดโอดสลับเบอร์, กระแสแบตเตอรี่และกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานสลับเบอร์ตามลำดับ

ภาพประกอบ 3-5 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิ, แรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ S_1 , S_2 , แรงดันเอาต์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

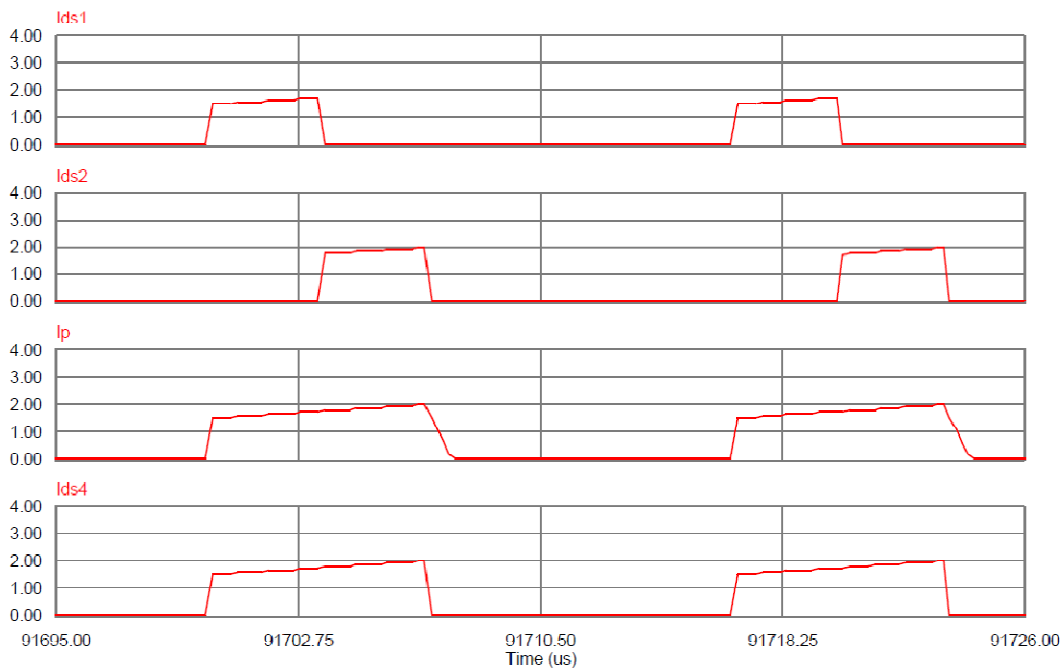
ภาพประกอบ 3-6 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านไดโอดทางด้านเอาต์พุตและกระแสเอาต์พุตที่ 1, 2 ตามลำดับ



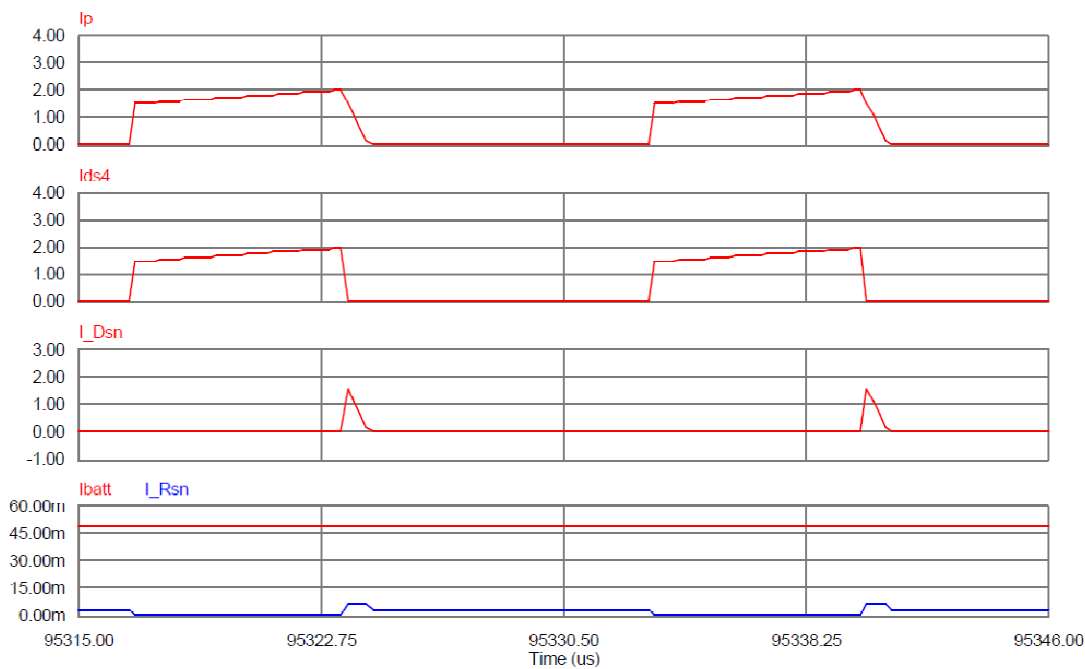
ภาพประกอบ 3-1 แรงดัน V_{gs1} , V_{ds1} , V_{gs2} และ V_{ds2} ตามลำดับ



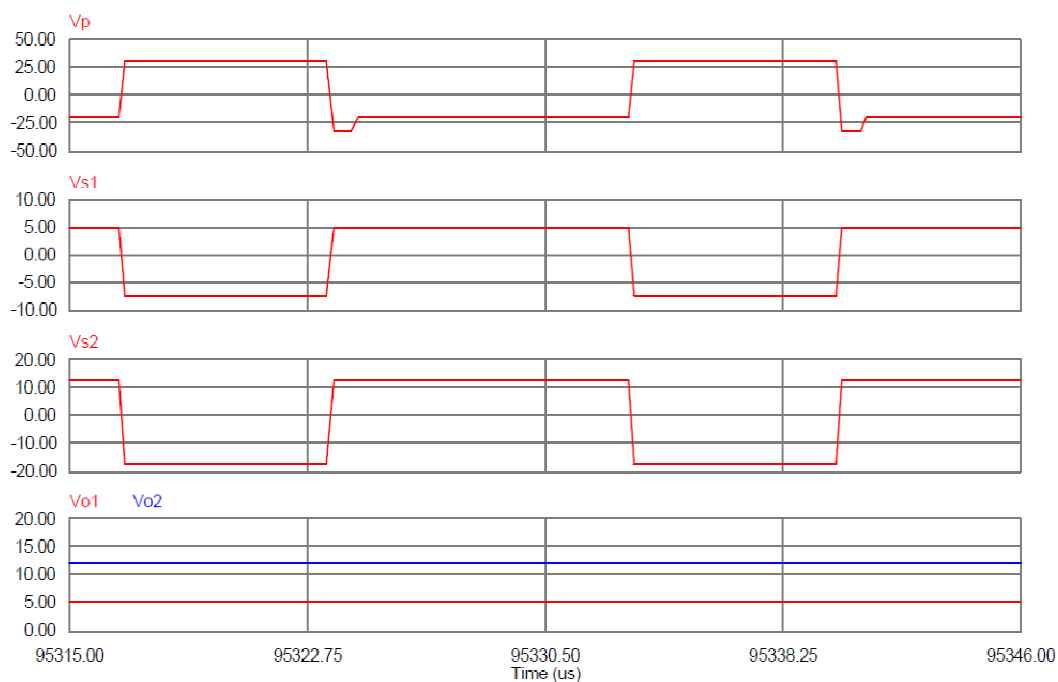
ภาพประกอบ 3-2 แรงดัน V_{gs4} , V_{ds4} , V_p และ V_{bat} ตามลำดับ



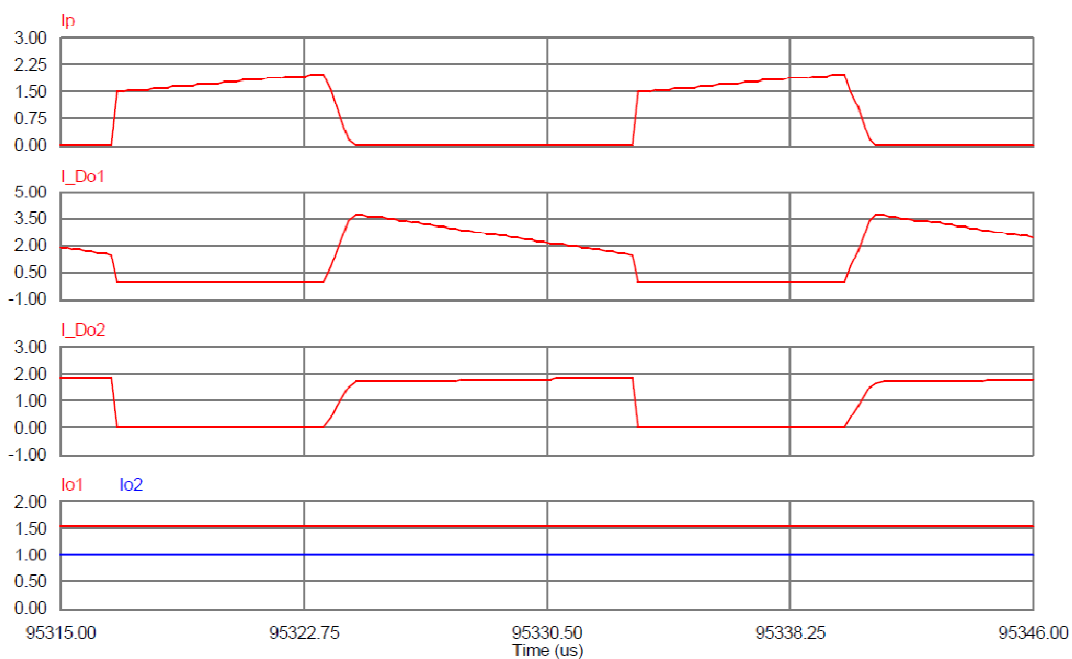
ภาพประกอบ 3-3 กระแส I_{ds1} , I_{ds2} , I_p และ I_{ds4} ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-4 กระแส I_p , I_{ds4} , I_{Dsn} , I_{batt} และ I_{Rsn} ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-5 แรงดัน V_p , V_{s1} , V_{s2} , V_{o1} และ V_{o2} ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-6 กระแส I_p , I_{Do1} , I_{Do2} , I_{o1} และ I_{o2} ตามลำดับ

3.2.2 โหมดปกติ (Normal mode)

ภาพประกอบ 3-7 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์และแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ S_1 และ S_2 ตามลำดับ

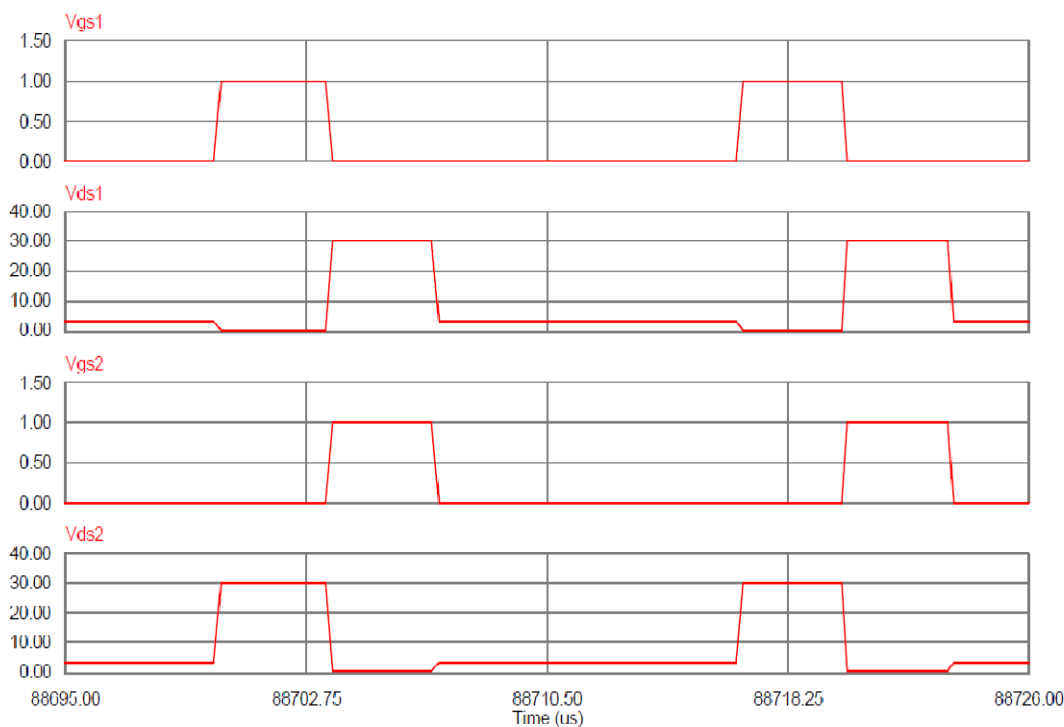
ภาพประกอบ 3-8 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์และแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ S_1 , แรงดันคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิและแรงดันเบตเตอร์ตามลำดับ

ภาพประกอบ 3-9 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 , S_2 กระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 ตามลำดับ

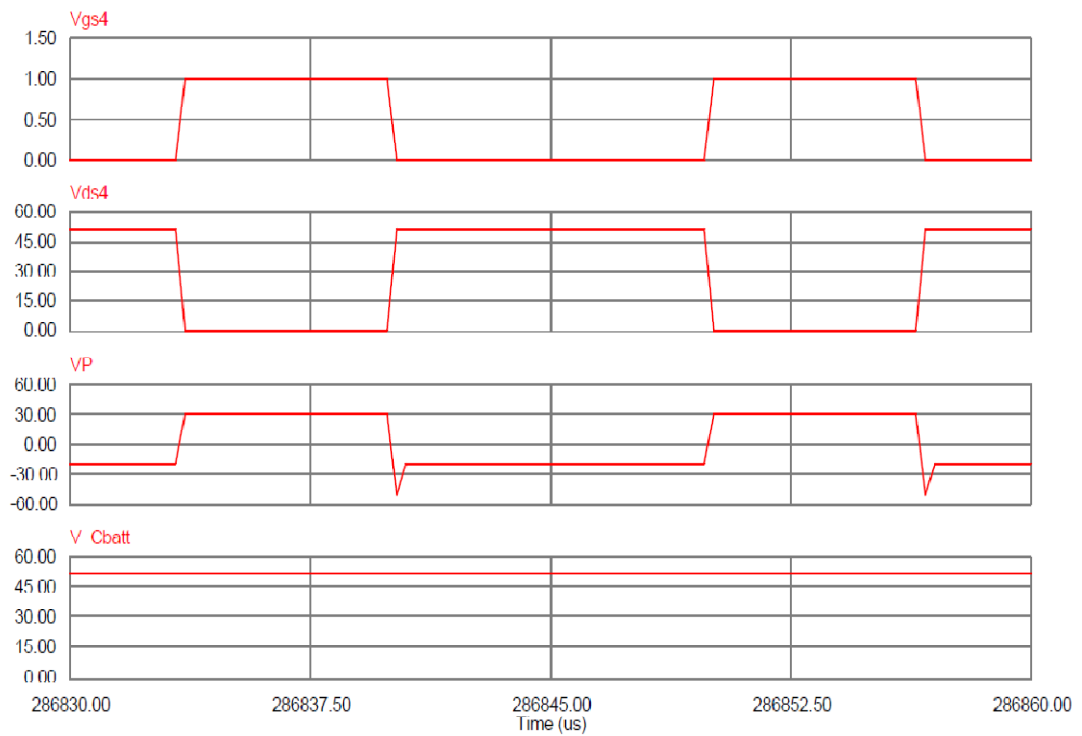
ภาพประกอบ 3-10 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 , กระแสที่ไหลผ่านไดโอดสลับเบอร์, กระแสเบตเตอร์และกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานสลับเบอร์ตามลำดับ

ภาพประกอบ 3-11 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิ, แรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ S_1 , S_2 , แรงดันเอาต์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

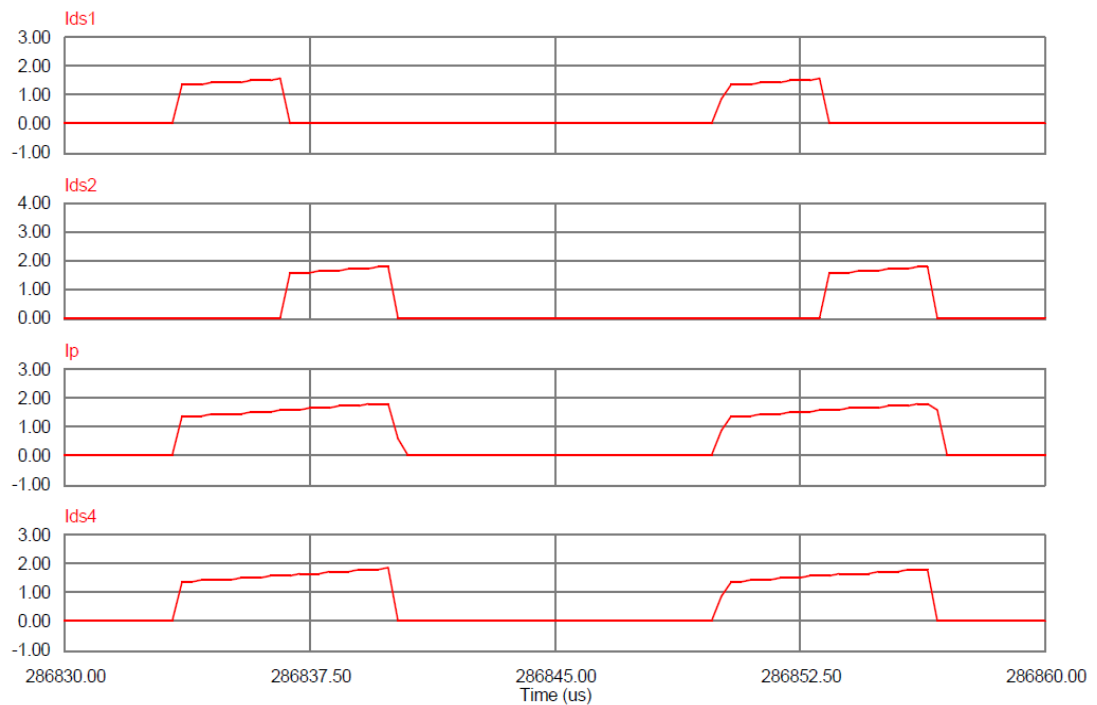
ภาพประกอบ 3-12 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านไดโอดทางด้านเอาต์พุตและกระแสเอาต์พุตที่ 1, 2 ตามลำดับ



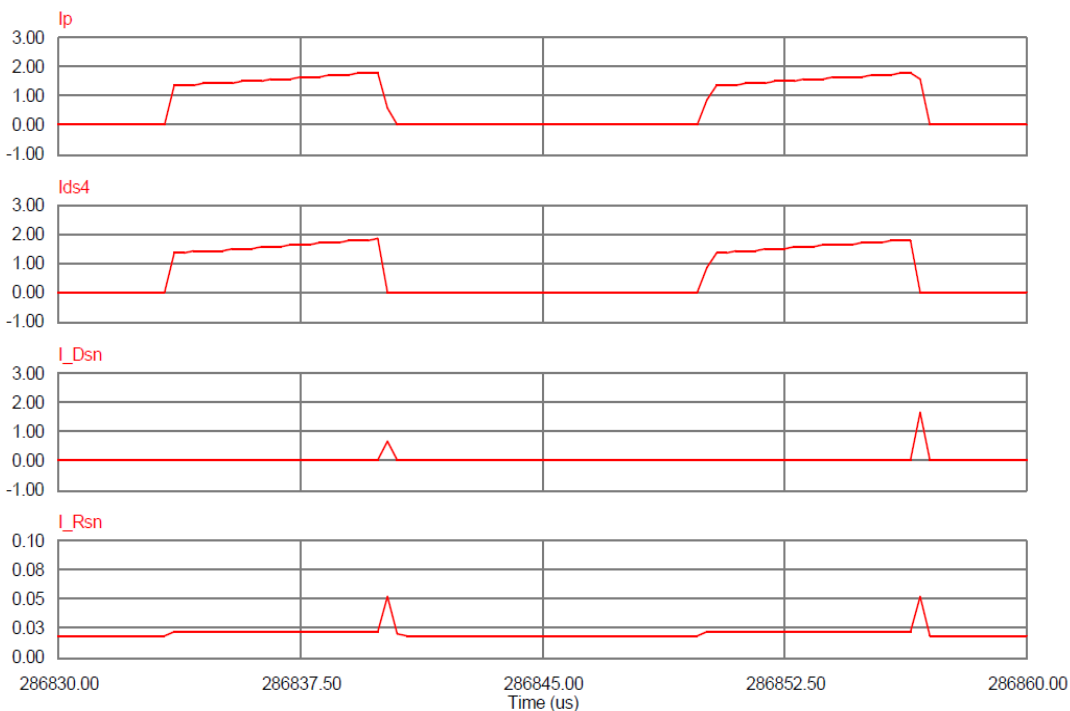
ภาพประกอบ 3-7 แรงดัน V_{gs1} , V_{ds1} , V_{gs2} และ V_{ds2} ตามลำดับ



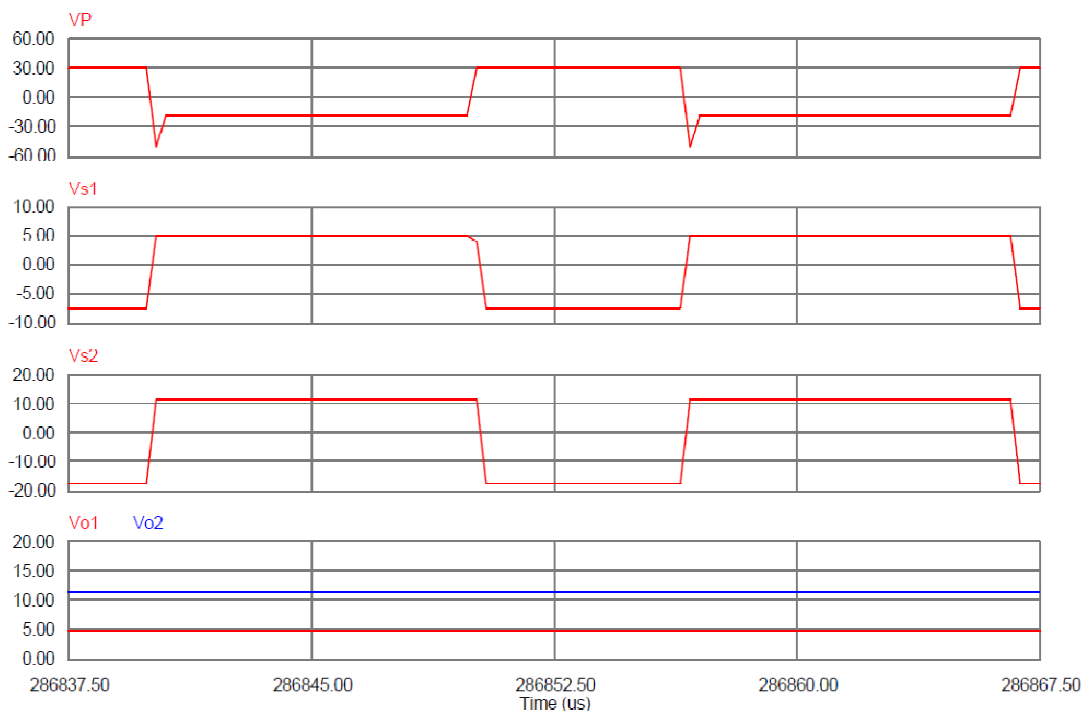
ภาพประกอบ 3-8 แรงดัน V_{gs4} , V_{ds4} , V_p และ V_{batt} ตามลำดับ



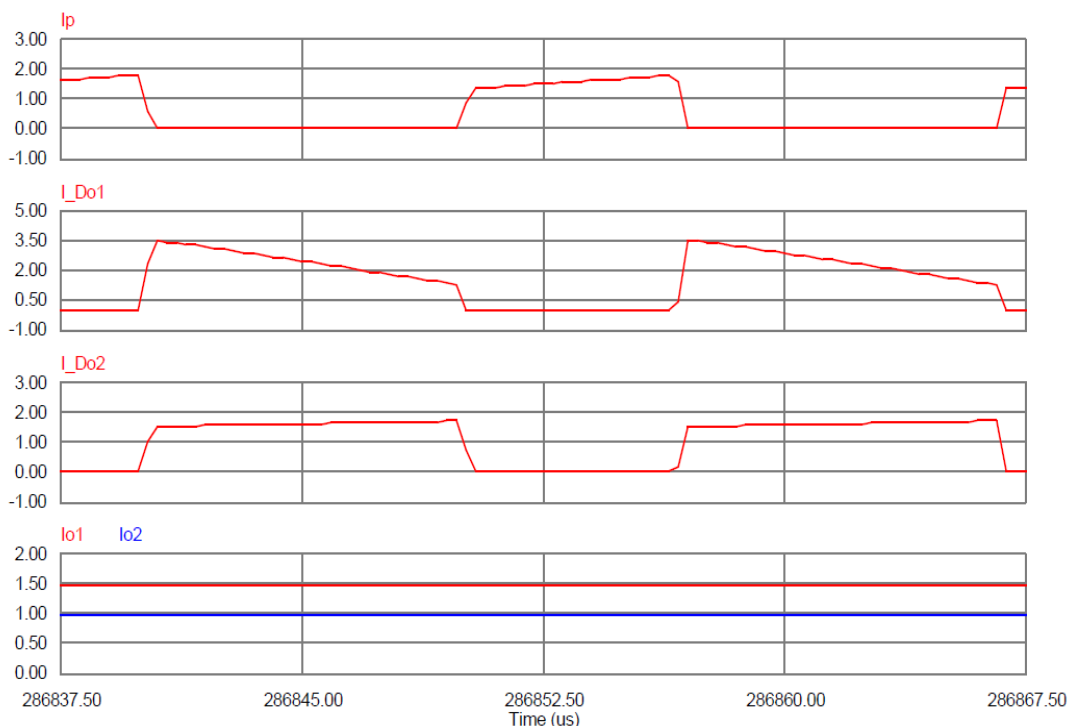
ภาพประกอบ 3-9 กระแส I_{ds1} , I_{ds2} , I_p และ I_{ds4} ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-10 กระแส I_p , I_{ds4} , I_{Dsn} , I_{Rsn} ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-11 แรงดัน V_p , V_{s1} , V_{s2} , V_{o1} และ V_{o2} ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-12 กระแส I_p , I_{Do1} , I_{Do2} , I_{o1} และ I_{o2} ตามลำดับ

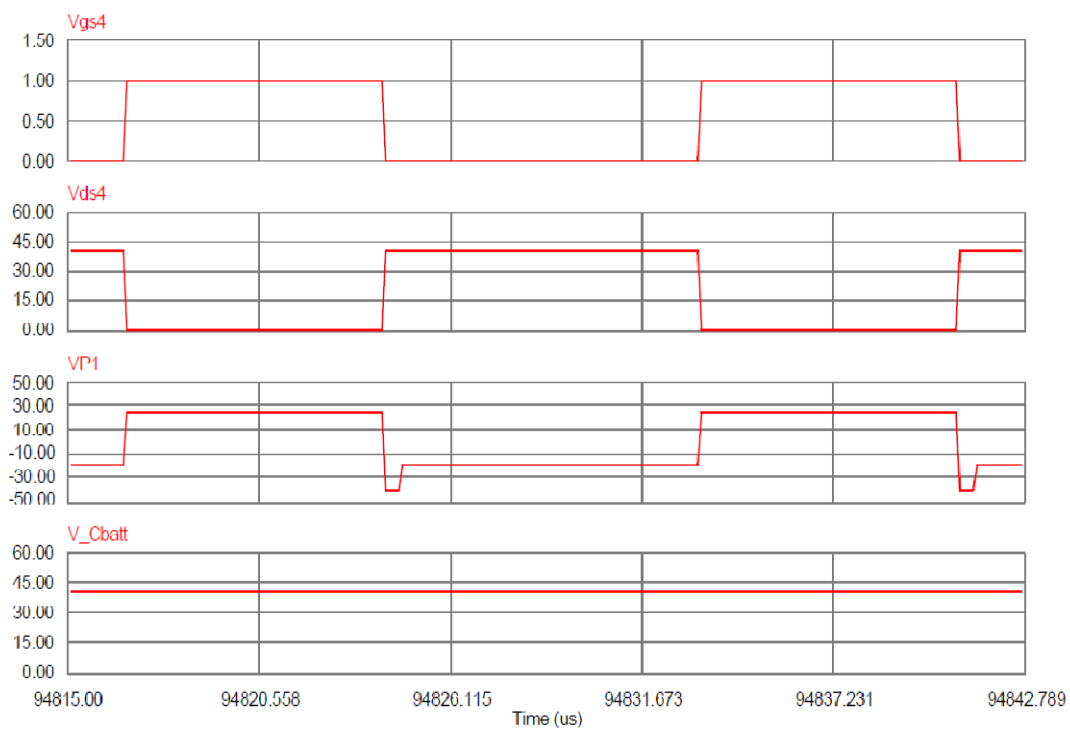
3.2.3 โหมดแบ็คอัพ (Backup mode)

ภาพประกอบ 3-13 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์และแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ S_1 , แรงดันคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิและแรงดันเบตเตอร์ี่ตามลำดับ

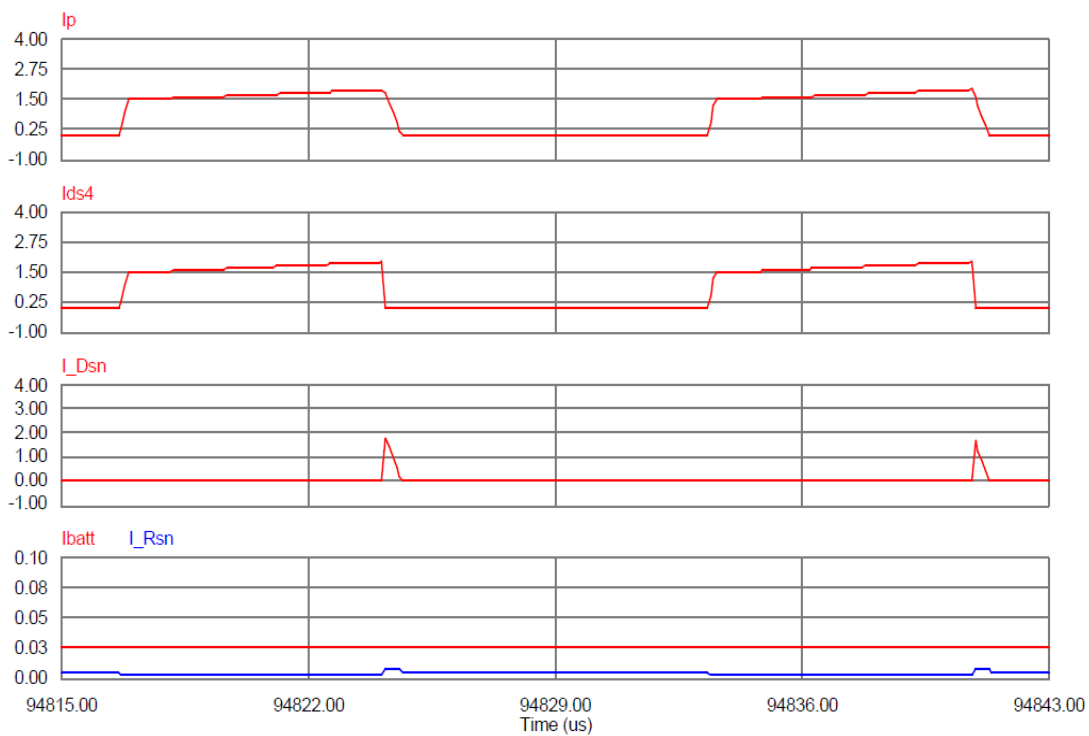
ภาพประกอบ 3-14 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 , กระแสที่ไหลผ่านไดโอดสลับเบอร์, กระแสเบตเตอร์ี่และกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานสลับเบอร์ตามลำดับ

ภาพประกอบ 3-15 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิ, แรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ S_1 , S_2 , แรงดันเอาต์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

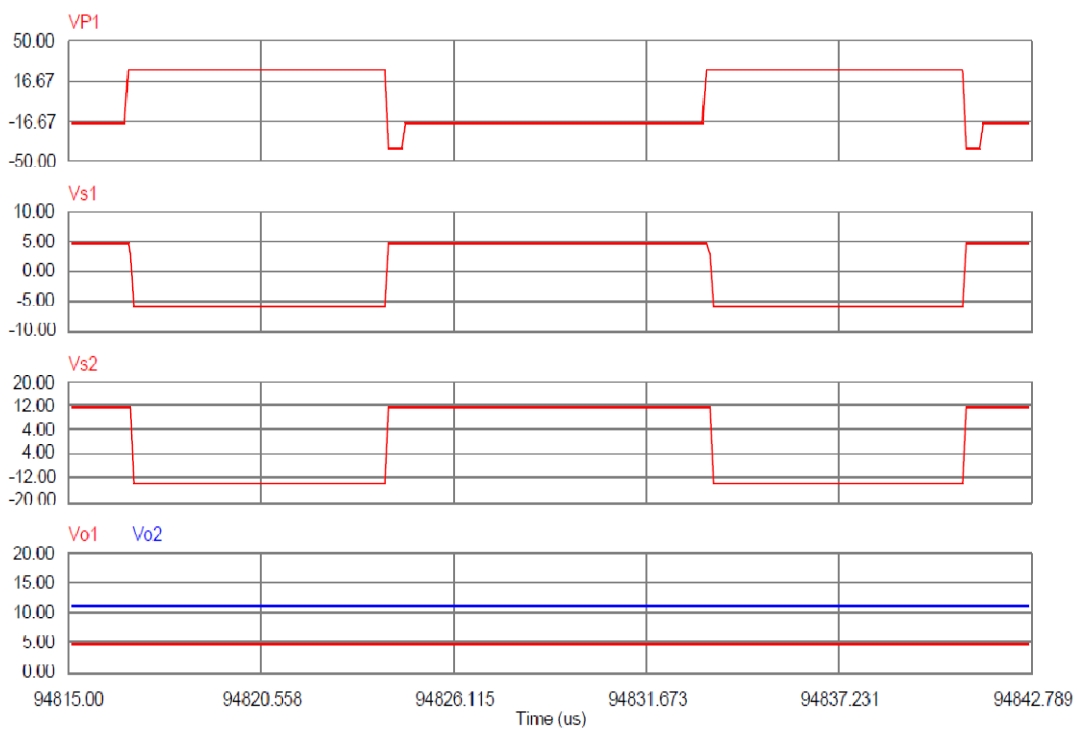
ภาพประกอบ 3-16 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านไดโอดทางด้านเอาต์พุตและกระแสเอาต์พุตที่ 1, 2 ตามลำดับ



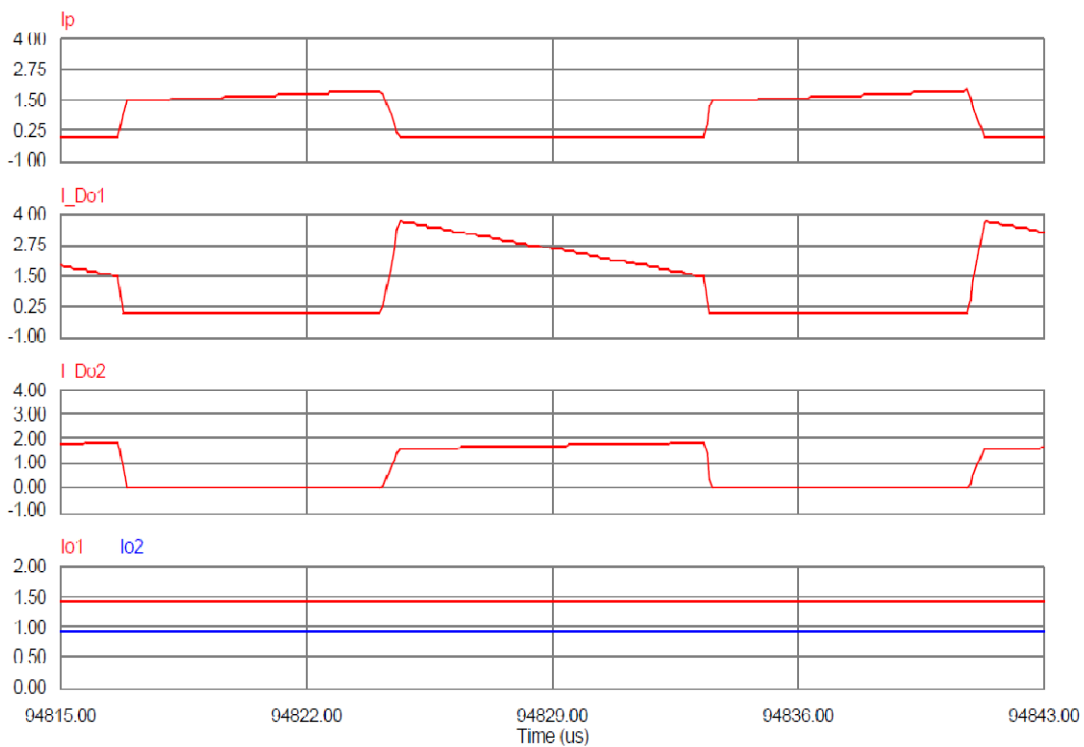
ภาพประกอบ 3-13 แรงดัน V_{gs4} , V_{ds4} , V_p และ V_{batt} ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-14 กระแส I_p , I_{ds4} , I_{Dsn} , I_{batt} และ I_{Rsn} ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-15 แรงดัน V_p , V_{s1} , V_{s2} , V_{o1} และ V_{o2} ตามลำดับ

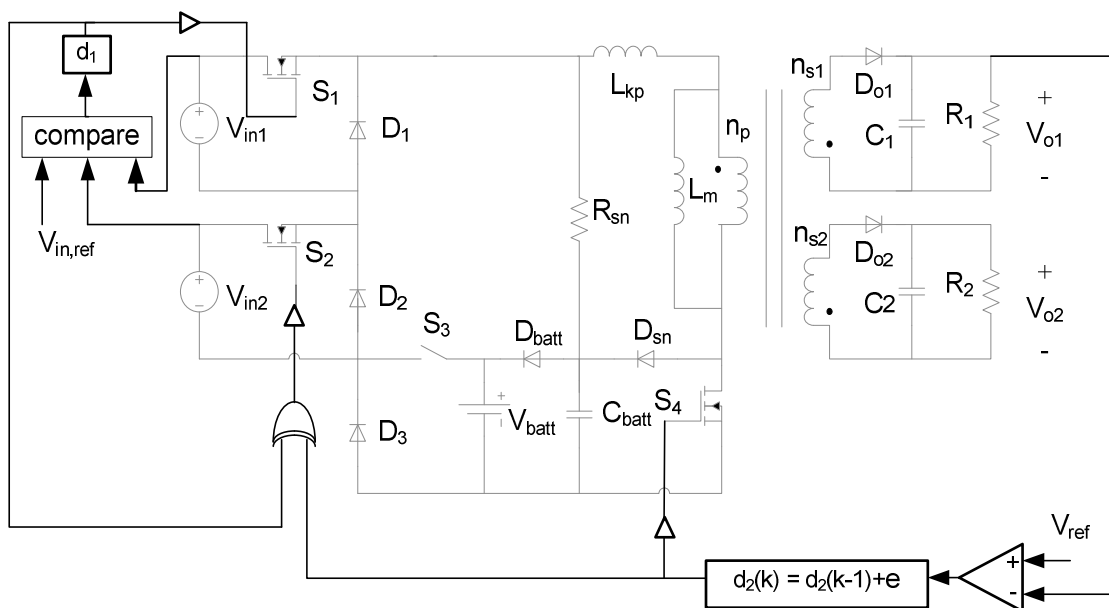


ภาพประกอบ 3-16 กระแส I_p , I_{Do1} , I_{Do2} , I_{o1} และ I_{o2} ตามลำดับ

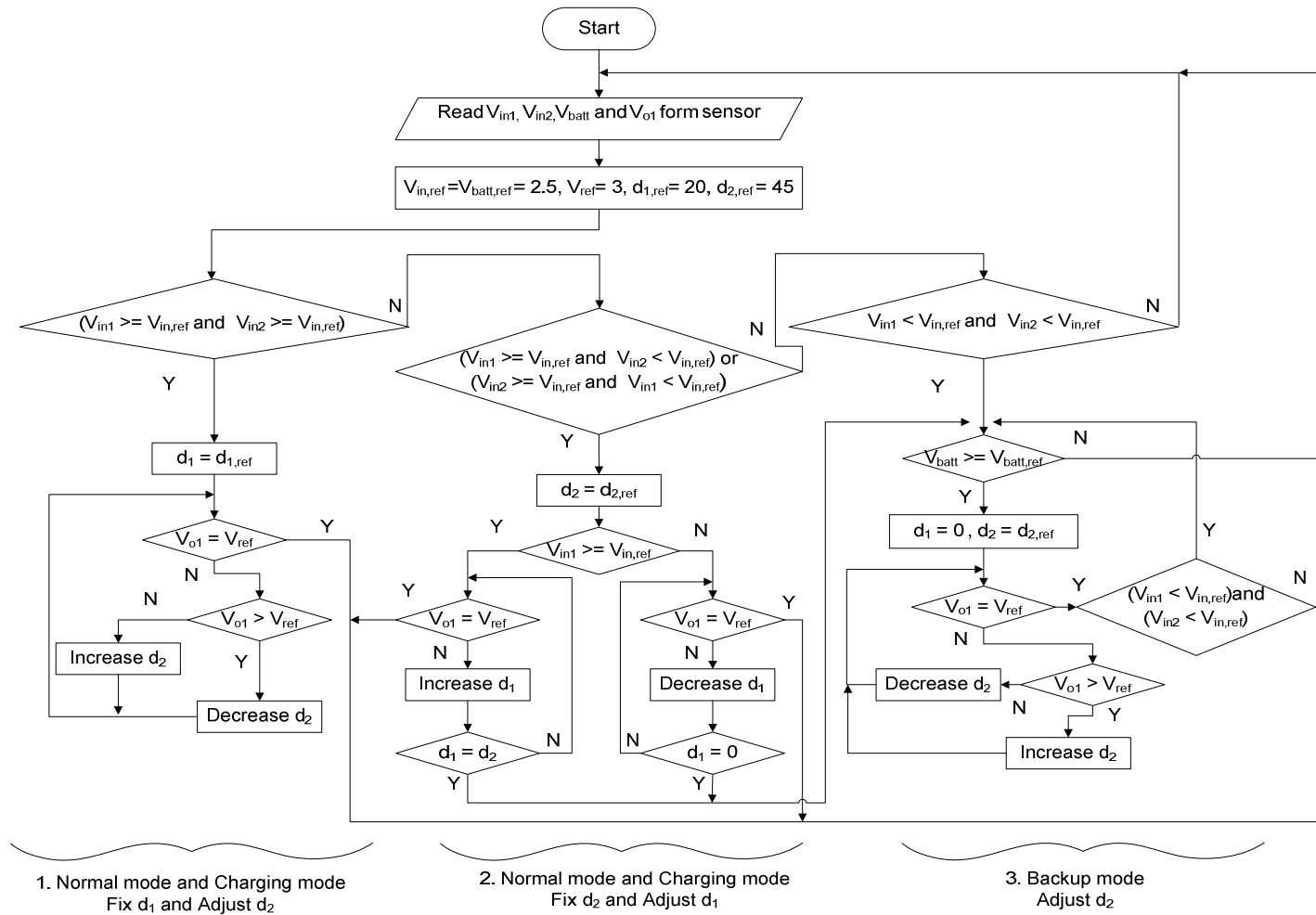
3.3 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของวงจรต้นแบบ

การควบคุมการทำงานของวงจรต้นแบบประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การจัดการพลังงานจากแต่ละอินพุตเพื่อให้วงจรสามารถจ่ายพลังงานให้กับโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการรักษาระดับแรงเอาต์พุตให้คงที่ โดยในส่วนของจัดการพลังงานด้านอินพุต จะใช้ระดับแรงดันของแต่ละอินพุตมาเปรียบเทียบกับแรงดันอินพุตอ้างอิงเพื่อกำหนดความกว้างของค่ารอบในการทำงาน (duty cycle) ของ d_1 โดยค่า d_1 จะใช้ในการควบคุมสวิตช์ S_1 และใช้เป็นตัวกำหนดการใช้พลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่าย เนื่องจากสวิตช์ S_2 ควบคุมด้วยค่า d_1 เอ็ชซีคลูซีฟ ออร์ กับ d_2 ดังนั้นถ้าค่า d_1 มากจะทำให้อินพุตที่ 1 จ่ายกำลังได้มากกว่าอินพุตที่ 2 ในขณะเดียวกันถ้าค่า d_1 น้อยก็จะทำให้อินพุตที่ 2 จ่ายกำลังได้มากกว่าอินพุตที่ 1 โดยที่ค่า d_2 คงที่ และมีค่ามากกว่า d_1

ในส่วนของรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่จะใช้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ 1 (V_{o1}) มาเปรียบเทียบกับแรงดันเอาต์พุตอ้างอิง (V_{ref}) ซึ่งก็จะได้ค่าความผิดพลาด (e) ที่เกิดจากความแตกต่างของแรงดันทั้งสอง มาใช้ในการกำหนดความกว้างของ d_2 ดังแสดงในภาพประกอบ 3-17



ภาพประกอบ 3-17 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร



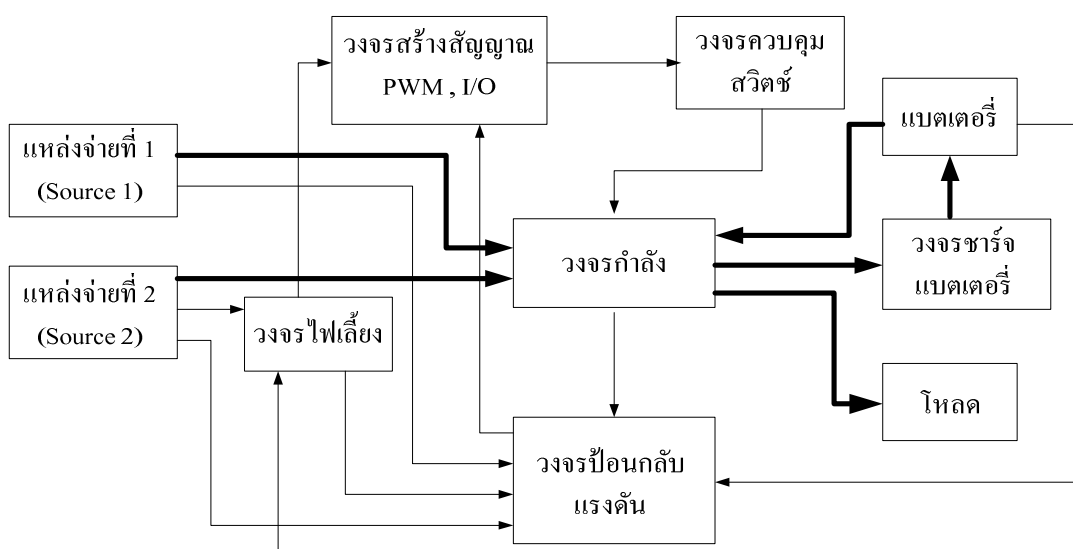
ภาพประกอบ 3-18 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจร

ในภาพประกอบ 3-18 แสดงแผนภาพการทำงานของวงจรโดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 สถานะ ดังนี้

1. เป็นช่วงที่แรงดันแต่ละอินพุตมีค่ามากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง ดังนั้นในช่วงนี้ทั้งสองอินพุตจะมีกำลังไฟฟ้าที่สามารถจ่ายโหลดได้อย่างเพียงพอ ดังนั้นในช่วงนี้ d_1 จะมีค่าที่เท่ากับค่าอ้างอิง ($d_{1,ref}$) ส่วนค่า d_2 จะปรับค่าได้เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตคงที่
2. เป็นช่วงที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าอินพุตที่ 2 หรือ แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าอินพุตที่ 1 ในช่วงนี้จะกำหนดให้ค่า d_2 คงที่เท่ากับค่าอ้างอิง ($d_{2,ref}$) ส่วนค่า d_1 จะปรับเปลี่ยนไปค่าแรงดันแต่ละอินพุตเพื่อให้วงจรสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ
3. เป็นช่วงที่แรงดันแต่ละอินพุตมีค่าน้อยกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง ในช่วงนี้ทั้งสองอินพุตจะไม่มีกำลังไฟฟ้าที่สามารถจ่ายโหลดได้อย่างเพียงพอ ในช่วงนี้วงจรจะทำงานในโหมดเบรกเพื่อใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายโหลดของวงจรแทน

3.4 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน

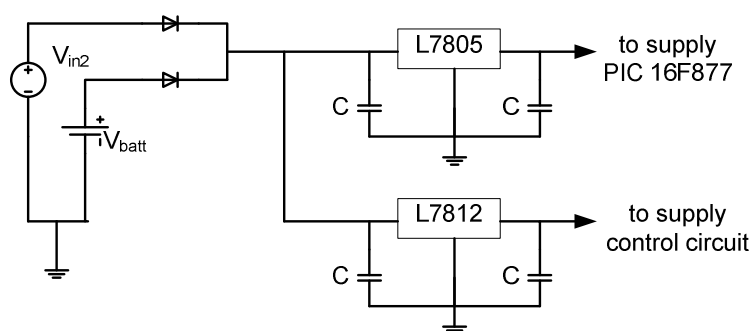
หลังจากออกแบบระบบการทำงานของวงจรแล้ว ต่อมาก็จะเป็นการออกแบบวงจรที่จะใช้ควบคุมการทำงานของวงจรกำลังดังแสดงในภาพประกอบ 3-19 ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้



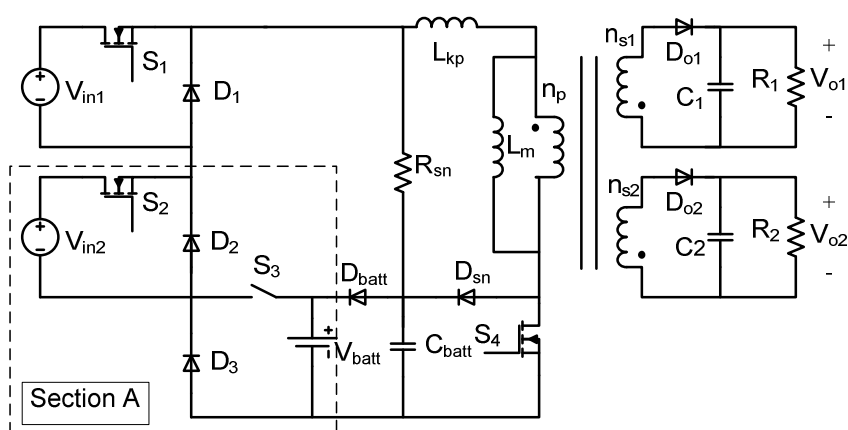
ภาพประกอบ 3-19 การออกแบบวงจรควบคุม

3.4.1 วงจรไฟเลี้ยง

ใช้ในการจ่ายพลังงานให้กับไอซีต่างในวงจรควบคุม ซึ่งใช้ระดับแรงดันที่ 5 โวลต์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 และ 12 โวลต์สำหรับไอซีทั่วไป ในการออกแบบวงจร จะต้องคำนึงถึงเรื่องเสถียรภาพในการจ่ายพลังงานให้กับวงจรควบคุมเป็นหลัก ซึ่งจะออกแบบโดยทางด้านอินพุตของวงจรประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากอินพุตที่ 2 (V_{in2}) และแบตเตอรี่ (V_{batt}) ดังแสดงในภาพประกอบ 3-20 โดยทั้งสองแหล่งจ่ายจะถูกต่อเข้ากับไดโอด ซึ่งจะมีหลักการทำงาน โดยใช้การเปรียบเทียบแรงดันจากทั้งสองแหล่งจ่าย เมื่อแหล่งจ่ายตัวใดมีค่ามากกว่าไดโอดที่อยู่ กับแหล่งจ่ายตัวนั้นก็จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ การทำงานโดยทั่วไปของวงจร แหล่งจ่ายอินพุต ที่ 2 จะเป็นตัวหลักในการจ่ายพลังงานเนื่องจากมีแรงดันมากกว่าแบตเตอรี่ พลังงานที่ได้จากทั้งสอง แหล่งจ่ายจะถูกส่งผ่านไปยังโหลด โดยผ่านไอซีของค่าระดับแรงดัน ก่อนที่จะถูกส่งไปเลี้ยงส่วนๆ ของวงจรควบคุมต่อไป

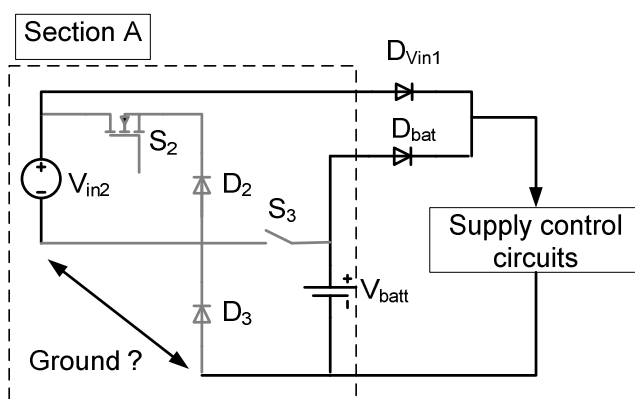


ภาพประกอบ 3-20 วงจรไฟเลี้ยง

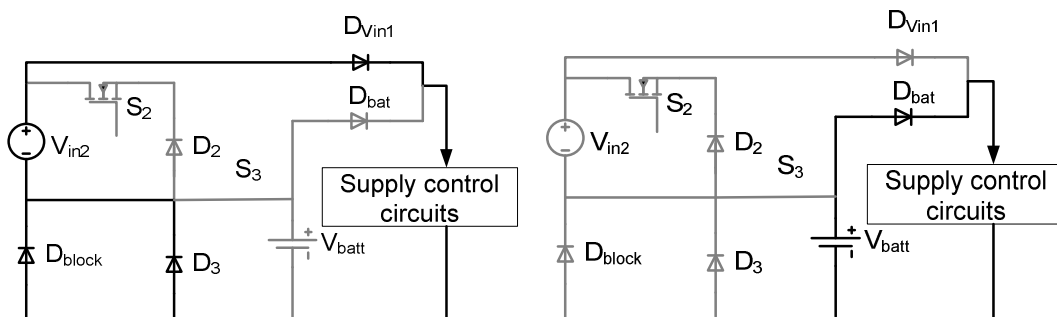


ภาพประกอบ 3-21 วงจรกำลัง

จากภาพประกอบ 3-22 เมื่อนำวงจรไฟเลี้ยงมาต่อเข้ากับแหล่งจ่าย V_{in2} และ V_{batt} ในวงจรกำลังในภาพประกอบ 3-21 จะทำให้เกิดจุดคราวด์ร่วมกันระหว่างแหล่งจ่ายทั้งสอง เพื่อให้สามารถจ่ายพลังงานให้กับวงจรควบคุมต่างๆได้ ซึ่งจะส่งผลให้แบตเตอรี่เกิดการลัดวงจรตอนที่สวิทช์ S_3 ทำงาน ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการต่อไดโอด D_{block} เข้าไปเพื่อบล็อกกระแสลัดวงจรตอนที่แบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับวงจรควบคุม ดังแสดงในภาพประกอบ 3-23



ภาพประกอบ 3-22 การต่อวงจรไฟเลี้ยงเข้ากับวงจรกำลัง



ก) กรณี V_{in2} มีขนาดมากกว่า V_{batt}

ข) กรณี V_{in2} มีขนาดน้อยกว่า V_{batt}

ภาพประกอบ 3-23 การต่อไดโอด D_{block} เพื่อป้องกันแบตเตอรี่ลัดวงจรตอนที่สวิทช์ S_3 ทำงาน

3.4.2 วงจรสร้างสัญญาณ PWM, สัญญาณควบคุมรีเลย์

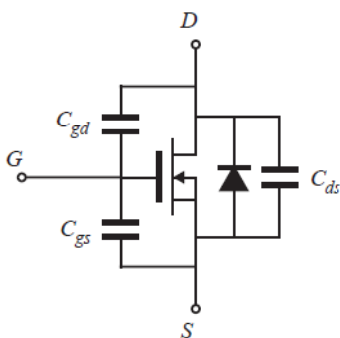
ในการควบคุมการทำงานของวงจรได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ในการสร้างสัญญาณเพื่อจะนำไปควบคุมสวิทช์ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

- 1) สัญญาณ PWM ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีสองสัญญาณ ถูกส่งผ่านไปยังไอซี 6N137 เพื่อปรับระดับแรงดันจาก 5 โวลต์ เป็น 12 โวลต์ สัญญาณที่ได้หลังผ่านไอซี 6N137 จะยังไม่สามารถนำไปใช้ควบคุมสวิทช์ได้เนื่องจากมีกระแสไม่เพียงพอที่จะทำให้ผลตอบสนอง

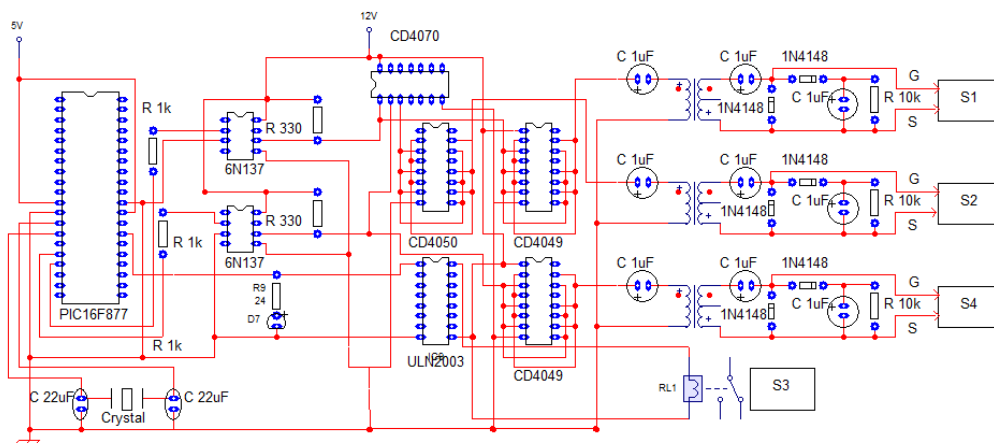
ของสัญญาณสามารถเปลี่ยนระดับได้อย่างทันทีทันใด ซึ่งเกิดจากความไม่เป็นอุดมคติของมอสเฟตที่ใช้เป็นสวิทช์ของวงจรที่ระหว่างขาของมอสเฟตจะมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุ (parasitic capacitances) ดังแสดงในภาพประกอบ 3-24 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มกระแสให้กับสัญญาณโดยการนำไปต่อกับวงจรบัฟเฟอร์ได้แก่ ไอซี CD4049, CD4050 และ CD4070 โดยใช้ไอซี CD4049 ต่อกับสัญญาณที่ได้จากไอซี 6N137 เพื่อให้เฟสของสัญญาณที่ได้ตรงกับเฟสของสัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากทั้งไอซี 6N137 และ จะให้สัญญาณเอาต์พุตที่กลับเฟสกับสัญญาณอินพุต โดยสัญญาณที่ได้ทั้งสองสัญญาณจะใช้ควบคุมสวิทช์ S_1 กับ S_2 ส่วนสัญญาณที่ใช้ขับสวิทช์ S_3 ได้จากการสัญญาณจากไอซี 6N137 ทั้งสอง มาผ่านไอซี CD4070 เพื่อทำการเอ็กซ์คลูซีฟ ออร์ (Exclusive OR) กัน จากนั้นก็นำสัญญาณที่ได้ไปผ่านไอซี CD4050 เพื่อใช้เป็นบัฟเฟอร์

เมื่อได้สัญญาณจากไอซี CD4049 และ CD4050 ก็จะสามารถนำไปต่อกับมอสเฟตได้เลยในกรณีที่ขาซอร์ส(S) ของมอสเฟตต่ออยู่กับกราวด์หรือไม่ต้องการแยกกราวด์ (isolated ground) ของวงจร แต่เนื่องวงจรต้นแบบตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-13 สวิทช์ S_1 และ S_2 มีลักษณะกราวด์ลอย (floating ground) และเนื่องจากบางช่วงเวลาไฟเลี้ยงของวงจรได้จากแหล่งจ่ายอินพุตที่ 2 ซึ่งต่อคนละกราวด์กับสวิทช์ S_3 ดังนั้นสวิทช์ทั้งสามจึงจำเป็นต้องแยกกราวด์ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2) สัญญาณควบคุมรีเลย์ สัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ จะถูกส่งผ่านไปยังไอซี ULN2003 เพื่อขยายกระแสและแรงดันเพื่อนำไปใช้ควบคุมรีเลย์ดังแสดงในภาพประกอบ 3-25



ภาพประกอบ 3-24 วงจรสมมูลอย่างง่ายของมอสเฟต [7]

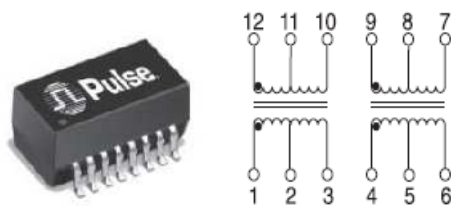


ภาพประกอบ 3-25 วงจรควบคุมสวิทช์

3.4.3 วงจรควบคุมสวิทช์

สัญญาณที่ได้จากไอซี CD4049 และ CD4050 จะถูกส่งผ่านไปควบคุมมอสเฟตผ่านทางหม้อแปลงพัลส์ (Pulse Transformer) ดังแสดงในภาพประกอบ 3-25 เพื่อให้สามารถใช้กับมอสเฟตที่ต่อแบบกราวด์ลอยในวงจรและเพื่อเป็นการแยกกราวด์ออกจากกัน โดยหลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้

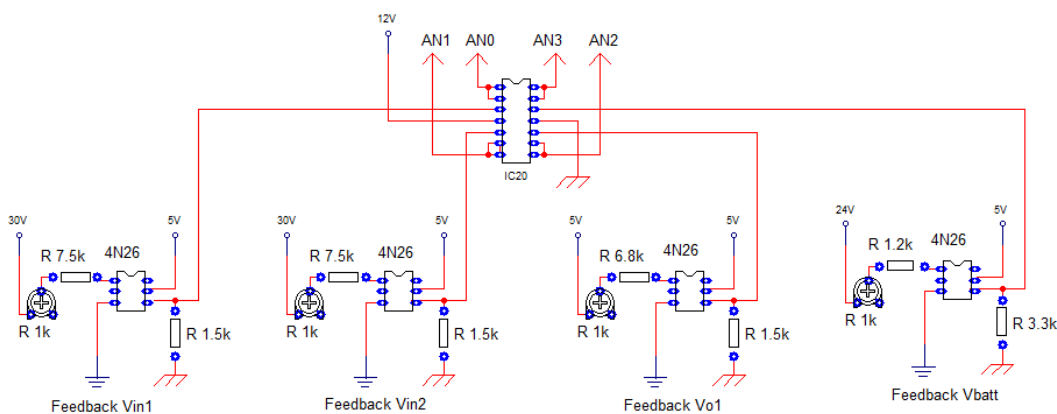
สัญญาณ PWM ที่ได้จากไอซี CD4049 และ CD4050 ซึ่งมีค่าแรงดันค่ายอดถึงค่ายอด (Peak-Peak Voltage) 0-12 โวลท์ จะถูกส่งผ่านหม้อแปลงพัลส์ผ่านทางตัวเก็บประจุ C_i ซึ่ง C_i จะทำให้สัญญาณเกิดการสมดุลทั้งซีกบวกและซีกลบของแรงดัน (volt-second balance) ตั้งแต่ค่ารอบการทำงาน (Duty cycle) 0-99 % เพื่อทำให้หม้อแปลงพัลส์ไม่เกิดการอิ่มตัว (Saturated) ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงพัลส์จะต่ออยู่กับตัวเก็บประจุ C_o และไดโอด D_o ซึ่งจะทำหน้าที่ปรับให้สัญญาณที่ได้จากหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิมีค่าแรงดันค่ายอดถึงค่ายอดมีค่า 0-12 โวลท์ เหมือนกับสัญญาณก่อนเข้าวงจรหม้อแปลงพัลส์ ไดโอด D_o ตัวเก็บประจุ C_o และตัวต้านทาน R_s ทำหน้าที่เป็นสแน็บเบอร์ เพื่อกำจัดค่าแรงดันทรานเซียน (Voltage Transients) ที่เกิดจากความไม่เป็นอุดมคติของหม้อแปลง



ภาพประกอบ 3.26 หม้อแปลงพัลส์ที่ใช้ในวงจร

3.4.4 วงจรป้อนกลับแรงดัน

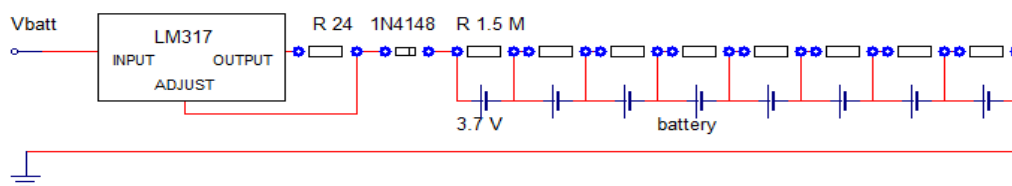
ในการควบคุมการทำงานของวงจรแบบวงรอบปิด (Closed loop control) จำเป็นจะต้องมีวงจรป้อนกลับค่าข้อมูลของวงจรเพื่อนำไปกำหนดค่ารอบการทำงาน โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การป้อนกลับค่าแรงดันจากทั้งสองแหล่งจ่าย, ค่าแรงดันแบตเตอรี่ และค่าแรงดันเอาต์พุตที่ 1 เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจร ในภาพประกอบ 3-27 แสดงวงจรป้อนกลับแรงดันต่างๆ โดยค่าแรงดันต่างจะถูกส่งไปยังขาอินพุตของไอซี 4N26 เพื่อทำการแยกกราวออกจากกันและปรับค่าแรงดันฝั่งเอาต์พุตให้ได้มากที่สุดที่ 5 โวลต์ เพื่อต่อเข้ากับขา A/D ของไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ก่อนต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์สัญญาณที่ได้จะถูกต่อเข้ากับวงจรมัลติเพล็กซ์ก่อน โดยใช้ไอซี L324 เพื่อป้องกันสัญญาณเพี้ยนที่เกิดจากค่าอิมพีแดนซ์ที่ไม่เท่ากัน



ภาพประกอบ 3.27 วงจรวงจrp้อนกลับแรงดัน

3.4.5 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

วงจรต้นแบบจะถูกออกแบบมาให้นำพลังงานจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลงมาชาร์จแบตเตอรี่ ดังนั้นการชาร์จแบตเตอรี่จะต้องมีการจำกัดกระแสชาร์จ โดยได้เลือกใช้ไอซี LM317 ซึ่งมีคุณสมบัติมีค่าแรงดันระหว่างขา ADJUST และ ขา OUTPUT ประมาณ 1.25 โวลต์ โดยวงจรในภาพประกอบ 3-28 จะมีการลิมิตกระแสสูงสุดไว้ที่ $1.25/24 = 52.08$ มิลลิแอมป์ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นชนิดลิเทียมฟอสเฟต (Li-Fe) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-30 ที่มีเซลล์ทั้งหมด 8 เซลล์ เซลล์ละ 3.7 โวลต์ แต่ละเซลล์จะมีตัวต้านทานขนาด 1.5 เมกะโอห์ม เพื่อเป็นการทำให้แต่ละเซลล์มีแรงดันใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบ 3.28 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

3.5 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร

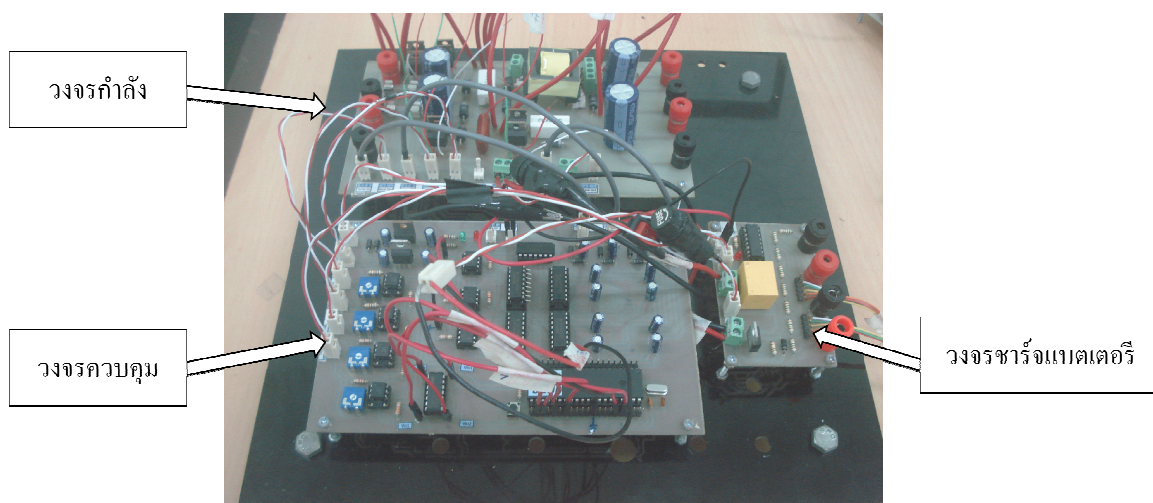
ในการเลือกค่าสวิตช์และอุปกรณ์ต่างในวงจร จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆ โดยเฉพาะค่าพิกัดของกระแสและแรงดันในส่วนต่างๆของวงจร อุปกรณ์ที่จะเลือกใช้จะต้องมีพิกัดที่สามารถทนค่าของกระแสและแรงดันได้ และชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับการทำงานของวงจรด้วย โดยในการเลือกค่าอุปกรณ์ต่างๆแสดงในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 พิกัดของอุปกรณ์ในวงจรกำลัง

ที่	พารามิเตอร์	อุปกรณ์/ค่าที่เลือก	จำนวน	รายละเอียด
1	สวิตช์ S_1, S_2	IRF530	2	Power MOSFET N-CH17A/100V, $r_{ds(on)} = 0.16 \Omega$
2	สวิตช์ S_3	Relay	1	dc 12 V
3	สวิตช์ S_4	IRF740	1	Power MOSFET N-CH10A/400V, $r_{ds(on)} = 0.55 \Omega$
4	ไดโอด $D_1, D_2, D_3, D_{batt}, D_{sn}, D_{01}, D_{02}$ และ D_{03}	SB550A	7	Schotiky Diode 5A/50V
5	คาปาซิเตอร์ C_1, C_2	4,700 μ F	2	Electrolytic capacitor 35 V
6	คาปาซิเตอร์ C_{batt}	1 μ F	1	Mylar capacitor
7	ตัวต้านทาน R_{sn}	5K	1	Ceramic resistor
8	แกนหม้อแปลง	ETD29	1	-

3.6 วงจรต้นแบบ

จากการออกแบบวงจรต้นแบบตั้งแต่การออกแบบหม้อแปลง การออกแบบการควบคุมการทำงานของวงจร การออกแบบวงจรควบคุม ตลอดจนการเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร ซึ่งจะได้วงจรต้นแบบดังแสดงในภาพประกอบ 3-29 โดยวงจรต้นแบบจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ วงจรกำลัง วงจรควบคุมและวงจรชาร์จแบตเตอรี่ ส่วนในภาพประกอบ 3-30 เป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมฟอสเฟตที่ใช้ในวงจร



ภาพประกอบ 3-29 วงจรต้นแบบ



ภาพประกอบ 3-30 แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต (Li-Fe)

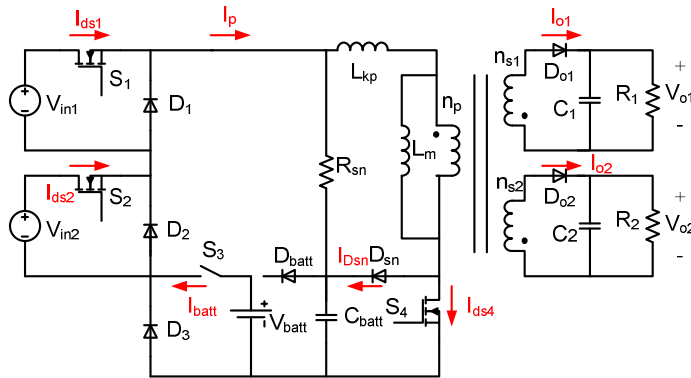
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ การทดสอบการทำงานของวงจรในโหมดต่างๆ คือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดแบคอัพ ในส่วนที่สองเป็นการทดสอบวงจรควบคุมการคงค่าแรงดันและการจัดการพลังงานในแต่ละโหมดและทำการวิเคราะห์เพื่อประสิทธิภาพของวงจรด้วย

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้:

1) แรงดันอินพุตที่ 1 (V_{in1}):	0-30	V
2) แรงดันอินพุตที่ 2 (V_{in2}):	0-30	V
3) แรงดันเอาต์พุตที่ 1 (V_{o1}):	5	V
4) แรงดันเอาต์พุตที่ 2 (V_{o2}):	12	V
5) แรงดันแบตเตอรี่ (V_{batt}):	27	V
6) ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ (f_s):	50	kHz
7) ค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (L_m):	318	μ F
8) ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหล (L_{lk}):	1.21	μ F
9) ตัวเก็บประจุทางด้านเอาต์พุต (C_1, C_2):	3,300	μ F
10) ตัวเก็บประจุสแน็บเบอร์ (C_{batt}):	10	μ F
11) ค่าความต้านทานสแน็บเบอร์ (R_{sn}):	5	k Ω
12) ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด (P_{out}):	20	W



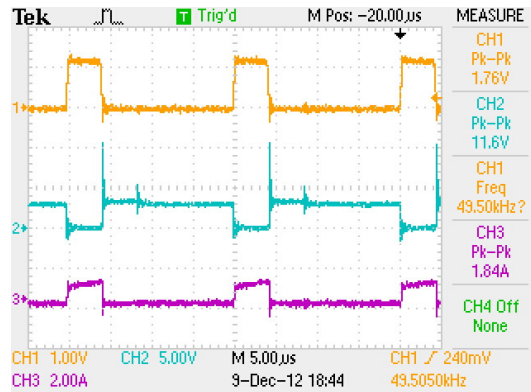
ภาพประกอบ 4-1 วงจรต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบ

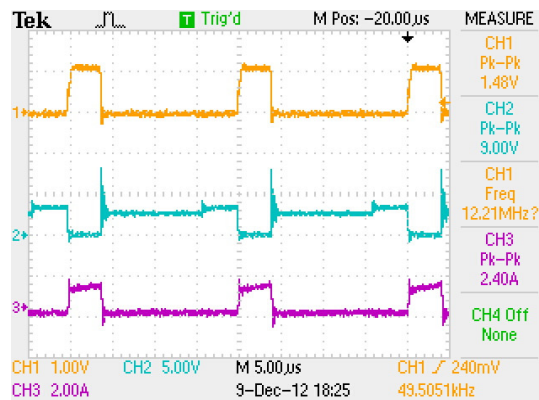
ในการทดลองการทำงานจำเป็นจะต้องวิเคราะห์รูปคลื่นการทำงานในส่วนต่างๆ ของวงจร เพื่อให้แน่ใจว่าวงจรสามารถทำงานได้ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ โดยการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆของวงจรทั้งสามโหมด ในขณะที่วงจรทำงานที่ค่าพิกัด

4.1.1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่

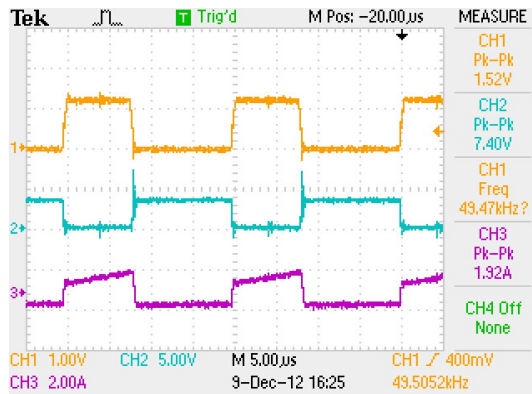
ค่าแรงดันอินพุตทั้งสองเท่ากับ $V_{in1} = 31.65$ V และ $V_{in2} = 31.64$ V ค่ารอบทำงานของสวิตช์ $d_1 = 0.20$ และ $d_2 = 0.40$ ในโหมดนี้ค่าพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำรั่วในหม้อแปลงฟลายแบคจะถูกนำกลับมาชาร์จแบตเตอรี่ผ่านทางไดโอด D_{sn} ภาพประกอบ 4-2 และ 4-3 แสดงรอบทำงานของสวิตช์ S_1 และ S_2 ซึ่งควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายทั้งสอง ภาพประกอบ 4-4 และ 4-5 แสดงการทำงานของสวิตช์ S_4 และกระแสทางด้านปฐมภูมิ ภาพประกอบ 4-6 เป็นกระแสที่ชาร์จแบตเตอรี่ ภาพประกอบ 4-7 และ 4-8 แสดงกระแสทางด้านขดลวดทุติยภูมิของทั้งสองเอาต์พุต ส่วนรูปคลื่นแรงดันด้านออกทั้งสองแสดงในภาพประกอบ 4-9 และ 4-10 ตามลำดับ



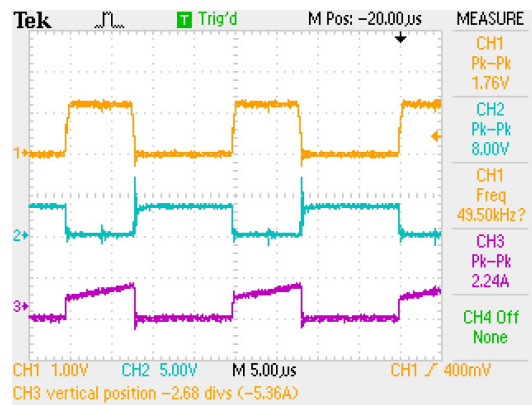
ภาพประกอบ 4-2 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_1 (V_{gs1}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1}) และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 (I_{ds1}) ตามลำดับ



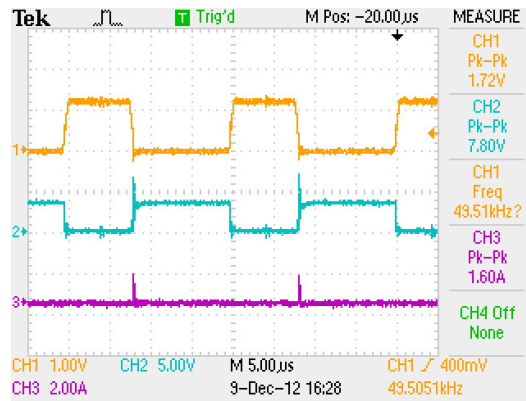
ภาพประกอบ 4-3 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_2 (V_{gs2}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_2 (V_{ds2}) และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_2 (I_{ds2}) ตามลำดับ



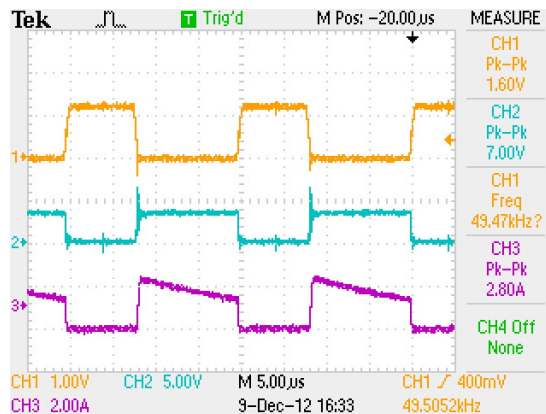
ภาพประกอบ 4-4 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_d(V_{gsd})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_d(V_{dsd})$ และกระแสที่ไหลทางดำนปฐุมภูมิ (I_p) ตามลำดับ



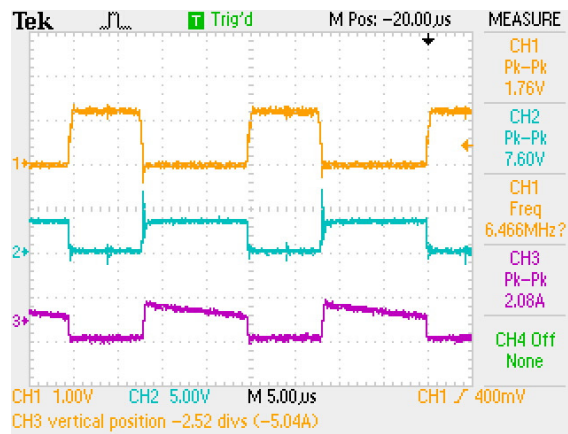
ภาพประกอบ 4-5 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_d(V_{gsd})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_d(V_{dsd})$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ $S_d(I_{dsd})$ ตามลำดับ



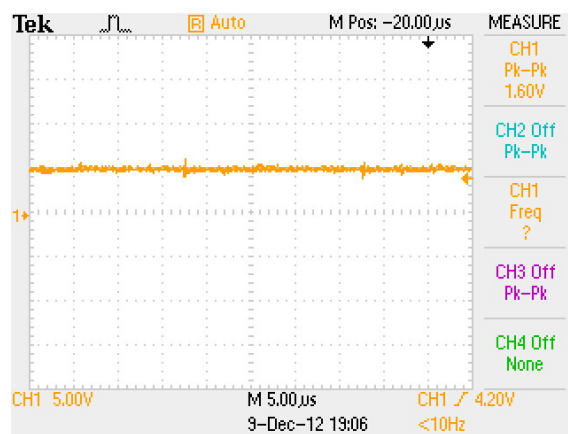
ภาพประกอบ 4-6 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_v(V_{gsd})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_v(V_{dsd})$ และกระแสที่ไหลไดโอด D_{sm} ตามลำดับ



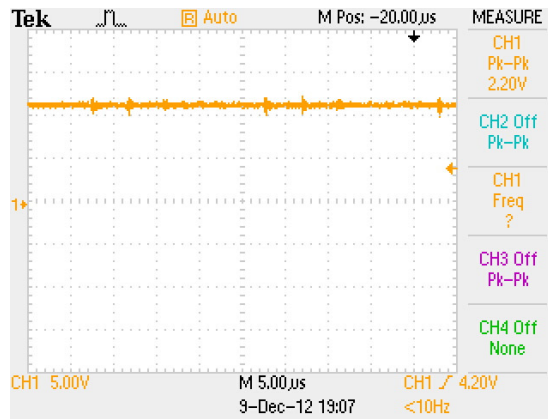
ภาพประกอบ 4-7 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_v(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o1}) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4-8 แรงดันควบคุมสวิตช์ V_{gs} และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2}) ตามลำดับ



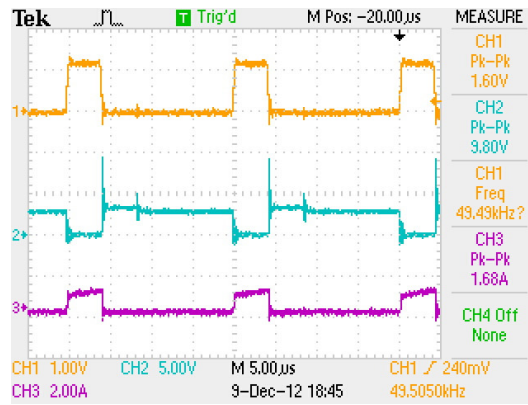
ภาพประกอบ 4-9 แรงดันเอาต์พุตที่ 1 (V_{o1})



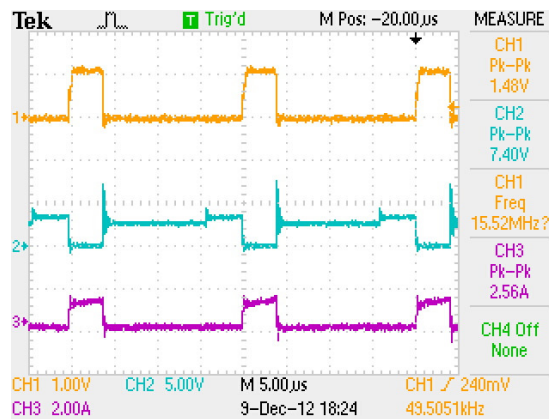
ภาพประกอบ 4-10 แรงดันเอาต์พุตที่ 2 (V_{o2})

4.1.2 โหมดปกติ

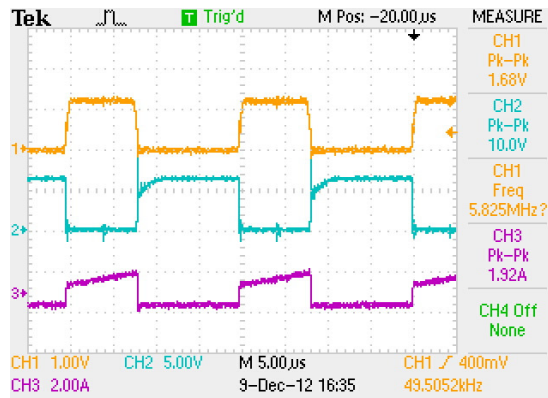
หากเมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จจนเต็มก็จะเข้าสู่โหมดการทำงานปกติ ค่าแรงดันอินพุตทั้งสองเท่ากับ $V_{in1} = 31.65$ V และ $V_{in2} = 31.64$ V ค่ารอบทำงานของสวิตช์ $d_1 = 0.20$ และ $d_2 = 0.40$ รูปคลื่นต่างๆ จะเหมือนกับในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ ยกเว้นค่ายอดของกระแส D_{sn} ลดลงเนื่องจากไม่มีการชาร์จแบตเตอรี่ โดยภาพประกอบ 4-11 และ 4-12 แสดงรูปคลื่นการทำงานของสวิตช์ S_1 และ S_2 ภาพประกอบ 4-13 และ 4-14 แสดงการทำงานของสวิตช์ S_4 และกระแสทางด้านปฐุมภูมิ ภาพประกอบ 4-15 เป็นกระแสที่ไหลผ่านไดโอด D_{sn} ภาพประกอบ 4-16 และ 4-17 แสดงกระแสทางด้านขดลวด ทูตขุมภูมิของทั้งสองเอาต์พุต ส่วนรูปคลื่นแรงดันด้านออกทั้งสองแสดงในภาพประกอบ 4-18 และ 4-19 ตามลำดับ



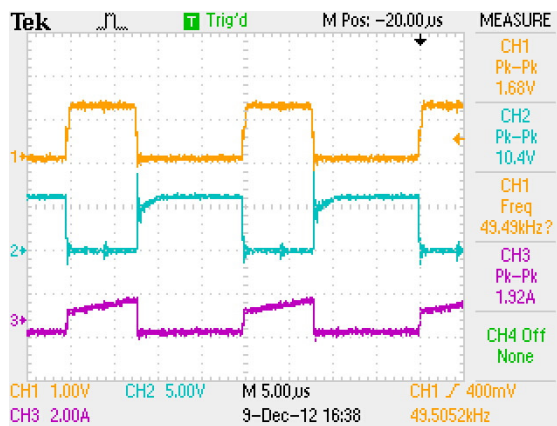
ภาพประกอบ 4-11 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_1 (V_{gs1}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1}) และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 (I_{ds1}) ตามลำดับ



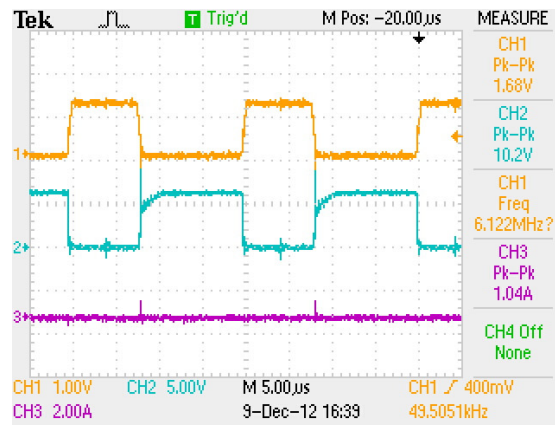
ภาพประกอบ 4-12 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_2 (V_{gs2}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_2 (V_{ds2}) และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_2 (I_{ds2}) ตามลำดับ



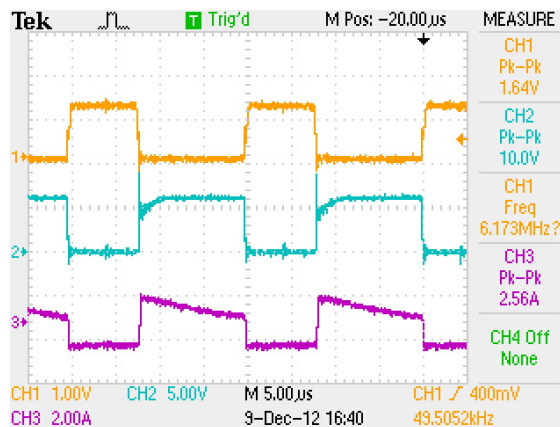
ภาพประกอบ 4-13 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลทางดำนปฐุมภูมิ (I_p) ตามลำดับ



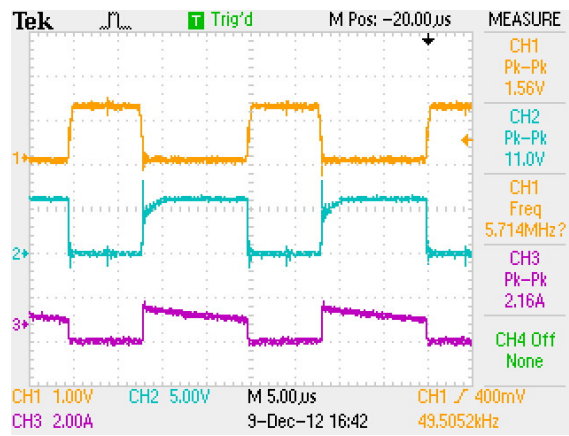
ภาพประกอบ 4-14 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ $S_4(I_{ds4})$ ตามลำดับ



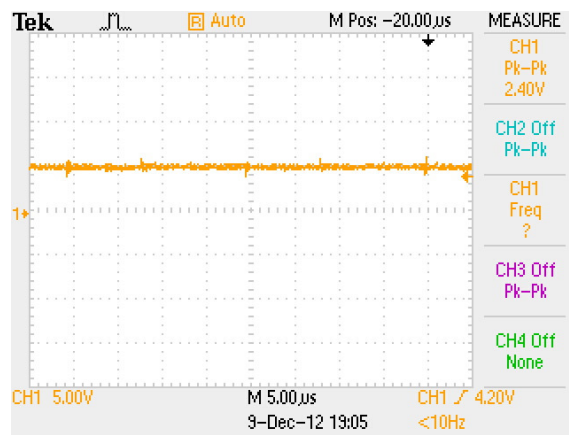
ภาพประกอบ 4-15 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลผ่านไดโอด D_{sn} ตามลำดับ



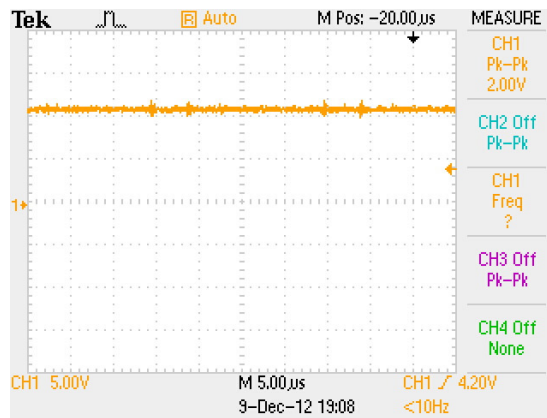
ภาพประกอบ 4-16 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_o) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4-17 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_s(V_{gs})$ และกระแสที่ไหลทางด้านพวยกัมมิ (I_{o2}) ตามลำดับ



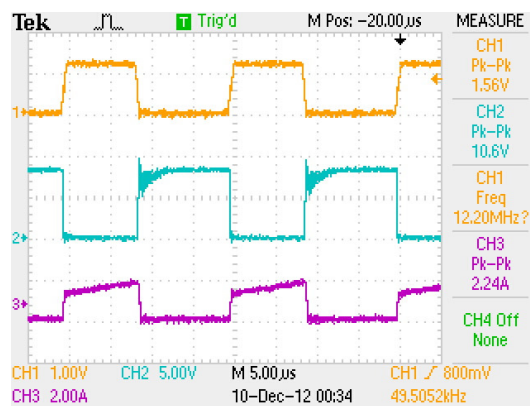
ภาพประกอบ 4-18 แรงดันเอาต์พุตที่ 1 (V_{o1})



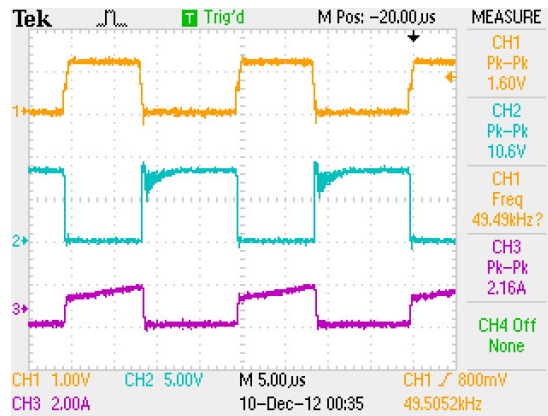
ภาพประกอบ 4-19 แรงดันเอาต์พุตที่ 2 (V_{o2})

4.13 โหมดเบ็คคัพ

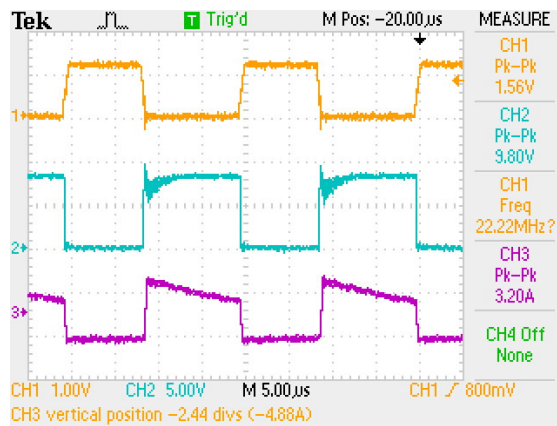
เมื่อแหล่งจ่ายทั้งสองไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดได้ แบตเตอรี่จะทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าแทน โดยมีจุดทำงานที่ $V_{bat} = 27$ V และ $d_2 = 0.44$ ภาพประกอบ 4-20 และ 4-21 แสดงการทำงานของสวิตช์ S_4 และกระแสทางด้านปฐมภูมิ ภาพประกอบ 4-22 และ 4-23 แสดงกระแสทางด้านขดลวดทุติยภูมิของเอาต์พุตทั้งสอง ส่วนรูปคลื่นแรงดันด้านออกทั้งสองแสดงในภาพประกอบ 4-24 และ 4-25 ตามลำดับ



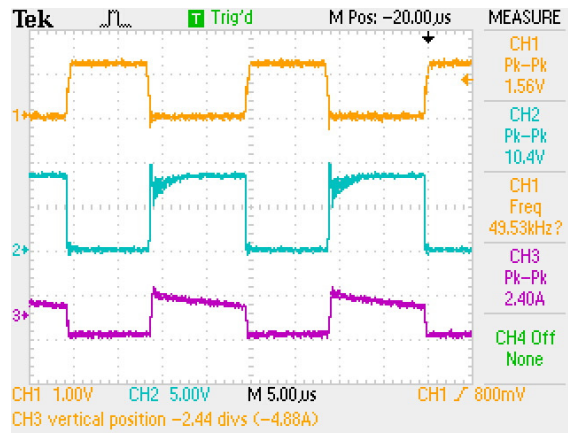
ภาพประกอบ 4-20 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านปฐมภูมิ (I_p) ตามลำดับ



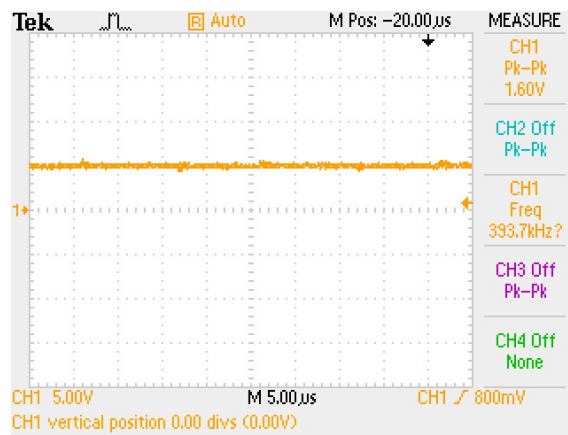
ภาพประกอบ 4-21 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ $S_4(I_{ds4})$ ตามลำดับ



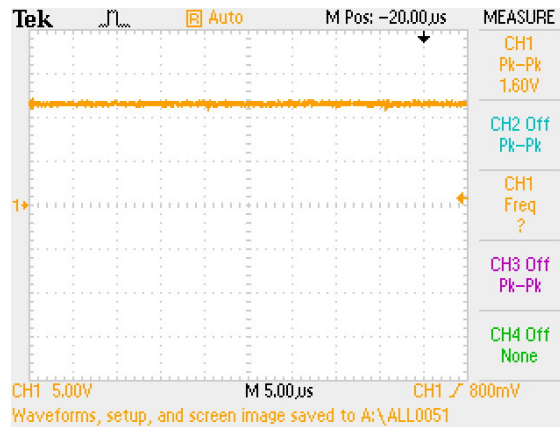
ภาพประกอบ 4-22 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o1}) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4-23 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_1(V_{gs1})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2}) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4-24 แรงดันเอาต์พุตที่ 1 (V_{o1})



ภาพประกอบ 4-25 แรงดันเอาต์พุตที่ 2 (V_{o2})

4.2 ผลการทำงานของวงจรควบคุม

วัตถุประสงค์ของการทดลองประกอบไปด้วยสองส่วนคือ การพิจารณาการรักษา ระดับแรงดันแต่ละเอาต์พุตเมื่อ โหลดเปลี่ยนแปลง และการพิจารณาการจัดการพลังงานจากทั้งสอง แหล่งจ่ายเมื่อแรงดันแต่ละอินพุตเปลี่ยนแปลง โดยแต่ละส่วนจะมีเงื่อนไขของแรงดันแต่ละอินพุต มาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงตามภาพประกอบ 4.26

4.2.1 การหาประสิทธิภาพของวงจรในแต่ละโหมด ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง การทำงานของวงจรจำเป็นต้องหาประสิทธิภาพการทำงานในโหมดต่างๆ ดังนี้

- 1) โหมดปกติ ประสิทธิภาพหาได้จากสมการ

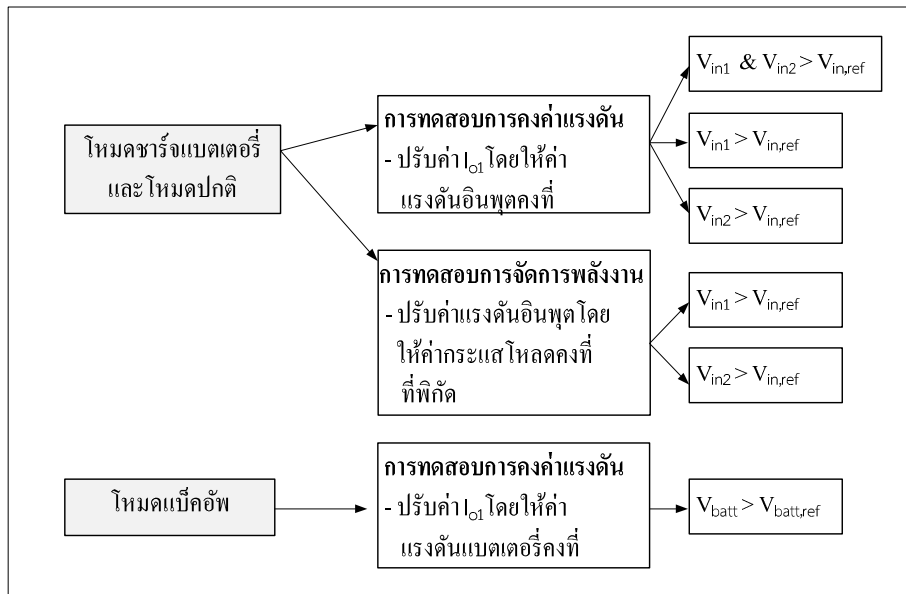
$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{(V_{o1})(I_{o1}) + (V_{o2})(I_{o2})}{(V_{in1})(I_{in1}) + (V_{in2})(I_{in2})} \times 100\% \quad (4.1)$$

- 2) โหมดชาร์จแบตเตอรี่ ประสิทธิภาพหาได้จากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{(V_{o1})(I_{o1}) + (V_{o2})(I_{o2}) + (V_{batt})(I_{batt})}{(V_{in1})(I_{in1}) + (V_{in2})(I_{in2})} \times 100\% \quad (4.2)$$

- 3) โหมดเบ็คอัพ ประสิทธิภาพหาได้จากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{(V_{o1})(I_{o1}) + (V_{o2})(I_{o2})}{(V_{batt})(I_{batt})} \times 100\% \quad (4.3)$$



ภาพประกอบ 4-26 ภาพรวมของการทดลอง

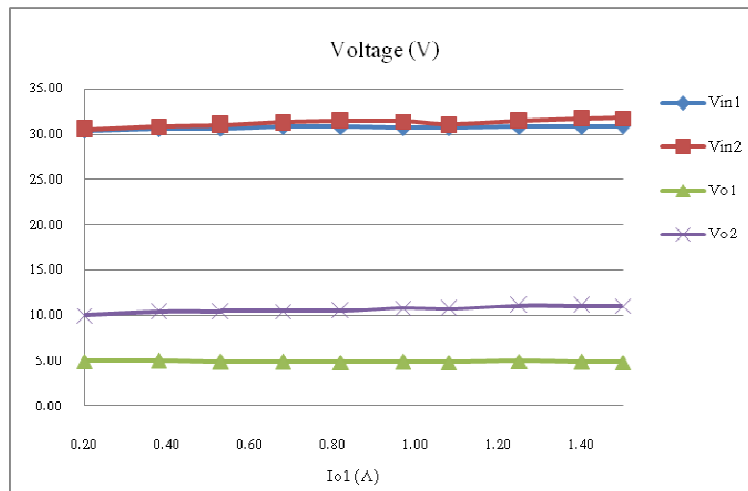
4.2.2 การทดสอบการคงค่าแรงดัน ในส่วนนี้จะมีการทดลองทั้งสามโหมคเพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันทั้งสองเอาต์พุตเมื่อกระแสไหลคเอาต์พุตที่ I_{o1} มีการเปลี่ยนแปลงจากน้อยจนไปถึงค่าพิกัด โดยแต่ละโหมคแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณี ตามเงื่อนไขของแรงดันทั้งสองอินพุต

1) โหมคปกติ

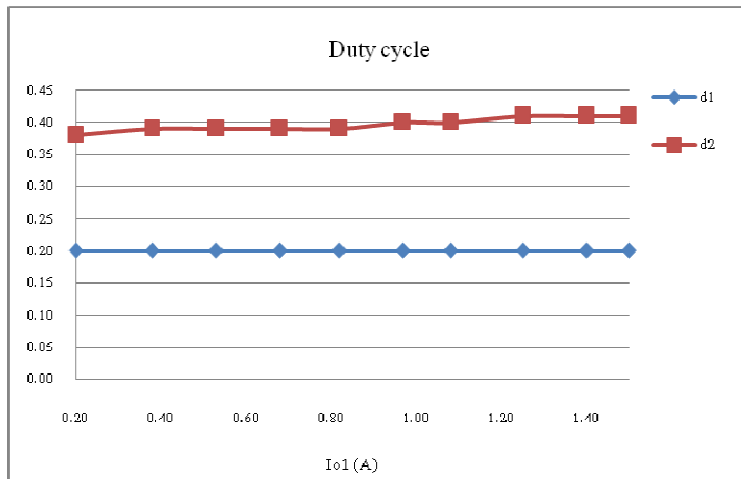
กรณีที่ 1 แรงดันทั้งสองอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าไหลคเอาต์พุตที่ I_{o1} ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 ภาพประกอบ 4.27 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาต์พุตเมื่อกระแสไหลคเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4.28 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลค ภาพประกอบ 4.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลค และภาพประกอบ 4.30 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อไหลคมีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองที่แรงดันทั้งสองอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

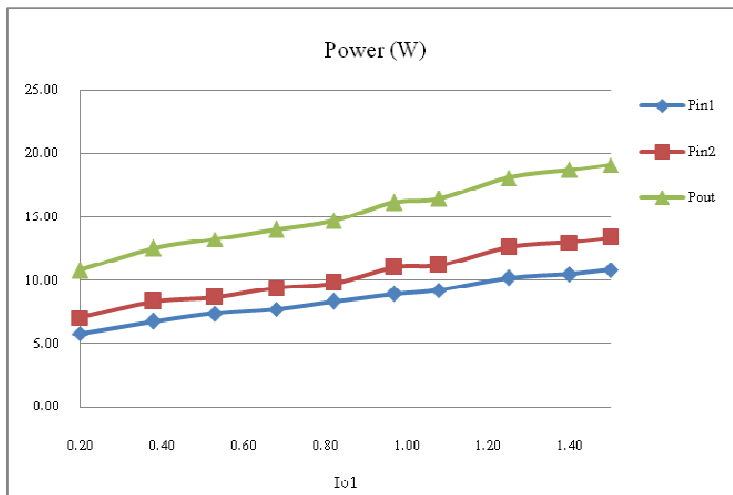
Io1	Io2	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Pout (W)	η (%)
0.20	0.98	30.38	0.19	5.77	30.48	0.23	7.01	0.20	0.38	0.38	4.96	9.97	10.76	84.19
0.38	1.02	30.53	0.22	6.72	30.78	0.27	8.31	0.20	0.39	0.39	4.98	10.41	12.51	83.26
0.53	1.02	30.57	0.24	7.34	30.95	0.28	8.67	0.20	0.39	0.39	4.89	10.42	13.22	82.60
0.68	1.02	30.76	0.25	7.69	31.23	0.30	9.37	0.20	0.39	0.39	4.86	10.46	13.98	81.93
0.82	1.02	30.78	0.27	8.31	31.39	0.31	9.73	0.20	0.39	0.39	4.82	10.49	14.65	81.21
0.97	1.05	30.65	0.29	8.89	31.35	0.35	10.97	0.20	0.40	0.40	4.92	10.80	16.11	81.12
1.08	1.05	30.68	0.30	9.20	31.01	0.36	11.16	0.20	0.40	0.40	4.83	10.72	16.42	80.60
1.25	1.07	30.77	0.33	10.15	31.41	0.40	12.56	0.20	0.41	0.41	4.95	11.10	18.06	79.52
1.40	1.07	30.78	0.34	10.47	31.62	0.41	12.96	0.20	0.41	0.41	4.89	11.06	18.68	79.72
1.50	1.07	30.81	0.35	10.78	31.73	0.42	13.33	0.20	0.41	0.41	4.84	11.02	19.05	79.03



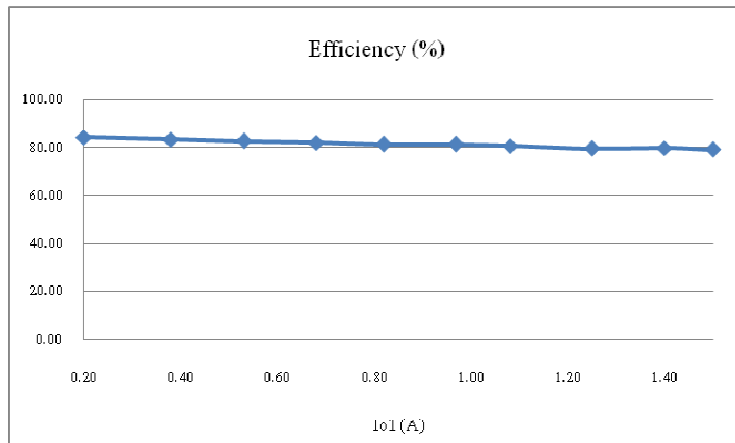
ภาพประกอบ 4-27 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-28 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-29 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

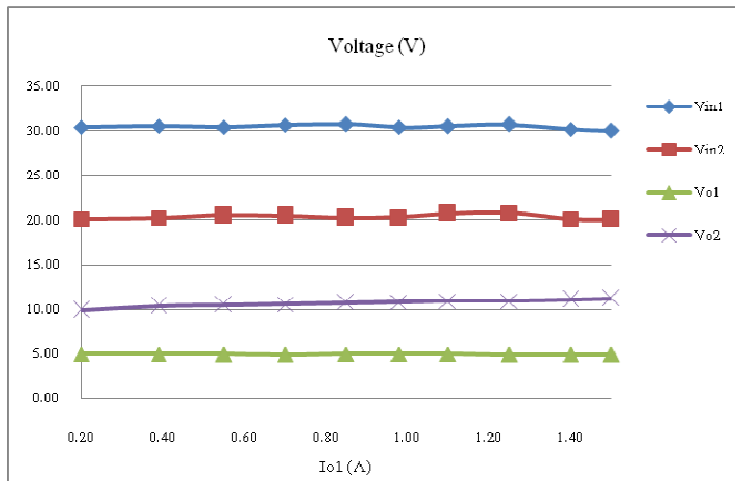


ภาพประกอบ 4-30 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

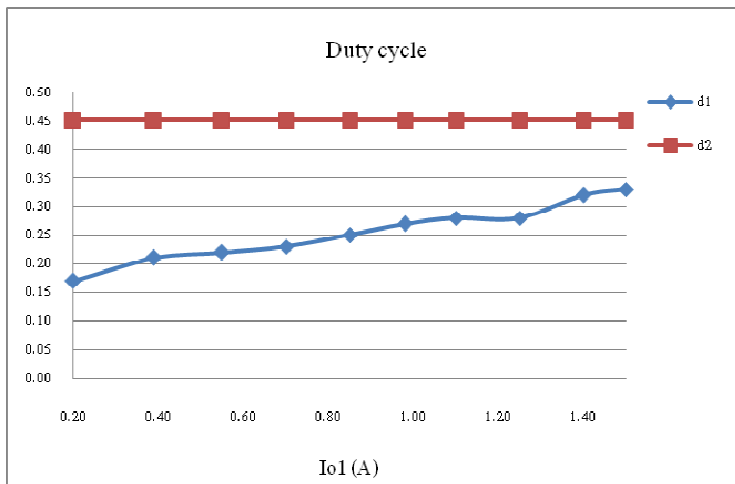
กรณีที่ 2 แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิงและเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเอาต์พุตที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 ภาพประกอบ 4.31 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาต์พุตเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4.32 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด ภาพประกอบ 4.33 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด และภาพประกอบ 4.34 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

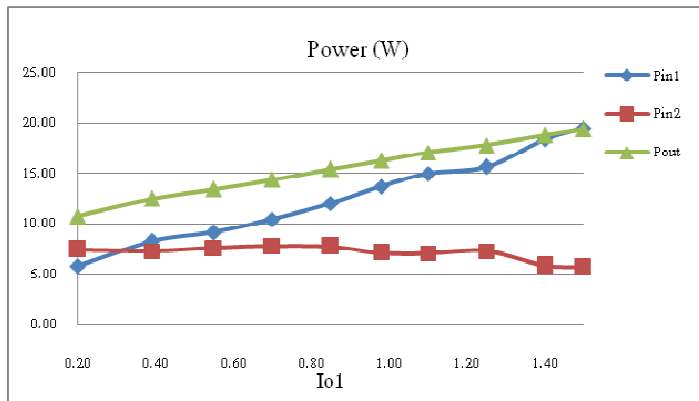
Io1	Io2	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Pout (W)	η (%)
0.20	0.98	30.41	0.19	5.78	20.09	0.37	7.43	0.17	0.45	0.45	5.00	9.95	10.75	81.37
0.39	1.01	30.55	0.27	8.25	20.20	0.36	7.27	0.21	0.45	0.45	5.00	10.41	12.46	80.31
0.55	1.02	30.44	0.30	9.13	20.53	0.37	7.60	0.22	0.45	0.45	4.97	10.50	13.45	80.37
0.70	1.03	30.66	0.34	10.42	20.48	0.38	7.78	0.23	0.45	0.45	4.96	10.59	14.38	79.00
0.85	1.04	30.74	0.39	11.99	20.28	0.38	7.71	0.25	0.45	0.45	4.99	10.76	15.43	78.34
0.98	1.05	30.41	0.45	13.68	20.33	0.35	7.12	0.27	0.45	0.45	4.99	10.83	16.26	78.18
1.10	1.06	30.51	0.49	14.95	20.74	0.34	7.05	0.28	0.45	0.45	4.98	10.95	17.09	77.65
1.25	1.06	30.68	0.51	15.65	20.80	0.35	7.28	0.28	0.45	0.45	4.94	10.96	17.80	77.62
1.40	1.07	30.16	0.61	18.40	20.10	0.29	5.83	0.32	0.45	0.45	4.95	11.10	18.81	77.63
1.50	1.07	30.01	0.65	19.51	20.00	0.28	5.60	0.33	0.45	0.45	4.93	11.21	19.38	77.20



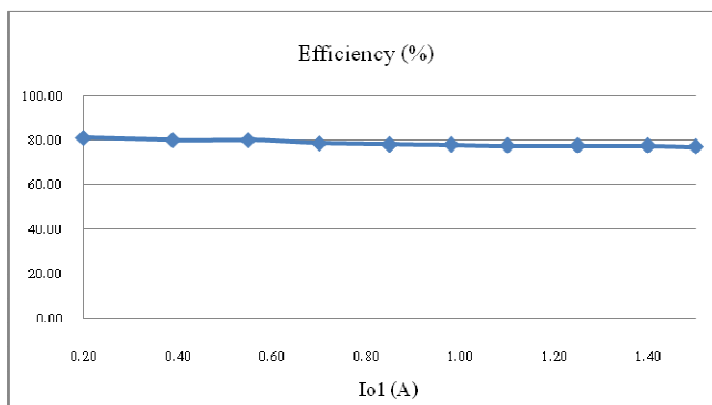
ภาพประกอบ 4-31 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-32 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

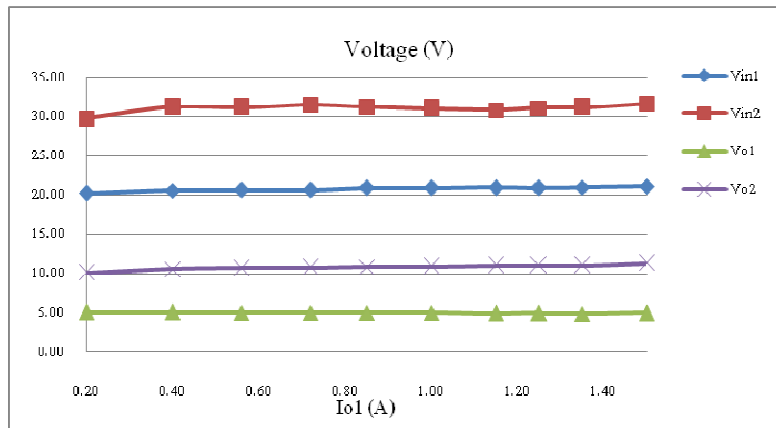


ภาพประกอบ 4-33 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-34 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

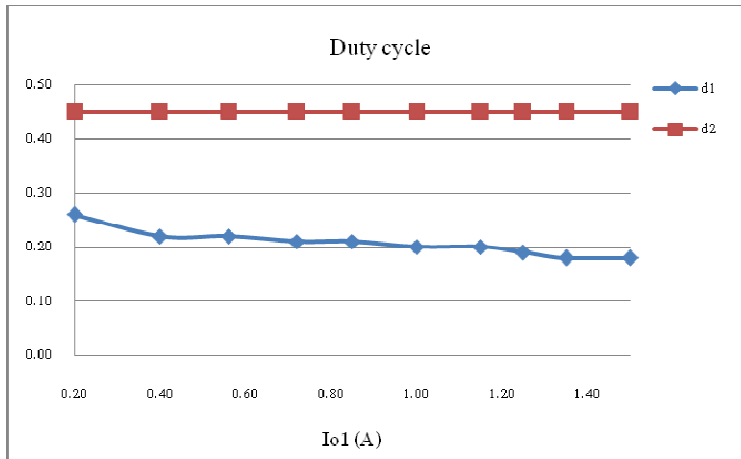
กรณีที่ 3 แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิงและเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเอาต์พุตที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-3 ภาพประกอบ 4-35 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาต์พุตเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-36 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด ภาพประกอบ 4-37 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด และภาพประกอบ 4-38 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง



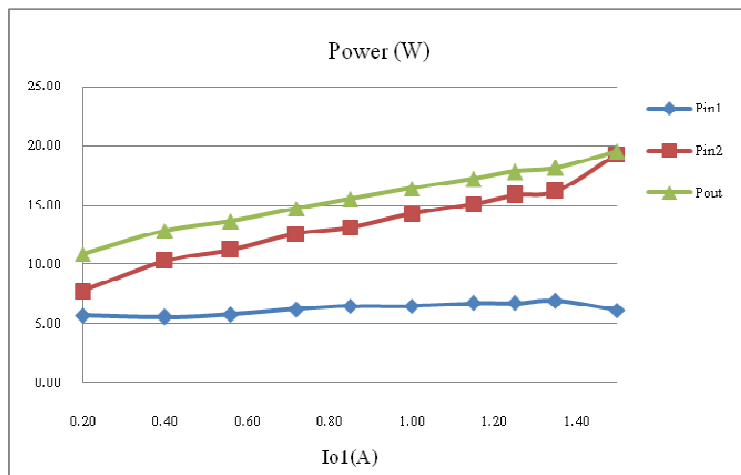
ภาพประกอบ 4-35 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

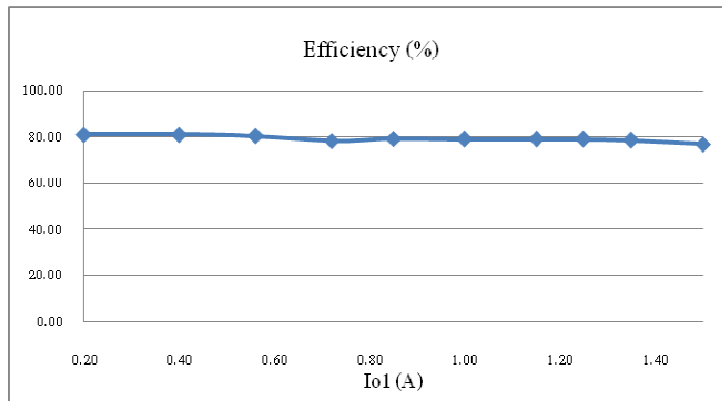
Io1	Io2	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	d1	d2	d2	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Pout (W)	η (%)
0.20	0.98	20.18	0.28	5.65	29.71	0.26	7.72	0.26	0.45	0.45	5.04	10.04	10.85	81.10
0.40	1.03	20.50	0.27	5.54	31.16	0.33	10.28	0.22	0.45	0.45	5.03	10.50	12.83	81.09
0.56	1.02	20.55	0.28	5.75	31.10	0.36	11.20	0.22	0.45	0.45	5.01	10.63	13.65	80.53
0.72	1.04	20.60	0.30	6.18	31.45	0.40	12.58	0.21	0.45	0.45	4.99	10.69	14.71	78.43
0.85	1.04	20.84	0.31	6.46	31.18	0.42	13.10	0.21	0.45	0.45	5.00	10.82	15.50	79.28
1.00	1.05	20.85	0.31	6.46	30.98	0.46	14.25	0.20	0.45	0.45	4.98	10.88	16.40	79.18
1.15	1.05	20.89	0.32	6.68	30.79	0.49	15.09	0.20	0.45	0.45	4.92	10.99	17.20	78.99
1.25	1.06	20.88	0.32	6.68	31.07	0.51	15.85	0.19	0.45	0.45	4.94	10.99	17.83	79.14
1.35	1.06	20.90	0.33	6.90	31.11	0.52	16.18	0.18	0.45	0.45	4.84	10.96	18.16	78.69
1.50	1.08	21.04	0.29	6.10	31.58	0.61	19.26	0.18	0.45	0.45	4.95	11.23	19.55	77.08



ภาพประกอบ 4-36 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



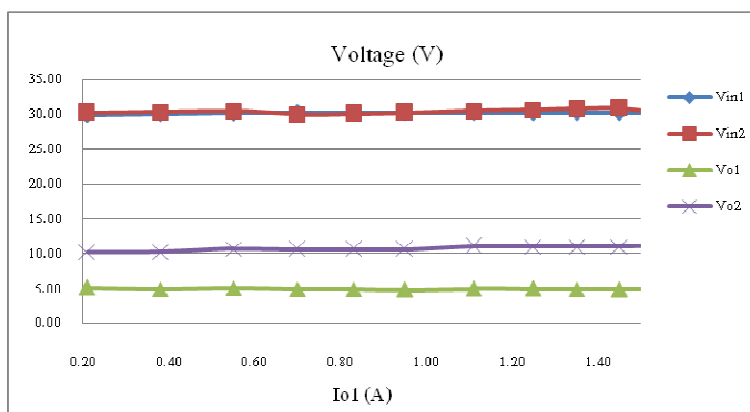
ภาพประกอบ 4-37 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



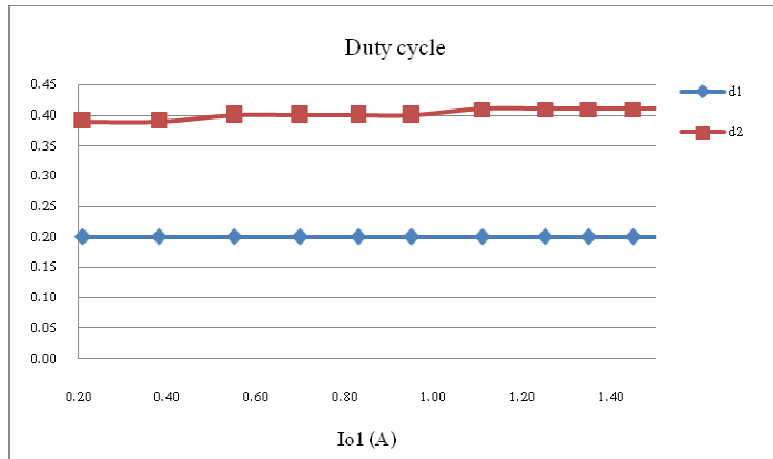
ภาพประกอบ 4-38 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง

2) โหมคชาร์จแบตเตอรี่

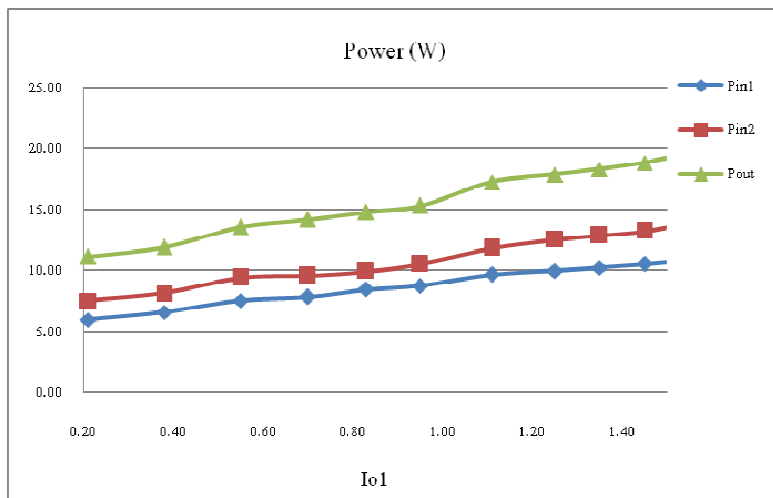
กรณีที่ 1 แรงดันทั้งสองอินพุทมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเอาท์พุทที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-4 ภาพประกอบ 4-39 แสดงค่าแรงดันอินพุทและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุทเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-40 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด ภาพประกอบ 4-41 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด และภาพประกอบ 4-42 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-39 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง



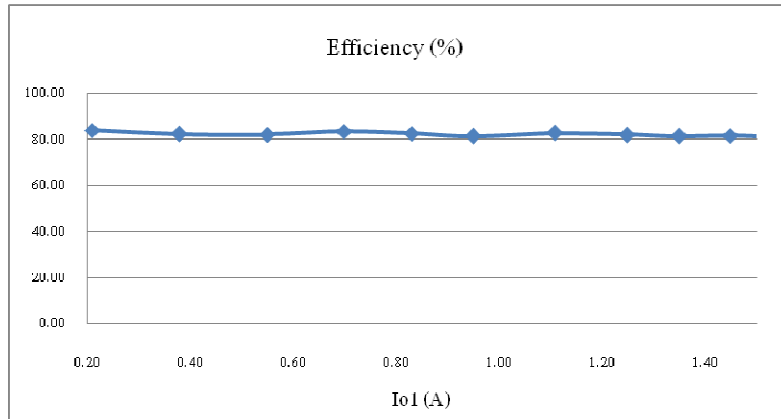
ภาพประกอบ 4-40 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-41 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

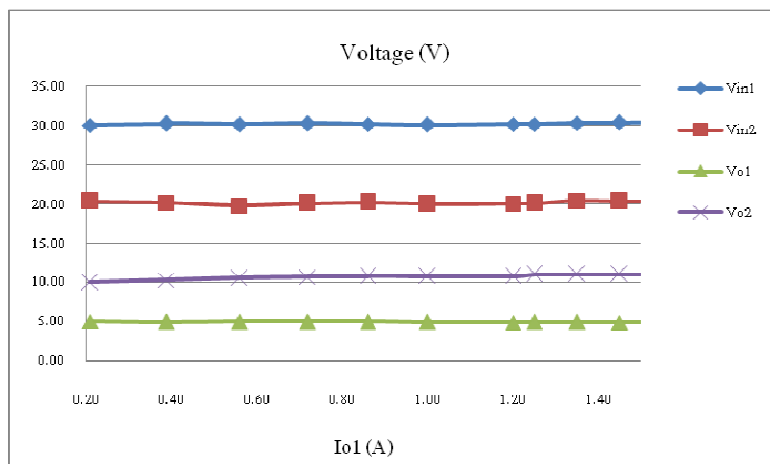
ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองที่แรงดันทั้งสองอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

Io1 (A)	Io2 (A)	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	Vbatt (A)	Ibatt (A)	Pbatt (W)	d1	d2	D4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Pout (W)	efficiency (%)
0.21	0.99	29.90	0.20	5.98	30.21	0.25	7.55	25.55	0.01	0.20	0.20	0.39	0.39	5.07	10.18	11.14	83.84
0.38	0.99	30.03	0.22	6.61	30.28	0.27	8.18	25.55	0.01	0.23	0.20	0.39	0.39	4.87	10.20	11.95	82.38
0.55	1.02	30.16	0.25	7.54	30.41	0.31	9.43	25.54	0.01	0.33	0.20	0.40	0.40	5.00	10.63	13.59	82.07
0.70	1.02	30.18	0.26	7.85	29.99	0.32	9.60	25.54	0.01	0.37	0.20	0.40	0.40	4.90	10.56	14.20	83.54
0.83	1.02	30.21	0.28	8.46	30.09	0.33	9.93	25.53	0.02	0.38	0.20	0.40	0.40	4.85	10.56	14.80	82.55
0.95	1.02	30.20	0.29	8.76	30.21	0.35	10.57	25.53	0.02	0.38	0.20	0.40	0.40	4.81	10.56	15.34	81.36
1.11	1.07	30.19	0.32	9.66	30.45	0.39	11.88	25.52	0.02	0.51	0.20	0.41	0.41	4.97	11.00	17.29	82.64
1.25	1.07	30.21	0.33	9.97	30.57	0.41	12.53	25.51	0.02	0.54	0.20	0.41	0.41	4.92	10.99	17.91	81.97
1.35	1.07	30.20	0.34	10.27	30.71	0.42	12.90	25.50	0.02	0.54	0.20	0.41	0.41	4.88	10.98	18.34	81.46
1.45	1.08	30.18	0.35	10.56	30.79	0.43	13.24	25.48	0.02	0.56	0.20	0.41	0.41	4.84	10.97	18.87	81.63
1.55	1.08	30.11	0.36	10.84	30.21	0.46	13.90	25.56	0.01	0.28	0.20	0.41	0.41	4.89	11.19	19.66	80.62

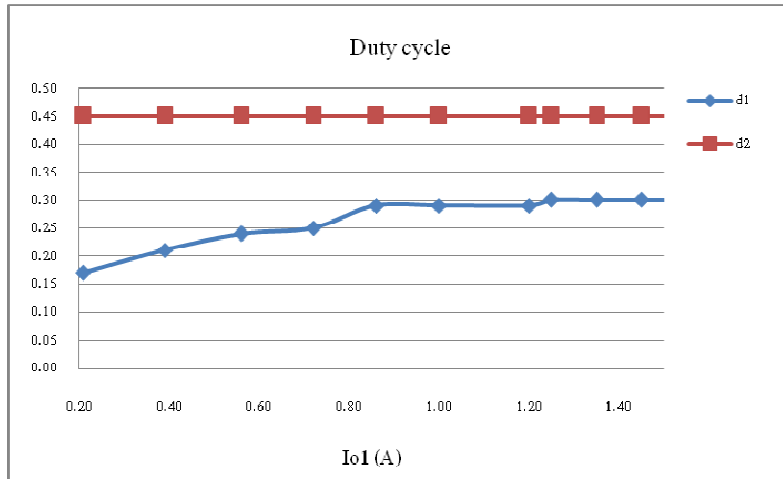


ภาพประกอบ 4-42 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง

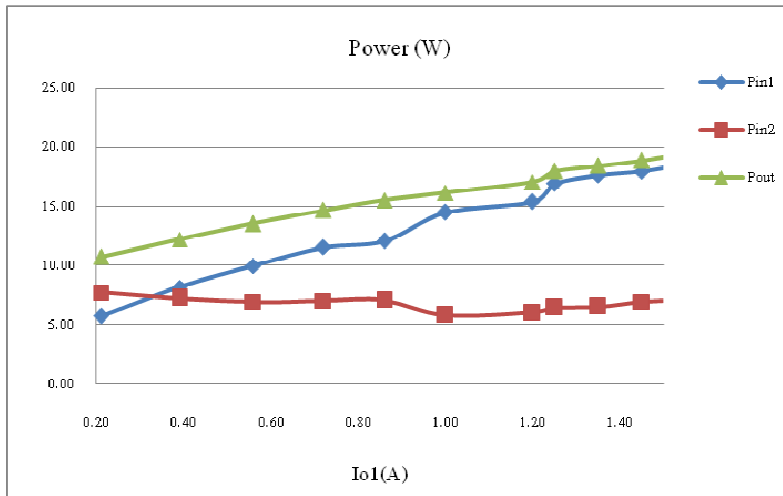
กรณีที่ 2 แรงดันอินพุทที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเอาท์พุทที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-5 ภาพประกอบ 4-43 แสดงค่าแรงดันอินพุทและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุทเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-44 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด ภาพประกอบ 4-45 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด และภาพประกอบ 4-46 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-43 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง



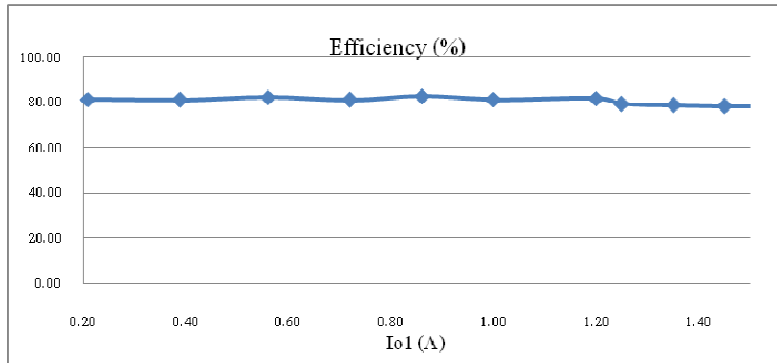
ภาพประกอบ 4-44 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-45 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

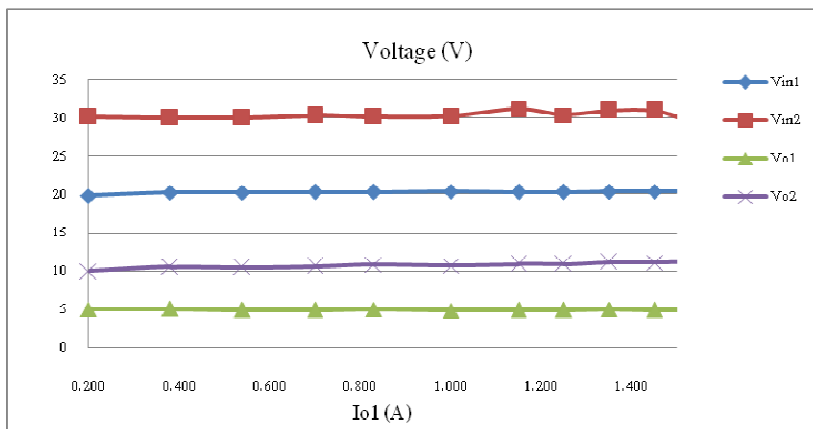
ตารางที่ 4-5 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

Io1 (A)	Io2 (A)	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	Vbatt (A)	Ibatt (A)	Pbatt (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Pout (W)	efficiency (%)
0.21	0.97	30.08	0.19	5.72	20.37	0.38	7.74	25.63	0.008	0.21	0.17	0.45	0.45	5.001	9.99	10.74	81.34
0.39	1.00	30.28	0.27	8.18	20.17	0.36	7.26	25.63	0.012	0.31	0.21	0.45	0.45	4.945	10.29	12.22	81.14
0.56	1.02	30.16	0.33	9.95	19.78	0.35	6.92	25.62	0.014	0.36	0.24	0.45	0.45	4.973	10.53	13.53	82.27
0.72	1.04	30.29	0.38	11.51	20.07	0.35	7.02	25.61	0.014	0.36	0.25	0.45	0.45	4.973	10.67	14.68	81.12
0.86	1.04	30.21	0.40	12.08	20.21	0.35	7.07	25.61	0.014	0.36	0.29	0.45	0.45	4.981	10.79	15.51	82.81
1.00	1.04	30.13	0.48	14.46	20.00	0.29	5.80	25.61	0.014	0.36	0.29	0.45	0.45	4.926	10.77	16.13	81.36
1.20	1.04	30.18	0.51	15.39	20.05	0.30	6.02	25.60	0.019	0.49	0.29	0.45	0.45	4.875	10.76	17.04	81.87
1.25	1.07	30.19	0.56	16.91	20.10	0.32	6.43	25.60	0.022	0.56	0.30	0.45	0.45	4.953	11.00	17.96	79.37
1.35	1.07	30.35	0.58	17.60	20.42	0.32	6.53	25.59	0.024	0.61	0.30	0.45	0.45	4.917	11.00	18.41	78.81
1.45	1.07	30.41	0.59	17.94	20.34	0.34	6.92	25.58	0.025	0.64	0.30	0.45	0.45	4.883	11.00	18.85	78.41
1.55	1.08	30.48	0.61	18.59	20.32	0.35	7.11	25.57	0.027	0.69	0.30	0.45	0.45	4.851	11.02	19.42	78.24

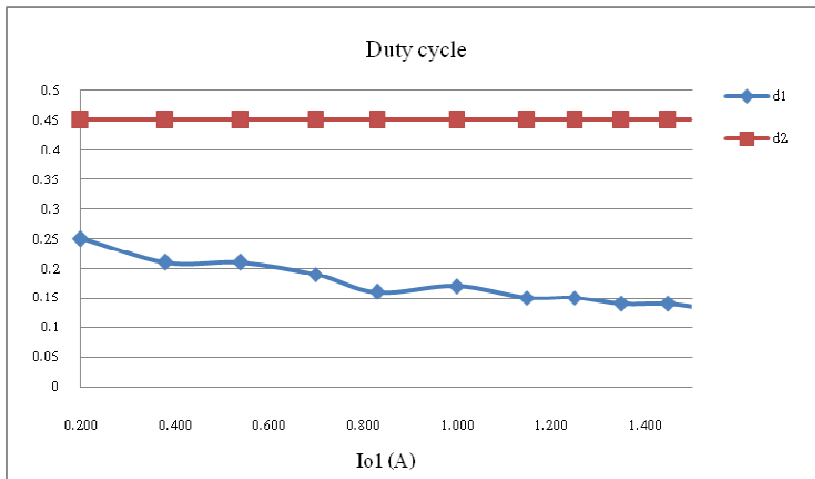


ภาพประกอบ 4-46 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

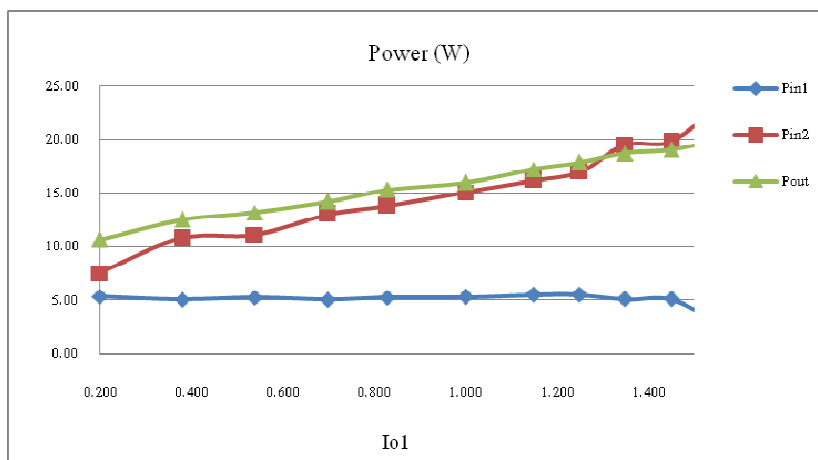
กรณีที่ 3 แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเอาต์พุตที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-6 ภาพประกอบ 4-47 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาต์พุตเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-48 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด ภาพประกอบ 4-49 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด และภาพประกอบ 4-50 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-47 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



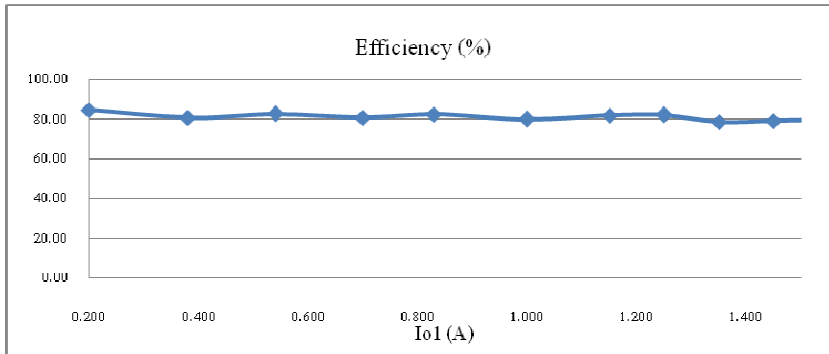
ภาพประกอบ 4-48 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-49 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-6 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

Io1 (A)	Io2 (A)	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	Vbatt (A)	Ibatt (A)	Pbatt (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Pout (W)	efficiency (%)
0.200	0.97	19.82	0.27	5.35	30.11	0.25	7.53	25.7	0.0080	0.21	0.25	0.45	0.45	5.008	9.96	10.66	84.39
0.380	1.01	20.2	0.25	5.05	29.94	0.36	10.78	25.7	0.0100	0.26	0.21	0.45	0.45	5.046	10.49	12.51	80.67
0.540	1.01	20.19	0.26	5.25	30.00	0.37	11.10	25.68	0.0120	0.31	0.21	0.45	0.45	4.932	10.43	13.20	82.61
0.700	1.02	20.25	0.25	5.06	30.28	0.43	13.02	25.69	0.0140	0.36	0.19	0.45	0.45	4.931	10.56	14.22	80.64
0.830	1.03	20.28	0.26	5.27	30.08	0.46	13.84	25.68	0.0170	0.44	0.16	0.45	0.45	5.007	10.82	15.30	82.35
1.000	1.04	20.33	0.26	5.29	30.15	0.50	15.08	25.67	0.0125	0.32	0.17	0.45	0.45	4.866	10.68	15.97	80.03
1.150	1.06	20.31	0.27	5.48	31.15	0.52	16.20	25.67	0.0200	0.51	0.15	0.45	0.45	4.941	10.89	17.23	81.82
1.250	1.08	20.30	0.27	5.48	30.35	0.56	17.00	25.66	0.0230	0.59	0.15	0.45	0.45	4.891	10.87	17.85	82.06
1.350	1.08	20.34	0.25	5.09	30.95	0.63	19.50	25.65	0.0230	0.59	0.14	0.45	0.45	4.972	11.14	18.74	78.64
1.450	1.08	20.37	0.25	5.09	30.92	0.64	19.79	25.63	0.0260	0.67	0.14	0.45	0.45	4.895	11.06	19.04	79.21
1.550	1.10	20.43	0.14	2.86	29.17	0.79	23.04	25.61	0.0280	0.72	0.13	0.45	0.45	4.933	11.20	19.97	79.84



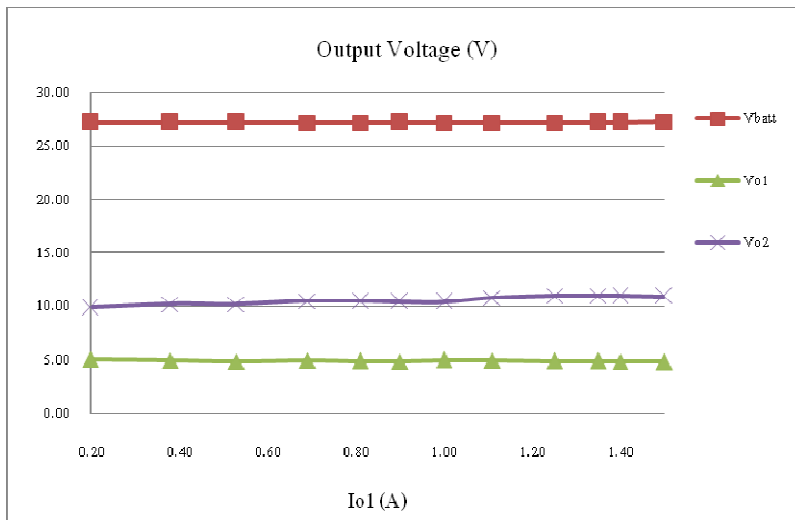
ภาพประกอบ 4-50 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุทที่ 1 เปลี่ยนแปลง

3. โหมดเบ็คอัพ

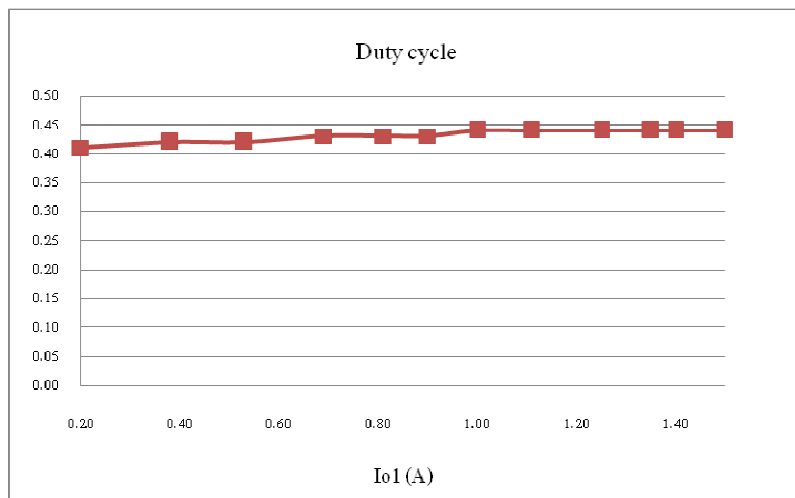
ในโหมดนี้แรงดันแบตเตอรี่จะมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเอาท์พุทที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-7 ภาพประกอบ 4-51 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุทเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-52 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด ภาพประกอบ 4-53 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด และภาพประกอบ 4-54 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-7 ผลการทดลองเมื่อค่าโหลดเปลี่ยนแปลงโดยที่แรงดันแบตเตอรี่คงที่

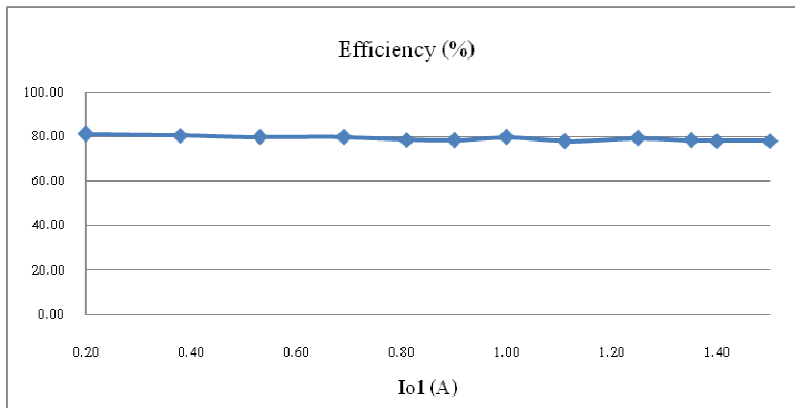
Io1	Io2	Vbatt (V)	Ibatt (A)	Pin (W)	d2	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Io1	Io2	Pout (W)	efficiency (%)
0.20	1.06	27.18	0.52	14.13	0.41	5.04	9.89	0.20	1.06	11.49	81.30
0.38	1.10	27.21	0.60	16.33	0.42	4.97	10.23	0.38	1.10	13.14	80.50
0.53	1.09	27.21	0.63	17.14	0.42	4.85	10.20	0.53	1.09	13.69	79.84
0.69	1.12	27.14	0.70	19.00	0.43	4.96	10.49	0.69	1.12	15.17	79.84
0.81	1.11	27.17	0.73	19.83	0.43	4.90	10.48	0.81	1.11	15.60	78.64
0.90	1.11	27.18	0.75	20.39	0.43	4.85	10.46	0.90	1.11	15.98	78.37
1.00	1.10	27.14	0.76	20.63	0.44	4.99	10.43	1.00	1.10	16.46	79.80
1.11	1.14	27.15	0.84	22.81	0.44	4.95	10.79	1.11	1.14	17.80	78.03
1.25	0.99	27.16	0.79	21.46	0.44	4.92	10.99	1.25	0.99	17.03	79.37
1.35	0.99	27.18	0.82	22.29	0.44	4.89	10.99	1.35	0.99	17.48	78.42
1.40	0.99	27.22	0.83	22.59	0.44	4.85	10.98	1.40	0.99	17.66	78.19
1.50	0.99	27.24	0.85	23.15	0.44	4.83	10.97	1.50	0.99	18.11	78.21



ภาพประกอบ 4-51 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

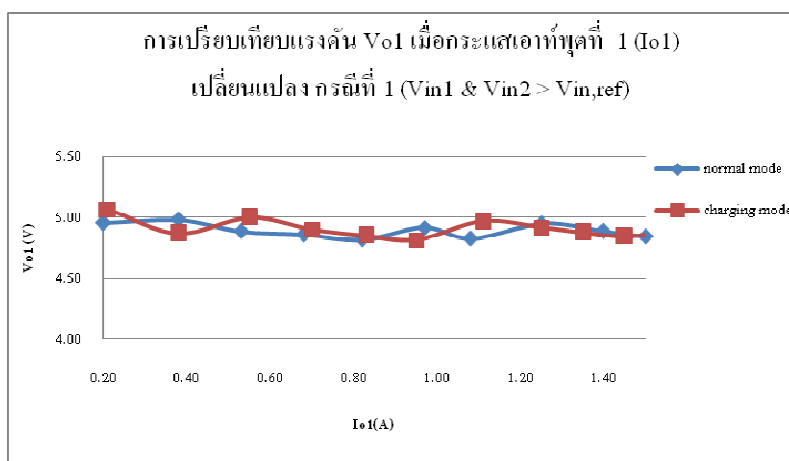


ภาพประกอบ 4-52 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

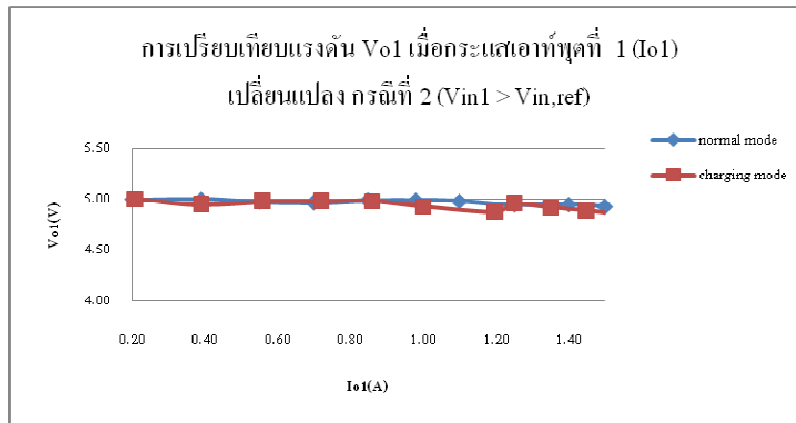


ภาพประกอบ 4-53 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

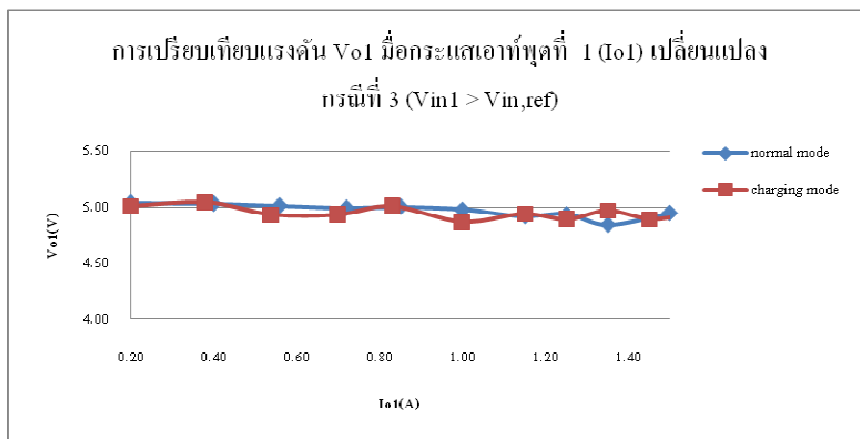
4) การเปรียบเทียบการคงค่าแรงดัน ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดปกติจะมี การทดสอบการคงค่าแรงดันเอาต์พุตที่ 1 (V_{o1}) ซึ่งเป็นเอาต์พุตหลักของวงจรใน 3 กรณี ซึ่งแต่ละ กรณีสามารถนำมาเปรียบเทียบกันดังแสดงในภาพประกอบ 4-54 เป็นเปรียบเทียบกันในกรณีที่ แรงดัน อินพุตที่ 1 และแรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง, ภาพประกอบ 4-55 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{o1} ในกรณีที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง, และภาพประกอบ 4-56 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{o1} ในกรณีที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่า มากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง



ภาพประกอบ 4-54 การเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{o1} ในกรณีที่ 1



ภาพประกอบ 4-55 การเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{o1} ในกรณีที่ 2



ภาพประกอบ 4-56 การเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{o1} ในกรณีที่ 3

จากภาพประกอบ 4-54, 4-55 และ 4-56 จะเห็นได้ค่าแรงดัน V_{o1} ทั้งในโหมดปกติและโหมดชาร์จแบตเตอรี่จะมีลักษณะใกล้เคียงกันที่ระดับแรงดันประมาณ 5 โวลต์ เมื่อกระแสโหลดที่เอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากกระแสมีค่าต่ำจนถึงค่าพิกัด แต่จะมีค่าความผิดพลาด (Error) เนื่องจากแรงดัน V_{o1} มีค่าต่ำสุด-สูงสุดอยู่ระหว่าง 4-81-5-07 โวลต์ ซึ่งเกิดมาจากโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ 1 (Feedback control) ให้ค่าความละเอียดของเปอร์เซ็นต์การทำงานของ (Duty cycle (%)) อยู่ระหว่าง 0-100 % เท่านั้น ไม่สามารถละเอียดได้ถึงจุดทศนิยม (โดยคริสตัลที่ใช้อยู่ 20 MHz ที่ความถี่การสวิตช์ 50 kHz)

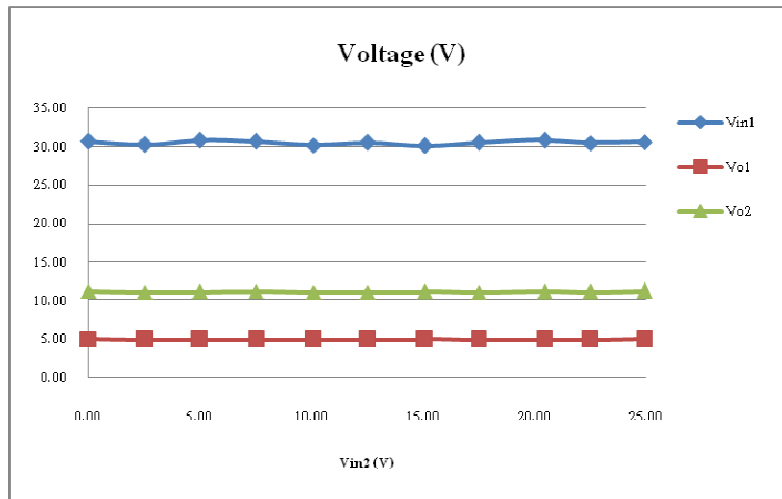
4.2.3 การทดสอบการจัดการพลังงานของแต่ละอินพุต

1) โหมคปกติ

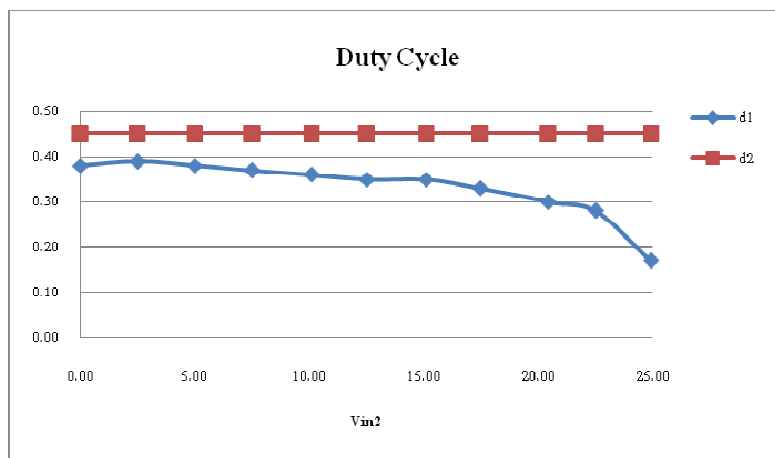
กรณีที่ 1 แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอินพุตที่ 2 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 ภาพประกอบ 4-57 แสดงค่าแรงดันอินพุตที่ 1 และการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาต์พุตเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-58 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 2 ภาพประกอบที่ 4-59 แสดงการเปลี่ยนแปลง ของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 2 และภาพประกอบที่ 4-60 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-8 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

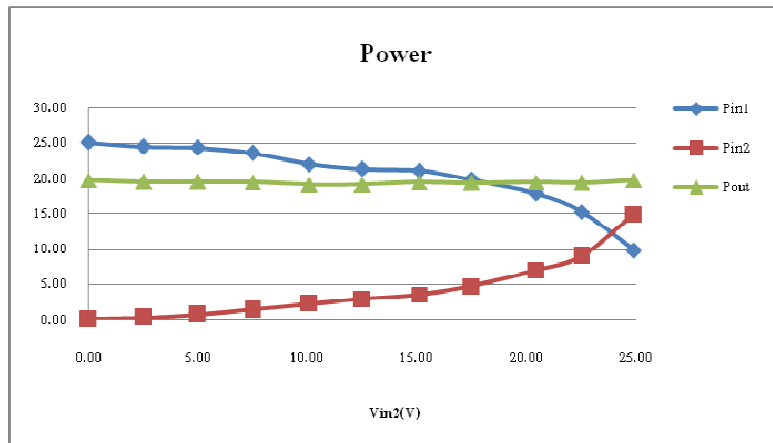
Vin2 (V)	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Io1 (A)	Io2 (A)	Pout (W)	efficiency (%)
0.00	30.63	0.82	25.12	0.01	0.00	0.38	0.45	0.45	4.96	11.19	1.50	1.10	19.75	78.65
2.52	30.21	0.81	24.47	0.09	0.23	0.39	0.45	0.45	4.92	11.03	1.50	1.10	19.51	79.00
5.00	30.80	0.79	24.33	0.14	0.70	0.38	0.45	0.45	4.93	11.13	1.50	1.09	19.53	78.02
7.51	30.64	0.77	23.59	0.18	1.35	0.37	0.45	0.45	4.95	11.17	1.50	1.08	19.48	78.10
10.10	30.18	0.73	22.03	0.22	2.22	0.36	0.45	0.45	4.91	11.06	1.49	1.07	19.15	78.94
12.53	30.52	0.70	21.36	0.23	2.88	0.35	0.45	0.45	4.91	11.04	1.50	1.07	19.18	79.10
15.11	30.10	0.70	21.07	0.23	3.48	0.35	0.45	0.45	4.95	11.14	1.50	1.08	19.46	79.27
17.50	30.53	0.65	19.84	0.27	4.73	0.33	0.45	0.45	4.92	11.07	1.50	1.08	19.34	78.72
20.47	30.82	0.58	17.88	0.34	6.96	0.30	0.45	0.45	4.95	11.15	1.50	1.08	19.47	78.38
22.53	30.47	0.50	15.24	0.40	9.01	0.28	0.45	0.45	4.92	11.10	1.50	1.08	19.36	79.86
24.94	30.58	0.32	9.79	0.60	14.96	0.17	0.45	0.45	4.96	11.22	1.50	1.10	19.78	79.91



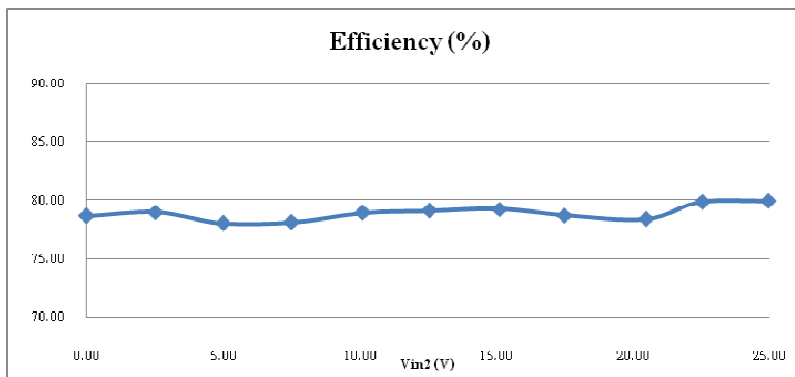
ภาพประกอบ 4-57 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-58 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-59 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง

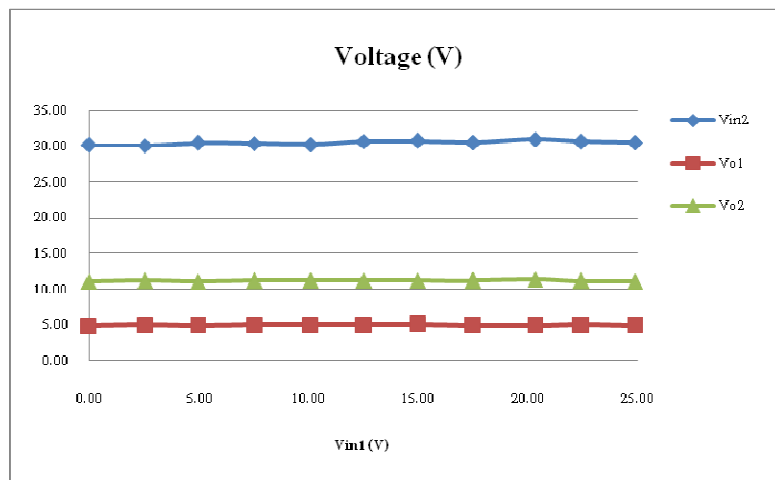


ภาพประกอบ 4-60 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง

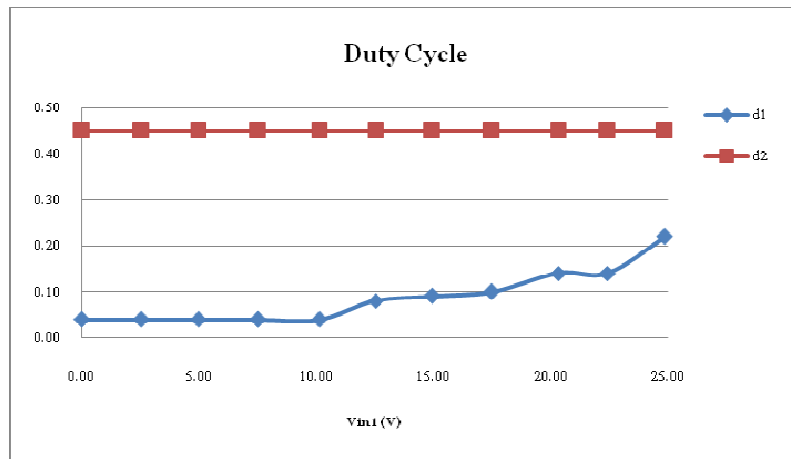
กรณีที่ 2 แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอินพุตที่ 1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-9 ภาพประกอบ 4-61 แสดงค่าแรงดันอินพุตที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาต์พุตเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-62 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 1 ภาพประกอบ 4-63 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 1 และภาพประกอบ 4-64 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-9 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

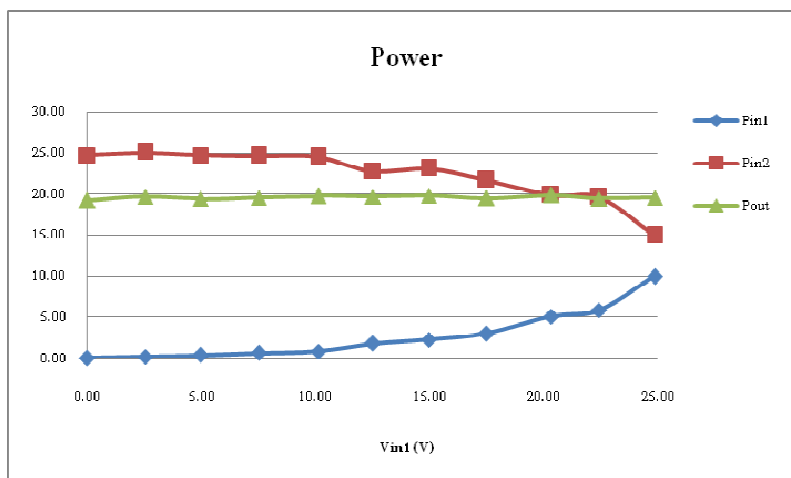
Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Io1 (A)	Io2 (A)	Pout (W)	efficiency (%)
0.00	0.02	0.00	30.15	0.82	24.72	0.04	0.45	0.45	4.82	11.07	1.50	1.08	19.18	77.59
2.55	0.07	0.18	30.11	0.83	24.99	0.04	0.45	0.45	4.98	11.18	1.50	1.09	19.65	78.08
4.96	0.07	0.35	30.49	0.81	24.70	0.04	0.45	0.45	4.93	11.10	1.50	1.08	19.38	77.40
7.52	0.08	0.60	30.38	0.81	24.61	0.04	0.45	0.45	4.96	11.19	1.50	1.08	19.53	77.47
10.13	0.08	0.81	30.25	0.81	24.50	0.04	0.45	0.45	4.99	11.25	1.50	1.09	19.74	77.98
12.53	0.14	1.75	30.69	0.74	22.71	0.08	0.45	0.45	4.96	11.21	1.50	1.09	19.66	80.34
14.97	0.15	2.25	30.75	0.75	23.06	0.09	0.45	0.45	5.07	11.20	1.50	1.09	19.81	78.29
17.50	0.17	2.98	30.54	0.71	21.68	0.10	0.45	0.45	4.94	11.18	1.50	1.08	19.48	79.00
20.34	0.25	5.09	30.98	0.64	19.83	0.14	0.45	0.45	4.90	11.35	1.50	1.10	19.84	79.64
22.44	0.26	5.83	30.65	0.64	19.62	0.14	0.45	0.45	4.94	11.13	1.50	1.08	19.43	76.36
24.88	0.40	9.95	30.51	0.49	14.95	0.22	0.45	0.45	4.88	11.09	1.50	1.10	19.52	78.38



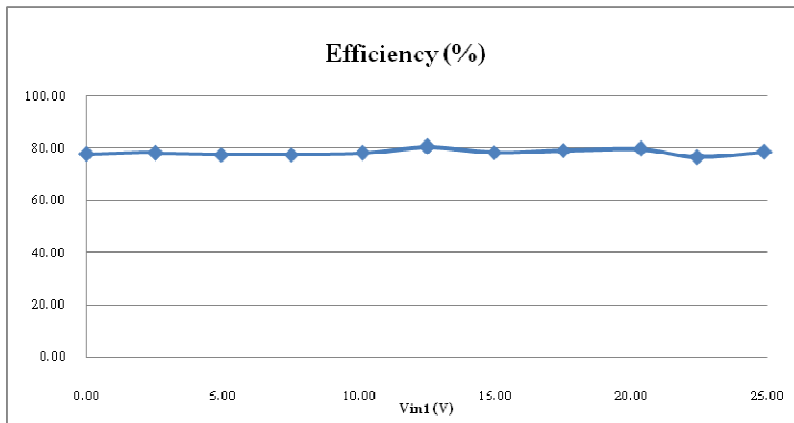
ภาพประกอบ 4-61 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-62 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



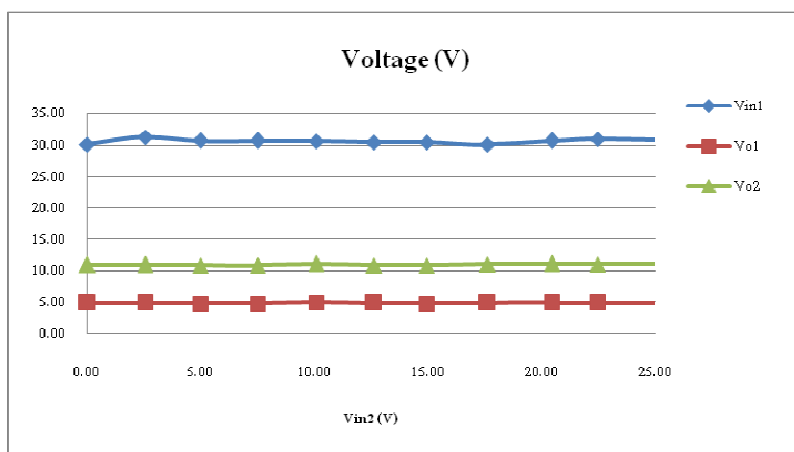
ภาพประกอบ 4-63 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-64 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

2) โหมตชาร์จแบตเตอรี่

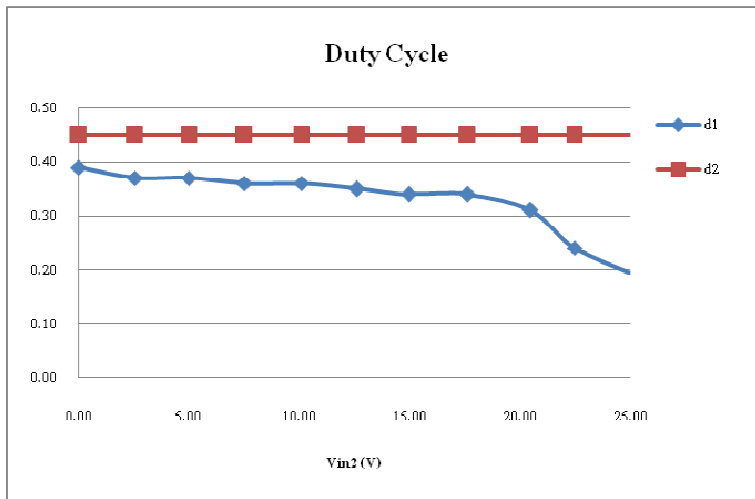
กรณีที่ 1 แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอินพุตที่ 2 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-10 ภาพประกอบ 4-65 แสดงค่าแรงดันอินพุตที่ 1 และการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาต์พุตเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-66 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 2 ภาพประกอบ 4-67 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 2 และภาพประกอบ 4-68 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลง



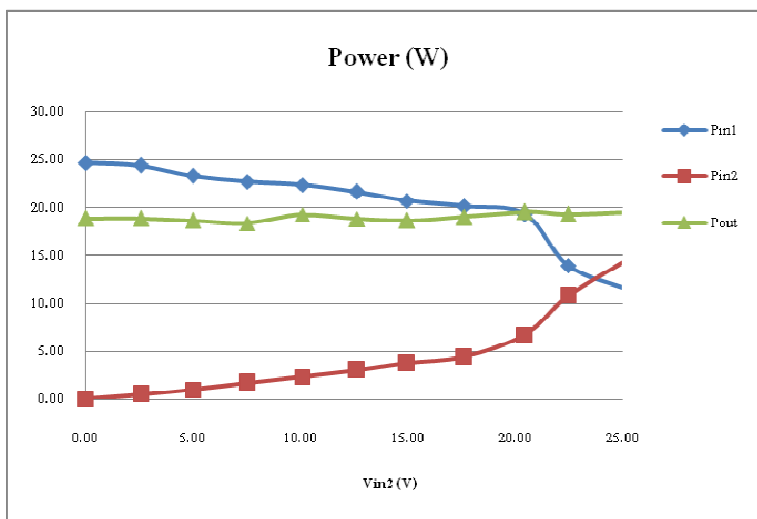
ภาพประกอบ 4-65 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-10 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

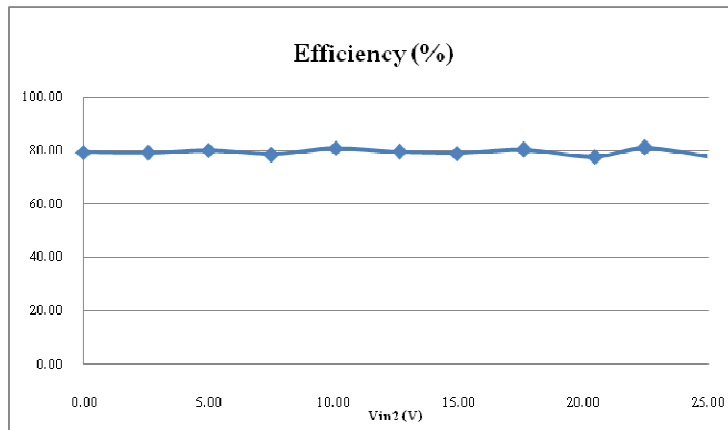
Vin2 (A)	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	Vbatt (A)	Ibatt (A)	Pbatt (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Io1 (A)	Io2 (A)	Pout (W)	efficiency (%)
0.00	30.09	0.82	24.67	0.03	0.00	25.19	0.0270	0.68	0.39	0.45	0.45	4.86	10.94	1.50	1.06	18.88	79.29
2.57	31.28	0.78	24.40	0.19	0.49	25.25	0.0310	0.78	0.37	0.45	0.45	4.86	10.95	1.50	1.06	18.89	79.06
4.99	30.65	0.76	23.29	0.20	1.00	25.28	0.0310	0.78	0.37	0.45	0.45	4.82	10.88	1.50	1.05	18.66	80.03
7.52	30.65	0.74	22.68	0.23	1.73	25.30	0.0315	0.80	0.36	0.45	0.45	4.81	10.84	1.50	1.03	18.37	78.54
10.09	30.64	0.73	22.37	0.23	2.32	25.34	0.0280	0.71	0.36	0.45	0.45	4.93	11.09	1.50	1.07	19.26	80.88
12.63	30.46	0.71	21.63	0.24	3.03	25.36	0.0315	0.80	0.35	0.45	0.45	4.84	10.90	1.50	1.06	18.81	79.53
14.96	30.47	0.68	20.72	0.25	3.74	25.38	0.0260	0.66	0.34	0.45	0.45	4.82	10.86	1.50	1.05	18.63	78.88
17.64	30.07	0.67	20.15	0.25	4.41	25.40	0.0270	0.69	0.34	0.45	0.45	4.90	11.01	1.50	1.06	19.01	80.22
20.47	30.68	0.63	19.33	0.33	6.76	25.40	0.0275	0.70	0.31	0.45	0.45	4.91	11.09	1.50	1.10	19.56	77.65
22.47	30.98	0.45	13.94	0.48	10.79	25.42	0.0280	0.71	0.24	0.45	0.45	4.84	11.05	1.50	1.09	19.30	80.95
25.27	30.81	0.37	11.40	0.58	14.66	25.45	0.0275	0.70	0.19	0.45	0.45	4.90	11.12	1.50	1.09	19.47	77.42



ภาพประกอบ 4-66 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง



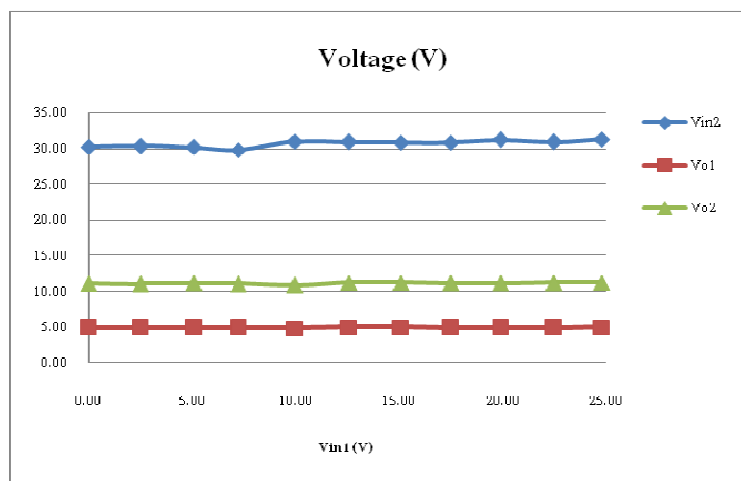
ภาพประกอบ 4-67 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง



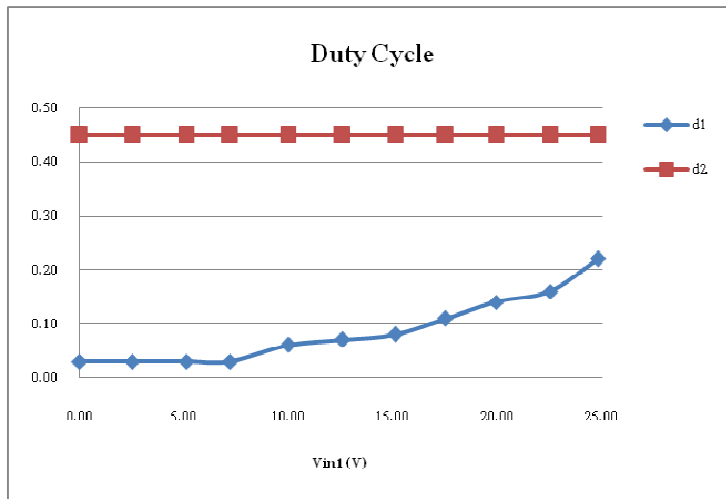
ภาพประกอบ 4-68 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง

กรณีที่ 2 แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอินพุตที่ 1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-11 ภาพประกอบ 4-69 แสดงค่าแรงดันอินพุตที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาต์พุตเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-70 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 1 ภาพประกอบ 4-71 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 1 และภาพประกอบ 4-72 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลง

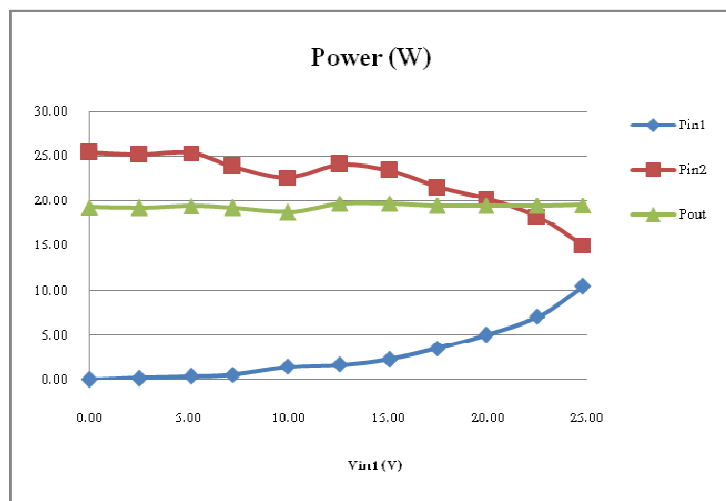
ที่จัดรูปแบบ: แบบอักษร: 14 พ., แบบอักษรภาษาที่ซับซ้อน: 14 พ.



ภาพประกอบ 4-69 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



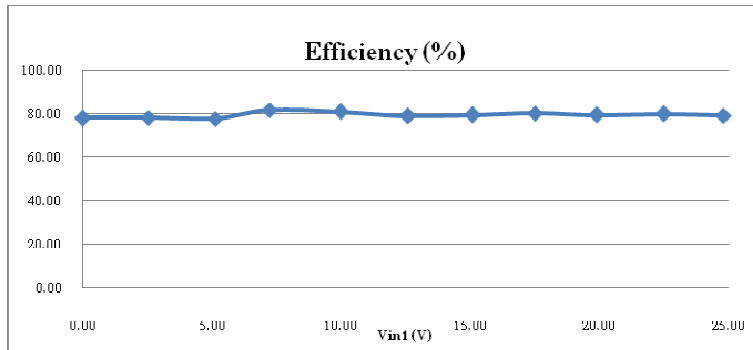
ภาพประกอบ 4-70 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-71 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

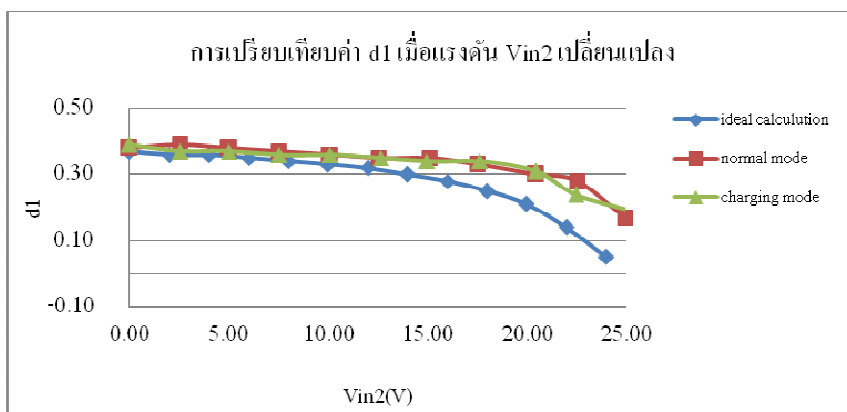
ตารางที่ 4-11 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	Vbatt (A)	Ibatt (A)	Pbatt (W)	d1	d2	d2	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Io1 (A)	Io2 (A)	Pout (W)	efficiency (%)
0.00	0.02	0.00	30.27	0.84	25.43	25.70	0.023	0.59	0.03	0.45	0.45	4.890	11.07	1.50	1.08	19.29	78.19
2.52	0.05	0.13	30.35	0.83	25.19	25.71	0.023	0.59	0.03	0.45	0.45	4.869	11.03	1.50	1.08	19.22	78.24
5.11	0.06	0.31	30.18	0.84	25.35	25.71	0.023	0.59	0.03	0.45	0.45	4.923	11.12	1.50	1.08	19.39	77.89
7.22	0.07	0.51	29.81	0.80	23.85	25.72	0.026	0.67	0.03	0.45	0.45	4.873	11.03	1.50	1.08	19.22	81.67
9.98	0.14	1.40	30.97	0.73	22.61	25.73	0.028	0.71	0.06	0.45	0.45	4.814	10.88	1.50	1.06	18.75	81.07
12.60	0.13	1.64	30.92	0.78	24.12	25.74	0.026	0.67	0.07	0.45	0.45	4.966	11.23	1.50	1.09	19.69	79.05
15.11	0.15	2.27	30.81	0.76	23.42	25.75	0.027	0.70	0.08	0.45	0.45	4.981	11.25	1.50	1.09	19.73	79.55
17.51	0.20	3.50	30.82	0.70	21.57	25.75	0.027	0.70	0.11	0.45	0.45	4.932	11.16	1.50	1.08	19.45	80.34
19.92	0.25	4.98	31.17	0.65	20.26	25.76	0.024	0.62	0.14	0.45	0.45	4.932	11.16	1.50	1.08	19.45	79.51
22.51	0.31	6.98	30.87	0.59	18.21	25.77	0.027	0.696	0.16	0.45	0.45	4.932	11.18	1.50	1.08	19.47	80.06
24.81	0.42	10.42	31.31	0.48	15.03	25.77	0.025	0.644	0.22	0.45	0.45	4.951	11.22	1.50	1.08	19.54	79.33

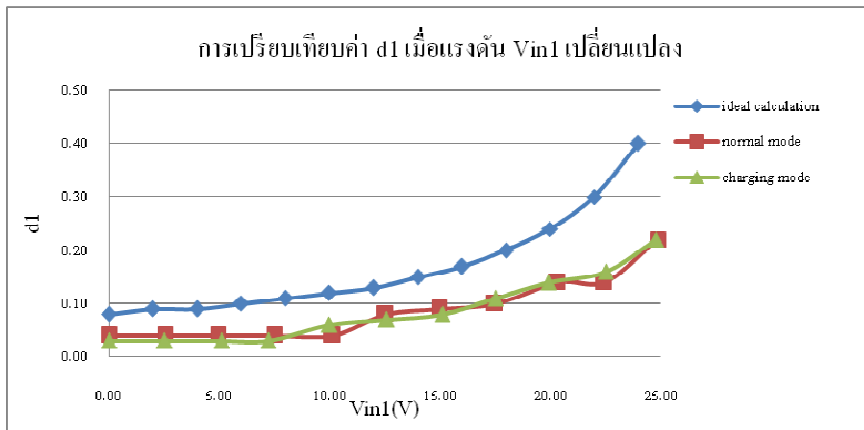


ภาพประกอบ 4-72 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

3) การเปรียบเทียบค่ารอบการทำงาน การจัดพลังงานจะเกิดขึ้นในกรณีที่แหล่งจ่ายพลังงานตัวใดตัวหนึ่งมีค่าแรงดันมากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง และอีกแหล่งจ่ายมีค่าแรงดันน้อยกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง โดยการคงค่ารอบการทำงาน d_2 กับ d_1 และทำการเปลี่ยนแปลงค่ารอบการทำงาน d_1 ตามค่าแรงดันแต่ละอินพุต แหล่งจ่ายตัวใดมีค่าแรงดันมากกว่า ก็จะมีช่วงเวลาการทำงานมากกว่า จนกว่าจะได้ค่าแรงเอาต์พุตตามค่าพิกัด โดยอาศัยสมการที่ 2.12 และ 2.13 โดยใน ส่วนนี้ จะเป็นการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่ารอบการทำงาน d_1 ของแต่ละโหมดในแต่ละกรณีกับค่ารอบการทำงานที่ได้จากการคำนวณตามสมการ 2.12 และ 2.13 ในภาพประกอบ 4-73 เป็นการเปรียบเทียบค่ารอบการทำงาน d_1 ต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตที่ 2 และภาพประกอบ 4-74 เป็นการเปรียบเทียบค่ารอบการทำงาน d_1 ต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุตที่ 1



ภาพประกอบ 4-73 การเปรียบเทียบค่า d_1 เมื่อแรงดัน V_{in2} เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-74 การเปรียบเทียบค่า d_1 เมื่อแรงดัน V_{in1} เปลี่ยนแปลง

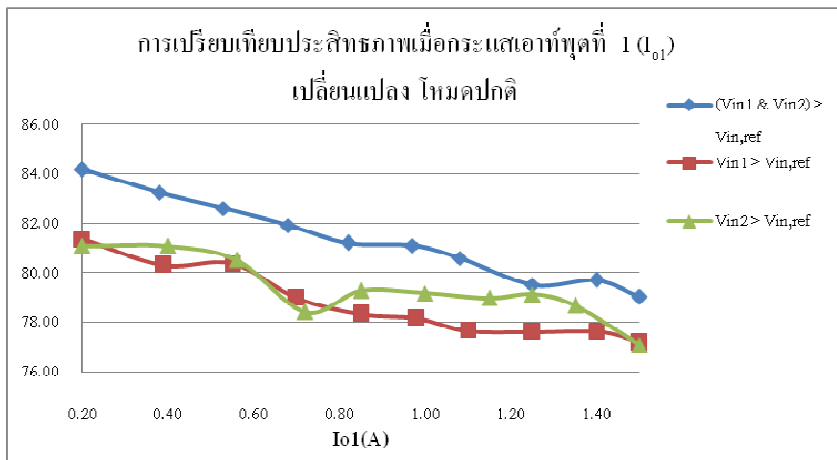
จากภาพประกอบ 4-73 และ 4-74 จะเห็นได้ว่าค่ารอบการทำงาน d_1 เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 และแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลงตามลำดับ ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดปกติจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มเดียวกันกับค่าที่ได้จากการคำนวณคือ รูปกราฟจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อแรงดัน V_{in2} มีค่าเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดัน V_{in1} มีค่าเพิ่มขึ้น แต่รูปคลื่นจากการคำนวณค่อนข้างมีระยะห่างจากกราฟที่ได้จากโหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดปกติ ตลอดช่วงที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเกิดจากความไม่อุดมคติของวงจร โดยเฉพาะหม้อแปลงฟลายแบค

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดปกติ

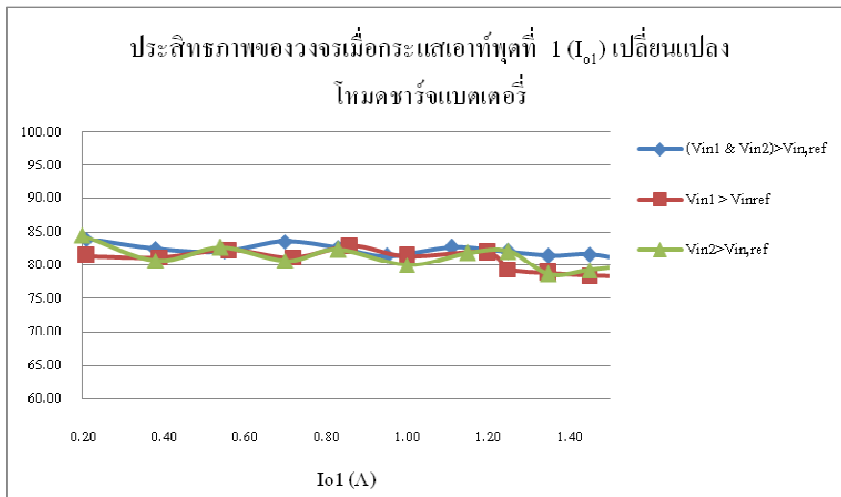
การทำงานของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่และ โหมดปกติมีความใกล้เคียงกัน ยกเว้นในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ที่มีการนำพลังงานจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลซึ่งเป็นพลังงานสูญเสียมาชาร์จแบตเตอรี่ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในโหมดชาร์จแบตเตอรี่มีค่าสูงกว่าโหมดปกติ ดังนั้นในการทดลองจึงจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้งสองโหมดเพื่อเป็นการยืนยันว่าโหมดชาร์จแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพมากกว่าโหมดปกติจริง โดยแยกการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละรูปแบบ ได้แก่

- เปรียบเทียบประสิทธิภาพตอนกระแสไหลเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 กรณี ในแต่ละโหมดดังแสดงในภาพประกอบ 4-75 และ 4-76

- เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโหมคชาร์ตแบตเตอรี่กับโหมคปกติตอนกระแสไหลดเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 กรณี ดังแสดงในภาพประกอบ 4-77, 4-78 และ 4-79
- เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโหมคชาร์ตแบตเตอรี่กับโหมคปกติตอนแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพประกอบ 4-80 และ 4-81

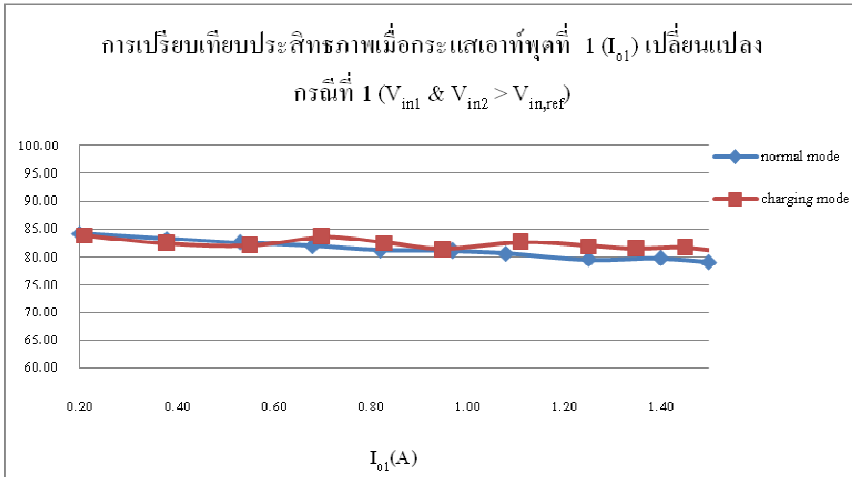


ภาพประกอบ 4-75 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง โหมคปกติ

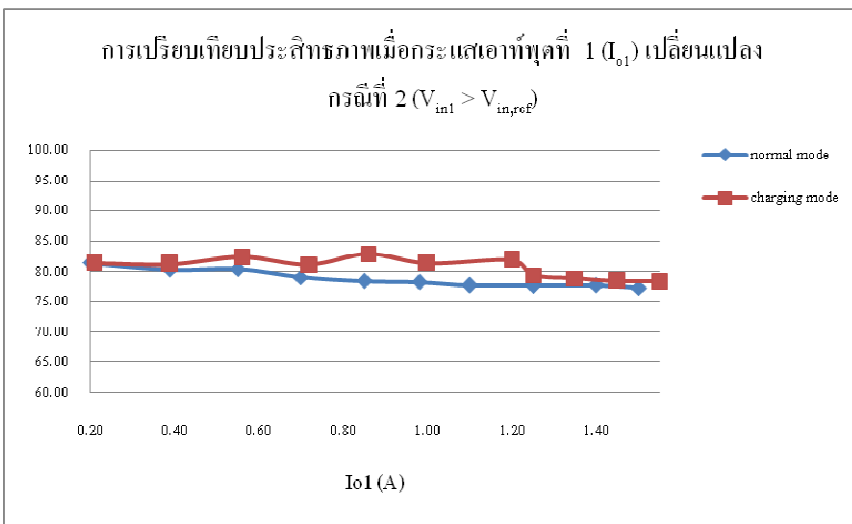


ภาพประกอบ 4-76 ประสิทธิภาพของวงจรเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง

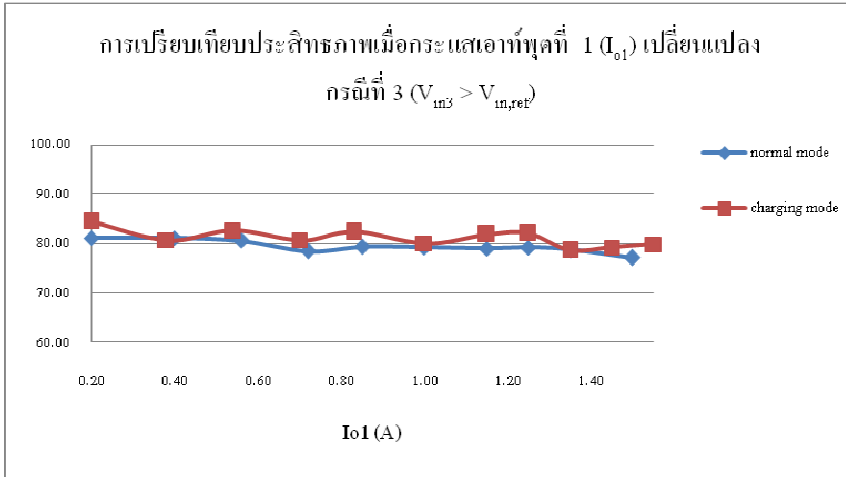
โหมคชาร์จแบตเตอรี่



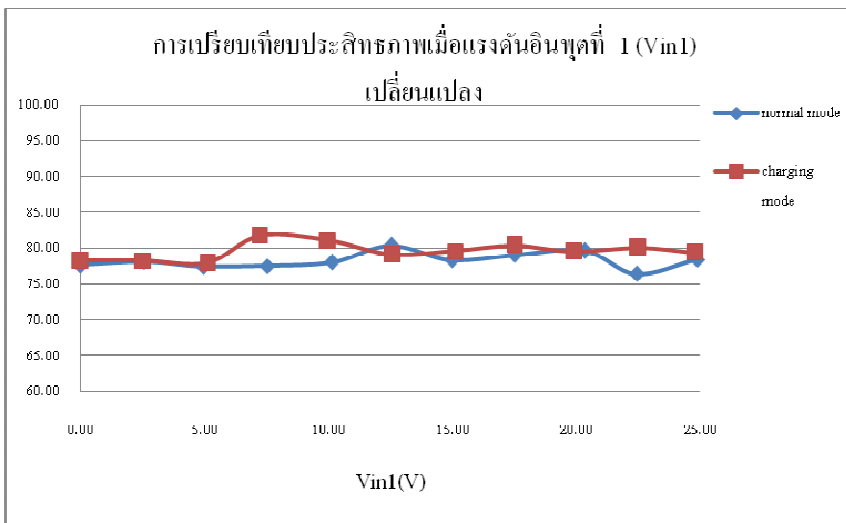
ภาพประกอบ 4-77 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง
กรณีที่ 1



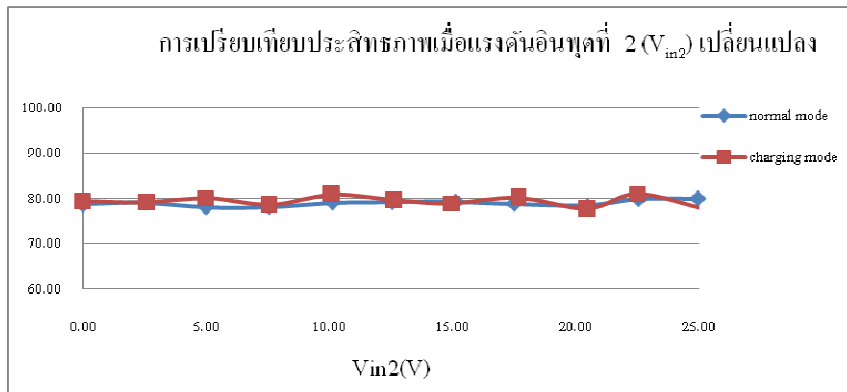
ภาพประกอบ 4-78 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง
กรณีที่ 2



ภาพประกอบ 4-79 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง
กรณีที่ 3



ภาพประกอบ 4-80 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 (V_{in1}) เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-81 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 (V_{in2}) เปลี่ยนแปลง

จากภาพประกอบ 4-75 ถึง 4-76 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรเมื่อกระแสเอาต์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลงในทั้ง 3 กรณี ระหว่างโหมดชาร์จแบตเตอรี่กับโหมดปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีที่ทั้งสองอินพุตมีแรงดันมากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่มีอินพุตใดอินพุตหนึ่งมีค่าแรงดันมากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง เนื่องการในกรณีที่ทั้งสองอินพุตมีแรงดันมากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิงจะมีช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์ S_1 และ S_2 ที่ใกล้เคียงกันในแต่ละคาบซึ่งสลับกันทำงาน และช่วงเวลาค่ารอบการทำงานในแต่ละคาบมีค่าน้อยกว่าเนื่องจากการคงค่า d_1 แล้วลดค่า d_2 เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามพิกัด ทำให้สวิตช์ทั้งสองไม่ทำงานหนักจนเกินไป ต่างจากตอนที่แหล่งจ่ายอินพุตตัวใดตัวหนึ่งมีค่ามากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง ซึ่งในกรณีนี้จะคงค่า d_1 แล้วเปลี่ยนค่า d_2 ตามค่าแรงดันแต่ละอินพุต ทำให้ช่วงเวลาการเปิดของสวิตช์นานกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรลดลง

จากภาพประกอบที่ 4-77 ถึง 4-79 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรระหว่างโหมดชาร์จแบตเตอรี่กับโหมดปกติทั้ง 3 กรณีเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละกรณี โหมดชาร์จแบตเตอรี่จะมีค่าประสิทธิภาพมากกว่าโหมดปกติเช่นเดียวกับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตามภาพประกอบที่ 4-80 ถึง 4-81 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดปกติเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 และอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลงตามลำดับ โดยที่วงจรทำงานที่พิกัด ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันแต่ละอินพุตเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่จะมีค่ามากกว่าโหมดปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากการนำพลังงานจากค่าความเหนี่ยวนำรีเลย์ของหม้อแปลงมาชาร์จแบตเตอรี่นั่นเอง

4.4 การทดสอบการทำงานของวงจรในระยะเวลา 6 ชั่วโมง

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะของวงจรต้นแบบในการทำงานที่ระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น โดยการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ Fluke 62 Mini Infrared Thermometer วัดอุณหภูมิของส่วนต่างๆ ของวงจรต้นแบบ

ข้อกำหนด

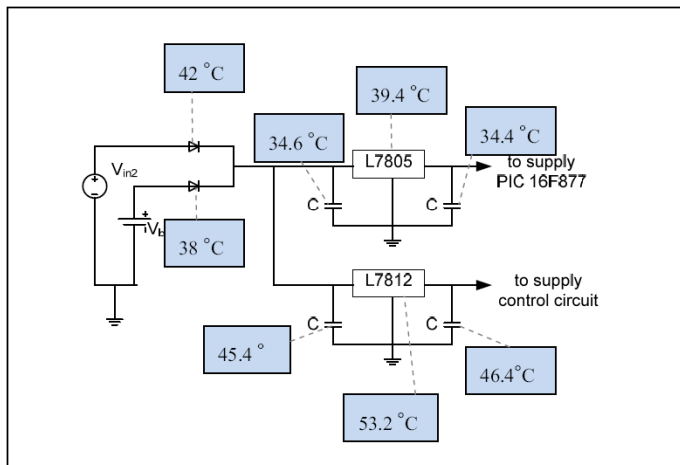
- 1) โหมดการทำงาน: โหมดปกติ
- 2) พิกัดวงจร:

$$V_{in1} = V_{in2} = 30 \text{ V}$$

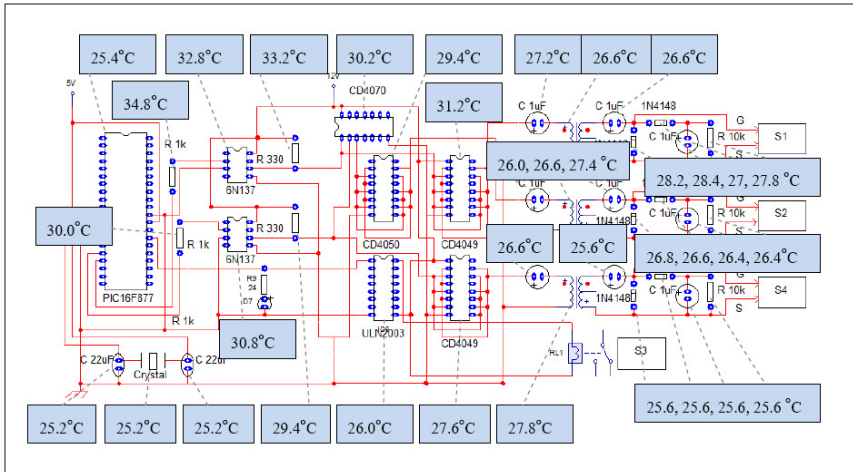
$$V_{o1}/I_{o1} = 5\text{V}/1.5\text{A}$$

$$V_{o2}/I_{o2} = 12\text{V}/1\text{A}$$

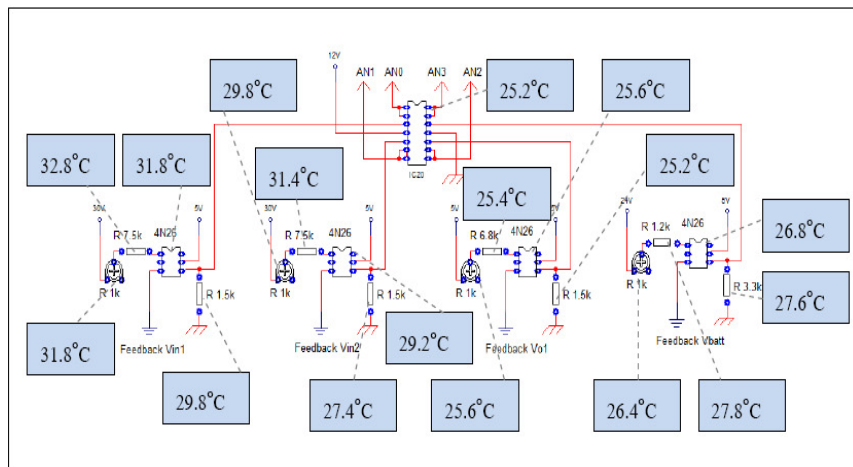
- 3) อุณหภูมิห้อง: 25.6 °C
- 4) เวลาในการทดลอง: 6 ชั่วโมง



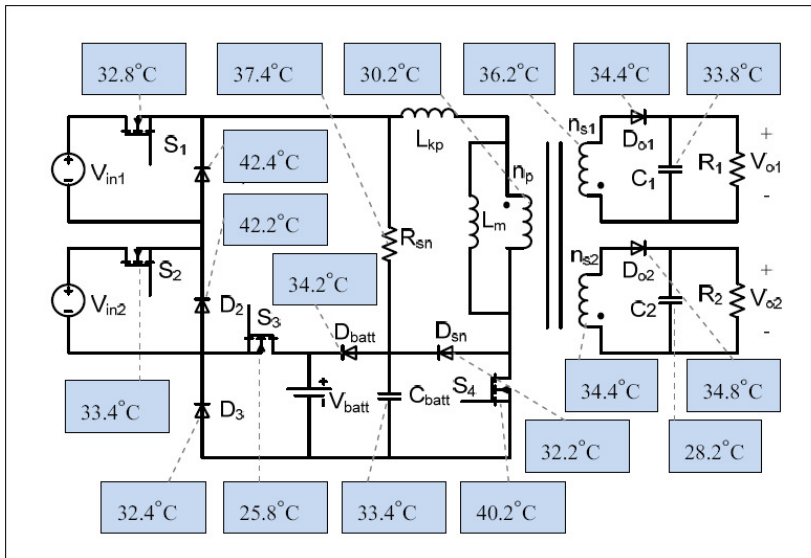
ภาพประกอบ 4-82 วงจรไฟเลี้ยง



ภาพประกอบ 4-83 วงจรควบคุมสวิตช์



ภาพประกอบ 4-84 วงจรป้อนกลับแรงดัน



ภาพประกอบ 4-85 วงจรกำลัง

จากผลการทดสอบวงจรตามภาพประกอบ 4-82 ถึง 4-85 เมื่อวงจรทำงานในระยะเวลา 6 ชั่วโมงพบว่าวงจรสามารถทำงานได้อย่างปกติภายใต้อุณหภูมิห้องที่ 25.6 °C ซึ่งผลจากการวัดอุณหภูมิพบว่าในส่วนของวงจรควบคุมทั้งหมด ตัวไอซี L7812 มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 53.2 °C สำหรับส่วนของวงจรกำลัง ไดโอด D_1 และ D_2 มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 42.4 และ 42.2 ตามลำดับ

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์รวมแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตที่มีวงจรชาร์จแบตเตอรี่ โดยวงจรประกอบด้วยสองอินพุต และสองเอาต์พุต การทำงานของวงจรประกอบไปด้วย 3 โหมด คือ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ โหมดปกติ และโหมดแบ็คอัพ ควบคุมการทำงานของวงจรโดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 โดยวงจรถูกออกแบบให้สามารถนำกำลังสูญเสียจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลงมาชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อลดความเครียดที่สวิตช์ และทำให้วงจรมีประสิทธิภาพมากขึ้นและใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับวงจร ในส่วนของการจัดการพลังงานจากทั้งสองอินพุตที่ทำให้สามารถใช้พลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่ายได้อย่างเหมาะสม โดยในหนึ่งรอบการทำงาน (Duty cycle) จะมีการใช้พลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่าย อินพุตที่มีค่าแรงดันมากกว่าจะมีระยะเวลาการเปิดของสวิตช์ (Turn on) มากกว่า ด้วยวิธีการนำสัญญาณควบคุมสวิตช์ S_1 และ S_2 มาเอ็กซ์คลูซีฟ ออร์ กันเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้ควบคุมสวิตช์ S_2 ซึ่งวิธีนี้จะทำให้สามารถควบคุมการจ่ายพลังงานของแต่ละอินพุตไม่ทับซ้อน โดยใช้เพียงแค่การปรับค่าสัญญาณควบคุมสวิตช์ S_1 เท่านั้น นอกจากนี้ยังทำให้สวิตช์ S_1 และ S_2 ทางด้านอินพุตจะเปิดไม่พร้อมกันซึ่งจะมีข้อดีคือ ทำให้แรงดันที่คร่อมสวิตช์ S_1 ซึ่งเป็นสวิตช์หลักของวงจรมีแรงดันสูงสุดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานแบบมีช่วงที่เปิดสวิตช์ของแต่ละอินพุตพร้อมกัน [4] ซึ่งส่งผลให้ความเครียดของสวิตช์ลดลงและนอกจากนี้การที่สวิตช์ไม่มีช่วงที่เปิดพร้อมกันจะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการไหลของกระแสซึ่งถ้าเกิดมีช่วงที่สวิตช์เปิดพร้อมกันทำให้แหล่งจ่ายทั้งสองต่อแบบอนุกรมกระแสอินพุตสูงสุดจะเท่ากับแหล่งจ่ายตัวที่สามารถจ่ายได้น้อยกว่าเท่านั้นทำให้ไม่สามารถดึงพลังงานมาใช้ได้อย่างเต็มที่

การคงค่าระดับแรงดันเอาต์พุต จะใช้ค่าแรงดันจากเอาต์พุตที่หนึ่ง (5V, 1.5A) มาป้อนกลับเพื่อกำหนดค่ารอบการทำงานของสวิตช์ S_1 เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าที่ค่อนข้างคงที่เมื่อแรงดันอินพุตหรือโหลดเปลี่ยนแปลง

วงจรต้นแบบที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยที่มีแหล่งจ่ายพลังงานเป็นพลังงานทดแทน เพื่อให้สามารถนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพ

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.2.1 แรงดันตกคร่อมสวิตช์ช่วงเวลาที่สวิตช์ทำงาน (V_{ds_on}) มีค่าสูง ทำให้เกิดกำลังสูญเสียสูงและตัวสวิตช์ร้อนอาจทำให้เกิดการเบรกควาน์ได้ แก้ปัญหาโดยการต่อสวิตช์ขนานกันเพื่อลดค่าความต้านทานของสวิตช์ (R_{ds_on})

5.2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของวงจรควบคุมที่ได้จากแหล่งจ่ายพลังงานเพียงแหล่งจ่ายเดียวทำให้ไม่มีเสถียรภาพ แก้ปัญหาโดยการออกแบบวงจรให้สามารถเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าจากสองแหล่งจ่ายได้

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

5.3.1 ปรับปรุงวงจรควบคุมให้ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงอีก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวงจร

5.3.2 จัดทำวงจรเป็นแบบแผ่นปริ้นท์ 2 หน้า เพื่อลดขนาดของวงจรให้มีความกะทัดรัดมากขึ้น

5.3.3 เพิ่มส่วนของจอแสดงสถานะการทำงานของวงจร

บรรณานุกรม

- [1] Y. M. Chen, Y. C. Liu, and F. Y. Wu, "Multi-input dc/dc converter based on the multiwinding transformer for renewable energy applications," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 38, no. 4, pp. 1096-1104, Jul./Aug. 2002.
- [2] Y. M. Chen, Y. C. Liu, and T. F. Wu, "Multi-input converter with power factor correction, maximum power point tracking, and ripple-free input currents," *IEEE Trans. Power Electron*, vol. 19, no. 3, pp. 631-639, May 2004.
- [3] H. Matsuo, W. Lin, F. Kurokawa, T. Shigemizu, and N. Watanabe, "Characteristic of the multiple-input dc-dc converter," *IEEE Trans. on industrial electronics*, vol. 51, no. 3, pp. 625-631, Jun. 2004.
- [4] Q. Wang, J. Zhang, X. Ruan, and K. Jin, "A Double-Input Flyback DC/DC Converter with Single Primary Winding," Energy Conversion Congress and Exposition, IEEE, 2010, pp. 1938-1944
- [5] Q. Wang, J. Zhang, X. Ruan, and K. Jin, "Isolated Single Primary Winding Multiple-Input Converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, Dec. 2011, vol. 26, no: 12, pp. 3435 - 3442.
- [6] L. Yan, R. Xinbo, Y. Dongsheng, L. Fuxin, and C. K. Tse, "Synthesis of Multiple-Input DC/DC Converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, Sep. 2010, vol. 25, no: 9, pp. 2372-2385.
- [7] R. W. Erickson, D. Maksimovic, *Fundamental of power electronic*, Kluwer Academic, 2001.
- [8] Zh. Qian, O. A. Rahman and I. Batarseh. "An Integrated Four- Port DC/DC Converter for Renewable Energy Applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, July 2010, vol. 25, no: 7, pp. 1877-1887.

- [9] D. Dondi, A. Bertacchini, D. Brunelli, L. Larcher, and L. Benini, "Modeling and optimization of a solar energy harvester system for self-powered wireless sensor networks," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 7, pp. 2759–2766, Jul. 2008.
- [10] G. K. Chang, S. Y. Fan, and S. Y. Tseng, "Multi-output Auxiliary Power Supply with Lossless Snubber," IEEE conference on Industrial electronics and applications, 2011, pp. 2172 – 2178.
- [11] M. A. Dalla-Costa, J. M. Alonso, J. García, J. Cardesín, and M. Rico, "A novel low cost electronic ballast to supply metal halide lamps," in *Proc. IEEE IAS MeetingConf. Rec.*, 2005, vol. 2, pp. 1198–1204.
- [12] Y. C. Chuang, Y. L. Ke, H. S. Chuang, and C. C. Hu, "Single-Stage Power-Factor-Correction Circuit with Flyback Converter to Drive LEDs for Lighting Applications," IEEE Industry Applications Society Annual Meeting , 2010, pp. 1-9.
- [13] T. L. Chern, L.H. Liu; C. N. Huang, Y. L. Chern, and J. H. Kuang , "High Power Factor Flyback Converter for LED Driver with Boundary Conduction Mode Control," IEEE conference on Industrial electronics and applications, 2010, pp. 2088 – 2093.
- [14] S. Daher, J. Schmid, and F.L.M. Antunes, "Multilevel inverter topologies for stand-alone PV systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 7, pp. 2703–2712, Jul. 2008.
- [15] C. Zhao, S.D. Round, and J.W. Kolar, "An isolated three-port bidirectional dc-dc converter with decoupled power flow management," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, no. 5, pp. 2443–2453, Sep. 2008.
- [16] H. Tao, J.L. Duarte, and M.A.M. Hendrix, "Three-port triple-half-bridge bidirectional converter with zero- voltage switching," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, no. 2, pp. 782–792, Mar. 2008.

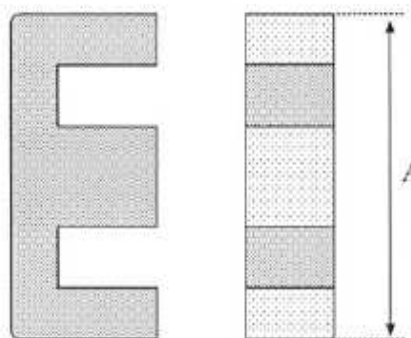
- [17] D.D.-C. Lu, W. Zhao, V.G Agelidis, “Integrated Photovoltaic-Battery Converter Design for DC Power System,” AUPEC Power Engineering Conference, 2009, pp. 1-5.
- [18] วิกรม วีรภาพจรเดช และคณะ, “การศึกษาเบื้องต้นในเทคโนโลยีและศักยภาพทางการวิจัยและพัฒนาของสถาบันอุดมศึกษาไทยทางด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย,” รายงานวิจัยและพัฒนาฉบับสมบูรณ์, 2549.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางแกนหม้อแปลงเพื่อใช้ในการออกแบบ

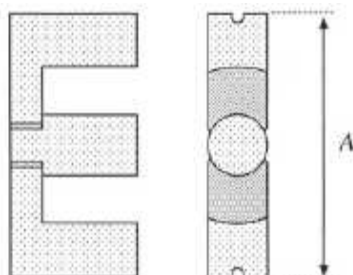
(ที่มา: Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic. *Fundamental of power electronic*. Kluwer Academic.2001)

แกน EE



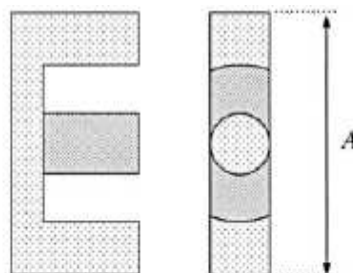
Core type	Geometrical constant	Geometrical constant	Cross-sectional area	Bobbin winding area	Mean length per turn	Magnetic path length	Core weight
(A) (mm)	K_g (cm^5)	$K_{g/c}$ (cm^4)	A_c (cm^2)	W_A (cm^2)	MLT (cm)	ℓ_m (cm)	(g)
EE12	$0.731 \cdot 10^{-3}$	$0.458 \cdot 10^{-3}$	0.14	0.085	2.28	2.7	2.34
EE16	$2.02 \cdot 10^{-3}$	$0.842 \cdot 10^{-3}$	0.19	0.190	3.40	3.45	3.29
EE19	$4.07 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$	0.23	0.284	3.69	3.94	4.83
EE22	$8.26 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	0.41	0.196	3.99	3.96	8.81
EE30	$85.7 \cdot 10^{-3}$	$6.7 \cdot 10^{-3}$	1.09	0.476	6.60	5.77	32.4
EE40	0.209	$11.8 \cdot 10^{-3}$	1.27	1.10	8.50	7.70	50.3
EE50	0.909	$28.4 \cdot 10^{-3}$	2.26	1.78	10.0	9.58	116
EE60	1.38	$36.4 \cdot 10^{-3}$	2.47	2.89	12.8	11.0	135
EE70/68/19	5.06	$75.9 \cdot 10^{-3}$	3.24	6.75	14.0	18.0	280

แกน EC



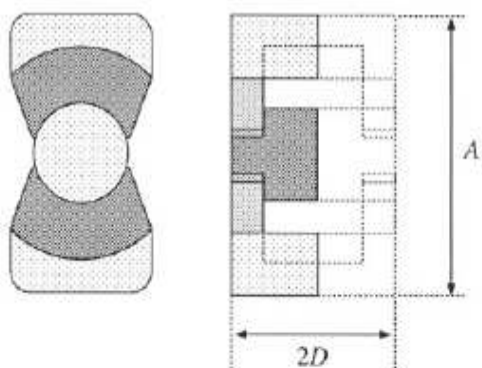
Core type	Geometrical constant	Geometrical constant	Cross-sectional area	Bobbin winding area	Mean length per turn	Magnetic path length	Thermal resistance	Core weight
(A) (mm)	K_g (cm^5)	K_{gfe} (cm^4)	A_c (cm^2)	W_A (cm^2)	MLT (cm)	ℓ_m (cm)	R_{th} ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	(g)
EC35	0.131	$9.9 \cdot 10^{-3}$	0.843	0.975	5.30	7.74	18.5	35.5
EC41	0.374	$19.5 \cdot 10^{-3}$	1.21	1.35	5.30	8.93	16.5	57.0
EC52	0.914	$31.7 \cdot 10^{-3}$	1.80	2.12	7.50	10.5	11.0	111
EC70	2.84	$56.2 \cdot 10^{-3}$	2.79	4.71	12.9	14.4	7.5	256

แกน ETD



Core type	Geometrical constant	Geometrical constant	Cross-sectional area	Bobbin winding area	Mean length per turn	Magnetic path length	Thermal resistance	Core weight
(A) (mm)	K_g (cm^5)	K_{gfe} (cm^4)	A_c (cm^2)	W_A (cm^2)	MLT (cm)	ℓ_m (cm)	R_{th} ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	(g)
ETD29	0.0978	$8.5 \cdot 10^{-3}$	0.76	0.903	5.33	7.20		30
ETD34	0.193	$13.1 \cdot 10^{-3}$	0.97	1.23	6.00	7.86	19	40
ETD39	0.397	$19.8 \cdot 10^{-3}$	1.25	1.74	6.86	9.21	15	60
ETD44	0.846	$30.4 \cdot 10^{-3}$	1.74	2.13	7.62	10.3	12	94
ETD49	1.42	$41.0 \cdot 10^{-3}$	2.11	2.71	8.51	11.4	11	124

แบบ PQ



Core type	Geometrical constant	Geometrical constant	Cross-sectional area	Bobbin winding area	Mean length per turn	Magnetic path length	Core weight
$(A_1/2D)$ (mm)	K_g (cm^5)	K_{gfc} (cm^4)	A_c (cm^2)	W_A (cm^2)	MLT (cm)	ℓ_m (cm)	(g)
PQ 20/16	$22.4 \cdot 10^{-3}$	$3.7 \cdot 10^{-3}$	0.62	0.256	4.4	3.74	13
PQ 20/20	$33.6 \cdot 10^{-3}$	$4.8 \cdot 10^{-3}$	0.62	0.384	4.4	4.54	15
PQ 26/20	$83.9 \cdot 10^{-3}$	$7.2 \cdot 10^{-3}$	1.19	0.333	5.62	4.63	31
PQ 26/25	0.125	$9.4 \cdot 10^{-3}$	1.18	0.503	5.62	5.55	36
PQ 32/20	0.203	$11.7 \cdot 10^{-3}$	1.70	0.471	6.71	5.55	42
PQ 32/30	0.384	$18.6 \cdot 10^{-3}$	1.61	0.995	6.71	7.46	55
PQ 35/35	0.820	$30.4 \cdot 10^{-3}$	1.96	1.61	7.52	8.79	73
PQ 40/40	1.20	$39.1 \cdot 10^{-3}$	2.01	2.50	8.39	10.2	95

ภาคผนวก ข สายตัวนำสำหรับการออกแบบหม้อแปลง Standard Wire Gauge (SWG)

(ที่มา: L.UMANAND and S.R. BHAT, “Design of Magnetic Components for Switched Mode Power Converter”, Wiley Eastern Limited, 1992)

SWG	Diameter With Enamel (mm)	Area of bare Conductor (mm ²)	R/Km @ 20 °C (Ohm)	Weight (Kg/km)
45	0.086	0.003973	4340.0	0.0369
44	0.097	0.005189	3323.0	0.0481
43	0.109	0.006567	2626.0	0.0610
42	0.119	0.081070	2127.0	0.0750
41	0.132	0.009810	1758.0	0.0908
40	0.142	0.011675	1477.0	0.1079
39	0.152	0.01370	1258.0	0.1262
38	0.175	0.01824	945.2	0.1679
37	0.198	0.02343	735.9	0.2202
36	0.218	0.02927	589.1	0.2686
35	0.241	0.35750	482.2	0.3281
34	0.264	0.04289	402.0	0.3932
33	0.287	0.05067	340.3	0.4650
32	0.307	0.06818	291.7	0.5408
31	0.330	0.07791	252.9	0.6245
30	0.351	0.09372	221.3	0.7121
29	0.384	0.09372	184.0	0.8559
28	0.417	0.11100	155.3	1.0140
27	0.462	0.13630	126.5	1.2450
26	0.505	0.16420	105.0	1.4990

SWG	Diameter With Enamel (mm)	Area of bare Conductor (mm ²)	R/Km @ 20 °C (Ohm)	Weight (Kg/km)
25	0.561	0.20270	85.1	1.8510
24	0.612	0.24520	70.3	2.2330
23	0.665	0.29190	59.1	2.6550
22	0.770	0.39730	43.4	3.6070
21	0.874	0.51890	33.2	4.7020
20	0.978	0.66570	26.3	5.9390
19	1.082	0.81070	21.3	7.3240
18	1.293	1.15700	14.8	10.5370
17	1.501	1.58900	10.8	14.3130
16	1.709	2.07500	8.3	16.6780
15	1.920	2.62700	6.6	23.6400
14	2.129	3.24300	5.3	29.1500
13	2.441	4.28900	4.0	35.5600
12	2.756	5.48000	3.1	49.2200
11	3.068	6.81800	2.5	51.0000
10	3.383	8.30200	2.1	74.0000
9	3.800	10.5100	1.6	94.0000
8	4.219	12.9700	1.3	116.0000

ภาคผนวก ค การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตที่มีอัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้ขดลวดทางด้านปฐมภูมิร่วมกัน

A High Voltage Gain Double-Input DC-DC Converter with Single-Primary Winding

ธวัชชัย เครือเดี่ยว จิรวัดน์ ฉายแสงเจริญ กุศุมลย์เฉลิมยานนท์ อนุวัตร ประเสริฐสิทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

110/5 ถ.กาญจนวนิช คอหงส์ หาดใหญ่ สงขลา 90112 โทรศัพท์ 074-558831 E-Mail: thawatchai.kt@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตที่มีอัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้ขดลวดทางด้านปฐมภูมิร่วมกัน จุดเด่นของวงจรนี้คือ ใช้อุปกรณ์น้อย มีความเครียดของสวิตช์ต่ำ นอกจากนี้ทั้งสองแหล่งจ่ายยังสามารถจ่ายกำลังให้กับโหลดได้ในเวลาเดียวกัน และมีการนำพลังงานจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลส่งผ่านไปยังโหลดโดยการชาร์จตัวเก็บประจุซึ่งจะทำให้วงจรมีประสิทธิภาพดีขึ้น และเป็นส่วนช่วยเพิ่มอัตราขยายแรงดันให้สูงขึ้น วงจรนี้ถูกออกแบบให้มีขนาด 100 วัตต์ ทำงานที่ 60 kHz โดยได้จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM พร้อมทั้งอธิบายในแต่ละช่วงการทำงานและผลการจำลองการทำงานของวงจร

คำสำคัญ: วงจรหลายอินพุต, อัตราขยายแรงดันสูง, พลังงานทดแทน

Abstract

This paper presents a high voltage gain double-input DC-DC converter with single primary winding. Distinguish points of the proposed circuit are small numbers of devices and low voltage stress on a power switch. Both sources of the converter are designed to supply power to the load simultaneously. Moreover, energy form a leakage inductance can be sent back to recharged an output capacitor in order to improve efficiency and increase output voltage gain. A 100 W, 60 kHz prototype is analyzed and simulated with PSIM. The simulation results obviously related to the analytical waveform.

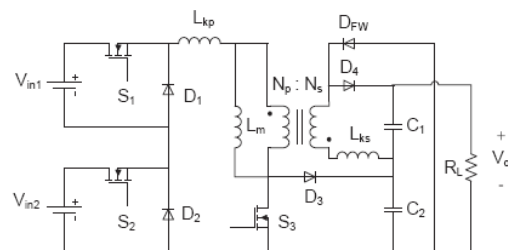
Keywords: Multiple-input, high voltage gain, renewable energy

1. บทนำ

ในปัจจุบันการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนกำลังได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากพลังงานหลักที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติซึ่งนับวันมีแต่จะหมดไป โดยพลังงานทดแทน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม มีข้อดีคือ เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่เกิดมลภาวะ และมีอยู่ทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการนำพลังงานเหล่านี้มาใช้ก็คือ จะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ

ฤดูกาล เวลา และอุณหภูมิ เป็นต้น ดังนั้นในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโดยใช้เพียงแหล่งจ่ายเดียวจึงทำให้ขาดเสถียรภาพแนวทางในการแก้ปัญหานี้ก็คือ การนำพลังงานทดแทนจากหลายแหล่งจ่ายมาทำงานร่วมกัน ที่ผ่านมามีการนำเสนอวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต [1] โดยนำวงจรฟูลบริดจ์ 2 วงจรมาต่อทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง มีข้อดีคือ มีลักษณะเป็นซอฟต์สวิตช์ (soft-switching) แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้สวิตช์หลายตัว ต่อมามีการนำเสนอวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต [2] มีข้อดีคือ มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือ มีเพียงอินพุตเดียวเท่านั้นที่ทำงานในแต่ละเวลา และมีหนึ่งอินพุตต่อหนึ่งขดลวดทางด้านปฐมภูมิทำให้หม้อแปลงมีขนาดใหญ่ จากนั้นจึงได้มีการพัฒนาวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตที่ใช้ขดลวดทางด้านปฐมภูมิร่วมกัน [3] ซึ่งนอกจากจะทำให้หม้อแปลงมีขนาดเล็กลงแล้วยังทำให้ความเครียดของสวิตช์ลดลงเมื่อเทียบกับวงจรแบบเดิม [2] แต่วงจรนี้ยังมีข้อเสียคือ ไม่ได้มีการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลที่จะส่งผลกระทบต่อให้เกิดการสไปค (Spike) และความเครียดสูงที่สวิตช์หลักของวงจรซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและอาจเกิดความเสียหายต่อสวิตช์ได้และมีข้อจำกัดคือ นำไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องการแรงดันเอาต์พุตค่าเท่านั้น

ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตที่มีพื้นฐานมาจากวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยวงจรที่นำเสนอที่มีอัตราขยายแรงดันสูง สามารถลดผลกระทบของตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลในวงจรโดยนำพลังงานจากตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลกลับมาใช้ใหม่ในรูปของการชาร์จตัวเก็บประจุ [4] นอกจากนี้วงจรยังถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานพร้อมกันทั้งสองแหล่งจ่ายหรือจ่ายเพียงแหล่งจ่ายเดียวก็ได้



รูปที่ 1 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต

2. หลักการทำงาน

วงจรต้นแบบในรูปที่ 1 ประกอบด้วยแหล่งจ่าย 2 แหล่งคือ V_{m1} และ V_{m2} โดยมีสวิตช์ S_1 และ S_2 เป็นตัวควบคุมการทำงานเพื่อควบคุมการจ่ายกำลังไฟให้จากแหล่งจ่ายทั้งสอง และมี S_3 เป็นสวิตช์หลักในการควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุต โดยทางด้านเอาต์พุตไดโอด D_4 จะทำหน้าที่นำกระแสเพื่อชาร์จตัวเก็บประจุ C_1 ในขณะที่ไดโอด D_3 จะทำหน้าที่ในการนำพลังงานจากตัวความเหนี่ยวนำรั่วไหลทางด้านปฐมภูมิ L_p มาชาร์จตัวเก็บประจุ C_2 ส่วนไดโอด D_{sw} ทำหน้าที่ให้กระแสจากตัวเหนี่ยวนำรั่วไหล L_m ทางด้านทุติยภูมิไหลผ่านคอนดักเตอร์ตัวเก็บประจุ C_2 ในการอธิบายการทำงานในแต่ละสถานะของแต่ละโหมดที่ทำงานในช่วงสถานะอยู่ตัว จะสมมุติให้สวิตช์แต่ละตัวเป็นอุดมคติ โดยที่ตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็ก L_m มีขนาดใหญ่จนสามารถจ่ายกระแสอย่างต่อเนื่องได้ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีขนาดใหญ่จนทำให้แรงดันที่คร่อมตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีค่าคงที่ วงจรต้นแบบสามารถควบคุมการทำงานได้ในสองโหมดคือ โหมดแหล่งจ่ายทั้งสองทำงานพร้อมกันและ โหมดแหล่งจ่ายเพียงแหล่งเดียวทำงาน

2.1 โหมดทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน

ในโหมดนี้สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ทำงานพร้อมกัน การทำงานแต่ละช่วงเวลาใน 1 คาบการสวิตช์อธิบายได้ดังนี้

ช่วงที่ 1 (t_0-t_1) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 นำกระแสพร้อมกันตัวเหนี่ยวนำ L_m และ L_p ทางด้านปฐมภูมิจะถูกชาร์จจากแรงดัน V_{m1} และ V_{m2} ส่วนทางด้านทุติยภูมิ กระแสจากพลังงานที่สะสมใน L_m จะไหลไปชาร์จตัวเก็บประจุ C_1 ผ่านทางไดโอด D_4 ตามรูปที่ 2(ก)

ช่วงที่ 2 (t_1-t_2) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ยังคงนำกระแส ในขณะที่ยังทางด้านทุติยภูมิกระแสที่ไหลจนทำให้แรงดันทั้งสองข้างของไดโอด D_4 มีค่าเท่ากันจะเปลี่ยนทิศทางการไหล โดยกระแสจะเปลี่ยนไปไหลผ่านไดโอด D_{sw} แทน ตามรูปที่ 2(ข)

ช่วงที่ 3 (t_2-t_3) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 หยุดนำกระแส พลังงานจาก L_p จะไหลไปชาร์จ C_2 ผ่านทางไดโอด D_3 ทางด้านทุติยภูมิกระแสยังคงไหลผ่านไดโอด D_{sw} ตามรูปที่ 2(ค)

ช่วงที่ 4 (t_3-t_4) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ไม่ทำงาน แต่กระแสทางด้านทุติยภูมิจะเปลี่ยนทิศทางการไหลอีกครั้ง โดยกระแสจะเปลี่ยนไปไหลไดโอด D_4 แทน เพื่อกลับไปชาร์จ C_1 ตามรูปที่ 2(ง)

ช่วงที่ 5 (t_4-t_5) พลังงานใน L_p จะปล่อยออกมาจนหมด ทำให้ไดโอด D_3 หยุดนำกระแส ส่วนทางด้านทุติยภูมิจะยังคงมีกระแสไหลในไดโอด D_4 ตามรูปที่ 2(จ)

จากการทำงานแต่ละช่วงเวลาในโหมดนี้สามารถวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุต ได้ดังนี้

$$V_o = \frac{n}{1-D_{q1}} (V_{m1} + V_{m2}) \tag{1}$$

โดยที่ D_{q1} คือ ค่ารอบทำงาน (Duty cycle) ของสวิตช์ในโหมดนี้

2.2 โหมดแหล่งจ่ายทำงานเพียงตัวเดียว

ในกรณีที่แหล่งจ่าย V_{m1} ทำงานเพียงตัวเดียว สวิตช์ S_1 และ S_2 ไม่ทำงาน ส่วนสวิตช์ S_3 นำกระแส วงจรสมมูลจะเป็นไปดังรูปที่ 2(ฉ) และ 2(ช) และเมื่อสวิตช์ S_1 และ S_2 หยุดนำกระแส วงจรสมมูลจะเหมือนกับในโหมดที่ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน ส่วนในกรณีที่แหล่งจ่าย V_{m2} ทำงานเพียงตัวเดียว สวิตช์ S_1 และ S_2 ทำงาน ส่วนสวิตช์ S_3 ไม่ทำงาน โดยวงจรสมมูลในช่วงสวิตช์ทำงานจะเป็นไปดังรูปที่ 2(ซ) และ 2(ฅ)

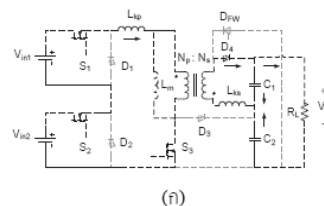
แรงดันเอาต์พุตในกรณีที่ V_{m1} ทำงานเพียงตัวเดียว หาได้จากสมการ

$$V_o = \frac{n}{1-D_{q2}} (V_{m2}) \tag{ค}$$

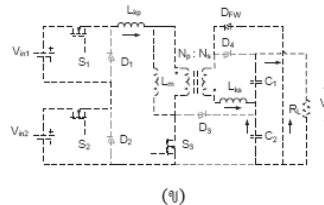
และในกรณีที่ V_{m2} ทำงานเพียงตัวเดียว จะได้

$$V_o = \frac{n}{1-D_{q3}} (V_{m1}) \tag{ค}$$

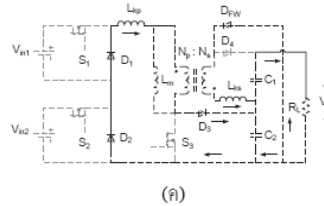
โดยที่ D_{q2} และ D_{q3} คือ ค่ารอบทำงานเมื่อแหล่งจ่าย V_{m1} และ V_{m2} ทำงานเพียงตัวเดียวตามลำดับ



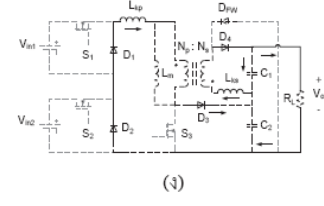
(ก)



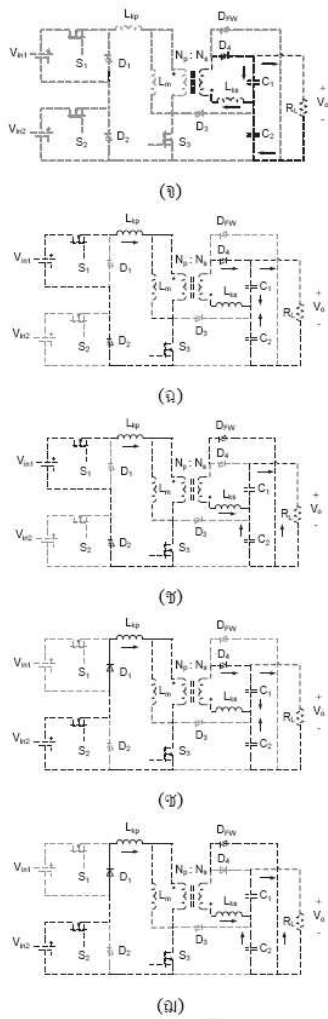
(ข)



(ค)

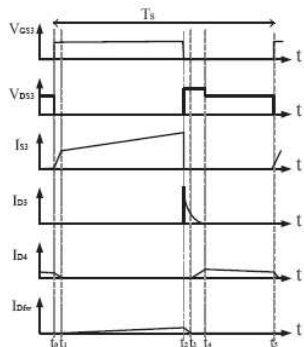


(ง)



รูปที่ 2 การทำงานของวงจรดันแบบครึ่งสองโหมดการทำงานในแต่ละช่วงเวลา

โนรูปที่ 3 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ในวงจรดันแบบในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 3 รูปคลื่นแสดงการทำงานของวงจร

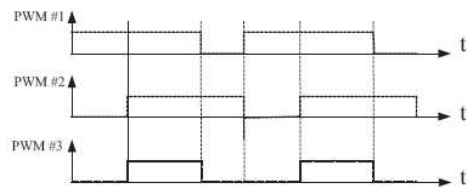
3. การควบคุมการทำงานในแต่ละโหมด

จากสมการที่ (1), (2) และ (3) เมื่อให้ค่าแรงดันเอาต์พุต V_o และอัตราส่วนรอบหม้อแปลง n คงที่ในทุกโหมดการทำงาน จะได้

$$(1 - D_{q1}) = (1 - D_{q2}) + (1 - D_{q3}) \quad (4)$$

ซึ่งความสัมพันธ์ในสมการ (4) ใช้ในการออกแบบสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมสวิตช์ในแต่ละโหมดดังในรูปที่ 4 โดยที่

- PWM #1 เป็นสัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ S_1 และ S_2 ในโหมดแหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียว
- PWM #2 เป็นสัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ S_2 และ S_3 ในโหมดแหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว
- PWM #3 เป็นสัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ในโหมดทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกันพร้อมกัน ซึ่งได้จากการนำสัญญาณ PWM#1 และ PWM#2 มา AND กัน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณควบคุมสวิตช์ในแต่ละโหมด

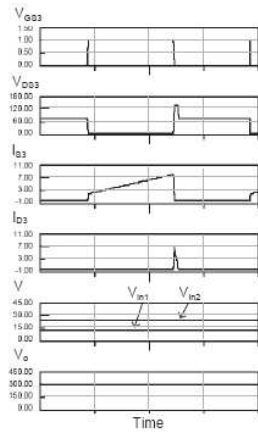
3. ผลการจำลองการทำงาน

วงจรคอนเวอร์เตอร์ดันแบบชนิดสองอินพุต สามารถจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM ในการจำลองจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

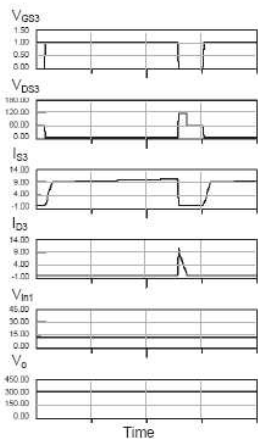
แรงดันอินพุตที่ 1: V_{in1}	= 12 V
แรงดันอินพุตที่ 2: V_{in2}	= 24 V
แรงดันเอาต์พุต: V_o	= 300 V
ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก: L_m	= 124 uH
ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลทางด้านปฐมภูมิ: L_{lp}	= 1 uH
ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลทางด้านทุติยภูมิ: L_{sp}	= 4 uH
ตัวเก็บประจุ: $C_1 = C_2$	= 330 uF
ความถี่ในการสวิตช์: f_s	= 60 kHz
อัตราส่วนหม้อแปลง: n	= 4
กำลังเอาต์พุต: P_{out}	= 100 วัตต์

โดยผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรในโหมดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละโหมด เมื่อสวิตช์ S_2 ซึ่งเป็นสวิตช์หลักของวงจรไม่ทำงาน กระแสที่เกิดจากค่าเหนี่ยวนำรั่วไหล จะไหลไปชาร์จตัวเก็บประจุที่โหนด D_2 ดังแสดงในรูปคลื่นของกระแส I_{D2} โดยในขณะที่เดียวกันก็จะทำให้แรงดันที่คร่อมสวิตช์ S_2 เท่ากับแรงดันที่คร่อม C_2 ซึ่งในช่วงเวลานี้ก็จะเป็นการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจาก

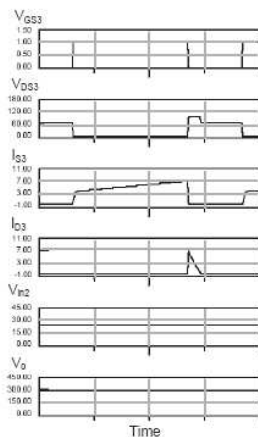
ตัวเหนี่ยวนำร่วไหลไปยัง โหลด ทำให้สามารถลดกำลังสูญเสียที่เกิดจากการสวิตชิ่ง และ ช่วยทำให้ประสิทธิภาพของวงจรดีขึ้น นอกจากนี้การเชื่อมต่อกันของอินพุตกับเอาต์พุตของวงจรผ่านทางไดโอด D_2 ก็จะเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มอัตราขยายแรงดันให้กับวงจร



(ก) โหมดทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน



(ข) แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียว



(ค) แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว

รูปที่ 5 รูปคลื่นของผลการจำลองการทำงานของโหมดต่างๆ

4. สรุป

บทความนี้นำเสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตที่มีอัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้ขดลวดทางค้ำปลุ่มคู่มิตร่วมกัน ซึ่งจากการจำลองการทำงานพบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยได้แสดงให้เห็นถึงการลดผลกระทบที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำร่วไหล โดยการนำกระแสเหนี่ยวนำร่วไหลไปชาร์จตัวเก็บประจุ ซึ่งจะส่งผลให้วงจรมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น มีอัตราขยายแรงดันสูง นอกจากนี้ยังสามารถจ่ายพลังงานพร้อมกันทั้งสองแหล่งจ่ายหรือจ่ายเพียงแหล่งจ่ายเดียวก็ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. M. Chen, Y. C. Liu, and F. Y. Wu, "Multi-input DC/DC converter based on the multiwinding transformer for renewable energy applications," IEEE Trans. on Ind. Appl. ,2002, vol. 38, no.4, pp.1096-1104.
- [2] H. Matsuo, W. Lin, F. Kurokawa, T. Shigemizu, and N. Watanabe, "Characteristics of the multiple-input DC-DC converter," IEEE Trans. on Ind. Electron, 2004. vol. 51, no. 3, pp. 625-63
- [3] Q. Wang, J. Zhang, X. Ruan, and K. Jin. "A Double-Input Flyback DC/DC Converter with Single Primary Winding" Energy Conversion Congress and Exposition, IEEE, 2010, pp. 1938-1944
- [4] C.M. Hong, L.S. Yang, T.J. Liang, and J.-F. Chen. "Novel bidirectional DC-DC converter with high step-up/down voltage gain" ECCE, IEEE, 2009, pp. 60-66



ชัชชัย เครือเดียว: นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ งานวิจัยที่สนใจ: Power Electronics



จิรวัดน์ ฉายแสงเจริญ: นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ งานวิจัยที่สนใจ: Power Electronics



กุสุมาลย์ เจลิมยานนท์: อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ม.สงขลานครินทร์ การศึกษา: วศ.บ วิศวกรรมไฟฟ้า ม.สงขลานครินทร์, M.S. and Ph.D. Degrees from the University of Colorado at Boulder,

USA งานวิจัยที่สนใจ: Power Electronics



อนวัตร ประเสริฐสิทธิ์: อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ม.สงขลานครินทร์ การศึกษา: วศ.บ วิศวกรรมไฟฟ้า ม.สงขลานครินทร์, M.S. Degree from The George Washington University, USA งานวิจัยที่

สนใจ: Power Electronics, Electric Machines