



วงจรอ่อนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาท์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่
สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานกำลังไฟฟ้า

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

ชัชชัย 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

ชื่อวิทยานิพนธ์ งจรอคونเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาท์พุตที่รวมวงจรชาร์จ
แบตเตอรี่สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานกำลังไฟฟ้าต่ำ¹
ผู้เขียน นายชวัชชัย เครือเตี้ย
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษมาลย์ เนลิมยานนท์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐรู jincaipher)	
..... กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยุทธ ชาติชนะอีนยง)	
..... กรรมการ (ดร.วฤทธิ์ วิชกุล)	
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษมาลย์ เนลิมยานนท์)	
<p>บันทิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์คับบันนี้เป็น² ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า</p> <p>..... (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ) คณบดีบันทิตวิทยาลัย</p>	

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วน
เกี่ยวข้องทุกท่าน ไว้ ณ ที่นี่

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

ลงชื่อ.....
(นายชวัชชัย เครือเตี้ย)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้^{ที่}ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายชวัชชัย เครือเตี๋ยว)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	wangjorconwero' teoriแบบหลายอินพุตหลายเอาท์พุตที่รวมวงจรชาร์จ
ผู้เขียน	แบบเตอร์รีสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานกำลังไฟฟ้าต่ำ
สาขาวิชา	นายชวัชชัย เครือเตี้ย
ปีการศึกษา	วิศวกรรมไฟฟ้า
	2555

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบเครื่อข่ายเซนเซอร์ไรส์สายมีปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งคือการพัฒนาแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับตัวเซนเซอร์โภนดซึ่งในปัจจุบันจะใช้แบบเตอร์รีเป็นหลักเนื่องจากความจุของแบบเตอร์รีจะเป็นตัวกำหนดค่าบุกริการใช้งานของเซนเซอร์โภนด โดยในการนำเครื่อข่ายเซนเซอร์ไรส์ไปประยุกต์ใช้ในงานที่ยากแก่การเข้าถึงตัวเซนเซอร์โภนด การเปลี่ยนแบบเตอร์รีก็จะเป็นปัญหาสำคัญ แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การแปลงพลังงานรูปแบบอื่นๆ ที่แห่งตัวอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ทั่วไป เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม มาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้แก่เซนเซอร์โภนด แต่ข้อจำกัดของพลังงานเหล่านี้คือขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ฤดูกาล เวลา และอุณหภูมิ จึงทำให้ระบบขาดเสียริภาพ นอกจ้านี้พลังงานเหล่านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงกับตัวเซนเซอร์โภนด เนื่องจากระดับและรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าไม่ตรงตามที่เซนเซอร์โภนดต้องการ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์รวมแบบหลายอินพุตหลายเอาท์พุตที่มีวงจรชาร์จแบบเตอร์รีขนาด 20 วัตต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเซนเซอร์โภนด โดยอินพุตทั้งสองของวงจรต้นแบบมาจากแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนต่างๆ มีการจัดการพลังงานเพื่อทำให้สามารถควบคุมใช้พลังงานจากแต่ละแหล่งจ่ายทางด้านอินพุตได้อย่างเหมาะสม ทางด้านเอาท์พุตของวงจรสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ที่สองระดับแรงดันคือ 5 โวลท์ และ 12 โวลท์ และมีวงจรป้อนกลับเพื่อรักษาระดับแรงดันด้านด้านเอาท์พุตให้คงที่ นอกจ้านี้วงจรยังถูกออกแบบให้สามารถนำกำลังสูญเสียจากค่าความเห็นี่ยวนำร่วมกับวงจรของหม้อแปลงมาชาร์จแบบเตอร์รีเพื่อลดความเครียดที่สวิตซ์และทำให้วงจรมีประสิทธิภาพมากขึ้นและใช้แบบเตอร์รีเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับวงจร การทำงานแบ่งเป็น 3 โหมดคือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบบเตอร์รี และโหมดเบรกอัพ โดยประสิทธิการทำงานเฉลี่ยของวงจรต้นแบบประมาณร้อยละ 80 คำสำคัญ : วงจรคอนเวอร์เตอร์หลายอินพุต, วงจรคอนเวอร์เตอร์หลายเอาท์พุต, แหล่งจ่ายไฟฟ้า, เซนเซอร์โภนด, แบบเตอร์รี

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 การตรวจสอบสาร	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 ตอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต	8
2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรดีซี-ดีซีตอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต	8
2.1.2 การต่อวงจรดีซี-ดีซีตอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตที่ใช้คลาดทาง ด้านปฐมภูมิเพียงชุดเดียวประเทต่างๆ	9
2.2 วงจร ดีซี-ดีซี ตอนเวอร์เตอร์แบบมีหม้อแปลงแยกกราวด์ออกจากกัน	11
2.2.1 วงจรฟลูบริดจ์ตอนเวอร์เตอร์และฮาล์ฟบริดจ์ตอนเวอร์เตอร์	11
2.2.2 วงจรฟอร์เวิร์คตอนเวอร์เตอร์	13
2.2.3 วงจรพุช-พุลตอนเวอร์เตอร์	13
2.2.4 วงจรฟลายแบคตอนเวอร์เตอร์	14
2.3 เครื่องข่ายเซอร์ไวส์สาย	15
2.3.1 การใช้กำลังไฟฟ้าในเซ็นเซอร์ไทนด์	15
2.3.2 แหล่งพลังงานสำหรับเครื่องข่ายเซอร์ไวส์สาย	15
2.4 การพัฒนารูปแบบของวงจรต้นแบบ	16
2.5 การเลือกรูปแบบของวงจรต้นแบบ	17
2.5.1 วงจรหลายอินพุต	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
สารบัญ	
2.5.2 วงจรหลักเอาท์พุต	18
2.5.3 วงจรแบตเตอรี่	18
2.6 วงจรต้นแบบ	19
2.6.1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่	20
2.6.2 โหมดปกติ	20
2.6.3 โหมดแบ็คอัพ	20
2.7 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรต้นแบบ	23
2.8 การจัดการพลังงาน	26
3. การออกแบบวงจร	27
3.1 การออกแบบวงจร	27
3.1.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบวงจร	27
3.1.2 การหาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่ารอบทำงานของแต่ละสวิตซ์	28
3.1.3 การออกแบบหม้อแปลง	29
3.2 การจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบ	32
3.2.1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode)	33
3.2.2 โหมดปกติ (Normal mode)	37
3.2.3 โหมดแบ็คอัพ (Backup mode)	40
3.3 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของวงจรต้นแบบ	43
3.4 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน	45
3.4.1 วงจรไฟเลี้ยง	46
3.4.2 วงจรสร้างสัญญาณ PWM, สัญญาณควบคุมรีเล耶	47
3.4.3 วงจรควบคุมสวิตซ์	49
3.4.4 วงจรป้อนกลับแรงดัน	50
3.4.5 วงจรชาร์จแบตเตอรี่	50
3.5 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร	51
3.6 วงจรต้นแบบ	52

สารบัญ(ต่อ)	หน้า
สารบัญ	
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	53
4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบ	54
4.1.1 โใหมดชาร์จแบตเตอรี่	54
4.1.2 โใหมดปกติ	59
4.1.3 โใหมดแบ็คอัพ	64
4.2 ผลการทำงานของวงจรควบคุม	67
4.2.1 การหาประสิทธิภาพของวงจรในแต่ละโใหมด	67
4.2.2 การทดสอบการคงค่าแรงดัน	68
1) โใหมดปกติ	68
2) โใหมดชาร์จแบตเตอรี่	76
3) โใหมดแบ็คอัพ	85
4) การเปรียบเทียบการคงค่าแรงดัน	87
4.2.3 การทดสอบการจัดการพลังงานของแต่ละอินพุต	89
1) โใหมดปกติ	89
2) โใหมดชาร์จแบตเตอรี่	94
3) การเปรียบเทียบค่ารอบการทำงาน	100
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการทำงานในโใหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโใหมดปกติ	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 ตารางเกณฑ์มือแปลงเพื่อใช้ในการออกแบบ	115

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

สารบัญ

ภาคผนวก ข ตารางส่ายตัวนำสำหรับใช้ในการออกแบบหม้อแปลง	118
ภาคผนวก ค การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน	120
ประวัติผู้เขียน	125

รายการตาราง

หน้า

ตาราง

2-1	หลักในการพิจารณาในการเลือกวงจรและรูปแบบการต่อเซลล์แหล่งจ่าย ของวงจรหลายอินพุต	17
3-1	การทahanาดของหม้อแปลง	30
3-2	การทahanาดสาย	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	ผลการทดลองเมื่อค่าโคลดเปลี่ยนแปลงโดยที่แรงดันแบบเตอร์เริ่กที่	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	วงจรฟลัมเบคคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต	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	วงจรสากล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	12
2-9	วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	13
2-10	วงจรพุช-พุลคอนเวอร์เตอร์	13
2-11	วงจรฟลัมเบคคอนเวอร์เตอร์	14
2-12	การต่อแบตเตอรี่	19
2-13	วงจรสื่นแบบ	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_{ol} และ V_{o2} ตามลำดับ	36
3-6	กระแส I_p , I_{Do1} , I_{Do2} , I_{ol} และ I_{o2} ตามลำดับ	36

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบ	
3-7 แรงดัน V_{gsP} , V_{dsP} , 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_{sP} , V_{s2} , V_{o1} และ V_{o2} ตามลำดับ	39
3-12 กระแส I_p , I_{DoP} , 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_{sP} , V_{s2} , V_{o1} และ V_{o2} ตามลำดับ	42
3-16 กระแส I_p , I_{DoP} , I_{Do2} , I_{o1} และ I_{o2} ตามลำดับ	42
3-17 บล็อกໄ/doะแกรมการทำงานของวงจร	43
3-18 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจร	44
3-19 การออกแบบวงจรควบคุม	45
3-20 วงจรไฟเลี้ยง	46
3-21 วงจรกำลัง	46
3-22 การต่อวงจรไฟเลี้ยงเข้ากับวงจรกำลัง	47
3-23 การต่อໄ/do โอด D_{block} เพื่อป้องกันแบบเตอร์ลั๊ดวงจรตอนที่สวิตช์ S_3 ทำงาน	47
3-24 วงจรสมมูลอย่างง่ายของมอสเฟต	48
3-25 วงจรควบคุมสวิตช์	49
3-26 หม้อแปลงพัลส์ที่ใช้ในวงจร	49
3-27 วงจรวงจรป้อนกลับแรงดัน	50
3-28 วงจาราร์จแบตเตอรี่	51
3-29 วงจรต้นแบบ	52
3-30 แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต (Li-Fe)	52
4-1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	54
4-2 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_1 (V_{gs1}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1}) และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 (I_{ds1}) ตามลำดับ	55

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

ภาพประกอบ

4-3 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_2(V_{gs2})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_2(V_{ds2})$ และกระแสที่ไหลดผ่านสวิตช์ $S_2(I_{ds2})$ ตามลำดับ	55
4-4 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลดทางด้านปฐมภูมิ (I_p) ตามลำดับ	56
4-5 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลดผ่านสวิตช์ $S_4(I_{ds4})$ ตามลำดับ	56
4-6 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลดโดยออด D_{sn} ตามลำดับ	57
4-7 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลดทางด้านทุติยภูมิ (I_o) ตามลำดับ	57
4-8 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลดทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2}) ตามลำดับ	58
4-9 แรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{ol})	58
4-10 แรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{o2})	59
4-11 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_1(V_{gs1})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_1(V_{ds1})$ และกระแสที่ไหลดผ่านสวิตช์ $S_1(I_{ds1})$ ตามลำดับ	60
4-12 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_2(V_{gs2})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_2(V_{ds2})$ และกระแสที่ไหลดผ่านสวิตช์ $S_2(I_{ds2})$ ตามลำดับ	60
4-13 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลดทางด้านปฐมภูมิ (I_p) ตามลำดับ	61
4-14 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลดผ่านสวิตช์ $S_4(I_{ds4})$ ตามลำดับ	61
4-15 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลดโดยออด D_{sn} ตามลำดับ	62
4-16 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลดทางด้านทุติยภูมิ (I_{ol}) ตามลำดับ	62
4-17 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลดทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2}) ตามลำดับ	63
4-18 แรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{ol})	63

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบ	
4-19 แรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{o2})	64
4-20 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ <input type="checkbox"/> โหลดทางด้านปัจจุบัน (I_p) ตามลำดับ	64
4-21 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ <input type="checkbox"/> โหลดผ่านสวิตช์ $S_4(I_{ds4})$ ตามลำดับ	65
4-22 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ <input type="checkbox"/> โหลดทางด้านทุติยภูมิ (I_o) ตามลำดับ	65
4-23 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ <input type="checkbox"/> โหลดทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2}) ตามลำดับ	66
4-24 แรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{ol})	66
4-25 แรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{o2})	67
4-26 ภาพรวมของการทดลอง	68
4-27 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	69
4-28 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	70
4-29 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	70
4-30 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	71
4-31 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	72
4-32 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	72
4-33 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	73
4-34 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	73
4-35 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	74
4-36 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	75
4-37 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	75
4-38 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	76
4-39 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	76
4-40 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	77
4-41 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	77

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบ	
4-42 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	79
4-43 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	79
4-44 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	80
4-45 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	80
4-46 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	82
4-47 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	82
4-48 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	83
4-49 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	83
4-50 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	85
4-51 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	86
4-52 ค่ารอบทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	86
4-53 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	87
4-54 การเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{ol} ในกรณีที่ 1	87
4-55 การเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{ol} ในกรณีที่ 2	88
4-56 การเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{ol} ในกรณีที่ 3	88
4-57 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง	90
4-58 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง	90
4-59 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง	91
4-60 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง	91
4-61 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	92
4-62 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	93
4-63 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	93
4-64 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง	94
4-65 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง	94
4-66 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุตที่ 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 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{ol}) เปลี่ยนแปลง โหมดปกติ	102
4-76 ประสิทธิภาพของวงจรเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{ol}) เปลี่ยนแปลง โหมดชาร์จแบตเตอรี่	102
4-77 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{ol}) เปลี่ยนแปลง กรณีที่ 1	103
4-78 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{ol}) เปลี่ยนแปลง กรณีที่ 2	103
4-79 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{ol}) 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 วงจรอุปคุมสวิตช์	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 ดังนั้นหากจำนวนเซนเซอร์โหนดที่นำไปประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีไม่นักหรือผู้ใช้สามารถเข้าถึงตัวเซนเซอร์โหนดได้สะดวก การเปลี่ยนแบตเตอรี่ไม่ใช่ปัญหา นอกจาคนี้ในงานที่เซนเซอร์โหนดทำงานในช่วงเวลาสั้นๆ และ/หรือสามารถทิ้งเซนเซอร์โหนดเหล่านั้นไว้ได้ก็หมายความว่า กับการใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า แต่ในทางตรงกันข้ามหากมีการใช้เซนเซอร์โหนดเป็นจำนวนมากและ/หรือติดตั้งอยู่ในสถานที่ที่ยากแก่การเข้าถึงตัวเซนเซอร์โหนด การเปลี่ยนแบตเตอรี่จะเป็นปัญหาสำคัญ ซึ่งหนึ่งในแนวทางในการแก้ปัญหาเหล่านี้ที่น่าสนใจก็คือ การแปลงพลังงานรูปแบบอื่นๆ ซึ่งแห่งตัวอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ทั่วไป เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม มาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟแก่เซนเซอร์โหนด อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของพลังงานเหล่านี้คือปริมาณจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ฤดูกาล เวลา และอุณหภูมิ จึงอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ นอกจากนี้ พลังงานเหล่านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงกับตัวเซนเซอร์โหนด เนื่องจากระดับและรูปแบบของแรงดันไฟฟ้ายังไม่ตรงตามที่เซนเซอร์โหนดต้องการ จึงจำเป็นต้องใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์เพื่อปรับเปลี่ยนระดับและรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม แต่เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายพลังงานเหล่านี้ไม่มีความแน่นอน เพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังที่กล่าวมา ดังนั้นการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานเดียวจึงอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพและอาจมีกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอในบางช่วงเวลาที่เซนเซอร์โหนดมีความต้องการการใช้มาก ดังนั้นในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าจึงควรรวมแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลายชนิดเข้าด้วยกัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น โดยที่ผ่านในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีหลายแหล่งจ่าย จะใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งวงจรต่อหนึ่งแหล่งจ่าย แล้วนำกำลังไฟฟ้าที่ได้มาจ่ายให้แก่โอลด์ [1]-[3] ทำให้ระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นตามจำนวนแหล่งจ่ายไฟฟ้า และนอกจากนี้ยังทำให้ระบบมีประสิทธิภาพ

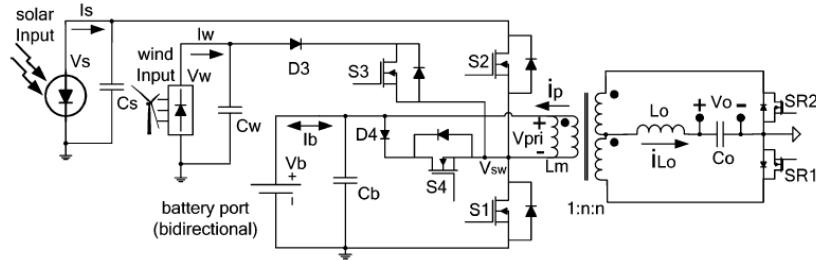
ลดลงเนื่องจากจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มขึ้น ต่อมาได้มีการพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์ โดยการรวมวงจรแต่ละแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลายๆ แหล่งเข้าด้วยกันให้เป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์รวม (Integrated converter) เพียงวงจรเดียวซึ่งทำให้วงจรคอนเวอร์เตอร์ให้มีขนาดเล็กลง [4] และมีประสิทธิภาพดีขึ้น อีกทั้งในรากีตามเซนเซอร์โโนนดที่ประยุกต์ใช้งานในบริเวณเดียวกันอาจมีด้วยกันหลายชนิดหรืออาจมีอุปกรณ์อื่นๆ ร่วมทำงานอยู่ด้วย วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่พัฒนาเพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าจึงอาจจำเป็นต้องมีระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาพุตที่แตกต่างกันออกไป

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบและสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์รวมแบบหลายอินพุตหลายเอาท์พุตที่มีวงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเซนเซอร์โโนนดโดยอินพุตของวงจรจะเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีจากพลังงานหลายๆ แหล่งจ่าย โดยมีการเพิ่มส่วนของแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในกรณีที่พลังงานจากแหล่งจ่ายตามธรรมชาติไม่เพียงพอ ซึ่งจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพของระบบให้นำกัน ทางด้านเอาท์พุตของวงจรสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ที่แรงดันหลายระดับ โดยในการออกแบบจะจะคำนึงถึงอายุการใช้งานและเสถียรภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นหลัก รวมทั้งจะจัดตั้งแบบยังต้องสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีโครงสร้างของวงจรที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปเพื่อให้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้จริงได้ โดยจะทำการวิเคราะห์ออกแบบ กำหนด ใหม่ของการทำงาน สร้างและทดสอบวงจรเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาท์พุตต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

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

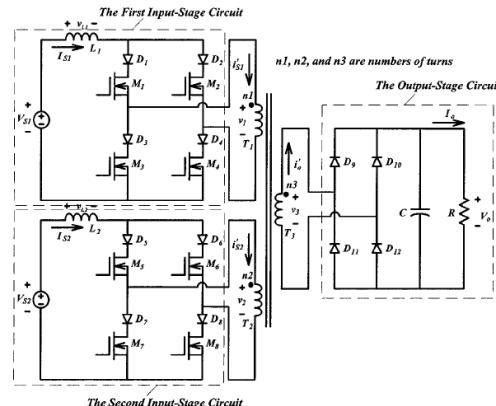
งานวิจัยนี้เขียนโดย Zhijun Quan และคณะได้เสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์รูปแบบใหม่ที่มีการเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้า 4 ส่วนเข้าด้วยกัน ประกอบไปด้วย แหล่งจ่าย 2 แหล่ง แบตเตอรี่ และโหลดดังแสดงในรูปที่ 1-1 รูปแบบของวงจรจะมีลักษณะพื้นฐานมาจากวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์ (Half-bridge converter) แต่จะเพิ่มในส่วนของสวิตช์ 2 ตัว และไอดิオคอก 2 ตัว ทางด้านทุกด้านของหม้อแปลงจะมีการต่อวงจรเรียงกระแสแบบซิงโกรนัส (Synchronous rectifiers) เพื่อลดกำลังสูญเสียจากการนำกระแส (Conduction loss) วงจรนี้หมายความว่ารับประยุกต์ใช้กับระบบพลังงานทดแทนที่ใช้กับงานที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยใช้การควบคุมแบบวงรอบปิด



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]

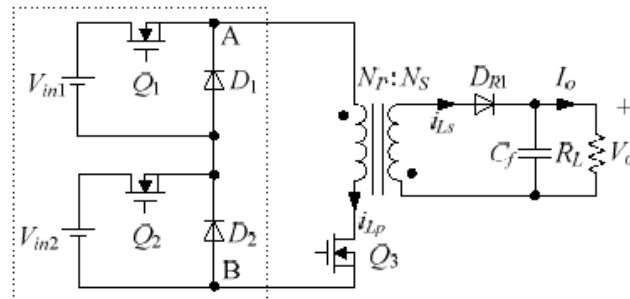
งานวิจัยนี้เขียนโดย Yaow-Ming Chen และคณะ ได้เสนอวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตโดยในวงจร มีขั้นตอนของหม้อแปลงจำนวน 3 ชุด ใช้หลักการของการรวมฟลักซ์แม่เหล็ก เพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโหลด ทำให้โดยการต่อตัวเหนี่ยวนำเข้าไปในแต่ละแหล่งจ่ายเพื่อให้เป็นแหล่งจ่ายกระแส ทำให้วงจรสามารถทำงานที่แรงดันของแต่ละแหล่งจ่ายมีความแตกต่างกัน และสามารถทำงานพร้อมกันได้ นอกจากนี้สวิตช์แต่ละตัวของแต่ละแหล่งจ่ายจะถูกต่ออนุกรมด้วยไอดิโอดเพื่อป้องการไฟลั่นกลับของกำลังไฟฟ้าจากอิกแหล่งจ่าย



ภาพประกอบ 1-2 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต [2]

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

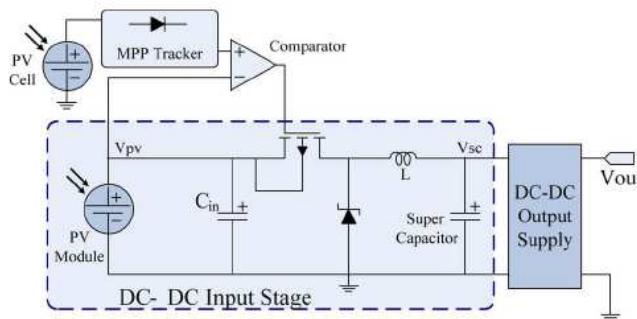
งานวิจัยนี้เขียนโดย Qin Wang และคณะ ได้เสนอวงจรฟลายแบคค่อนเวอร์เตอร์ที่มีสองอินพุตโดยการใช้ขั้นตอนทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงเพียงชุดเดียว เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรฟลายแบคค่อนเวอร์เตอร์ที่มีสองอินพุตแบบเดิม วงจนนี้มีข้อดีกว่าคือ ความเรียบของสวิตช์ลดลงและสามารถทำงานพร้อมกันทั้งสองแหล่งจ่าย หรือทำงานเพียงแหล่งจ่ายเดียว ก็ได้ นอกจากนี้ยังใช้จำนวนอุปกรณ์น้อยกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรดีขึ้น



ภาพประกอบ 1-3 วงจรฟลักแบนคอกอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต [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 วัตถุประสงค์ของการออกแบบ

- 1) เพื่อศึกษารูปแบบของวงจรคอกอนเวอร์เตอร์แบบ-half bridge อินพุตในรูปแบบต่างๆ
- 2) เพื่อศึกษารูปแบบของวงจรคอกอนเวอร์เตอร์แบบ-half bridge เอาท์พุตในรูปแบบต่างๆ
- 3) เพื่อออกรูปแบบและสร้างวงจรคอกอนเวอร์เตอร์รวมแบบ-half bridge อินพุต-half bridge เอาท์พุต ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

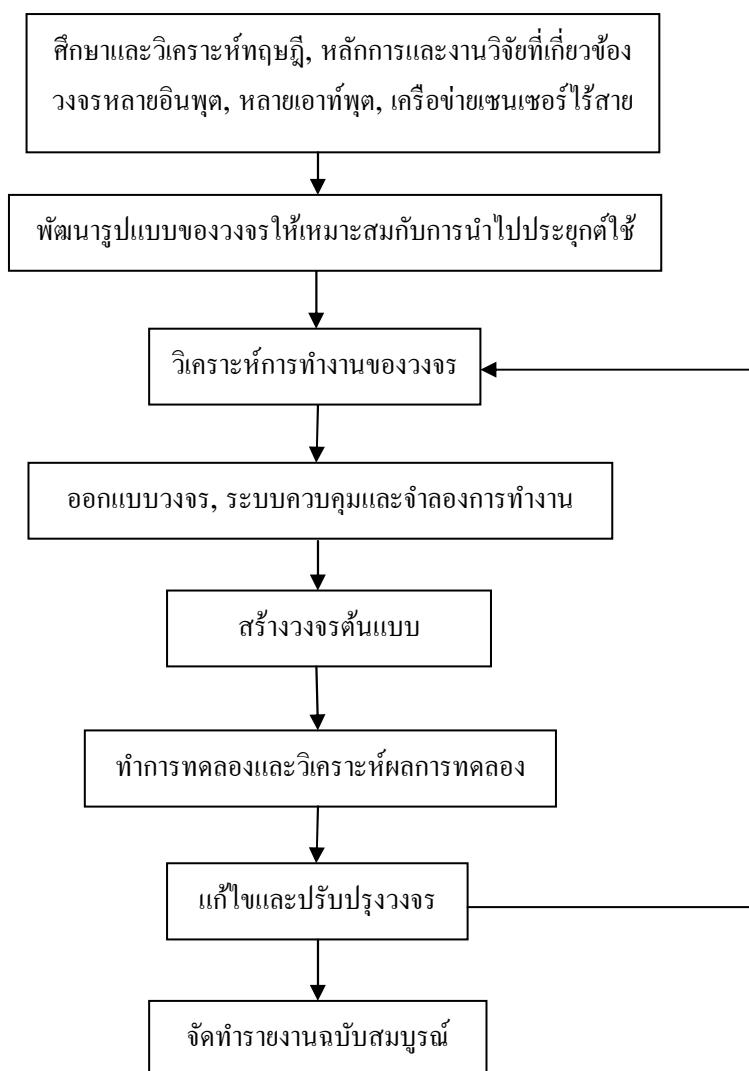
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ต้นแบบของวงจรคอกอนเวอร์เตอร์แบบ-half bridge อินพุต-half bridge เอาท์พุต
- 2) สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเครื่องข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ออกแบบแบบสำรวจเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ เตอร์วัมขนาด 20 วัตต์ โดยมีสองอินพุต สองเอาท์พุต และส่วนของแบตเตอรี่สำรองเป็นแหล่งจ่ายไฟสำรอง
- 2) ออกแบบวงจรให้แรงดันอินพุตทั้งสองเท่ากับ 30 โวลท์
- 3) ออกแบบวงจรให้มีค่าแรงดันพิกัดทางเอาท์พุตเท่ากับ 5 โวลท์ (1 แอมป์) และ 12 โวลท์ (1.5 แอมป์)
- 4) ออกแบบวงจรให้มีค่าแรงดันสำรองแบตเตอรี่เท่ากับ 24 โวลท์

1.6 วิธีการวิจัย (Methodology)



1.7 แผนการดำเนินงาน

ปีการศึกษาที่ 1

ปีการศึกษาที่ 2

บทที่ 2

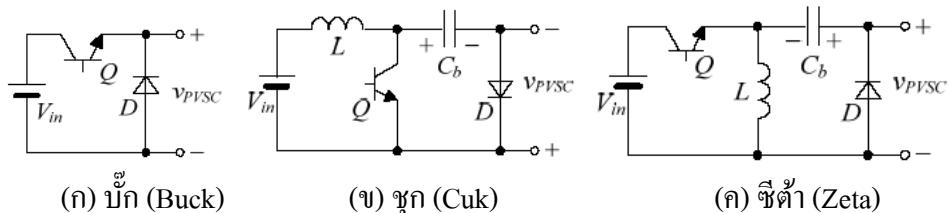
ทฤษฎีและหลักการ

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

2.1.1 ໂຄງສ້າງພື້ນຖານຂອງวงຈາກດີຊື່-ດີຊື່ຄອນເວອຣ໌ເຕອຮ໌ແບນຫລາຍອິນພຸດ

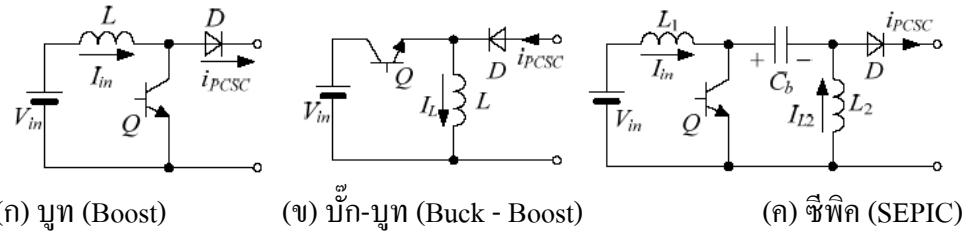
ໂຄງສ້າງພື້ນຖານຂອງวงຈາກດີຊື່-ດີຊື່ຄອນເວອຣ໌ເຕອຮ໌ແບນຫລາຍອິນພຸດ ຈະແປ່ງອອກເປັນ 2 ສ່ວນ ອື່ນສ່ວນທີ່ເປັນເໜີລົດແຫລ່ງຈ່າຍໄຟຟຳທີ່ເຮືອກວ່າ ເໜີລົດແຫລ່ງຈ່າຍແບນພັລສີ (Pulsating source cell: PSC) ແລະ ສ່ວນທີ່ເປັນເໜີລົດຂອງຕົວກອງທາງດ້ານເອາຫຼຸດ (Output filter cell: OFC) ໂດຍເໜີລົດແຫລ່ງຈ່າຍແບນພັລສີຈະແປ່ງອອກເປັນ 2 ປະເທດ ອື່ນເໜີລົດແຫລ່ງຈ່າຍແບນພັລສີໜີດແຮງດັນ (Pulsating voltage-source cell: PVSC) ແລະ ເໜີລົດແຫລ່ງຈ່າຍແບນພັລສີໜີດກະຮແສ (Pulsating current-source cell: PCSC)

ເໜີລົດແຫລ່ງຈ່າຍແບນພັລສີໜີດແຮງດັນ (Pulsating voltage-source cell: PVSC) ປະເທດຕ່າງໆ ແສດງດັງກາພປະກອບ 2-1 ແຫລ່ງຈ່າຍປະເກທນີ້ສາມາຄົນນຳແຕ່ລະເໜີລົດມາຕ່ອນນານ ທີ່ອຕ່ອນຸ່ມກັບເໜີລົດຂອງຕົວກອງທາງດ້ານເອາຫຼຸດກີ່ໄດ້ເນື່ອງຈາກເປັນແຫລ່ງຈ່າຍແບນພັລສີໜີດ ແຮງດັນ ດັ່ງນັ້ນຈຶ່ງຕ້ອງຕ່ອກກັບຕົວກອງຄວາມຄື່ຕໍ່ໜີດແຮງດັນ (Voltage-type low-pass filter) ໂດຍການຕ່ອເຂົ້າກັບຕົວເໜີນຍຳນຳແລະຕົວເກີ່ນປະຈຸດັງແສດງໃນກາພປະກອບທີ່ 2-3(ຫ) ແລະ (ຄ)

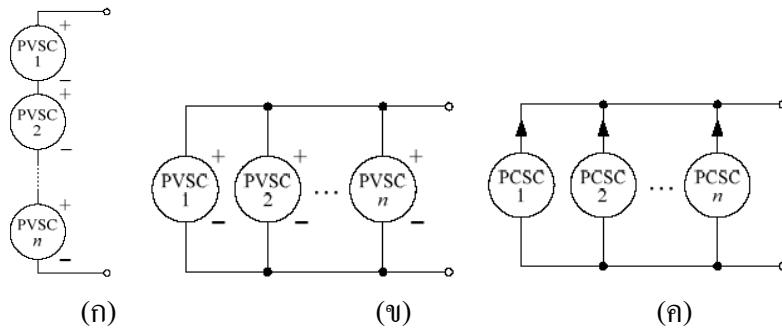


ກາພປະກອບ 2-1 ເໜີລົດແຫລ່ງຈ່າຍແບນພັລສີໜີດແຮງດັນປະເທດຕ່າງໆ [5]

ເໜີລົດແຫລ່ງຈ່າຍແບນພັລສີໜີດກະຮແສ (Pulsating current-source cell: PCSC) ປະເທດຕ່າງໆ ແສດງດັງກາພປະກອບ 2-2 ເໜີລົດແຫລ່ງຈ່າຍປະເກທນີ້ສາມາຄົນຕ່ອແບນບໍານານເຂົ້າກັບເໜີລົດຂອງຕົວກອງທາງດ້ານເອາຫຼຸດໄດ້ເພີ່ມອຍ່າງເດີຍວ່າເກີ່ນນັ້ນ ເນື່ອງຈາກເປັນແຫລ່ງຈ່າຍແບນພັລສີໜີດ ກະຮແສ ດັ່ງນັ້ນຈຶ່ງຕ້ອງຕ່ອດົກກອງຄວາມຄື່ຕໍ່ໜີດກະຮແສ (current-type low-pass filter) ໂດຍການຕ່ອເຂົ້າກັບຕົວເກີ່ນປະຈຸດັງແສດງໃນກາພປະກອບ 2-3(ກ)



ภาพประกอบ 2-2 เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ชนิดกระแสประภาคต่างๆ [5]

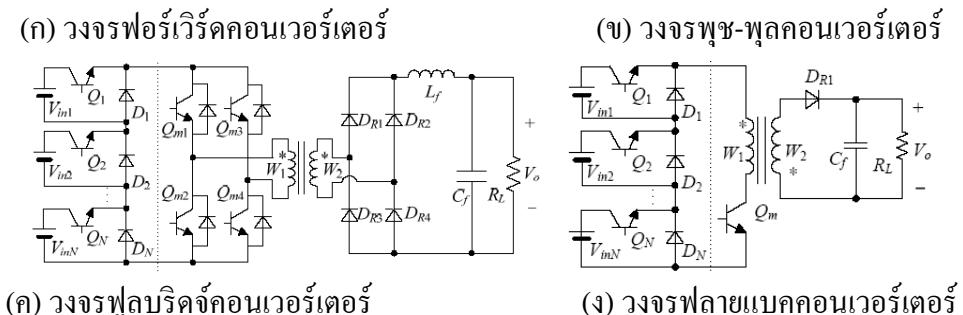
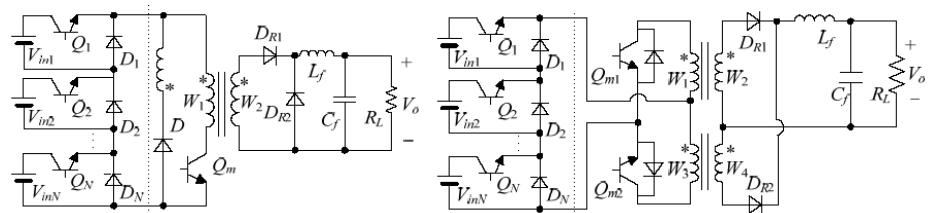


ภาพประกอบ 2-3 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ประภาคต่างๆ [5]

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

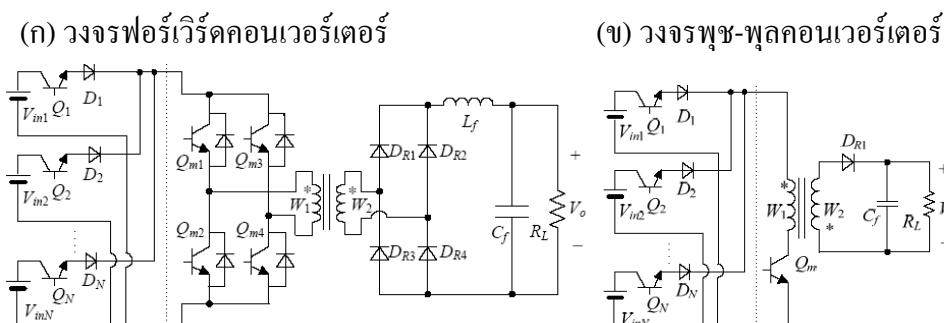
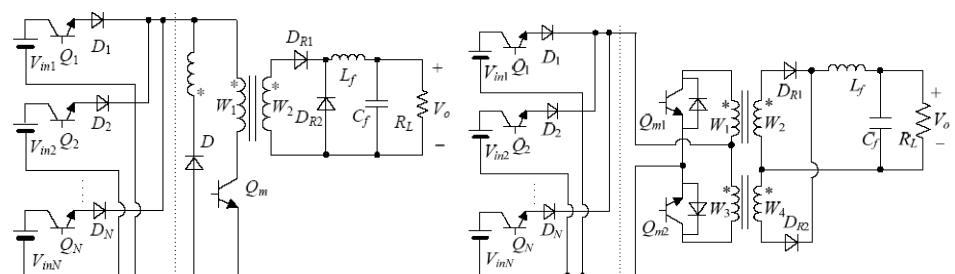
2.1.2 การต่อวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตที่ใช้บัดลอดทางด้านปฐมภูมิเพียงชุดเดียวประภาคต่างๆ

เซลล์แหล่งจ่ายแบบพัลส์ทั้งสองชนิดสามารถนำมาต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์พื้นฐานชนิดมีหม้อแปลงแบบต่างๆ ได้แก่ วงจรฟอร์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์, วงจรฟลัมเบคคอนเวอร์เตอร์, วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์, วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ และวงจรพุชพุลคอนเวอร์เตอร์ ได้ ภาพประกอบ 2-4 แสดงตัวอย่างการต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดแรงดันแบบอนุกรมกับวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ ภาพประกอบ 2-5 แสดงตัวอย่างการต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดแรงดันแบบขนานกับวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ และภาพประกอบ 2-6 แสดงตัวอย่างการต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลส์ชนิดกระแสแบบขนานกับวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ



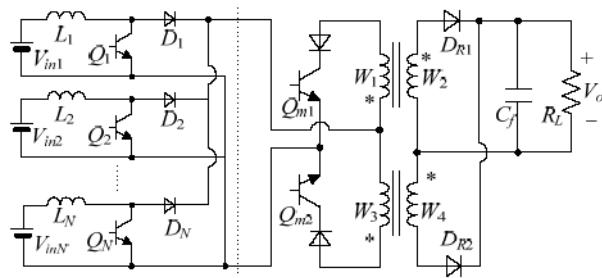
ກາພປະກອນ 2-4 ກາຣຕ່ອ່ງເຊລລ໌ແລ້ວຈ່າຍພັດສໍ້ນິດແຮງດັນຕ່ອນບຸນກຽມ

ກັບວິຈາກຄອນເວອ້ເຕອ້ວໜິດຕ່າງໆ [5]

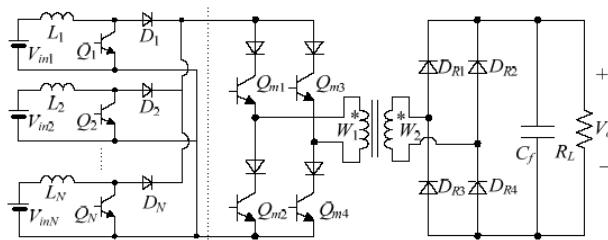


ກາພປະກອນ 2-5 ກາຣຕ່ອ່ງເຊລລ໌ແລ້ວຈ່າຍພັດສໍ້ນິດແຮງດັນແບບຂານານ

ກັບວິຈາກຄອນເວອ້ເຕອ້ວໜິດຕ່າງໆ [5]



(ก) วงจรพุช-พุดค่อนเวอร์เตอร์



(ข) วงจรฟูลบริดจ์ค่อนเวอร์เตอร์

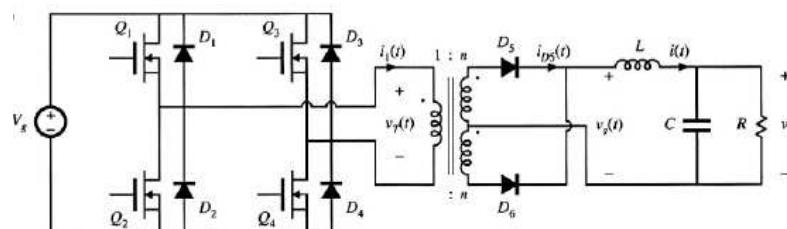
ภาพประกอบ 2-6 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายพลังสัมบูรณ์แบบบนนาน

กับวงจรค่อนเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ [5]

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

ในการนำวงจรค่อนเวอร์เตอร์ไปประยุกต์ใช้ในบางงานที่ต้องการแรงดันเอาท์พุต หลายระดับ วงจรค่อนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้จะเป็นแบบที่มีหม้อแปลงเพื่อใช้เป็นส่วนแยกกราวด์ระหว่างอินพุตกับเอาท์พุตและสามารถขยายจำนวนเอาท์พุตได้มากกว่า 1 เอาท์พุต ซึ่งวงจรดีซี-ดีซี ค่อนเวอร์เตอร์ต่างๆ มีดังนี้

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

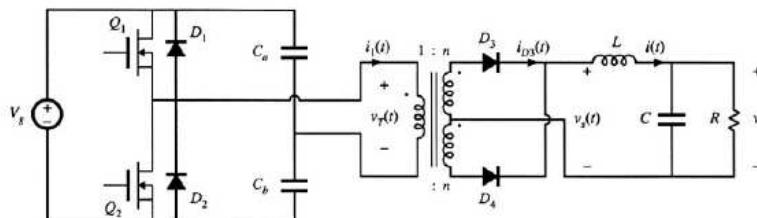


ภาพประกอบ 2-7 วงจรฟูลบริดจ์ค่อนเวอร์เตอร์ [7]

จากภาพประกอบ 2-7 วงจรนี้ขาดลวดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจะต่อแบบ มีแทปกลาง (Center-tapped) โดยอัตราส่วนหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิต่อด้านทุติยภูมิทั้งสอง เท่ากับ 1: n : การทำงานของวงจรในช่วงแรกที่เวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 และ Q_4 นำกระแส แรงดันตกคร่อมหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิเท่ากับ V_g ซึ่งทำให้ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงมี แรงดันตกคร่อมเท่ากับ nV_g ได้โดย D_5 จะนำกระแสและ D_6 จะหยุดนำกระแส ต่อมานิช่วง $DT_s < t < T_s$ สวิตช์ทุกด้วยคุณสมบัติที่ D_5 และ D_6 แต่ละตัวจะนำกระแสเพียงครึ่งเดียวของกระแสเอาท์พุต ต่อมานิช่วงที่ 2 ($DT_s < t < T_s$) การทำงานจะเหมือนกับในการแรกแต่แรงดันที่คร่อมหม้อแปลงจะมีทิศที่ ตรงกันข้าม โดยในช่วง $T_s < t < T_s + DT_s$ สวิตช์ Q_2 และ Q_3 นำกระแส แรงดันตกคร่อมหม้อแปลง ทางด้านปฐมภูมิเท่ากับ $-V_g$ ทำให้แรงดันตกคร่อมทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเท่ากับ nV_g ได้โดย D_6 จะนำกระแส ต่อมานิช่วง $(T_s + DT_s) < t < 2T_s$ ได้โดย D_5 และ D_6 นำกระแสอีกครึ่ง เช่นเดียวกับช่วง $DT_s < t < T_s$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาท์พุตคือ

$$V = nDV_g \quad (2.1)$$



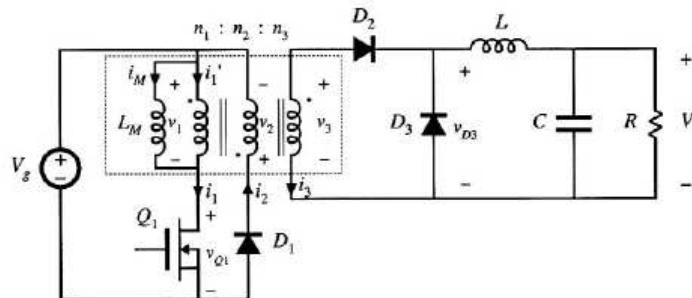
ภาพประกอบ 2-8 วงจรชาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ [7]

วงจรชาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ในภาพประกอบ 2-8 มีลักษณะการทำงานที่ ใกล้เคียงกับวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ใช้สวิตช์ในการทำงานเพียงครึ่งเดียว โดยมีตัวเก็บประจุ C_a กับ C_b มาต่อแทนที่สวิตช์อีกสองตัว ทำให้วงจนี้มีแรงดันเอาท์พุตเพียงครึ่งเดียวของวงจร ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาท์พุตคือ

$$V = 0.5nDV_g \quad (2.2)$$

2.2.2 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)



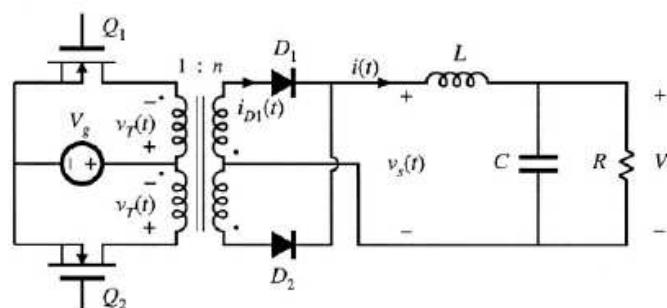
ภาพประกอบ 2-9 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ [7]

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีพื้นฐานมาจากวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) โดยวงจรนี้จะประกอบไปด้วยคุณลักษณะของหม้อแปลง 3 ขด ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9 ซึ่งการต่อในลักษณะนี้จะช่วยให้กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลง (Magnetizing current: i_M) จะถูกตั้งค่าเป็นศูนย์ เมื่อสวิตช์หยุดนำกระแส การทำงานของวงจนี้ในช่วงแรกที่เวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 และไอดีโอด D_2 นำกระแส กระแสทำแม่เหล็ก $i_M(t)$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยความชันเท่ากับ V_g/L_M ต่อมาในช่วง $DT_s < t < D_2T_s$ สวิตช์ Q_1 จะหยุดนำกระแส กระแสทำแม่เหล็กจะไหลอยู่ในด้านปั๊มภูมิของหม้อแปลงส่งผลให้ไอดีโอด D_1 นำกระแสและทำให้ไอดีโอด D_3 นำกระแสด้วย เมื่อกระแสทำแม่เหล็กลดลงจนเป็นศูนย์ไอดีโอด D_1 จึงหยุดนำกระแส ช่วงเวลา และช่วงเวลา $D_2T_s < t < D_3T_s$ จึงเริ่มขึ้น โดยในช่วงนี้ไอดีโอด D_3 ยังคงนำกระแส

ความล้มพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาท์พุตคือ

$$V = (n_s/n_p) DVg \quad (2.3)$$

2.2.3 วงจรพุช-พุลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Isolated Buck Converter)



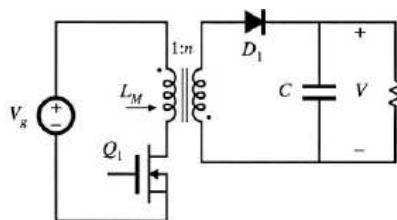
ภาพประกอบ 2-10 วงจรพุช-พุลคอนเวอร์เตอร์ [7]

จากภาพประกอบ 2-10 ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงของวงจรพุช – พุลคอนเวอร์เตอร์จะมีลักษณะเหมือนวงจรฟลูบридจ์คอนเวอร์เตอร์และชาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ส่วนทางด้านปฐมภูมิมีการต่อของหม้อแปลงในลักษณะแทรกกลางเข่นเดียวกัน การทำงานของวงจรในช่วงเวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 และไอดีโอด D_1 นำกระแส แรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิด้านบน $V_T = V_g$ และ $v_s(t) = nV_g$ ต่อมาในช่วงเวลา $DT_s < t < T_s$ สวิตช์ Q_1 หยุดนำกระแส ไอดีโอด D_1 และ D_2 นำกระแส ในช่วงควบคุมมาก็มีหลักการทำงานเข่นเดียวกัน แต่ในช่วงเวลา DT_s ของควบคุมมา สวิตช์ Q_2 และไอดีโอด D_2 จะนำกระแสแทนวงจรนี้สามารถทำงานได้ในช่วงค่ารอบการทำงาน (D) ดังแต่ $0 \leq D \leq 1$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาท์พุต คือ

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

2.2.4 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)



ภาพประกอบ 2-11 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ [7]

วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์มีพื้นฐานมาจากวงจรบีก – บูท คอนเวอร์เตอร์ ที่มีการแยกขดลวดตัวเหนี่ยวนำออกเป็น 2 ชุด ซึ่งจะเรียกว่าหม้อแปลงฟลายแบคดังแสดงในภาพประกอบ 2-11 แม้รูปแบบการเขียนสัญลักษณ์จะเหมือนกับหม้อแปลงทั่วไป แต่หลักการทำงานจะไม่เหมือนกับหม้อแปลง เนื่องจากกระแสจะไม่ไหลในทั้งสองขดลวดพร้อมกัน การทำงานของวงจรในช่วงเวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 นำกระแสเพื่อนำไฟเข้าจังหวะเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (Magnetizing inductance: L_M) ในช่วงเวลาที่ไอดีโอด D_1 หยุดนำกระแส ต่อมาในช่วงเวลา $DT_s < t < T_s$ สวิตช์ Q_1 หยุดนำกระแส ไอดีโอด D_1 นำกระแส พลังงานที่ถูกชาร์จไว้ในตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กจะถูกปล่อยออกมาน่านทางไอดีโอด D_1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาท์พุต คือ

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

2.3 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะประกอบไปด้วย เซนเซอร์จำนวนมากที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นระบบเครือข่ายโดยจะเรียกเซนเซอร์แต่ละตัวว่าเซนเซอร์โนนด (Sensor node) ในที่นี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้กำลังไฟฟ้าในเซนเซอร์โนนด และแหล่งพลังงานสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การใช้กำลังไฟฟ้าในเซนเซอร์โนนด

การทำงานของเซนเซอร์โนนดจะมี 3 ช่วงหลัก ได้แก่ ช่วงหลับ (Sleep) ซึ่งเป็นช่วงส่วนใหญ่ในการทำงานของเซนเซอร์โนนด ช่วงตื่น (Wake-up) คือช่วงที่เซนเซอร์โนนดเปลี่ยนสถานะจากหลับเป็นทำงานซึ่งต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด และช่วงสุดท้ายเป็นช่วงทำงาน (Active) คือช่วงเวลาที่เซนเซอร์โนนดทำงาน โดยเซนเซอร์โนนดแต่ละชนิดจะใช้เวลาและพลังงานในแต่ละช่วงไม่เท่ากัน ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานหลักที่ใช้ในเซนเซอร์โนนดทั่วไป จะใช้กำลังอยู่ที่ 40-60 มิลลิวัตต์

2.3.2 แหล่งพลังงานสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

โดยทั่วไปแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเซนเซอร์โนนดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) แหล่งจ่ายที่มีพลังงานไฟฟ้าจำกัด (Fixed energy source) ได้แก่ แบตเตอรี่ทั้งแบบชาร์จໄม่าได้ (Primary battery) และแบตเตอรี่ชาร์จได้ (Secondary battery), อัลตราคาปัซิเตอร์ (Ultra capacitor) เชลล์เชื้อเพลิงขนาดเล็ก (Micro fuel cell), เครื่องจักรความร้อนขนาดเล็ก (Micro heat engine) เป็นต้น อายุการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้แปรผันกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ต้องจ่ายออกไป หากต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปมาก พลังงานสะสมในตัวก็จะหมดไปอย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปการเปรียบเทียบแหล่งจ่ายประเภทนี้จึงพิจารณาในเทอมของพลังงานต่อหน่วยปริมาตร

2) แหล่งจ่ายที่มีกำลังไฟฟ้าจำกัด (Fixed power source) แหล่งจ่ายประเภทนี้ไม่มีพลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงเก็บไว้ในตัวเองแต่จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวแปลงพลังงานตั้งต้นในรูปแบบอื่นเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นทราบได้ว่าแปลงพลังงานยังไฉ์รับพลังงานตั้งต้นอยู่ ก็จะสามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง จึงทำให้แหล่งจ่ายประเภทนี้ทำงานได้โดยไม่มีข้อจำกัดของอายุการใช้งาน แต่ก็มีข้อจำกัดเรื่องอัตราการแปลงพลังงานซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าที่เซนเซอร์โนนดสามารถดึงไปใช้ได้ในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนี้อาจมีความเป็นไปได้ที่เซนเซอร์โนนดในบางตำแหน่งต้องใช้เทคนิคการแปลงพลังงานที่แตกต่างจากเซนเซอร์โนนดในตำแหน่งอื่นๆ และในบางเวลาเซนเซอร์โนนดอาจไม่สามารถแปลงพลังงานได้เลย การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่อยู่ของเซนเซอร์โนนดและรูปแบบพลังงานในที่นั้น

โดยทั่วไปการระบุความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจึงพิจารณาจากพิกัดกำลังไฟฟ้าที่สามารถแปลงได้และการเปรียบเทียบมัจฉะพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่

สภาพแวดล้อมทั่วๆไปที่ เช่นเซอร์โภนดิตติ้งอยู่มัจฉะมีพลังงานรูปแบบต่างๆ แห่งอยู่ โดยทั่วไปแบ่งออกได้ 4 ชนิดด้วยกัน คือ

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

2.4 การพัฒนารูปแบบของวงจรต้นแบบ

ในการออกแบบวงจรต้นแบบเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเครื่อข่ายเช่นเซอร์เร็ฟฟาร์ม มีปัจจัยที่จะต้องคำนึงถึงได้แก่ อายุการใช้งานและเสถียรภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่าย ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่จะใช้ในการพัฒนาวงจรต้นแบบ โดยจะใช้การผสมผสานพลังงานไฟฟ้าจากหลายแหล่งเข้าด้วยกัน ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ และพลังงานไฟฟ้าจากสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ต้องสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเอาท์พุตที่ระดับแรงดันแตกต่างกันโดยแรงดันแต่ละระดับจะต้องถูกรักษาให้คงที่ ต่อมาก็ต้องพิจารณาเกี่ยวกับสิทธิภาพของระบบ เนื่องจากวงจรต้นแบบทำงานที่กำลังไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นอุปกรณ์ในวงจรต้องมีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดกำลังสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากอุปกรณ์เหล่านี้ และจะทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงได้การทำงานของวงจรต้นแบบก็ต้องมีความเรียบง่าย ไม่ซับซ้อนจนเกินไปเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงได้

เพื่อตอบสนองกับความต้องการต่างๆดังที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนประกอบสำคัญของวงจรต้นแบบที่จะต้องนำมาพิจารณาเพื่อหาความเหมาะสมได้แก่ 3 ส่วนของวงจรหลายอินพุต วงจรหลายเอาท์พุต และส่วนของวงจรแบบเตอร์ โดยจะข้อกำหนดที่สำคัญเพื่อใช้พิจารณาเลือกรูปแบบวงจรที่เหมาะสมมีดังนี้

$$\text{แรงดันอินพุตที่ } 1 = 30 \quad V$$

$$\text{แรงดันอินพุตที่ } 2 = 30 \quad V$$

แรงดันแบตเตอรี่	= 24 V
แรงดัน/กระแสเอาท์พุตที่ 1	= 5V/1.5A
แรงดัน/กระแสเอาท์พุตที่ 2	= 12V/1A
พิกัดกำลังเอาท์พุต	= 20 W

2.5 การเลือกรูปแบบของวงจรต้นแบบ

2.5.1 วงจร halfway inductor

ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบวงจรที่สามารถนำมาใช้омต่อเป็นวงจร halfway inductor ได้ โดยแบ่งเป็นสองชนิดคือ วงจรพัลส์แบบแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งได้แก่ วงจรบีก วงจรชูก และวงจรซีต้า แบบที่สองคือ วงจรพัลส์แบบแหล่งจ่ายกระแส ได้แก่ วงจรบูสท์ วงจรบีก-บูสท์ และวงจร SEPIC โดยเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆ เช่น จำนวนอุปกรณ์ วิธีการเชื่อมต่อ การทำงาน และวงจรกรองด้านอินพุต จากตารางที่ 2-1 พบว่าการต่อวงจร halfway inductor โดยใช้รูปแบบของวงจรบีก ดังแสดงในภาพประกอบ 2-1(a) มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากใช้อุปกรณ์น้อย คือแต่ละเซลล์จะใช้เพียงสวิตช์และไดโอดอย่างละตัวเท่านั้น โดยไม่มีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ การต่อแต่ละเซลล์เข้าด้วยกันจะต่อแบบอนุกรมเพื่อให้สามารถทำงานพร้อมกันได้

ตารางที่ 2-1 การพิจารณาในการเลือกวิธีการและรูปแบบการต่อเซลล์แหล่งจ่ายของวงจร halfway inductor

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. ฟิวเตอร์ทางด้านเอาท์พุต						
- ตัวเหนี่ยวนำ	✓	✓	✓	✗	✗	✗
- ตัวเก็บประจุ	✓	✓	✓	✓	✓	✓

* เมื่อต่อเซลล์แบบอนุกรม

2.5.2 วงจรหล่ายเอาท์พุต

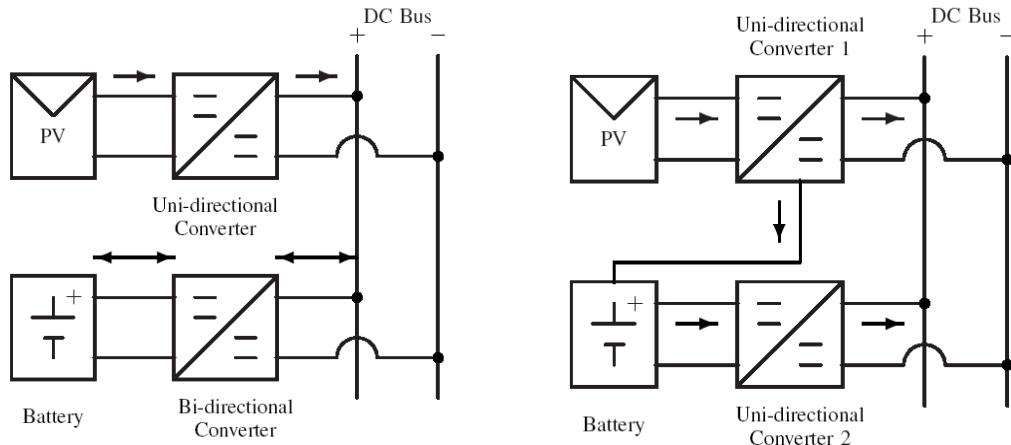
ในการเลือกส่วนของวงจรหล่ายเอาท์พุต จะพิจารณาวงจรที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ใช้อุปกรณ์น้อยเพื่อให้มีกำลังสูญเสียต่ำสุด และสามารถทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงได้ เนื่องจากการทำงานที่กำลังไฟฟ้าต่ำปัจจัยที่สำคัญเป็นลำดับต้นๆ คือเรื่องประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเลือกใช้วงจรฟลายแบนคอกอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในภาพประกอบ 2-11 ซึ่งใช้สวิตช์และไอดิโอดเพียงหนึ่งอย่างละตัว โดยวงจนี้นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในงานกำลังไฟฟ้าต่ำกันอย่างแพร่หลาย เช่น วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าหล่ายอินพุต ทั่วๆ ไป (30 W) [10], ในงานอิเล็กทรอนิกส์ บลัลลัสต์ (35 W) [11], เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับหลอดแอลอีดี (18W) [12], (10-24W) [13]

2.5.3 วงจรแบบเตอร์รี

เนื่องจากวงจรต้นแบบมีแบบเตอร์รีเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองไว้ใช้ในกรณีที่แหล่งพลังงานจากทั้งสองอินพุตไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ดังนั้นการทำงานของวงจรแบบเตอร์รีจึงจำเป็นต้องมี 2 โหมดการทำงานด้วยกัน คือ โหมดชาร์จแบบเตอร์รีและโหมดดิสชาร์จแบบเตอร์รี เพื่อให้ได้โหมดการทำงานทั้งสอง วงจรแบบเตอร์รีสามารถเชื่อมต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์ได้สองรูปแบบคือ

- วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทาง (Bi-directional dc/dc converter) [14] – [16] เมน้ำสำหรับใช้ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าสามารถนำไปต่อเข้ากับโหลดหรือบัสได้โดยตรง การเพิ่มส่วนของแบบเตอร์รีผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทางจึงช่วยลดความซับซ้อนของวงจรโดยจะทำให้วงจรทำงานแค่สองส่วนคือการชาร์จและดิสชาร์จแบบเตอร์รี แต่หากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่สามารถนำไปต่อเข้ากับโหลดหรือบัสโดยตรง แต่ต้องผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์ก่อน การเพิ่มแบบเตอร์รีเข้าไปโดยผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทางดังแสดงในภาพประกอบ 2-12(ก) จะทำให้ทั้งระบบมีวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรและต้องทำงานถึง 3 ส่วน คือนอกจากการชาร์จและดิสชาร์จแบบเตอร์รีแล้วขึ้นมาส่วนของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟไปยังโหลดหรือบัส ทำให้เพิ่มความยุ่งยากและยังจะทำให้กำลังสูญเสียเพิ่มขึ้นอีกด้วย

- วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว (Uni-directional dc/dc converter) [17] เมน้ำสำหรับใช้เชื่อมต่อแบบเตอร์รีเข้ากับระบบที่แหล่งจ่ายไฟที่ต้องส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์อยู่ก่อนแล้ว ดังแสดงในภาพประกอบ 2-12(ข) ซึ่งแหล่งจ่ายส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว 1 ไปยังโหลด และในขณะเดียวกันก็ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปชาร์จแบบเตอร์รี และวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว 2 ก็ทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานจากแบบเตอร์รีไปยังโหลด ทำให้มีการทำงานแค่ 2 ส่วน



ก) การต่อแบบเตอร์กับวงจรคอนเวอร์เตอร์
แบบ 2 ทาง

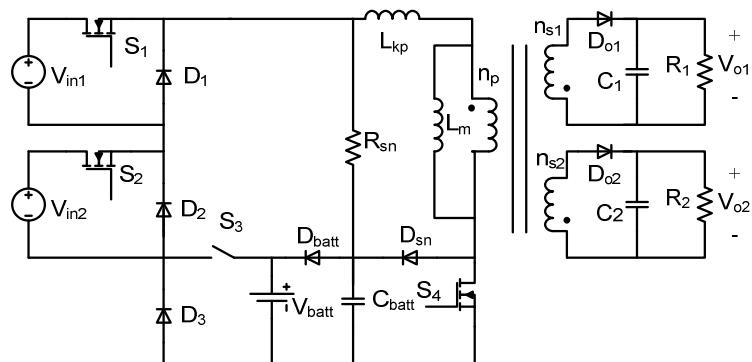
ข) การต่อแบบเตอร์กับวงจรคอนเวอร์เตอร์
แบบทางเดียว

ภาพประกอบ 2-12 การต่อแบบเตอร์ [17]

ดังนั้นสำหรับการเชื่อมต่อแบบเตอร์เข้ากับวงจรต้นแบบจึงเลือกแบบต่อผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว เพื่อช่วยลดกระบวนการทำงาน ความซับซ้อน และกำลังสูญเสียของวงจร

2.6 วงจรต้นแบบ

วงจรต้นแบบในภาพประกอบ 2-13 มีพื้นฐานมาจากวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (flyback converter) ประกอบด้วยอินพุตสองแหล่งจ่ายคือ V_{in1} และ V_{in2} และมีแบตเตอรี่ (V_{batt}) เป็นตัวเบี้ยค้อฟให้กับวงจร โดยมีสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 เป็นตัวควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งแหล่งจ่าย โดยมี S_4 เป็นสวิตช์หลักในการควบคุมแรงดันด้านเอาท์พุต เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าใดที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้จะมีไดโอด D_1 , D_2 และ D_3 หน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตอนที่แหล่งจ่ายที่ตัวไดโอดนั้นๆ ต่อคร่อมอยู่ไม่ทำงาน พลังงานจากค่าความหน่วงนำร่อง (L_{kp}) ของหม้อแปลงซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสไปล์ที่สวิตช์ S_4 จะถูกนำมาชาร์จแบตเตอร์ผ่านทางไคโอด D_{sn} และ D_{batt} และเมื่อแบตเตอร์เต็มพลังงานในส่วนนี้จะถูกจำกัดทิ้งผ่านทาง R_{sn} และ C_{batt} ซึ่งทำหน้าที่เป็นสนับเบอร์ให้กับวงจร ทางด้านเอาท์พุตจะมีคลื่นหม้อแปลงพันอยู่ 2 ชด เพื่อใช้ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังเอาท์พุตทั้งสองผ่านทางไคโอด D_{o1} และ D_{o2} ตามลำดับ การทำงานของวงจรประกอบด้วยโหมดการทำงาน 3 โหมดคือ โหมดชาร์จแบตเตอร์ โหมดปกติ และโหมดแบบค้อฟตามลำดับ



ภาพประกอบ 2-13 วงจรต้นแบบ

2.6.1 โหมดชาร์จแบบเตอรี (Charging mode) ในโหมดนี้สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ทำงาน การทำงานแต่ละช่วงเวลาใน 1 คาบการสวิตช์ซึ่งบ่ายໄດ້ດังนີ້

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)

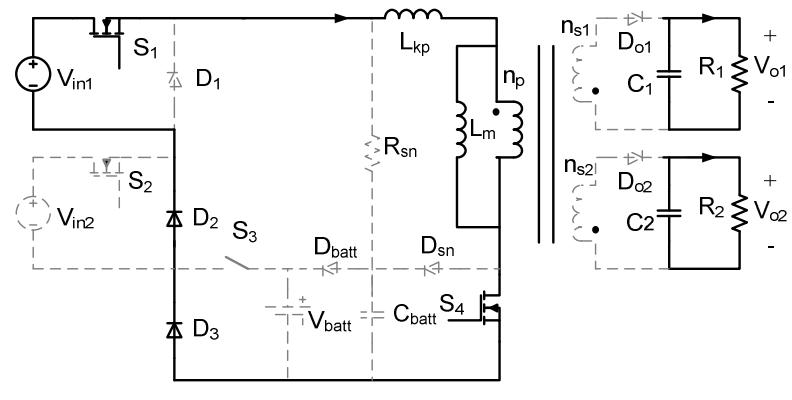
ช่วงที่ 2 (t_1-t_2) สวิตช์ S_2 และ S_4 นำกระแสพร้อมกัน ตัวเหนี่ยวนำ L_m และ L_{kp} ทางด้านปฐมภูมิจะถูกชาร์จต่อจากช่วงที่ 1 ด้วยแรงดัน V_{in2} โดยกระแสจะยังคงเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นต่อไป ส่วนทางด้านทุติยภูมิกระแสจากพลังงานที่สะสมใน C_1 จะไหลไปที่โหลด ตามภาพประกอบ 2-14(ข)

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

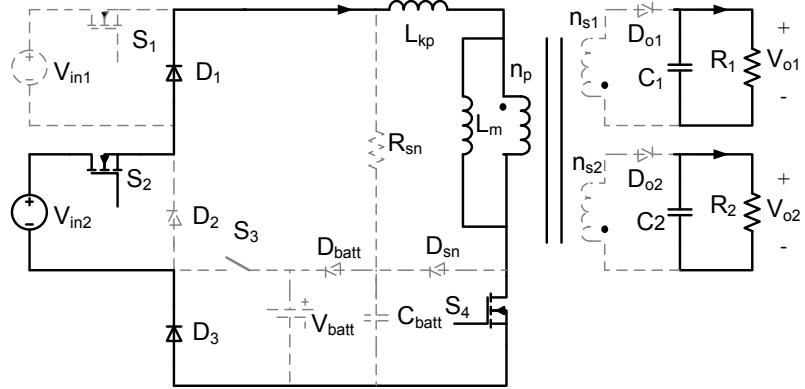
ช่วงที่ 4 (t_3-t_4) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ไม่ทำงาน พลังงานที่สะสมอยู่ใน L_m จะถูกส่งผ่านไปยังโหลด โดยผ่านทางไดโอด D_{o1} และ D_{o2} ตามภาพประกอบ 2-14(ง)

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

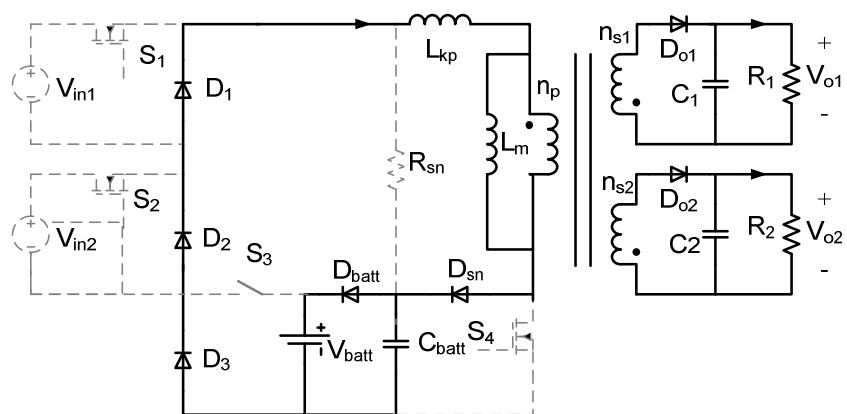
2.6.3 โหมดแบ็คอัพ (Backup mode) ในโหมดนี้สวิตช์ S_3 และ S_4 ทำงาน โดยสวิตช์ S_3 จะนำกระแสอยู่ตลอดเวลา โดยในโหมดนี้จะมีลักษณะการทำงานตามภาพประกอบ 2-14(ฉ), 2-14(ค) หรือ 2-14(จ) และ 2-14(ง)



(n)

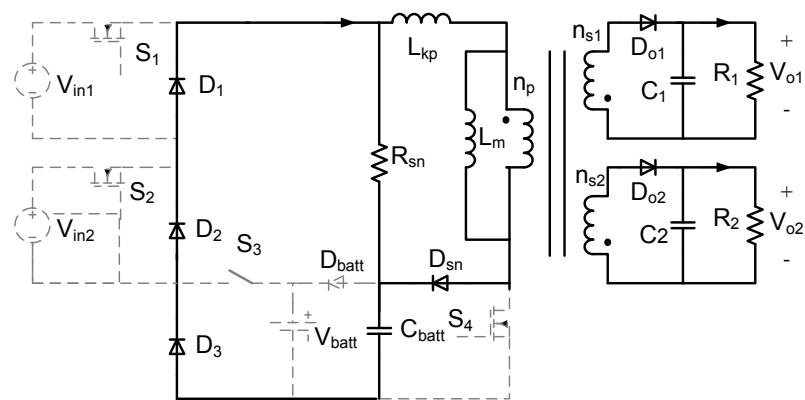
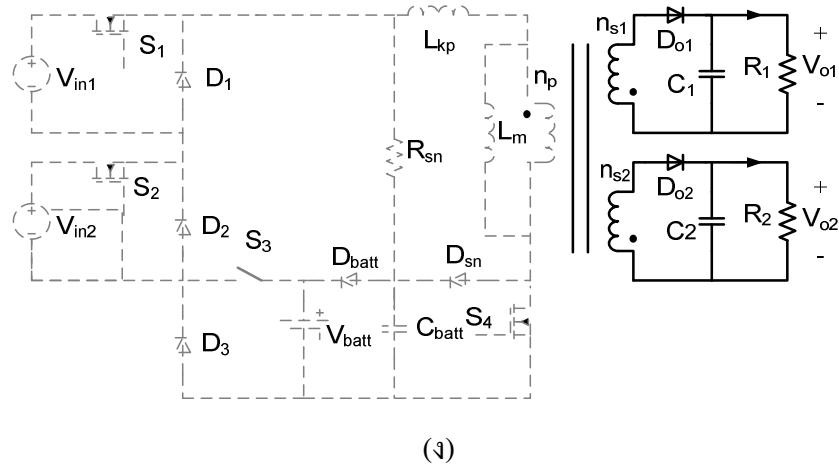


(u)

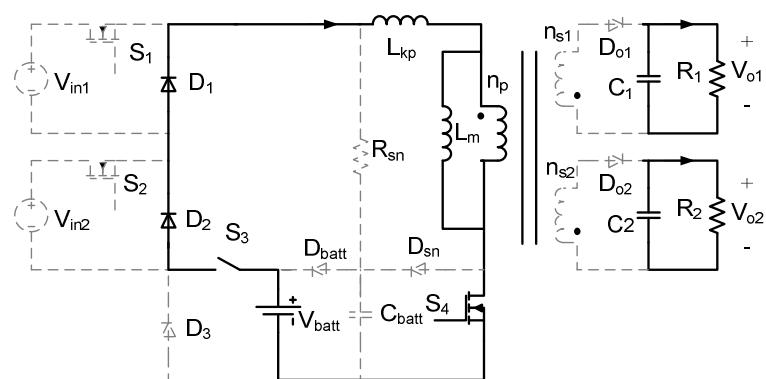


(v)

ภาพประกอบ 2-14 การทำงานของวงจรในแต่ละช่วงเวลา



(I)



(II)

ภาพประกอบ 2-14 การทำงานของวงจรในแต่ละช่วงเวลา (ต่อ)

2.7 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรต้นแบบ

ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรในสภาพะอยู่ตัว จะสมมุติให้วงจรทำงานแบบต่อเนื่อง สวิตช์แต่ละตัวเป็นอุดมคติ โดยที่ตัวหนึ่งยานำแม่เหล็ก L_m มีขนาดใหญ่จนสามารถจ่ายกระแสอย่างต่อเนื่องได้ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีขนาดใหญ่จนทำให้แรงดันเอาท์พุต V_{o1} และ V_{o2} ที่คร่อมตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีค่าคงที่ และกำหนดให้ n_p คือขดลวดทางด้านปฐมภูมิ, n_{s1} และ n_{s2} คือขดลวดทางด้านทุติยภูมิขั้ดที่ 1 และขัดที่ 2 ตามลำดับ โดยวงจรต้นแบบมีค่ารอบทำงาน (duty cycle) d_1 , d_2 และ d_{batt} ใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด

ในภาพประกอบ 2-15 เป็นรูปคลื่นสัญญาณของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดปกติ ทั้งสองโหมดนี้จะมีลักษณะการทำงานที่ใกล้เคียงกัน โดยมี

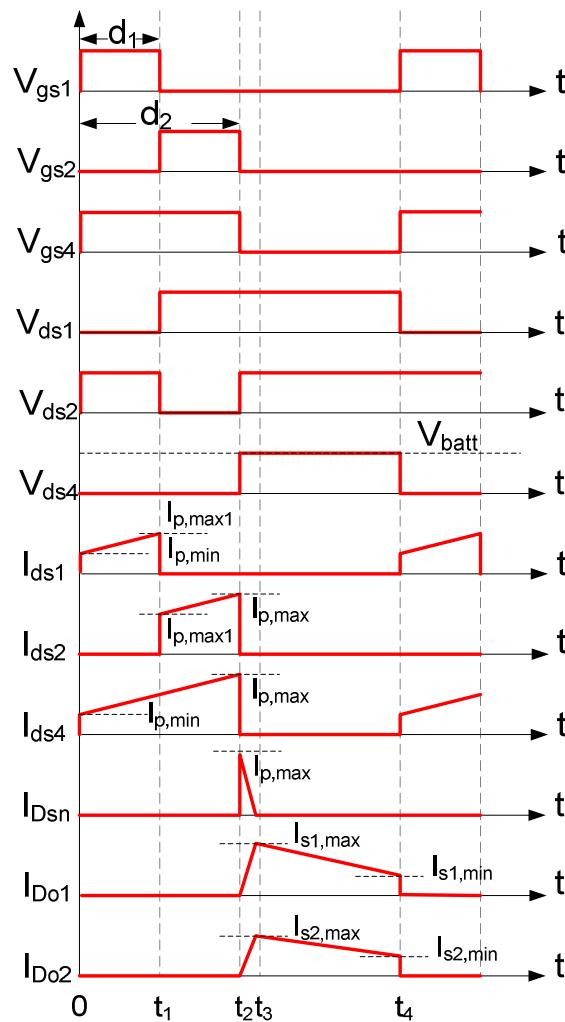
- V_{gs1} , V_{gs2} และ V_{gs3} เป็นสัญญาณควบคุมควบคุมสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ตามลำดับ
- V_{ds1} , V_{ds2} และ V_{ds4} คือแรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ตามลำดับ
- I_{ds1} , I_{ds2} และ I_{ds4} คือกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ตามลำดับ
- I_{Dsn} เป็นกระแสที่ไหลผ่านไอดีโอดสนับเบอร์
- I_{Do1} และ I_{Do2} เป็นกระแสที่ไหลผ่านไอดีโอดทางด้านเอาท์พุตที่ 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

ในการวิเคราะห์หาสมการแรงดันของแต่ละเอาท์พุตและกระแสของแต่ละอินพุต 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 $\Delta\phi$ ของเติ่ลະເອາຫຼວດນີ້

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

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

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

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

จากสมการ (2.6) ถึง (2.11) สามารถหาค่าแรงดันเติ่ลະເອາຫຼວດໄດ້ดังนີ້

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

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

จากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนหนึ่งแปลง 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

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

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

กระแสทางด้านเอาท์พุตสามารถหาได้จาก

$$I_{o1} = \frac{1}{2} (I_{s1,\min} + I_{s1,\max}) (1 - d_2) \quad (2.18)$$

$$I_{o2} = \frac{1}{2} (I_{s2,\min} + I_{s2,\max}) (1 - d_2) \quad (2.19)$$

จากสมการที่ (2.14) ถึง (2.18) จะได้ว่า

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

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

$$I_{p,\max 1} = \frac{I_{o1}}{n_1(1-d_2)} + \frac{I_{o2}}{n_2(1-d_2)} + \frac{V_{in1}}{2L_p} d_1 T_s - \frac{V_{in2}}{2L_p} (d_1 - d_2) T_s \quad (2.22)$$

กระแสทางด้านอินพุตสามารถหาได้จาก

$$I_{in1} = \frac{1}{2} (I_{p,\min} + I_{p,\max 1}) d_1 \quad (2.23)$$

$$I_{in2} = \frac{1}{2} (I_{p,\max 1} + I_{p,\max}) (d_2 - d_1) \quad (2.24)$$

จากสมการที่ (2.19) ถึง (2.23) จะได้กระแสของแต่ละอินพุตดังนี้

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

$$I_{in2} = \left[\frac{I_{o1}}{n_1(1-d_2)} + \frac{I_{o2}}{n_2(1-d_2)} + \frac{V_{in1}}{2L_p} d_1 T_s \right] (d_1 - d_2) \quad (2.26)$$

ในส่วนของโภมดแบ็คอพซึ่งมีทำงานลักษณะเช่นเดียวกับวงจรฟลายเบี้คคอน

เวอร์เตอร์ ดังนั้นสามารถหาระดับดันของแต่ละเอาท์พุตดังนี้

$$V_{o1} = \frac{d_b}{1-d_b} \frac{n_{s1}}{n_p} V_{bat} \quad (2.27)$$

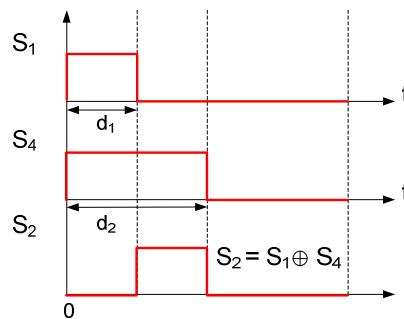
$$V_{o2} = \frac{d_b}{1-d_b} \frac{n_{s2}}{n_p} V_{bat} \quad (2.28)$$

2.8 การจัดการพลังงาน

เนื่องจากทั้งสองอินพุตของวงจรต้นแบบเป็นแหล่งจ่ายมาจากพลังงานทดแทนจึงจำเป็นจะต้องมีการจัดการพลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่ายอย่างเหมาะสมเพื่อให้วงจรสามารถจ่ายพลังงานได้อย่างมีเสถียรภาพและมีแรงดันแต่ละเอาท์พุตคงที่

จากสมการที่ (2.7), (2.8), (2.20) และ (2.21) จะเห็นได้ว่าแรงดันแต่ละเอาท์พุตและกระแสแต่ละอินพุตเป็นฟังก์ชันกับ d_1 และ d_2 ดังนั้นในการจัดการพลังงานจะใช้การควบคุมการทำงานในการควบคุมแต่ละสวิตซ์

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 ใช้ในการควบคุมพลังงานที่จะส่งผ่านไปยังเอาท์พุต เพื่อเป็นการควบคุมแรงดันเอาท์พุต

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}	= แรงดันเอาท์พุตที่ 1	= 5	(V)
V_{o2}	= แรงดันเอาท์พุตที่ 2	= 12	(V)
I_{o1}	= กระแสเอาท์พุตที่ 1	= 1.5	(A)
I_{o2}	= กระแสเอาท์พุตที่ 2	= 1	(A)
$P_{o,max}$	= พิกัดกำลังเอาท์พุต	= 20	(W)
ρ	= สภาพด้านทานไฟฟ้าในสายทองแดง	= 1.724×10^{-6}	($\Omega\text{-cm}$)
P_{cu}	= กำลังสูญเสียรวมที่ยอมรับได้ กำหนดให้เท่ากับ 1.5		(W)
K_u	= ค่าเฟกเตอร์ในการพัฒนาความต้องการ		
A_c	= พื้นที่ส่วนที่ผ่านแกน		(cm^2)
W_A	= ช่องพื้นที่ของแกน		(cm^2)
MLT	= ค่าเฉลี่ยความยาวต่อรอบ		(cm)
L_m	= ค่าความเหนี่ยวแน่นแม่เหล็ก		(μH)
B_{max}	= ความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดที่หม้อแปลงไม่อิ่มตัว		
	กำหนดให้เท่ากับ 0.25		(Tesla)
$Wire\ areas$	= พื้นที่หน้าตัดของสาย		(cm^2)
I_M	= กระแสหนึ่ง匝แม่เหล็ก		(A)
Δi_M	= กระแสหนึ่ง匝แม่เหล็กกระแสเพิ่ม		(A)
$I_{M,max}$	= กระแสหนึ่ง匝แม่เหล็กสูงสุด		(A)
I_p	= กระแสอาร์เรียมเอกสารทางด้านขนาดปฐมภูมิของหม้อแปลง		(A)
I_s	= ค่ากระแสอาร์เรียมเอกสารทางด้านขนาดที่ดินภูมิของหม้อแปลง		(A)
I_{tot}	= ค่ากระแสอาร์เรียมเอกสารรวมที่ให้ผลผ่านขนาดหม้อแปลง		
	อ้างอิงทางด้านปฐมภูมิ		(A)

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

3.1.2 การหาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่ารอบทำงานของแต่ละส่วน

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

เท่ากับ 1

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

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

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

$$n_{s1} = 0.25$$

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

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

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

$$n_{s2} = 0.6$$

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

3.1.3 การออกแบบหน้าจอแปลง

ในการออกแบบเพื่อหาขนาดของแกนหน้าจอแปลงที่เหมาะสมและขนาดของสายตัวนำที่นำมาใช้ในการพัฒนาด้วยแบบจำลอง K_g [7] โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) หากค่ากระแสหนึ่ยานำแม่เหล็ก

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

2) หากค่ากระแสหนึ่ยานำแม่เหล็กกระแสเพิ่อม

- กำหนดให้ค่ากระแสหนึ่ยานำแม่เหล็กกระแสเพิ่อม = 20%

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

3) หากค่ากระแสหนึ่ยานำแม่เหล็กสูงสุด

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

4) หากค่าความหนาแน่นของหน้าจอแปลง

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

5) หากค่ากระแสอาร์เรียมเอกสารทางด้านขดลวดปฐมภูมิของหน้าจอแปลง

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

6) หากค่ากระแสอาร์เรียมเอกสารทางด้านขดลวดทุติยภูมิของหน้าจอแปลง

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

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

7) หากค่ากระแสอาร์เรียมเอกสารรวมที่ให้ผลผ่านขดลวดหน้าจอแปลง

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

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) จำนวนรอบขดลวดทางค้านปั๊มน้ำ

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

11) จำนวนรอบขดลวดทางค้านทุติยภูมิ

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

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

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

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

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

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

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

และจากการคำนวณจะได้ค่ารอบทางด้านปฐมภูมิทั้งสามกรณีจะได้จำนวนรอบอยู่ระหว่าง 28 - 36 รอบ แต่เนื่องจากจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลต่อเรื่องกำลังสูญเสียที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเลือกจำนวนรอบที่ 25 รอบ ทำให้สามารถคำนวณจำนวนรอบทางด้านทุกภูมิของหม้อแปลงจากสมการที่ 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 จะเห็นได้ว่าค่าพื้นที่หน้าตัดของขดลวดแต่ละชุดที่แรงดันต่างกัน มีค่าเท่ากัน เนื่องจากค่าพื้นที่หน้าตัดไม่ได้เปรียบตามขนาดของแรงดันอินพุต ซึ่งจะสามารถหาเบอร์ ขดลวดและจำนวนเส้นได้ดังนี้

n_p ใช้ขดลวดเบอร์ SWG 22 จำนวน 1 เส้น

n_{s1} ใช้ขดลวดเบอร์ SWG 23 จำนวน 2 เส้น

n_{s2} 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}	= ตัวต้านทานสนับเบอร์
C_{batt}	= ตัวเก็บประจุสนับเบอร์
V_p	= แรงดันคร่อมคลาวด์ทางด้านปฐมภูมิ
V_{s1}, V_{s2}	= แรงดันคร่อมคลาวด์ทางด้านทุติยภูมิขดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
V_{o1}, V_{o2}	= แรงดันเอาท์พุตที่ 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}	= กระแสที่ไหลผ่านไคโอดสนับเบอร์
I_{batt}	= กระแสแบตเตอรี่
I_{Rsn}	= กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานสนับเบอร์
I_{Do1}, I_{Do2}	= กระแสที่ไหลผ่านไคโอดทางด้านเอาท์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
I_{o1}, I_{o2}	= กระแสเอาท์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
d_1, d_2, d_b	= ค่ารอบการทำงานของสวิตช์อินพุตที่ 1,2 และ อินพุตแบตเตอรี่
L_p	= ค่าเหนี่ยวนำร่วงทางด้านปฐมภูมิ
L_s	= ค่าเหนี่ยวนำร่วงทางด้านทุติยภูมิ
L_m	= ค่าเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก
f_s	= ความถี่ในการสวิตช์

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

V_{in1}, V_{in2}	= 30	V
R_{sn}	= 5	kΩ
C_{batt}	= 10	uF
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 างนี้จึงทำการสร้างแบบจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม PSIM เพื่อจำลองการทำงานของวงจร ซึ่งแบ่งออกการทำงานออกเป็น 3 โหมดดังนี้

3.2.1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode)

ภาพประกอบ 3-1 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันความคุณสวัตช์และแรงดันที่ตกลงร่วมสวิตช์ S_1 และ S_2 ตามลำดับ

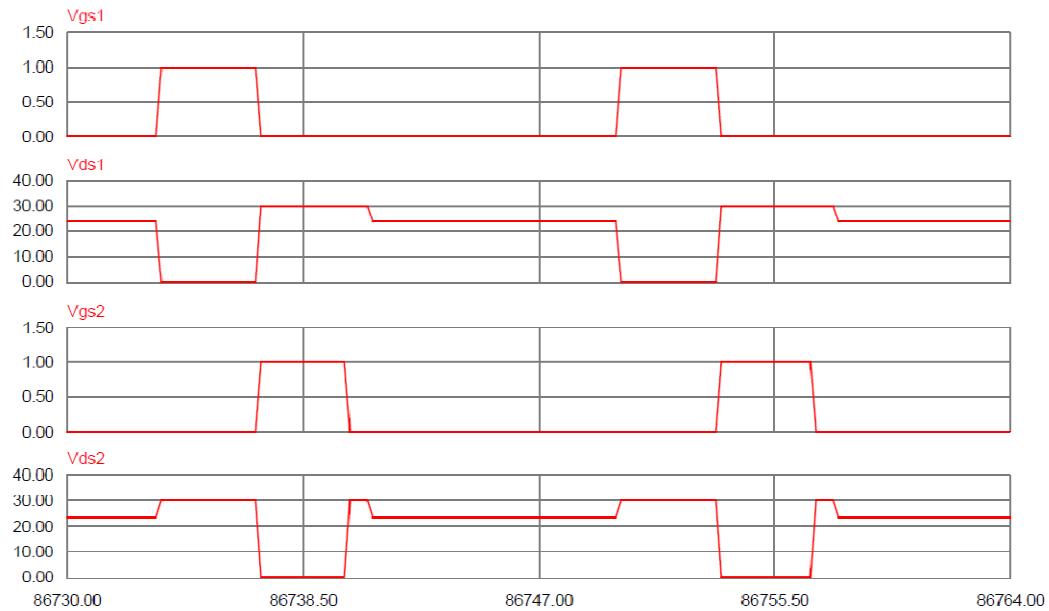
ภาพประกอบ 3-2 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันความคุณสวัตช์และแรงดันที่ตกลงร่วมสวิตช์ S_4 แรงดันร่วมขดลวดทางด้านปฐมภูมิและแรงดันแบตเตอรี่ตามลำดับ

ภาพประกอบ 3-3 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 , S_2 กระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_4 ตามลำดับ

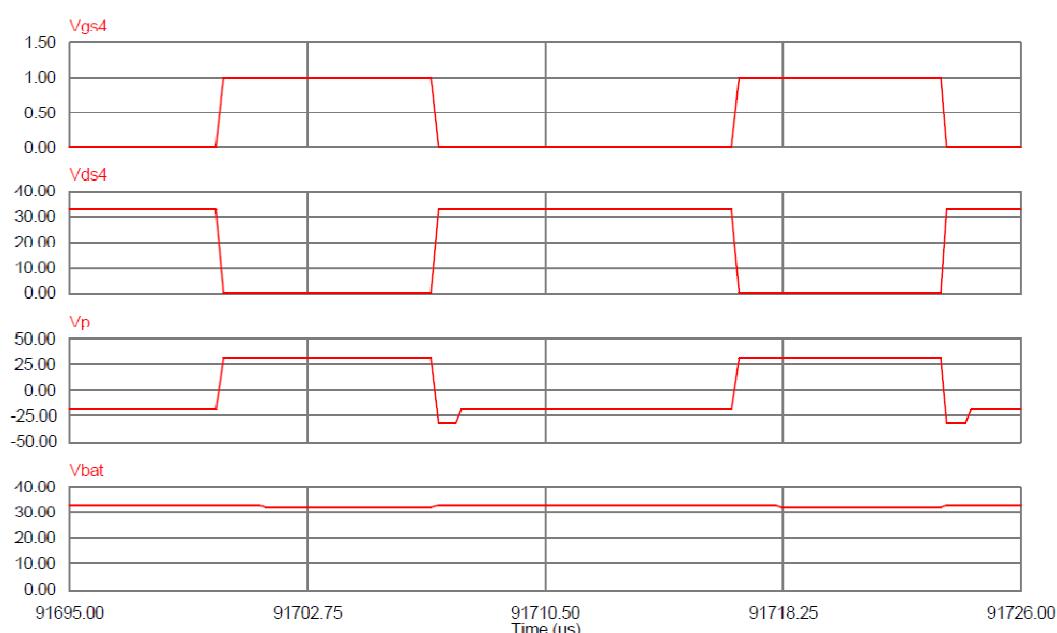
ภาพประกอบ 3-4 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 , กระแสที่ไหลผ่านไอดีโอดสนับเบอร์, กระแสแบบเตอร์และกระแสที่ไหลผ่านตัวด้านหน้าสนับเบอร์ตามลำดับ

ภาพประกอบ 3-5 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันร่วมขดลวดทางด้านปฐมภูมิ, แรงดันที่ตกลงร่วมสวิตช์ S_1 , S_2 , แรงดันเอาท์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

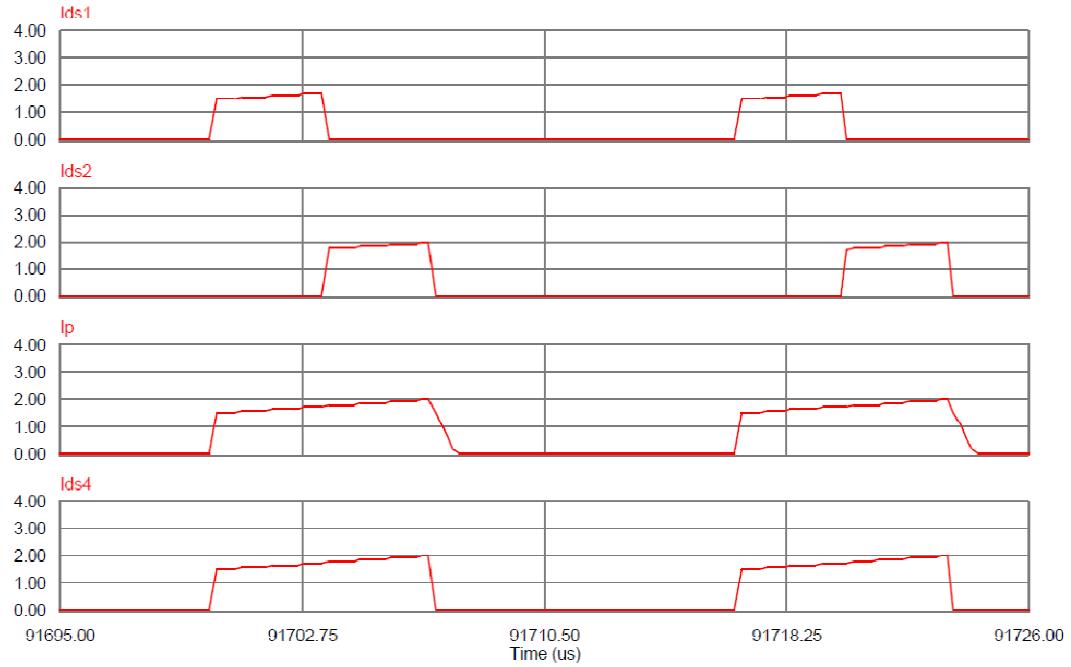
ภาพประกอบ 3-6 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านไอดีโอดทางด้านเอาท์พุตและกระแสเอาท์พุตที่ 1, 2 ตามลำดับ



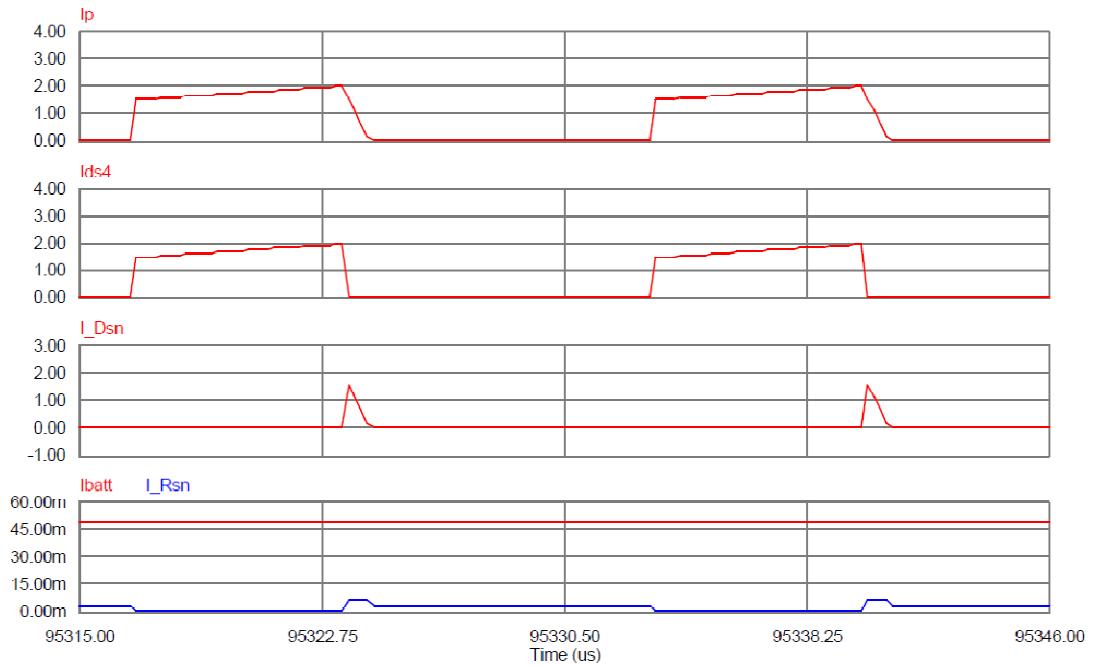
ภาพประกอบ 3-1 แรงดัน V_{gs1} , V_{ds1} , V_{gs2} และ V_{ds2} ตามลำดับ



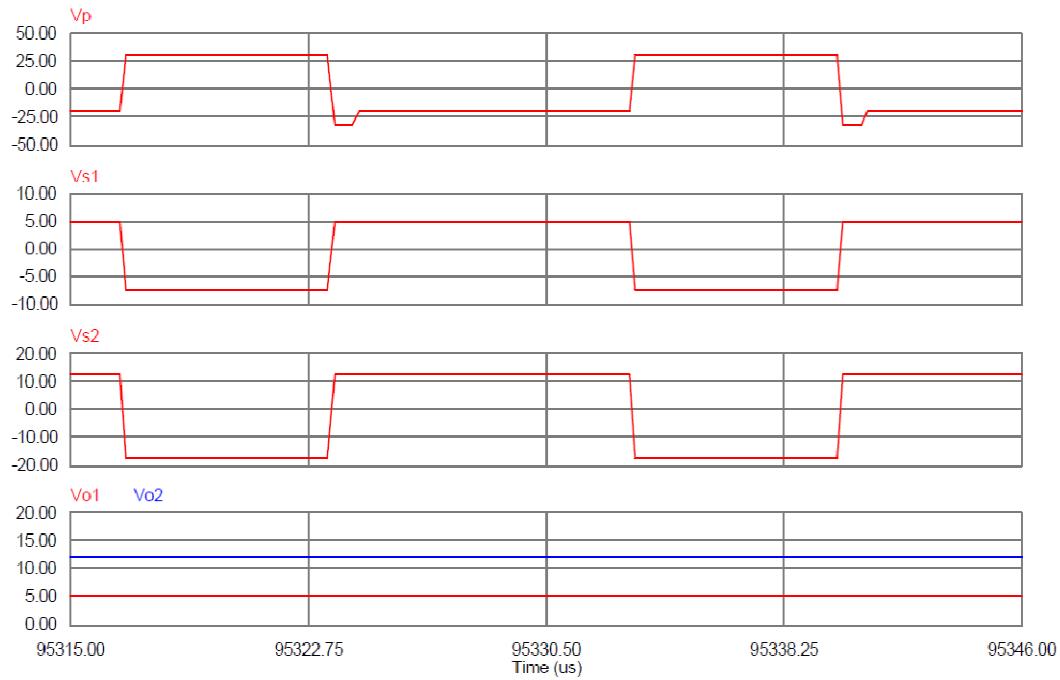
ภาพประกอบ 3-2 แรงดัน V_{gs4} , V_{ds4} , V_p และ V_{batt} ตามลำดับ



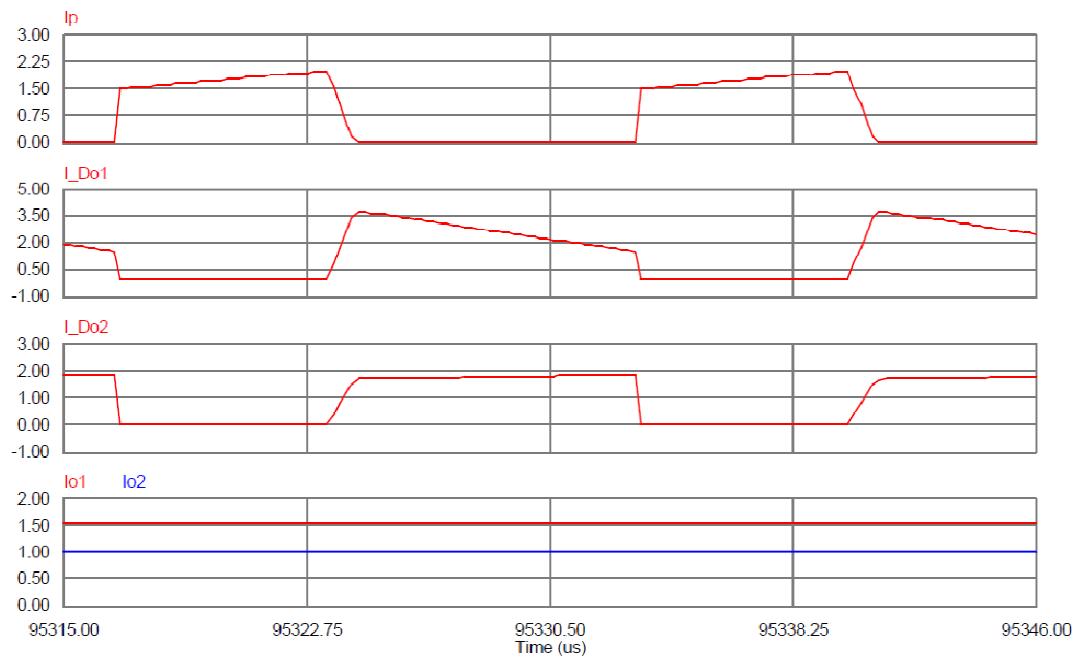
ภาพประกอบ 3-3 กระแส I_{ds1} , I_{ds2} , I_p และ I_{ds4} ตามลำดับ



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 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์และแรงดันที่ตอกคร่อมสวิตช์ S_1 และ S_2 ตามลำดับ

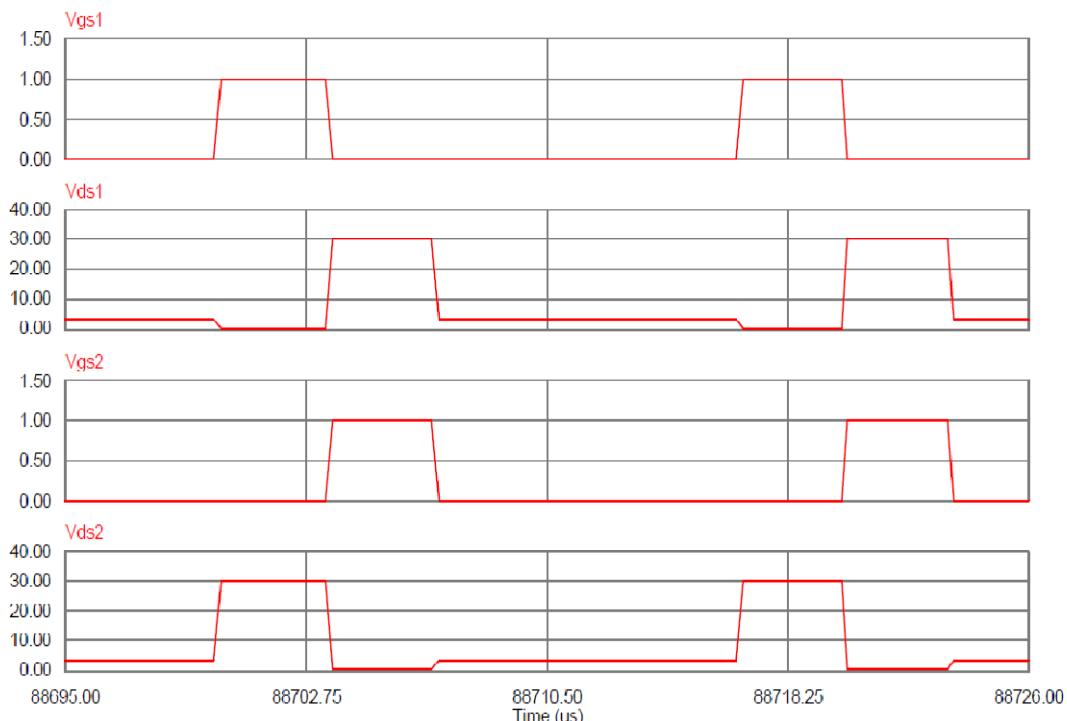
ภาพประกอบ 3-8 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์และแรงดันที่ตอกคร่อมสวิตช์ S_4 , แรงดันคร่อมคลาดทางด้านปฐมภูมิและแรงดันแบบเตอร์วิตามลำดับ

ภาพประกอบ 3-9 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 , S_2 กระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_4 ตามลำดับ

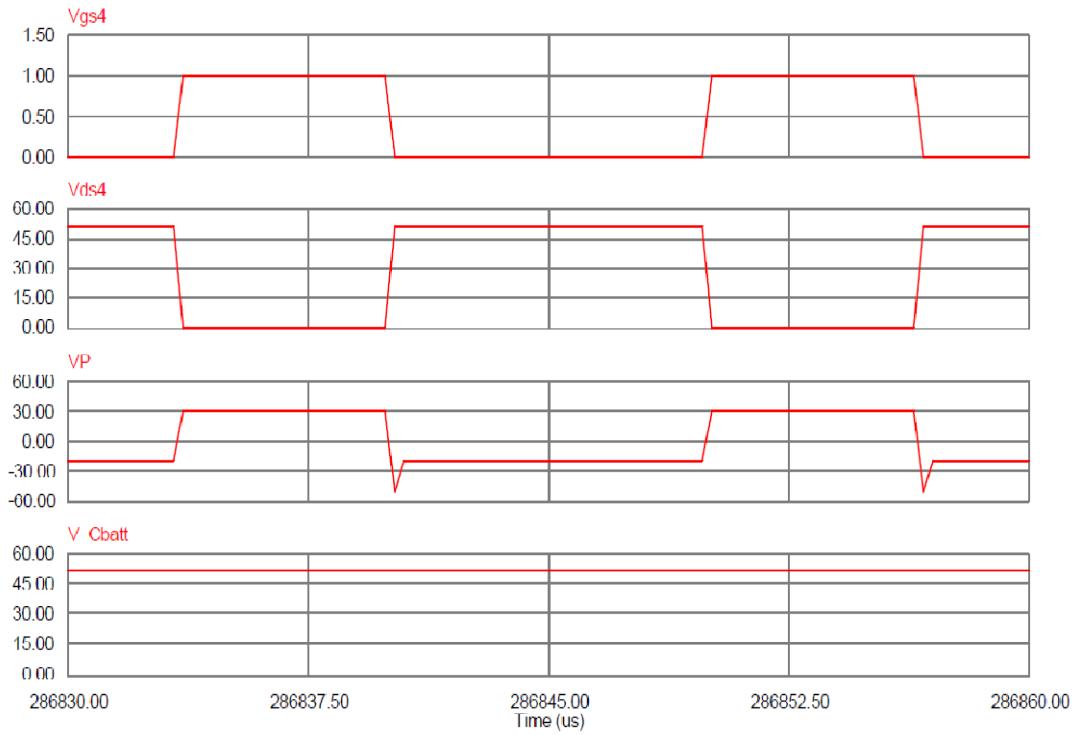
ภาพประกอบ 3-10 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_4 , กระแสที่ไหลผ่านไดโอดสนับเบอร์, กระแสแบบเตอร์วิตและกระแสที่ไหลผ่านตัวด้านหน้าสนับเบอร์ตามลำดับ

ภาพประกอบ 3-11 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันคร่อมคลาดทางด้านปฐมภูมิ, แรงดันที่ตอกคร่อมสวิตช์ S_1 , S_2 , แรงดันเอาท์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

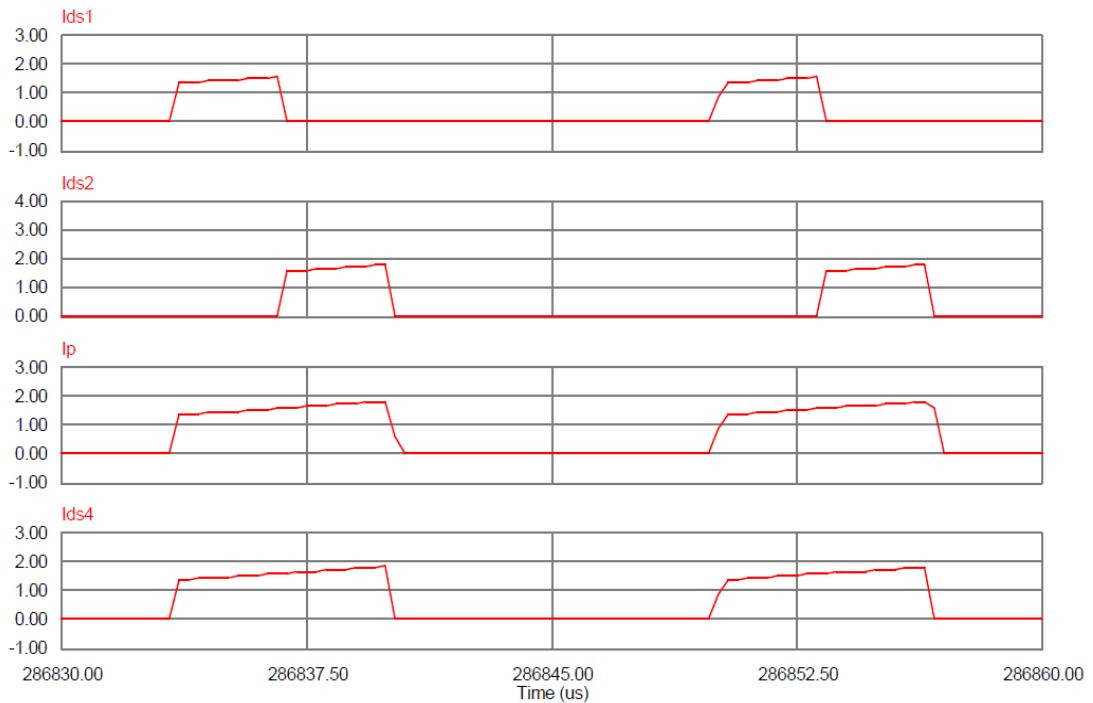
ภาพประกอบ 3-12 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านไดโอดทางด้านเอาท์พุตและกระแสเอาท์พุตที่ 1, 2 ตามลำดับ



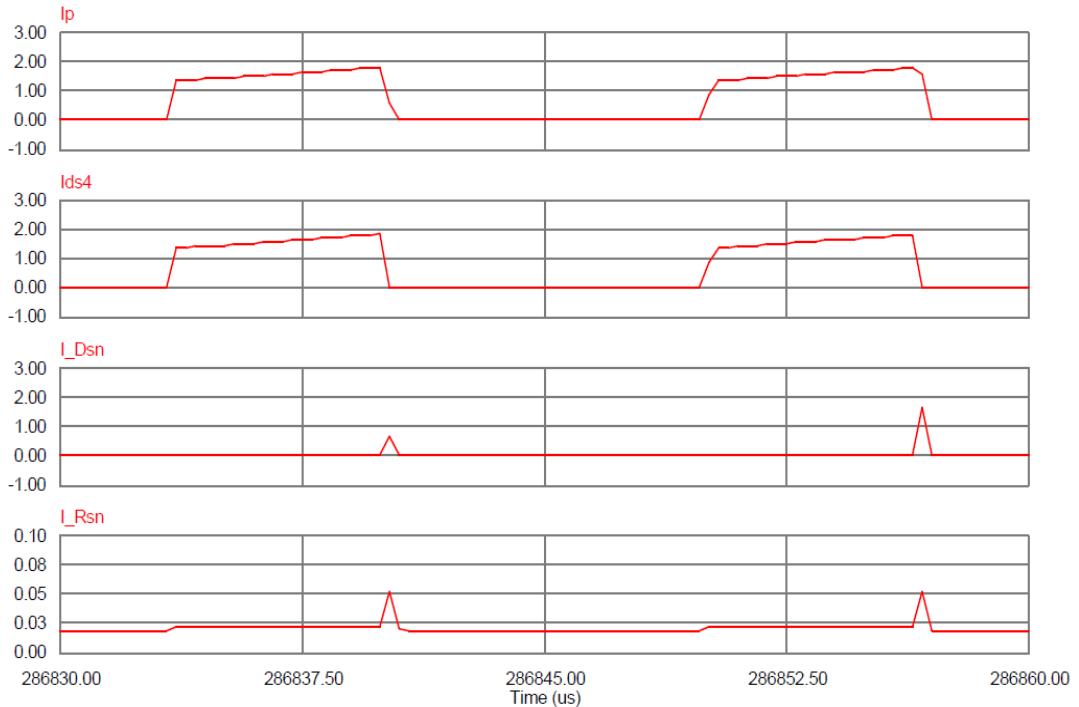
ภาพประกอบ 3-7 แรงดัน V_{gs1} , V_{ds1} , V_{gs2} และ V_{ds2} ตามลำดับ



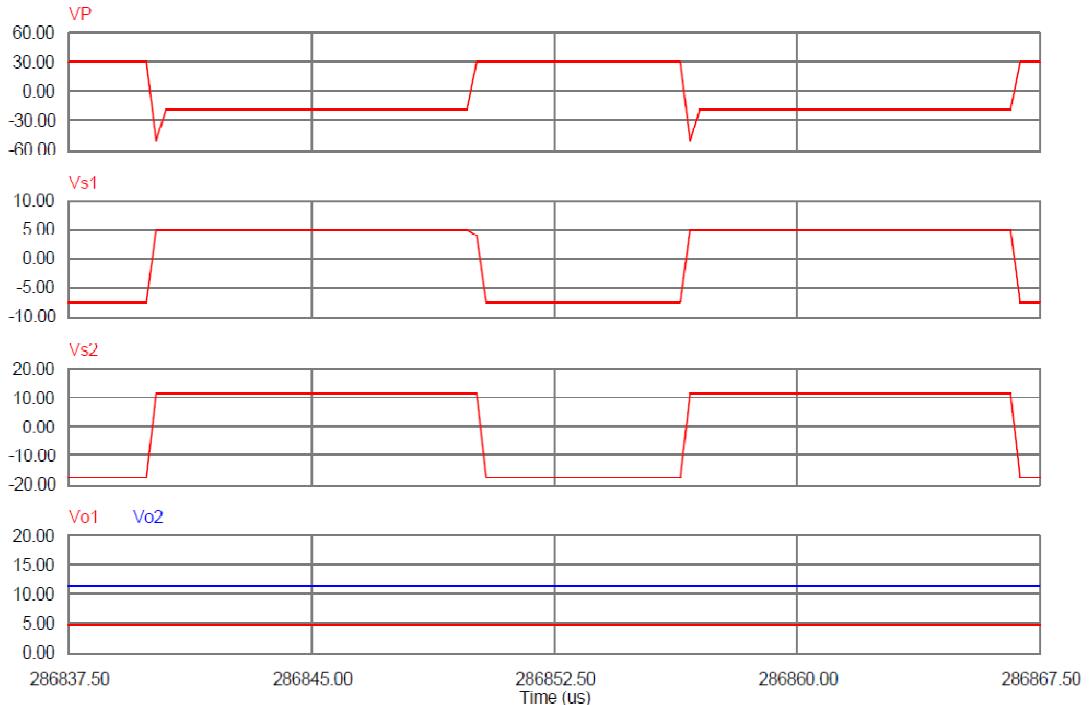
ภาพประกอบ 3-8 แรงดัน V_{gs4} , V_{ds4} , V_p และ V_{batt} ตามลำดับ



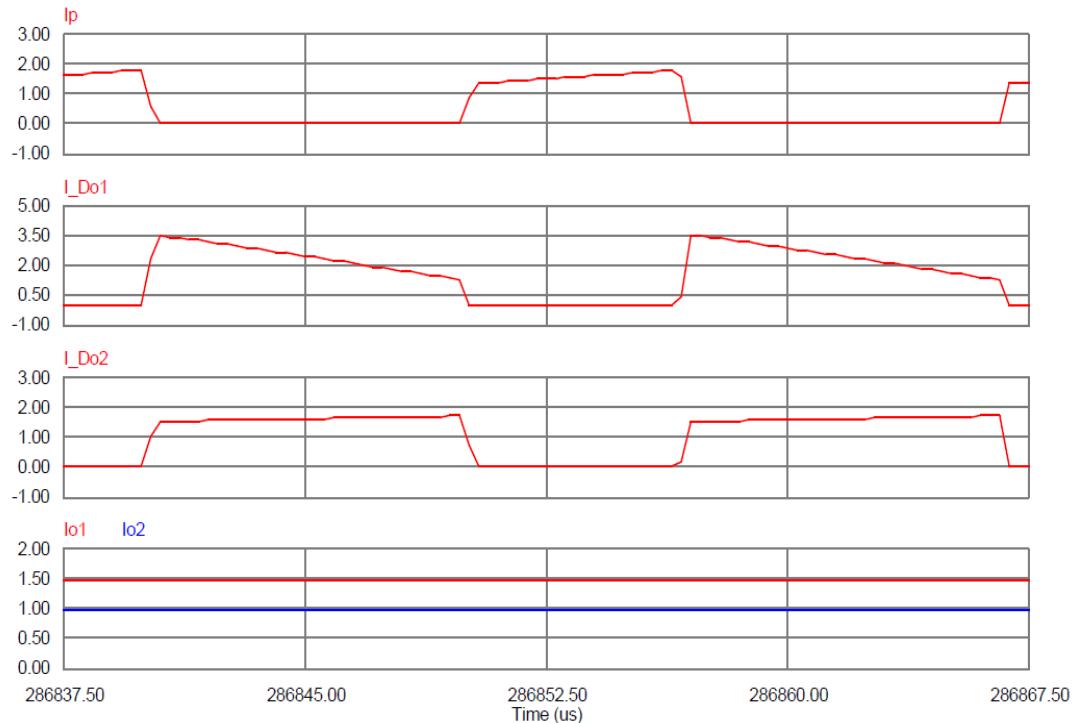
ภาพประกอบ 3-9 กระแส I_{ds1} , I_{ds2} , I_p และ I_{ds4} ตามลำดับ



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



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



ภาพประกอบ 3-12 กระแส I_p , I_{Do_1} , I_{Do_2} , I_{o_1} และ I_{o_2} ตามลำดับ

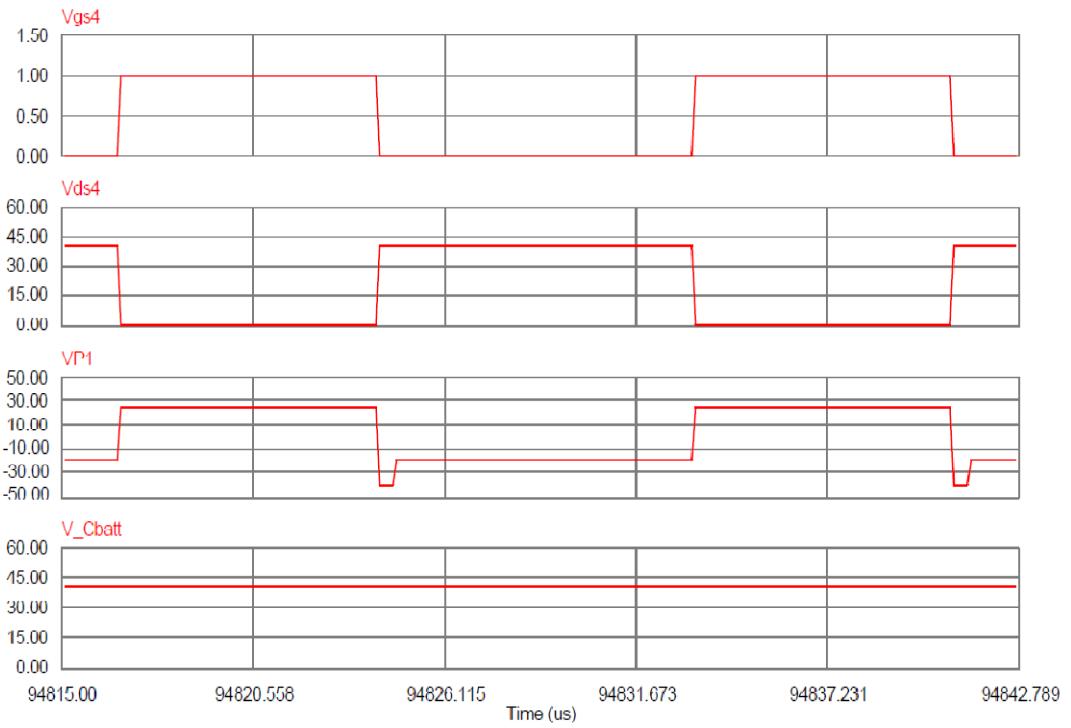
3.2.3 โหมดแบ็คอัพ (Backup mode)

ภาพประกอบ 3-13 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันความคุ้มสวิตช์และแรงดันที่ตอกคร่อมสวิตช์ S_4 , แรงดันคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิและแรงดันแบบเตอร์วีตามลำดับ

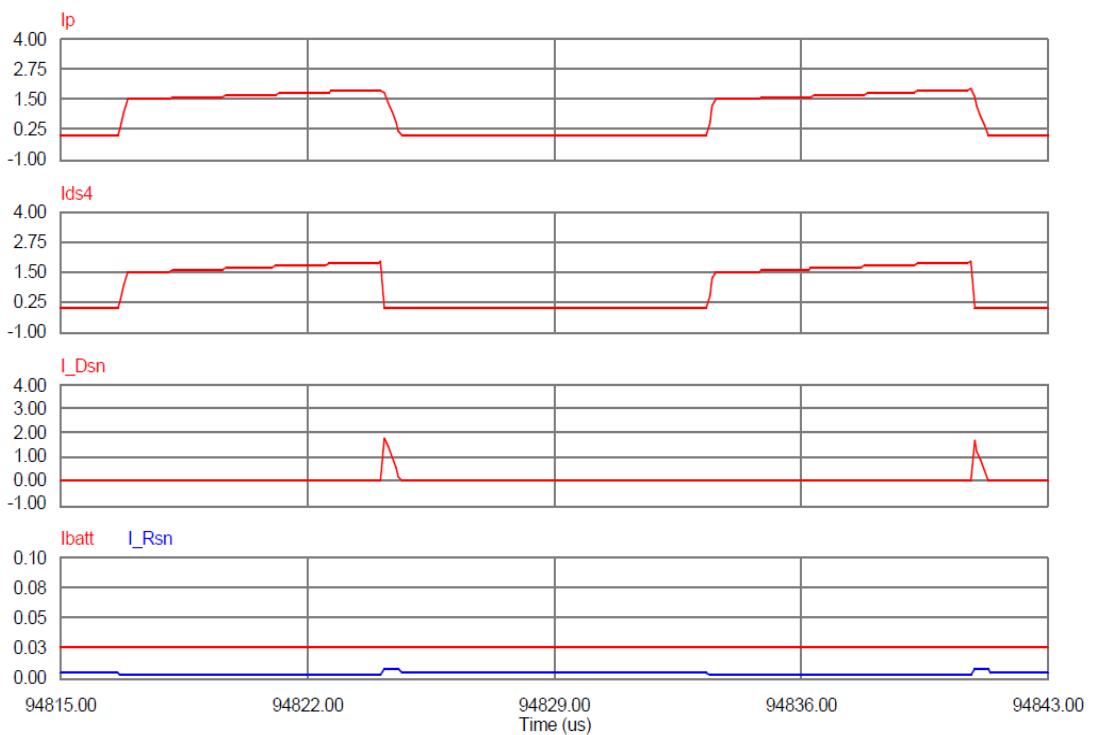
ภาพประกอบ 3-14 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_4 , กระแสที่ไหลผ่านไดโอดสนับเบอร์, กระแสแบบเตอร์วีและกระแสที่ไหลผ่านตัว้านทานสนับเบอร์ตามลำดับ

ภาพประกอบ 3-15 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันคร่อมขดลวดทางด้านปฐมภูมิ, แรงดันที่ตอกคร่อมสวิตช์ S_1 , S_2 , แรงดันเอาท์พุตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

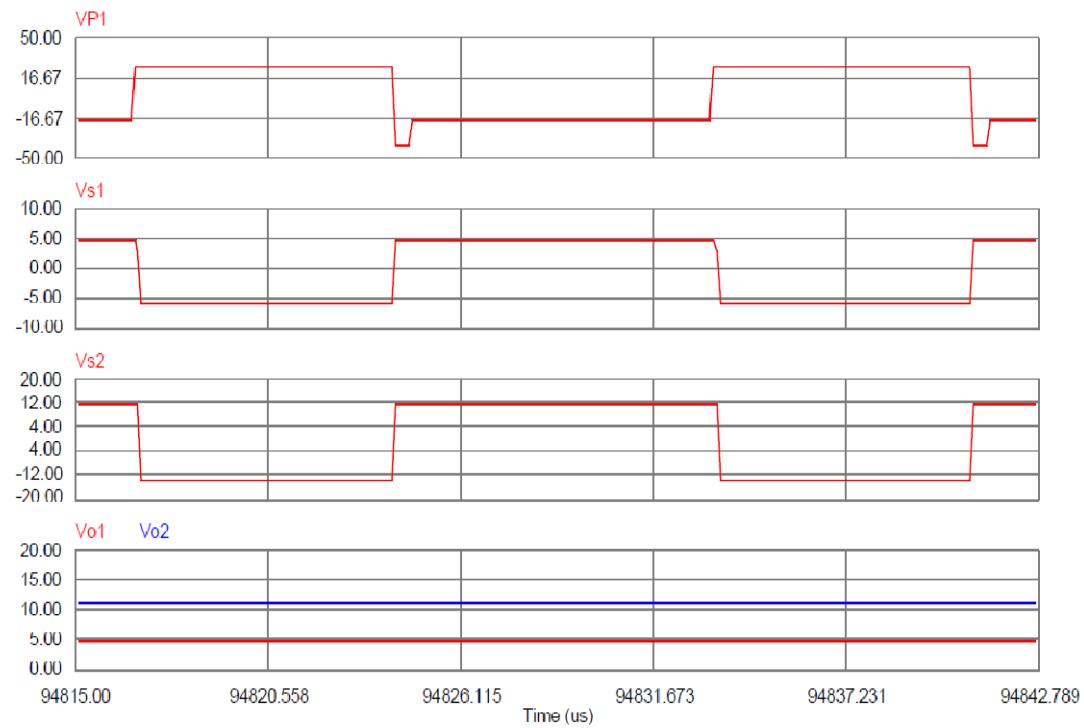
ภาพประกอบ 3-16 แสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, กระแสที่ไหลผ่านไดโอดทางด้านเอาท์พุตและกระแสเอาท์พุตที่ 1, 2 ตามลำดับ



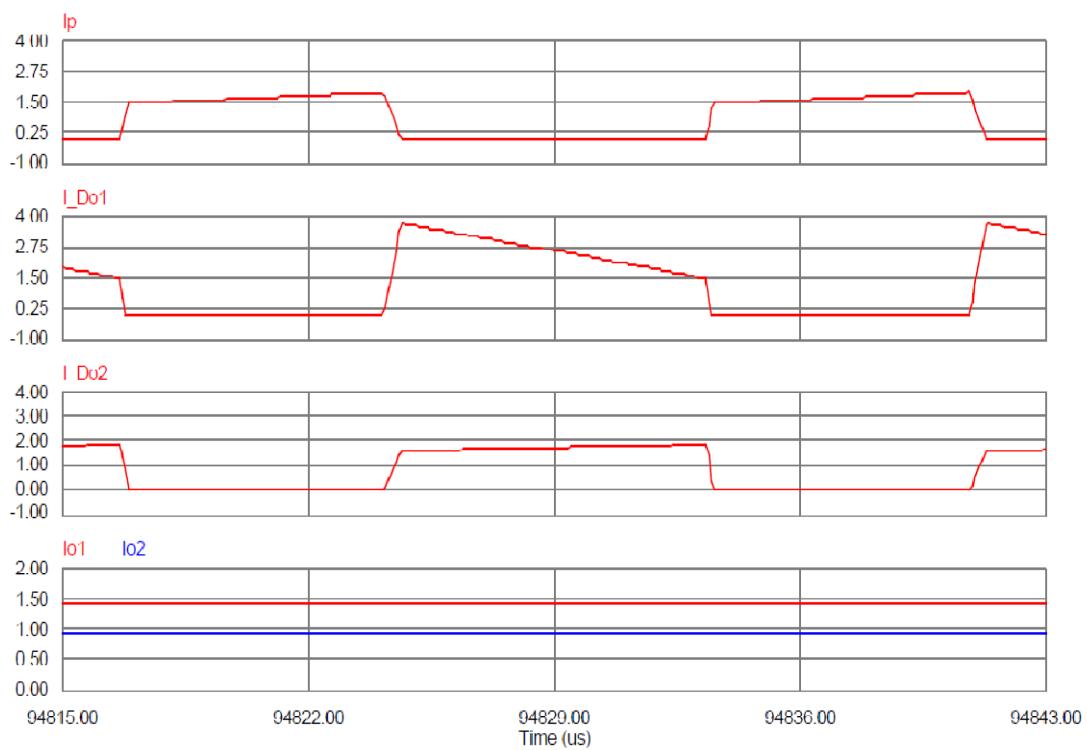
ภาพประกอบ 3-13 แรงดัน V_{gs4} , V_{ds4} , V_p และ V_{batt} ตามลำดับ



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

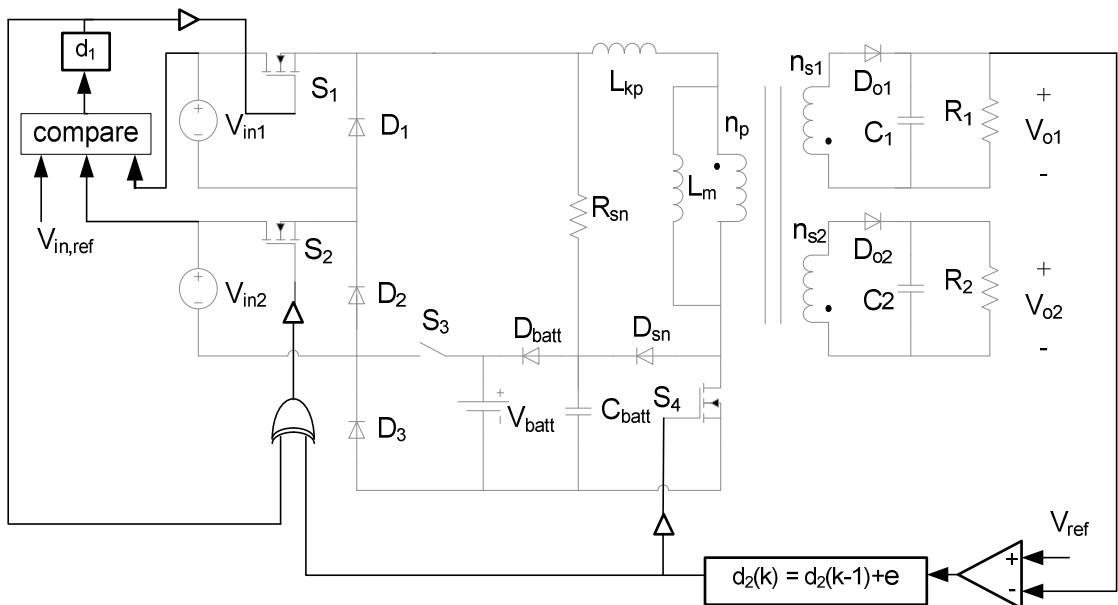


ภาพประกอบ 3-16 กระแส I_p , I_{Do1} , I_{Do2} , I_{o1} และ I_{o2} ตามลำดับ

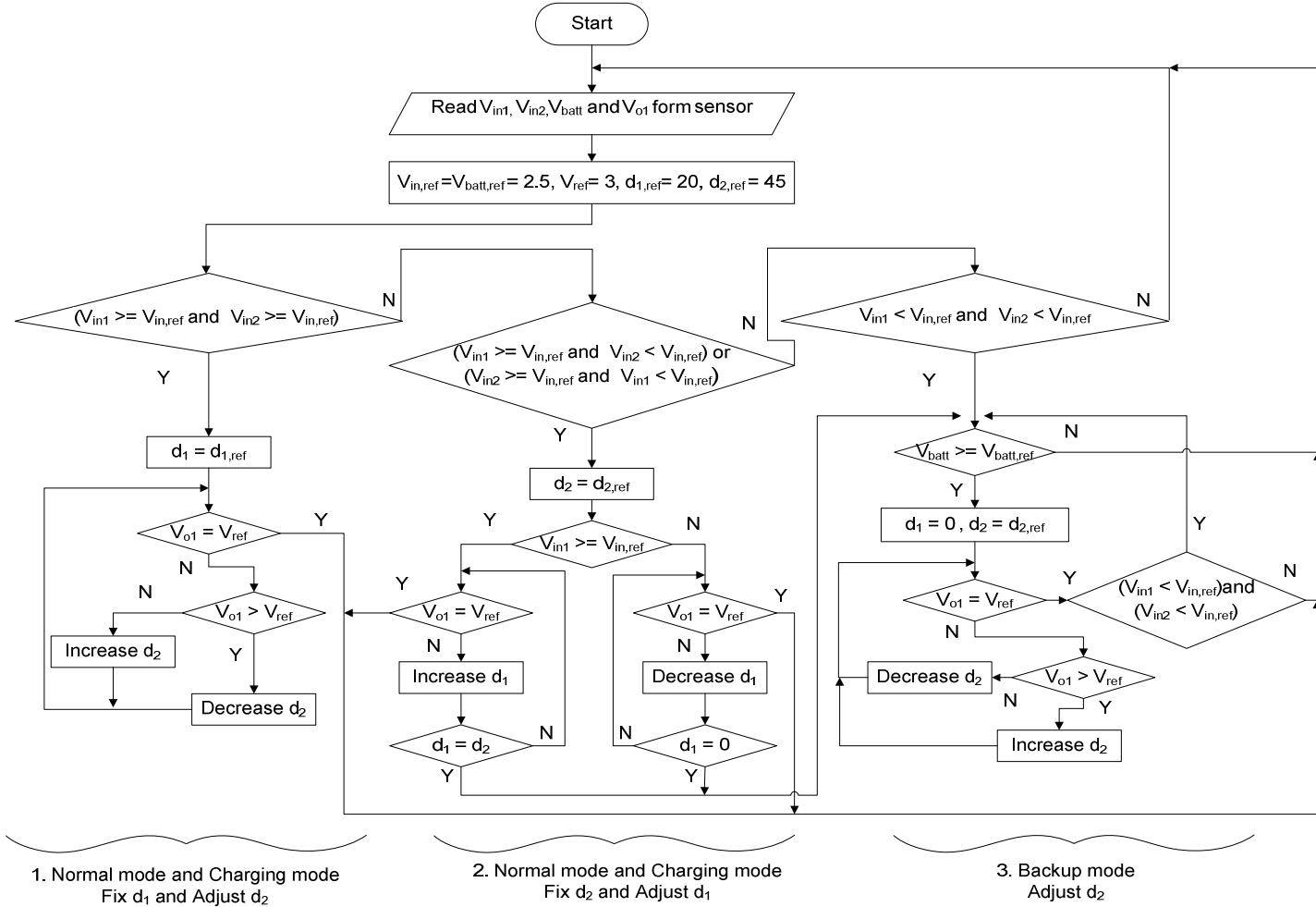
3.3 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของวงจรต้นแบบ

การควบคุมการทำงานของวงจรต้นแบบประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การจัดการพลังงานจากแต่ละอินพุตเพื่อให้วงจรสามารถจ่ายพลังงานให้กับโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการรักษาระดับแรงเร้าท์พุตให้คงที่ โดยในส่วนของการจัดการพลังงานด้านอินพุต จะใช้ระดับแรงดันของแต่ละอินพุตมาเปรียบเทียบกับแรงดันอินพุตอ้างอิงเพื่อกำหนดความกว้างของค่ารอบในการทำงาน (duty cycle) ของ d_1 โดยค่า d_1 จะใช้ในการควบคุมสวิตช์ S_1 และใช้เป็นตัวกำหนดการใช้พลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่าย เนื่องจากสวิตช์ S_2 ควบคุมด้วยค่า d_2 เอ็กซ์คลูซีฟ ออร์ กับ d_1 ดังนั้นถ้าค่า d_1 มากจะทำให้อินพุตที่ 1 จ่ายกำลังได้มากกว่าอินพุตที่ 2 ในขณะเดียวกันถ้าค่า d_1 น้อย ก็จะทำให้อินพุตที่ 2 จ่ายกำลังได้มากกว่าอินพุตที่ 1 โดยที่ค่า d_2 คงที่ และมีค่ามากกว่า d_1

ในส่วนของการรักษาระดับแรงดันเอาท์พุตให้คงที่จะใช้ค่าแรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{o1}) มาเปรียบเทียบกับแรงดันเอาท์พุตอ้างอิง (V_{ref}) ซึ่งก็จะได้ถ้าความผิดพลาด (e) ที่เกิดจากความแตกต่างของแรงดันทั้งสอง มาใช้ในการกำหนดความกว้างของ d_2 ดังแสดงในภาพประกอบ 3-17



ภาพประกอบ 3-17 บล็อกไซด์แกรมการทำงานของวงจร



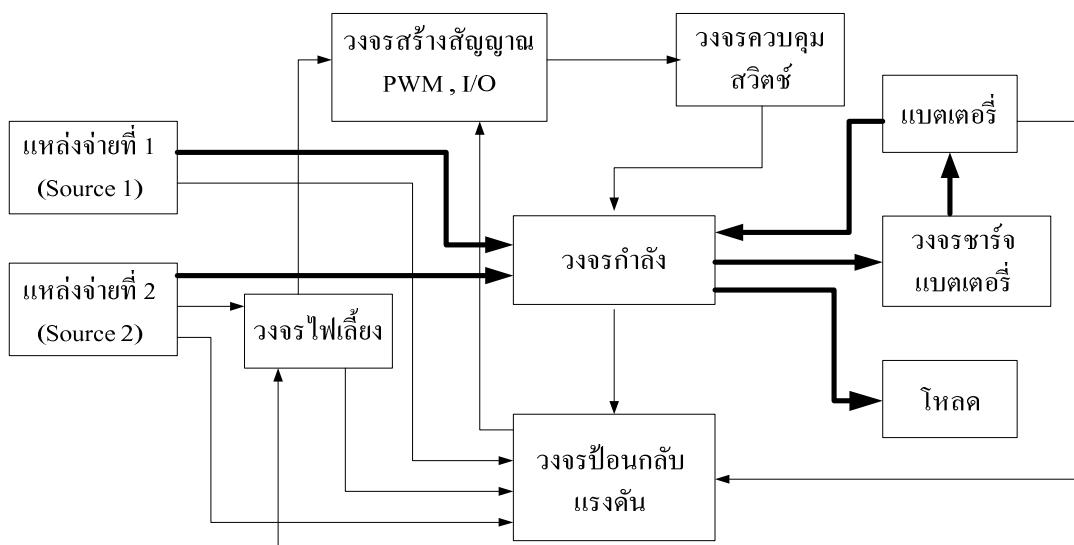
ภาพประกอบ 3-18 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจร

ในภาพประกอบ 3-18 แสดงแผนภาพการทำงานของวงจรโดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 สถานะ ดังนี้

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

3.4 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน

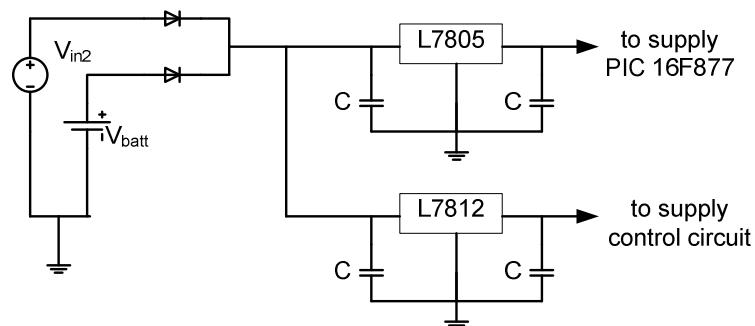
หลังจากออกแบบระบบการทำงานของวงจรแล้ว ต่อมา ก็จะเป็นการออกแบบวงจรที่จะใช้ควบคุมการทำงานของวงจรกำลังดังแสดงในภาพประกอบ 3-19 ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้



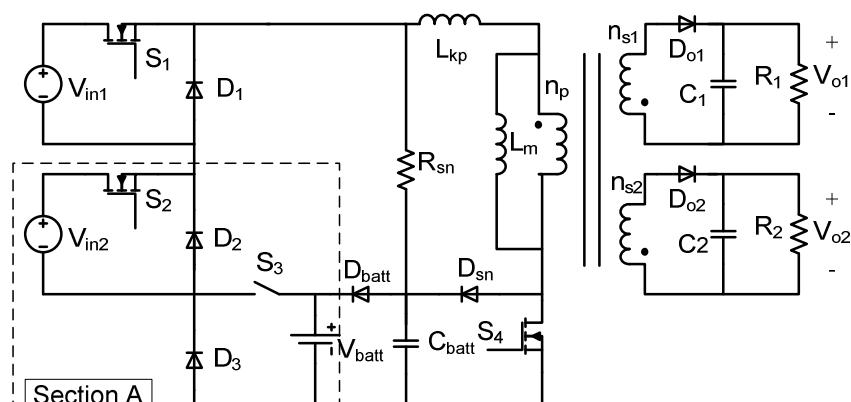
ภาพประกอบ 3-19 การออกแบบวงจรควบคุม

3.4.1 วงจรไฟเลี้ยง

ใช้ในการจ่ายพลังงานให้กับไอซีต่างในวงจรควบคุม ซึ่งใช้ระดับแรงดันที่ 5 โวลท์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 และ 12 โวลท์สำหรับไอซีทั่วไป ในการออกแบบวงจร จะต้องคำนึงถึงเรื่องเสถียรภาพในการจ่ายพลังงานให้กับวงจรควบคุมเป็นหลัก ซึ่งจะออกแบบโดย ทางด้านอินพุตของวงจรประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟจากอินพุตที่ 2 (V_{in2}) และแบตเตอรี่ (V_{batt}) ดังแสดงในภาพประกอบ 3-20 โดยทั้งสองแหล่งจ่ายจะถูกต่อเข้ากับໄอดิโอด ซึ่งจะมีหลักการทำงาน โดยใช้การเบริร์บเทียบแรงดันจากทั้งสองแหล่งจ่าย เมื่อแหล่งจ่ายตัวใดมีค่ามากกว่าໄอดิโอดที่ต่ออยู่ กับแหล่งจ่ายตัวนั้นก็จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ การทำงานโดยทั่วไปของวงจร แหล่งจ่ายอินพุตที่ 2 จะเป็นตัวหลักในการจ่ายพลังงานเนื่องจากมีแรงดันมากกว่าแบตเตอรี่ พลังงานที่ได้จากทั้งสองแหล่งจ่ายจะถูกส่งผ่านไปยังໂ礙ลดโดยผ่านไอซีคงค่าระดับแรงดัน ก่อนที่จะถูกส่งไปเลี้ยงส่วนๆ ของวงจรควบคุมต่อไป

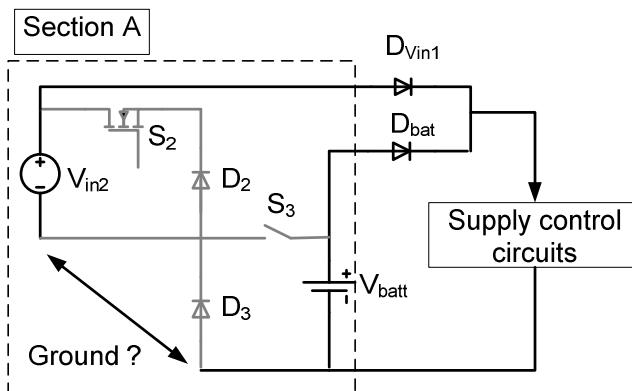


ภาพประกอบ 3-20 วงจรไฟเลี้ยง

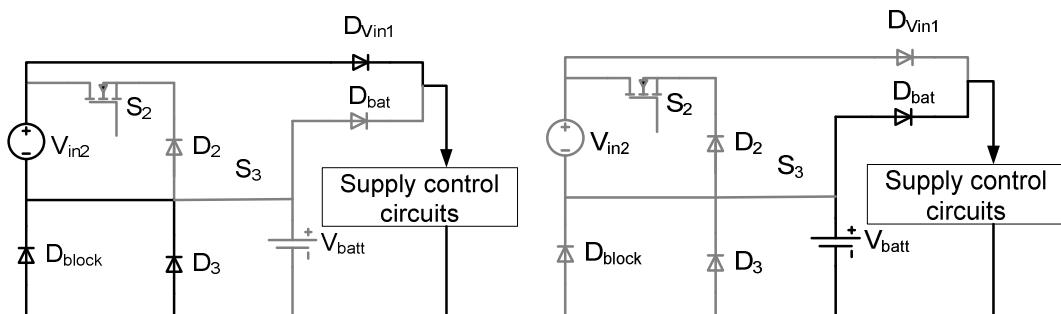


ภาพประกอบ 3-21 วงจรกำลัง

จากภาพประกอบ 3-22 เมื่อนำวงจรไฟเลี้ยงมาต่อเข้ากับแหล่งจ่าย V_{in2} และ V_{batt} ในวงจรกำลังในภาพประกอบ 3-21 จะทำให้เกิดจุดกราวด์ร่วมกันระหว่างแหล่งจ่ายทั้งสอง เพื่อให้สามารถจ่ายพลังงานให้กับวงจรควบคุมต่างๆ ได้ ซึ่งจะส่งผลให้แบตเตอรี่เกิดการลัดวงจรตอนที่สวิตช์ S_3 ทำงาน ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการต่อໄไดโอด 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 การต่อໄไดโอด D_{block} เพื่อป้องกันแบตเตอรี่ลัดวงจรตอนที่สวิตช์ S_3 ทำงาน

3.4.2 วงจรสร้างสัญญาณ PWM, สัญญาณควบคุมรีเลย์

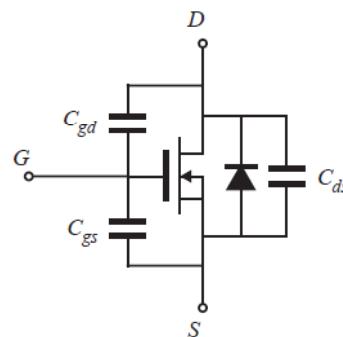
ในการควบคุมการทำงานของวงจร ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ในการสร้างสัญญาณเพื่อจะนำไปควบคุมสวิตช์ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

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

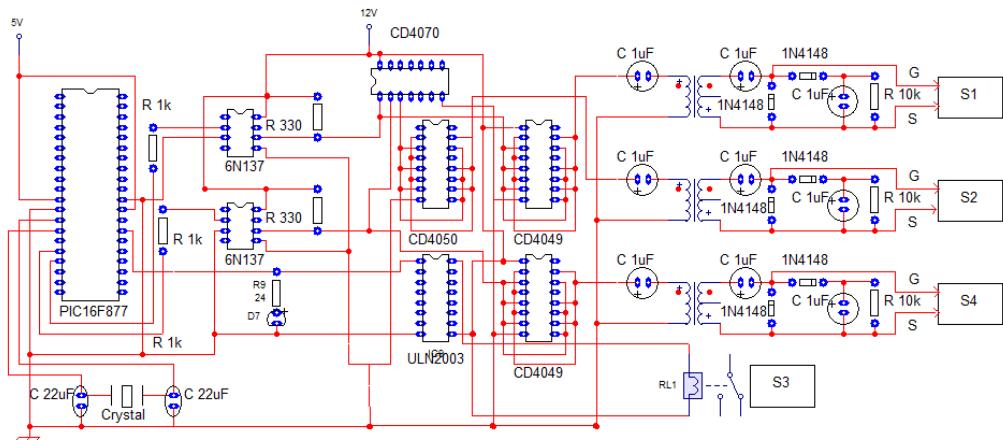
ของสัญญาณสามารถเปลี่ยนระดับได้อย่างทันทีทันใด ซึ่งเกิดจากความไม่เป็นอุดมคติของมอสเฟต ที่ใช้เป็นสวิตช์ของวงจรที่ระหว่างขาของมอสเฟตจะมีคุณลักษณะเป็นตัวเก็บประจุ (parasitic capacitances) ดังแสดงในภาพประกอบ 3-24 ดังนี้จึงจำเป็นจะต้องเพิ่มกระแสให้กับสัญญาณ โดยการนำไปต่อ กับวงจรบัฟเฟอร์ได้แก่ ไอซี CD4049, CD4050 และ CD4070 โดยใช้ไอซี CD4049 ต่อ กับสัญญาณที่ได้จากไอซี 6N137 เพื่อให้เฟสของสัญญาณที่ได้ตรง กับเฟสของสัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากที่ ไอซี 6N137 และ จะให้สัญญาณเอาท์พุตที่กลับเฟสกับสัญญาณอินพุต โดยสัญญาณที่ได้ทั้งสองสัญญาณจะใช้ควบคุมสวิตช์ S_1 กับ S_2 ส่วนสัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ S_3 ได้จากการสัญญาณจากไอซี 6N137 ทั้งสอง มาผ่าน ไอซี CD4070 เพื่อทำการเอ็กซ์คลูซีฟ ออร์ (Exclusive OR) กับ จำนวนนี้กับสัญญาณที่ได้ไปผ่าน ไอซี CD4050 เพื่อใช้เป็นบัฟเฟอร์

เมื่อได้สัญญาณจาก ไอซี CD4049 และ CD4050 ก็จะสามารถนำไปต่อ กับ มอสเฟต ได้โดยในกรณีที่ขาอร์ส(S) ของมอสเฟตต่ออยู่กับกราวด์หรือไม่ต้องการแยกกราวด์ (isolated ground) ของวงจร แต่เนื่องจากต้นแบบตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-13 สวิตช์ S_1 และ S_2 มีลักษณะกราวด์ลอย (floating ground) และเนื่องจากบางช่วงเวลาไฟเลี้ยงของวงจรได้จากแหล่งจ่ายอินพุตที่ 2 ซึ่งต่อ กับ กระดาษสวิตช์ S_3 ดังนี้สวิตช์ทั้งสามจึงจำเป็นจะต้องแยกกราวด์ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2) สัญญาณควบคุมรีเล耶 สัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ จะถูกส่งผ่านไปยัง ไอซี ULN2003 เพื่อขยายกระแสและแรงดันเพื่อนำไปใช้ควบคุมรีเล耶ดังแสดงในภาพประกอบ 3-25



ภาพประกอบ 3-24 วงจรสมมูลอย่างง่ายของมอสเฟต [7]

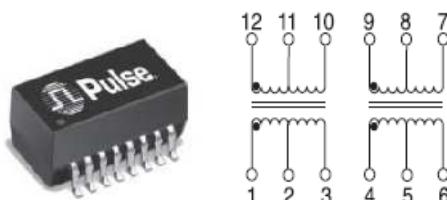


ภาพประกอบ 3-25 วงจรควบคุมสวิตช์

3.4.3 วงจรควบคุมสวิตช์

สัญญาณที่ได้จากไอซี CD4049 และ CD4050 จะถูกส่งผ่านไปควบคุม mosfet ต่อทางหน้าจอแปลงพัลส์ (Pulse Transformer) ดังแสดงในภาพประกอบ 3-25 เพื่อให้สามารถใช้กับมอสเฟต์ที่ต้องแบนกราวด์โดยในวงจรและเพื่อเป็นการแยกกราวด์ออกจากกัน โดยหลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้

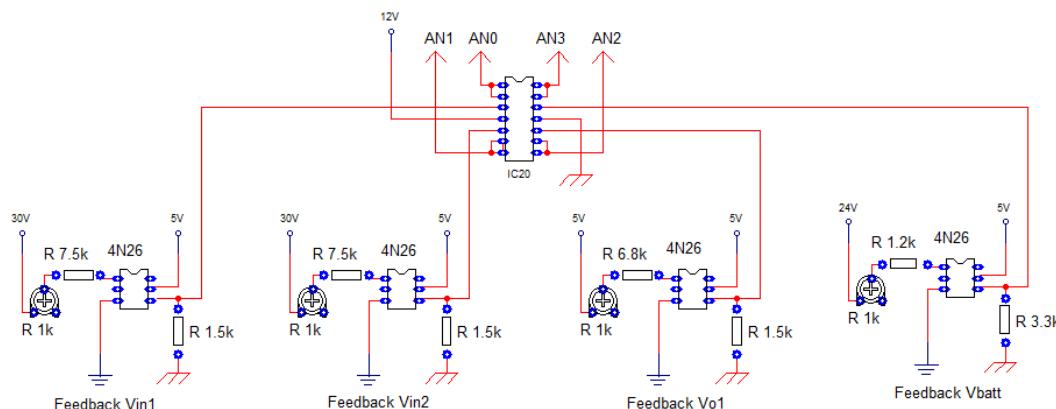
สัญญาณ PWM ที่ได้จากไอซี CD4049 และ CD4050 ซึ่งมีค่าแรงดันค่ายอดถึงค่ายอด (Peak-Peak Voltage) 0-12 โวลท์ จะถูกส่งผ่านหน้าจอแปลงพัลส์ผ่านทางตัวเก็บประจุ C_i ซึ่ง C_i จะทำให้สัญญาณเกิดการสมดุลทั้งซีกบวกและซีกลบของแรงดัน (volt-second balance) ตั้งแต่ค่าร้อยละทำงาน (Duty cycle) 0-99 % เพื่อทำให้หน้าจอแปลงพัลส์ไม่เกิดการอิมตัว (Saturated) ทางด้านทุติยภูมิของหน้าจอแปลงพัลส์จะต้องอยู่กับตัวเก็บประจุ C_o และ ไดโอด D_o ซึ่งจะทำหน้าที่ปรับให้สัญญาณที่ได้จากหน้าจอแปลงทางด้านทุติยภูมิมีค่าแรงดันค่ายอดถึงค่ายอดมีค่า 0-12 โวลท์ เหมือนกับสัญญาณก่อนเข้าวงจรหน้าจอแปลงพัลส์ ไดโอด D_s ตัวเก็บประจุ C_s และตัวต้านทาน R_s ทำหน้าที่เป็นสนับเบอร์ เพื่อกำจัดค่าแรงดันทรานเซียน (Voltage Transients) ที่เกิดจากความไม่เป็นอุดมคติของหน้าจอแปลง



ภาพประกอบ 3.26 หน้าจอแปลงพัลส์ที่ใช้ในวงจร

3.4.4 วงจรป้อนกลับแรงดัน

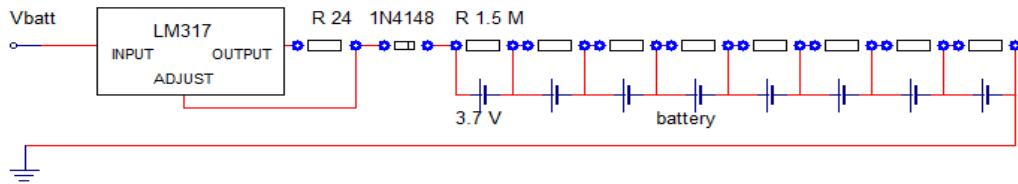
ในการควบคุมการทำงานของวงจรแบบวงรอบปิด (Closed loop control) จำเป็นจะต้องมีวงจรป้อนกลับค่าข้อมูลของวงจรเพื่อนำไปกำหนดค่ารอบการทำงาน โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การป้อนกลับค่าแรงดันจากทั้งสองแหล่งจ่าย ค่าแรงดันแบตเตอรี่ และค่าแรงดันเอาท์พุตที่ 1 เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจร ในภาพประกอบ 3-27 แสดงวงจรป้อนกลับแรงดันต่างๆ โดยค่าแรงดันต่างจะถูกส่งไปยังขาอินพุตของไอซี 4N26 เพื่อทำการแยกกราวอฟจากกันและปรับค่าแรงดันผ่านเอาท์พุตให้ได้มากสุดที่ 5 โวลท์ เพื่อต่อเข้ากับขา A/D ของไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ก่อนต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์สัญญาณที่ได้จะถูกต่อเข้ากับวงจรบัฟเฟอร์ก่อน โดยใช้ไอซี L324 เพื่อป้องสัญญาณพื้ยนที่เกิดจากค่าอิมพีเดนซ์ที่ไม่เท่ากัน



ภาพประกอบ 3.27 วงจรวงจรป้อนกลับแรงดัน

3.4.5 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

วงจรต้นแบบจะถูกออกแบบมาให้นำพลังงานจากค่าความหนี้บานร้าวไว้ของหม้อแปลงมาชาร์จแบตเตอรี่ ดังนั้นการชาร์จแบตเตอรี่จะต้องมีการจำกัดกระแสชาร์จ โดยได้เลือกใช้ไอซี LM317 ซึ่งมีคุณสมบัติมีค่าแรงดันระหว่างขา ADJUST และขา OUTPUT ประมาณ 1.25 โวลท์ โดยวงจรในภาพประกอบ 3-28 จะมีการลิมิตกระแสสูงสุดไว้ที่ $1.25/24 = 52.08$ มิลลิแอมป์ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นชนิดลิเทียมฟอสเฟต (Li-Fe) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-30 ที่มีเซลล์ทั้งหมด 8 เซลล์ เซลล์ละ 3.7 โวลท์ แต่ละเซลล์จะมีตัว้านทานขนาด 1.5 เมกะโอม์ เพื่อเป็นการทำให้แต่ละเซลล์มีแรงดันใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบ 3.28 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

3.5 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร

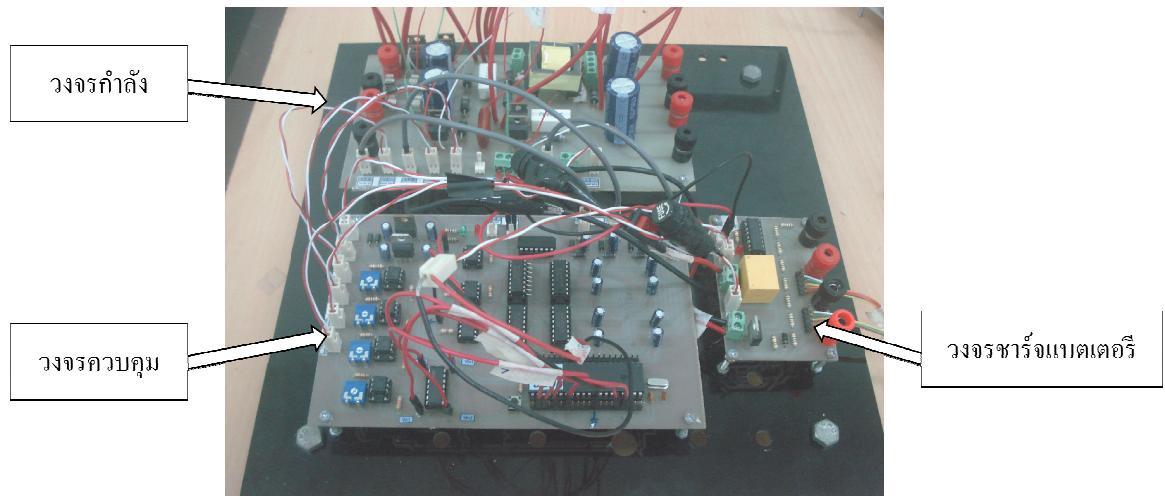
ในการเลือกค่าสวิตช์และอุปกรณ์ต่างในวงจร จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆ โดยเฉพาะค่าพิกัดของกระแสและแรงดันในส่วนต่างๆ ของวงจร อุปกรณ์ที่จะเลือกใช้จะต้องมีพิกัดที่สามารถทนค่าของกระแสและแรงดันได้ และชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับการทำงานของวงจรด้วย โดยในการเลือกค่าอุปกรณ์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 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	Schotky Diode 5A/50V
5	คาปաซิเตอร์ C_1, C_2	$4,700 \mu\text{F}$	2	Electrolytic capacitor 35 V
6	คาป้าซิเตอร์ C_{batt}	$1 \mu\text{F}$	1	Mylar capacitor
7	ตัวต้านทาน R_{sn}	5K	1	Ceramic resistor
8	แคนหม้อแปลง	ETD29	1	-

3.6 วงจรต้นแบบ

จากการออกแบบวงจรต้นแบบต้องแต่การออกแบบหม้อแปลง การออกแบบการควบคุมการทำงานของวงจร การออกแบบวงจรส่วนคุณ ตลอดจนการเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจร ซึ่งจะได้วงจรต้นแบบดังแสดงในภาพประกอบ 3-29 โดยวงจรต้นแบบจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ วงจรกำลัง วงจรส่วนคุณและวงจรชาร์จแบตเตอรี่ ส่วนในภาพประกอบ 3-30 เป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมฟอสเฟตที่ใช้ในวงจร



ภาพประกอบ 3-29 วงจรต้นแบบ



ภาพประกอบ 3-30 แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต (Li-Fe)

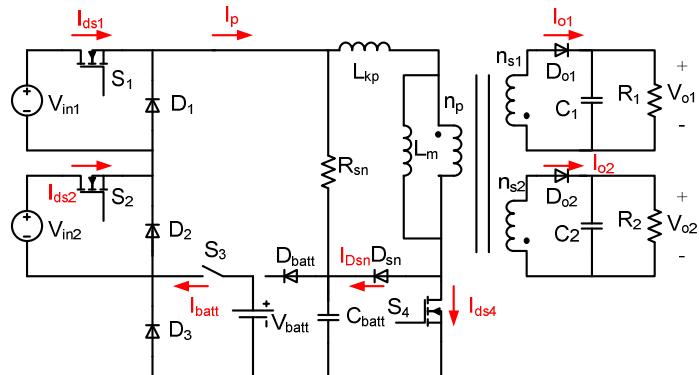
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ การทดสอบการทำงานของวงจรในโหมดต่างๆ คือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดแบบอัฟ ในส่วนที่สองเป็นการทดสอบวงจรควบคุมการคงค่าแรงดันและการจัดการพลังงานโดยในแต่ละโหมดจะทำการวิเคราะห์เพื่อประดิษฐ์ภาพของวงจรต่อไป

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้:

1) แรงดันอินพุตที่ 1 (V_{in1}):	0-30	V
2) แรงดันอินพุตที่ 2 (V_{in2}):	0-30	V
3) แรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{o1}):	5	V
4) แรงดันเอาท์พุตที่ 2 (V_{o2}):	12	V
5) แรงดันแบตเตอรี่ (V_{batt}):	27	V
6) ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ (f_s):	50	kHz
7) ค่าความหนืดนำทำแม่เหล็ก (L_m):	318	μ F
8) ค่าความหนืดนำร้าวไฟล (L _{lk}):	1.21	μ F
9) ตัวเก็บประจุทางค้านเอาท์พุต (C_1, C_2):	3,300	μ F
10) ตัวเก็บประจุสนับเบอร์ (C_{batt}):	10	μ F
11) ค่าความต้านทานสนับเบอร์ (R_{sn}):	5	k Ω
12) ค่ากำลังไฟฟ้าเอาท์พุตสูงสุด (P_{out}):	20	W



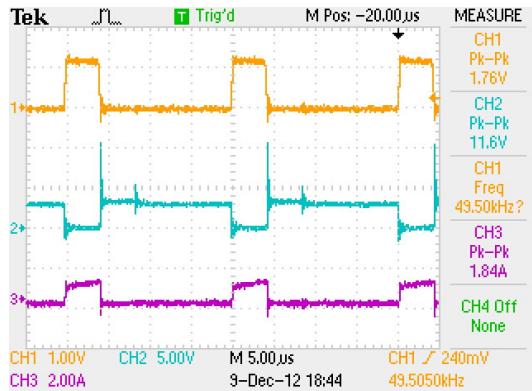
ภาพประกอบ 4-1 วงจรต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบ

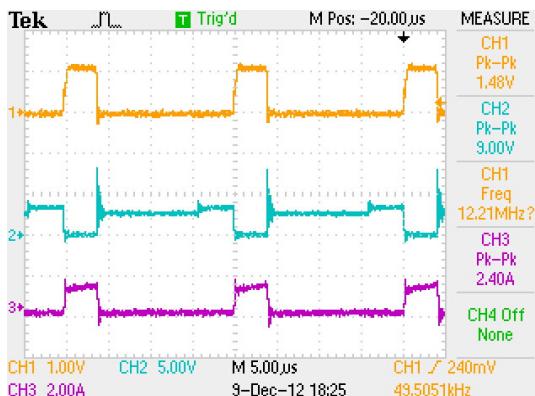
ในการทดลองการทำงานจำเป็นจะต้องวิเคราะห์รูปคลื่นการทำงานในส่วนต่างๆ ของวงจร เพื่อให้แน่ใจว่าวงจรสามารถทำงานได้ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ โดยการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่จุดต่างๆ ของวงจรทั้งสามโหมด ในขณะที่วงจรทำงานที่ค่าพิกัด

4.1.1 โหมดชาร์จแบตเตอรี่

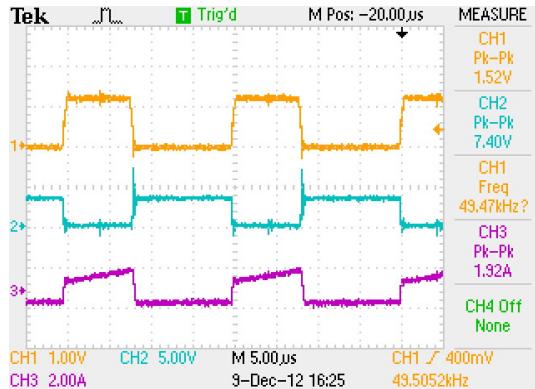
ค่าแรงดันอินพุททั้งสองเท่ากัน $V_{in1} = 31.65 \text{ V}$ และ $V_{in2} = 31.64 \text{ V}$ ค่าร้อนทำงานของสวิตช์ $d_1 = 0.20$ และ $d_2 = 0.40$ ในโหมดนี้ค่าพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำร้าวในหม้อแปลงฟลายแบนจะถูกนำไปใช้มาชาร์จแบตเตอรี่ผ่านทางไอดีโอด D_{sn} ภาพประกอบ 4-2 และ 4-3 แสดงรอบการทำงานของสวิตช์ S_1 และ S_2 ซึ่งควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายทั้งสอง ภาพประกอบ 4-4 และ 4-5 แสดงการทำงานของสวิตช์ S_4 และกระแสทางด้านปฐมภูมิ ภาพประกอบ 4-6 เป็นกระแสที่ชาร์จแบตเตอรี่ ภาพประกอบ 4-7 และ 4-8 แสดงกระแสทางด้านชุด漉คุณภาพที่อยู่ในทั้งสองเอาท์พุท ส่วนรูปคลื่นแรงดันด้านออกทั้งสองแสดงในภาพประกอบ 4-9 และ 4-10 ตามลำดับ



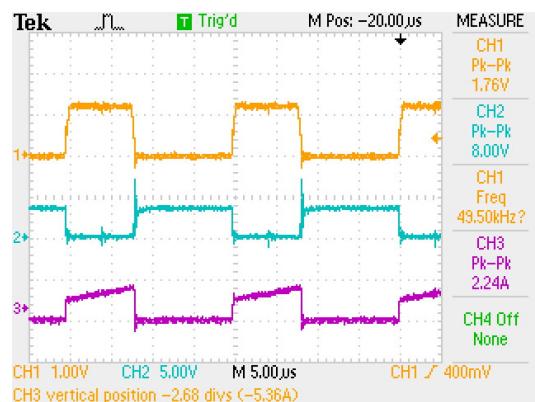
ภาพประกอบ 4-2 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_1 (V_{gs1}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1}) และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 (I_{ds1}) ตามลำดับ



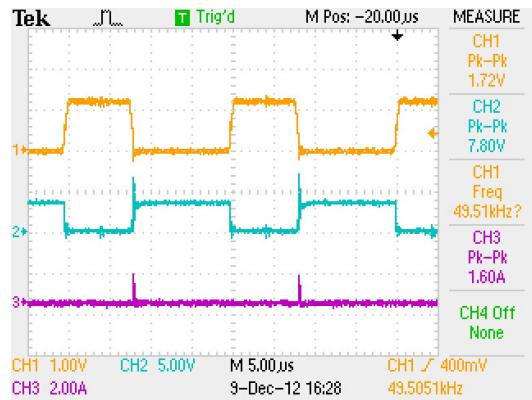
ภาพประกอบ 4-3 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_2 (V_{gs2}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_2 (V_{ds2}) และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_2 (I_{ds2}) ตามลำดับ



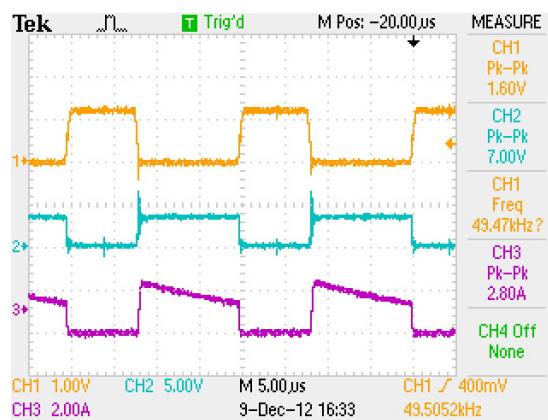
ภาพประกอบ 4-4 แรงดันความถี่ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหล
ทางด้านปฐมภูมิ (I_p) ตามลำดับ



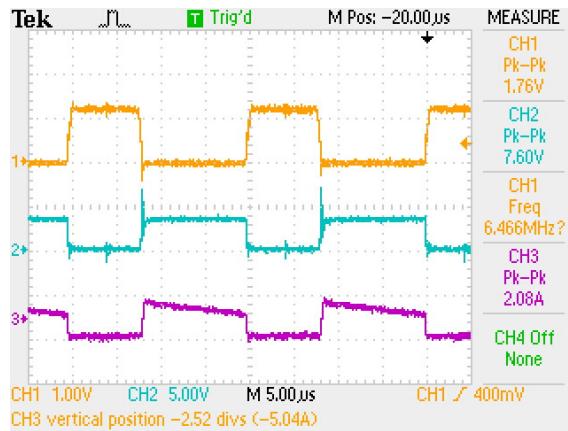
ภาพประกอบ 4-5 แรงดันความถี่ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลผ่าน
สวิตช์ $S_4 (I_{ds4})$ ตามลำดับ



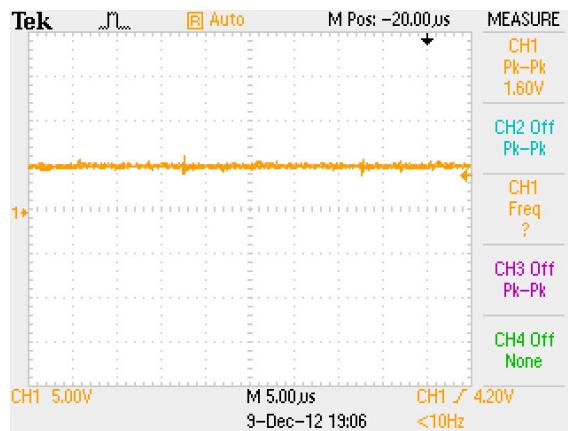
ภาพประกอบ 4-6 แรงดันความคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหลด
ได้โดย D_{sn} ตามลำดับ



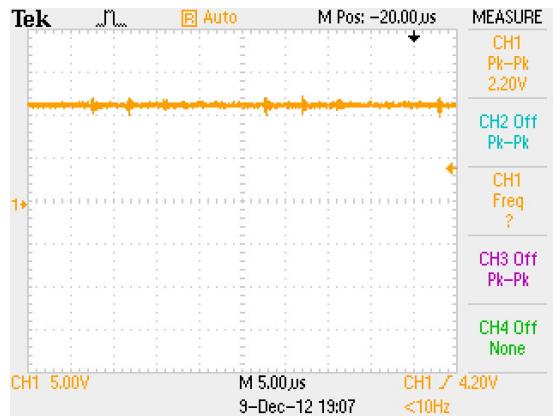
ภาพประกอบ 4-7 แรงดันความคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$ และกระแสที่ไหลดทางด้านทุติยกมิ (I_{oI})ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4-8 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{g4})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2}) ตามลำดับ



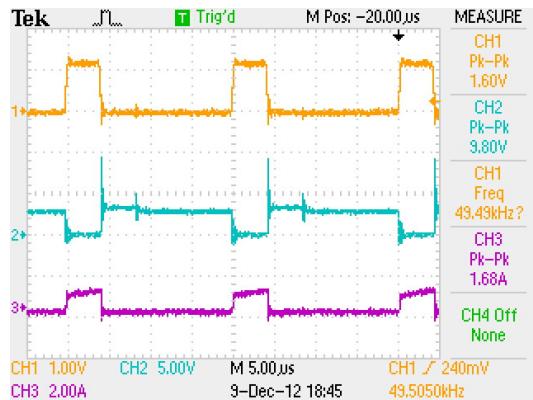
ภาพประกอบ 4-9 แรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{o1})



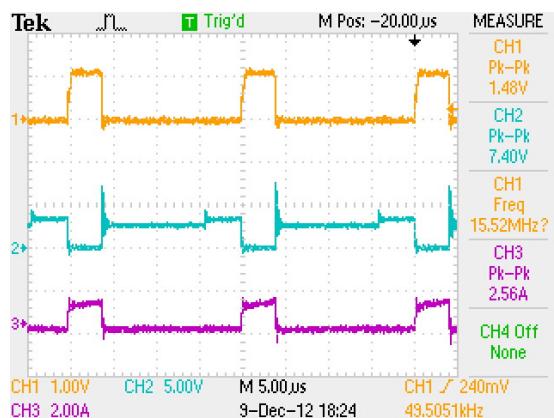
ภาพประกอบ 4-10 แรงดันเอาท์พุตที่ 2 (V_{o_2})

4.1.2 โหมดปกติ

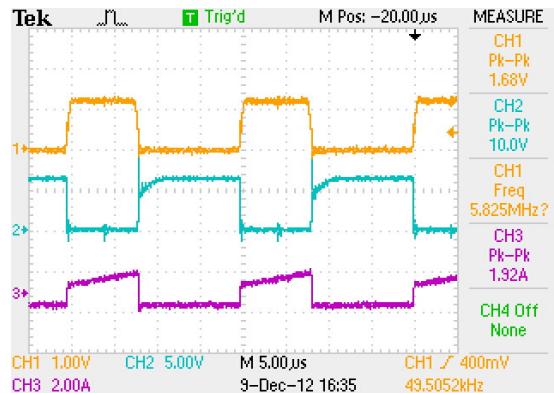
หากเมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จจนเต็มก็จะเข้าสู่โหมดการทำงานปกติ ค่าแรงดันอินพุตทั้งสองเท่ากับ $V_{in1} = 31.65$ V และ $V_{in2} = 31.64$ V ค่ารอบทำงานของสวิตซ์ $d_1 = 0.20$ และ $d_2 = 0.40$ รูปคลื่นต่างๆ จะเหมือนกันในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ ยกเว้นค่ายอดของกระแส D_{sn} ลดลงเนื่องจากไม่การชาร์จแบตเตอรี่ โดยภาพประกอบ 4-11 และ 4-12 แสดงรูปคลื่นการทำงานของสวิตซ์ S_1 และ S_2 ภาพประกอบ 4-13 และ 4-14 แสดงการทำงานของสวิตซ์ S_4 และกระแสทางด้านปฐมภูมิ ภาพประกอบ 4-15 เป็นกระแสที่ไหลผ่านไดโอด D_{sn} ภาพประกอบ 4-16 และ 4-17 แสดงกระแสทางด้านขาดวัสดุ ทุติยภูมิของทั้งสองเอาท์พุต ส่วนรูปคลื่นแรงดันด้านออกทั้งสองແแสดงในภาพประกอบ 4-18 และ 4-19 ตามลำดับ



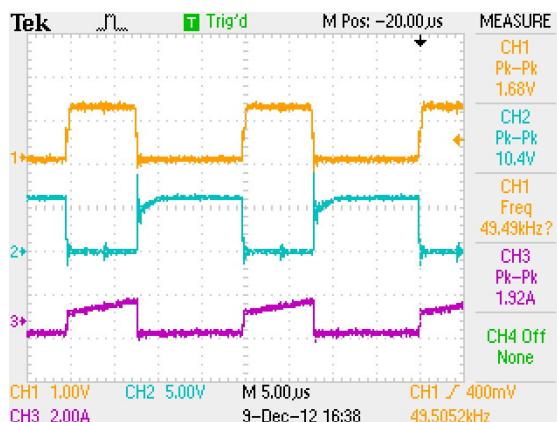
ภาพประกอบ 4-11 แรงดันความคุณสวิตช์ S_1 (V_{gs1}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1}) และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_1 (I_{ds1}) ตามลำดับ



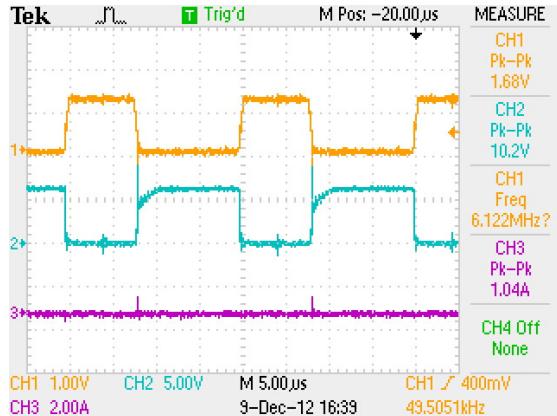
ภาพประกอบ 4-12 แรงดันความคุณสวิตช์ S_2 (V_{gs2}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_2 (V_{ds2}) และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S_2 (I_{ds2}) ตามลำดับ



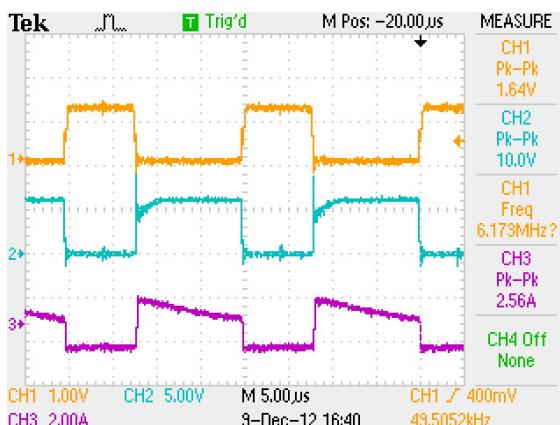
ภาพประกอบ 4-13 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหล
ทางด้านปฐมภูมิ (I_p) ตามลำดับ



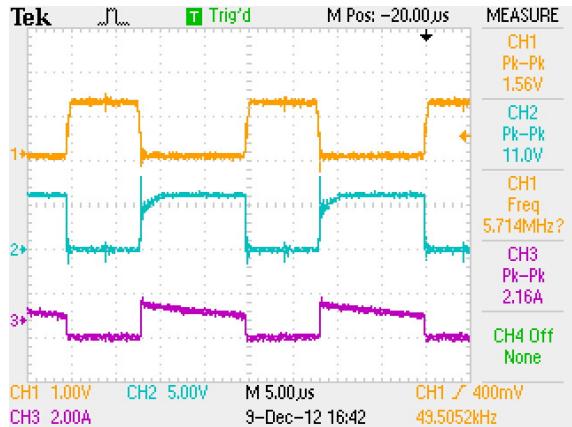
ภาพประกอบ 4-14 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่ไหล
ผ่านสวิตช์ $S_4(I_{ds4})$ ตามลำดับ



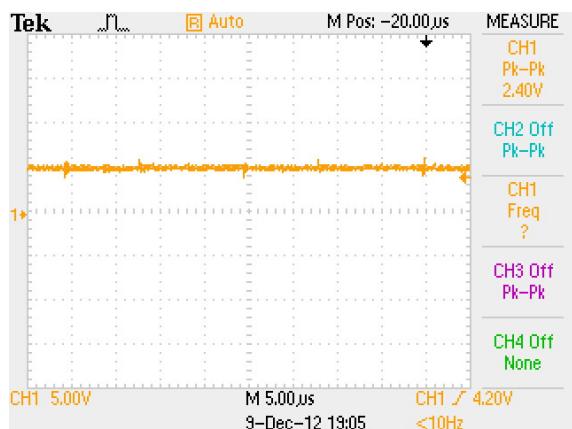
ภาพประกอบ 4-15 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_q(V_{gsq})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_q(V_{dsq})$ และกระแสที่ไหลผ่านไอดี D_{sq} ตามลำดับ



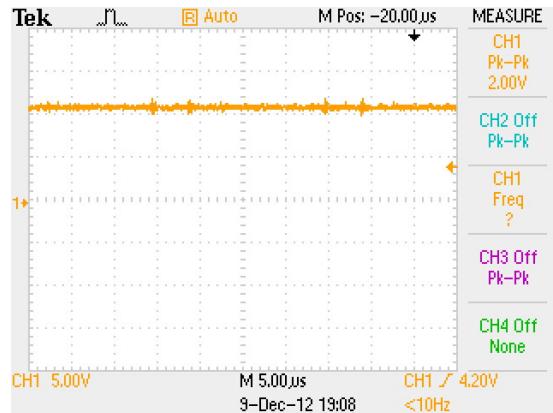
ภาพประกอบ 4-16 แรงดันความคุณสวิตช์ $S_q(V_{gsq})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2}) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4-17 แรงดันความคุณลักษณะ $S_f(V_{gs})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_o) ตามลำดับ



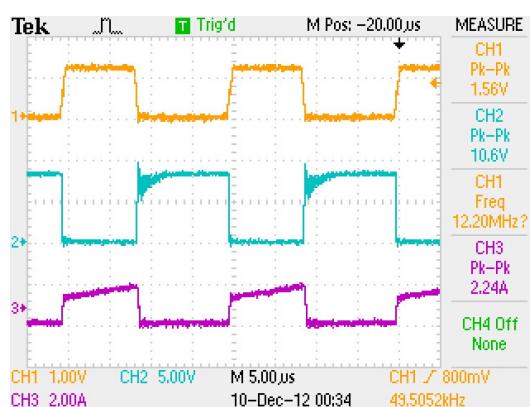
ภาพประกอบ 4-18 แรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{o1})



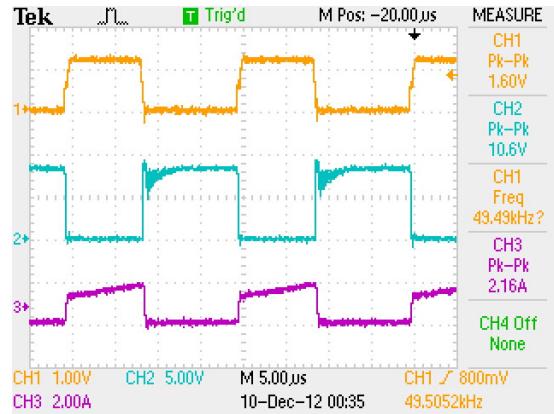
ภาพประกอบ 4-19 แรงดันเอาท์พุตที่ 2 (V_{o_2})

4.13 โหนดเบี๊กอัพ

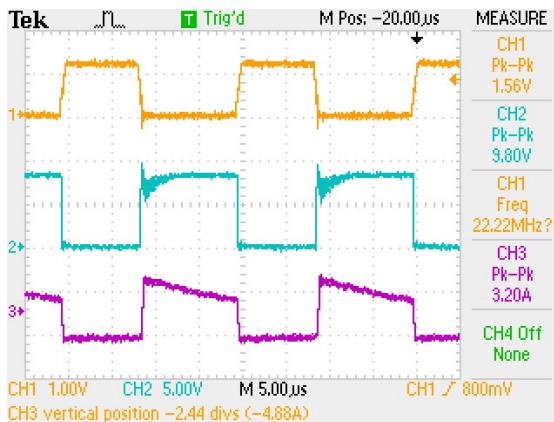
เมื่อเหล่านี้ทั้งสองไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดได้ แบบเดอร์จะทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าแทน โดยมีจุดทำงานที่ $V_{batt} = 27$ V และ $d_2 = 0.44$ ภาพประกอบ 4-20 และ 4-21 แสดงการทำงานของสวิตช์ S_4 และกระแสทางค่านปฐมภูมิ ภาพประกอบ 4-22 และ 4-23 แสดงกระแสทางค่านบคลาดทุติยภูมิของเอาท์พุตทั้งสอง ส่วนรูปคลื่นแรงดันค่านออกทั้งสองแสดงในภาพประกอบ 4-24 และ 4-25 ตามลำดับ



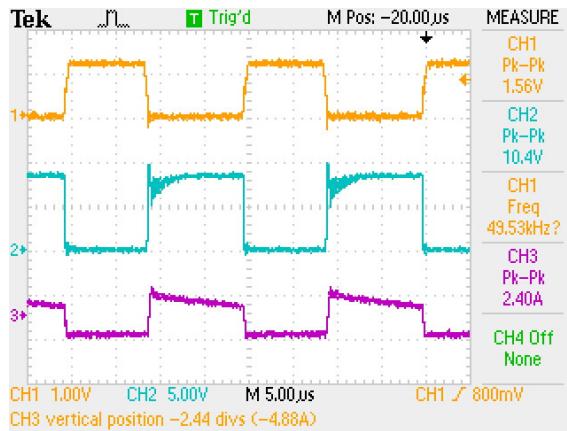
ภาพประกอบ 4-20 แรงดันควบคุมสวิตช์ $S_4(V_{gs4})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_4(V_{ds4})$ และกระแสที่โหลดทางค่านปฐมภูมิ (I_p) ตามลำดับ



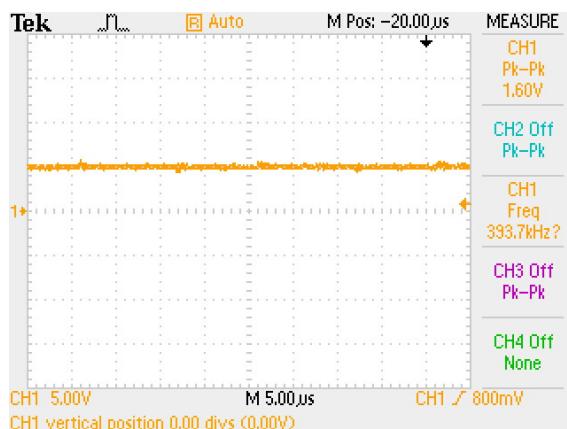
ภาพประกอบ 4-21 แรงดันความคุณลักษณะ $S_g(V_{gsq})$, แรงดันคร่อมสวิตช์ $S_d(V_{dsq})$ และกระแสแต่ที่ไหลผ่านสวิตช์ $S_d(I_{dsq})$ ตามลำดับ



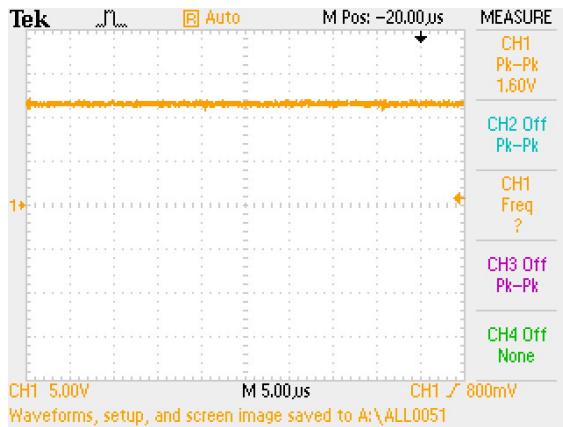
ภาพประกอบ 4-22 แรงดันความคุณลักษณะ $S_g(V_{gsq})$ และกระแสแต่ที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{oq}) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4-23 แรงดันความคุณลักษณะ $S_2(V_{gs2})$ และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2}) ตามลำดับ



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



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

4.2 ผลการทำงานของวงจรควบคุม

วัตถุประสงค์ของการทดลองประกอบไปด้วยสองส่วนคือ การพิจารณาการรักษา ระดับแรงดันแต่ละเอาท์พุตเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง และการพิจารณาการจัดการพลังงานจากห้องส่อง แหล่งจ่ายเมื่อแรงดันแต่ละอินพุตเปลี่ยนแปลง โดยแต่ละส่วนจะมีเงื่อนไขของแรงดันแต่ละอินพุต มาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงตามภาพประกอบ 4.26

4.2.1 การหาประสิทธิภาพของวงจรในแต่ละโหมด ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง การทำงานของวงจรจำเป็นจะต้องหาประสิทธิภาพการทำงานในโหมดต่างๆ ดังนี้

1) โหมดคงติด ประสิทธิภาพหาได้จากการ

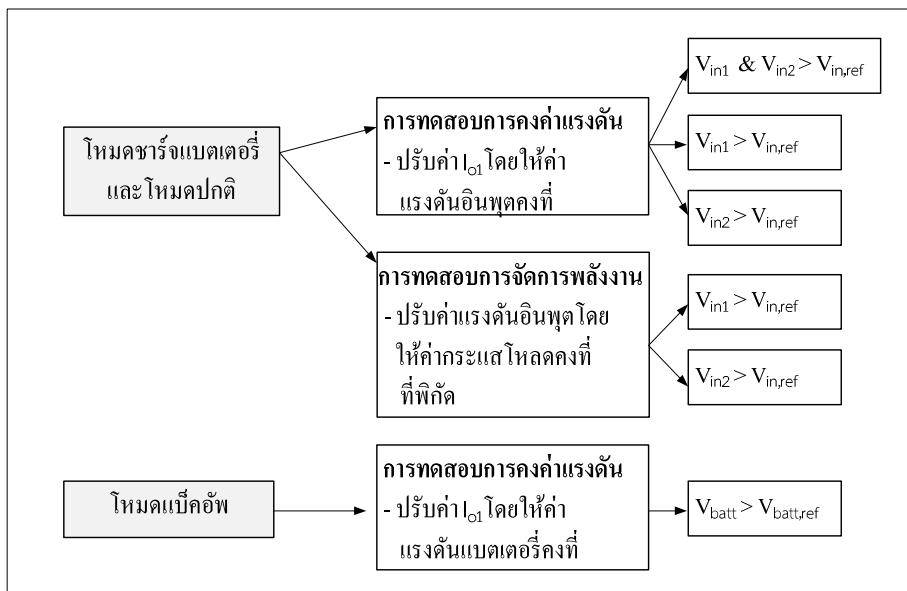
$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{(V_{o1})(I_{o1}) + (V_{o2})(I_{o2})}{(V_{in1})(I_{in1}) + (V_{in2})(I_{in2})} \times 100\% \quad (4.1)$$

2) โหมดชาร์จแบตเตอรี่ ประสิทธิภาพหาได้จากการ

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

3) โหมดแบตอัพ ประสิทธิภาพหาได้จากการ

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



ภาพประกอบ 4-26 ภาพรวมของการทดลอง

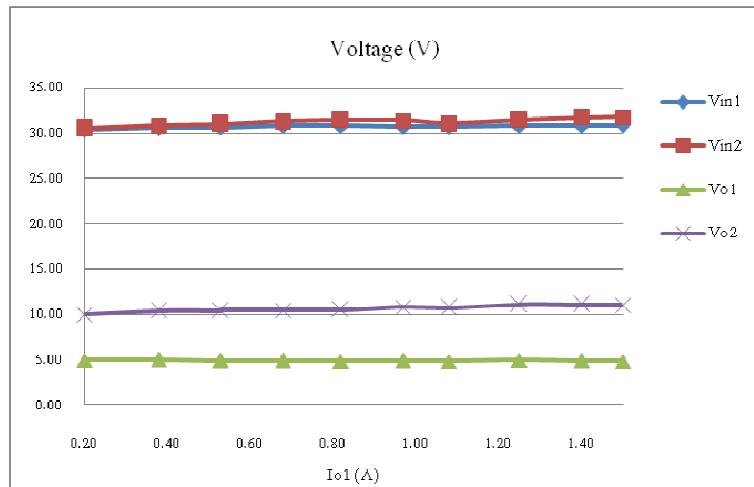
4.2.2 การทดสอบการคงค่าแรงดัน ในส่วนนี้จะมีการทดลองทั้งสามโหมดเพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันทั้งสองเอาท์พุตเมื่อกระแสไฟหลักเอาท์พุตที่ 1(I_{o1}) มีการเปลี่ยนแปลงจากน้อยจนไปถึงค่าพิกัด โดยแต่ละโหมดแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณี ตามเงื่อนไขของแรงดันทั้งสองอินพุต

1) โหมดปกติ

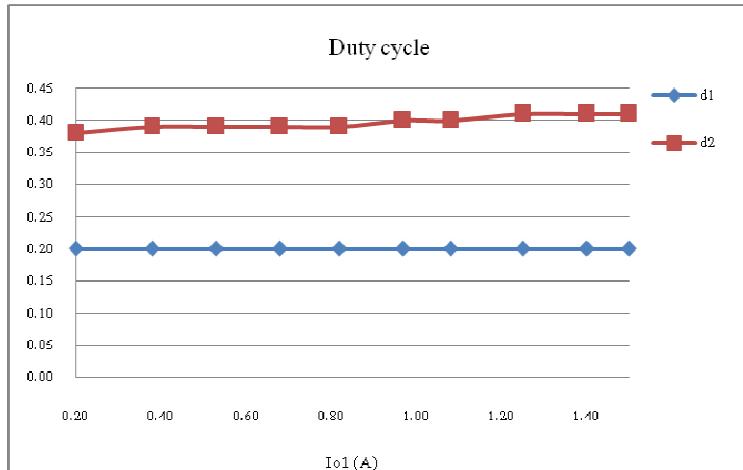
กรณีที่ 1 แรงดันทั้งสองอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าไฟหลักเอาท์พุตที่ (I_{o1}) ผลกระทบทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 ภาพประกอบ 4.27 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อกระแสไฟหลักเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4.28 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟหลัก ภาพประกอบ 4.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟหลัก และภาพประกอบ 4.30 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อไฟหลักมีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองที่แรงดันทั้งสองอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

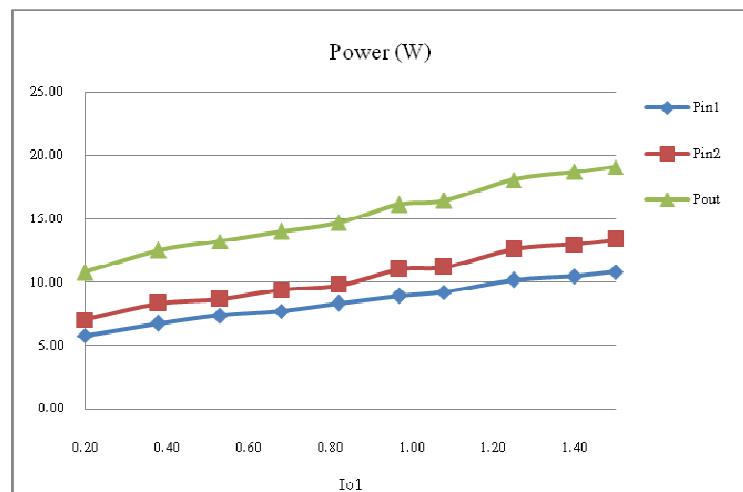
Io1	Io2	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Pout (W)	η (%)
0.20	0.98	30.38	0.19	5.77	30.48	0.23	7.01	0.20	0.38	0.38	4.96	9.97	10.76	84.19
0.38	1.02	30.53	0.22	6.72	30.78	0.27	8.31	0.20	0.39	0.39	4.98	10.41	12.51	83.26
0.53	1.02	30.57	0.24	7.34	30.95	0.28	8.67	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



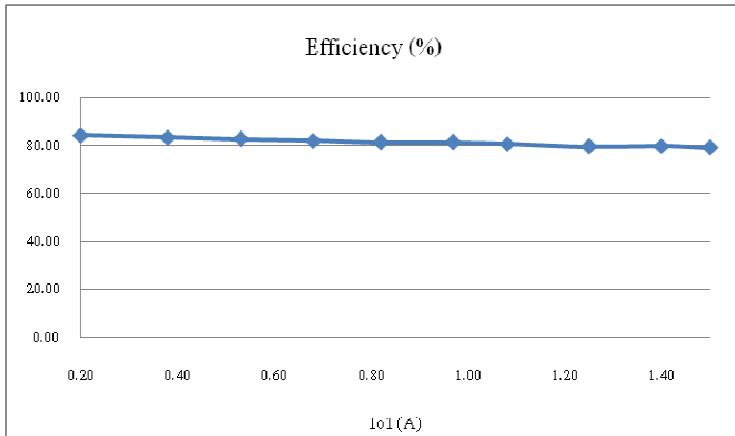
ภาพประกอบ 4-27 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่เข้าที่อินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-28 ค่าร้อนทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-29 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

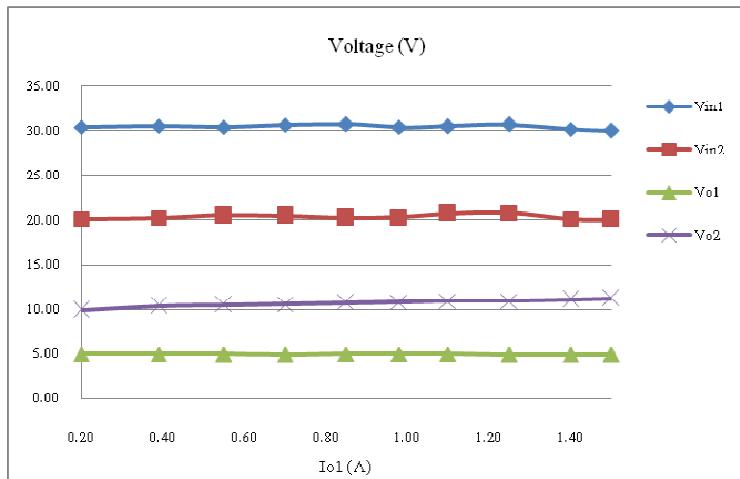


ภาพประกอบ 4-30 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไฟหลอดที่ 1 เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

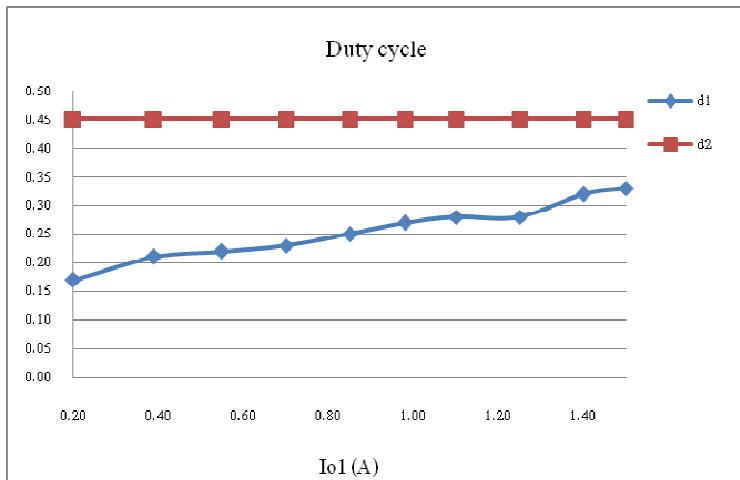
กรณีที่ 2 แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันข้างอิงและเปลี่ยนแปลงค่าไฟหลอดเอาท์พุตที่ (I_o) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 ภาพประกอบ 4.31 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อกระแสไฟหลอดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4.32 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟหลอด ภาพประกอบ 4.33 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟหลอด และภาพประกอบ 4.34 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อไฟหลอดมีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันข้างอิง

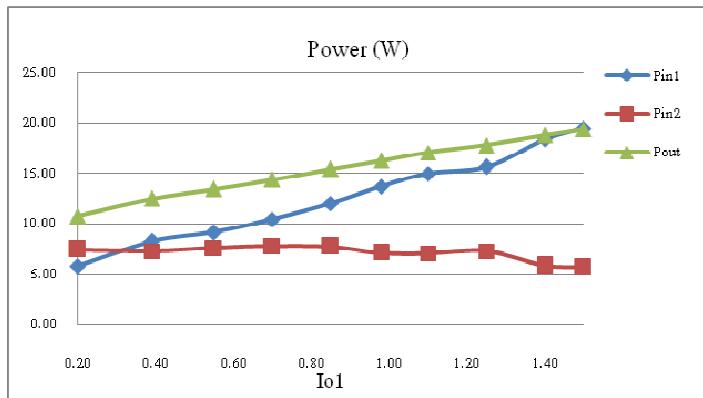
Io1	Io2	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Pout (W)	η (%)
0.20	0.98	30.41	0.19	5.78	20.09	0.37	7.43	0.17	0.45	0.45	5.00	9.95	10.75	81.37
0.39	1.01	30.55	0.27	8.25	20.20	0.36	7.27	0.21	0.45	0.45	5.00	10.41	12.46	80.31
0.55	1.02	30.44	0.30	9.13	20.53	0.37	7.60	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



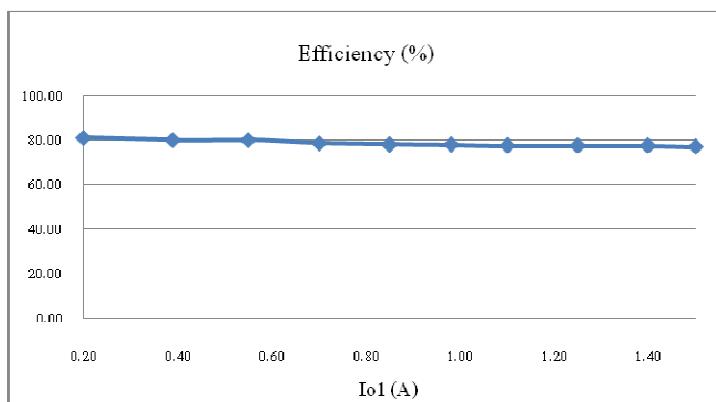
ภาพประกอบ 4-31 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-32 ค่าอัตราทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

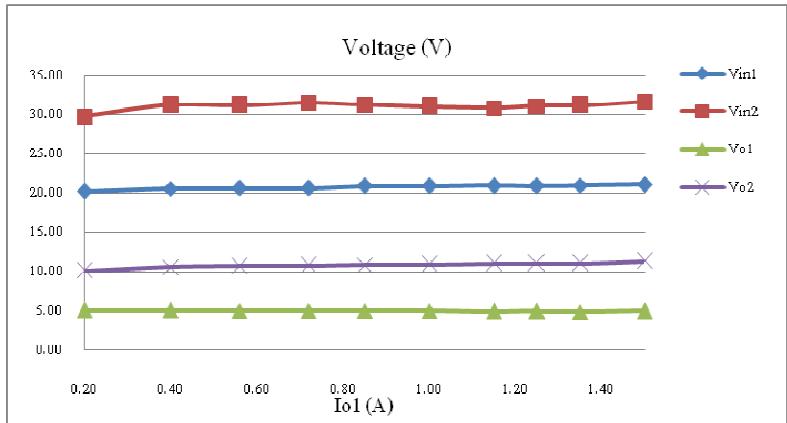


ภาพประกอบ 4-33 ค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-34 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

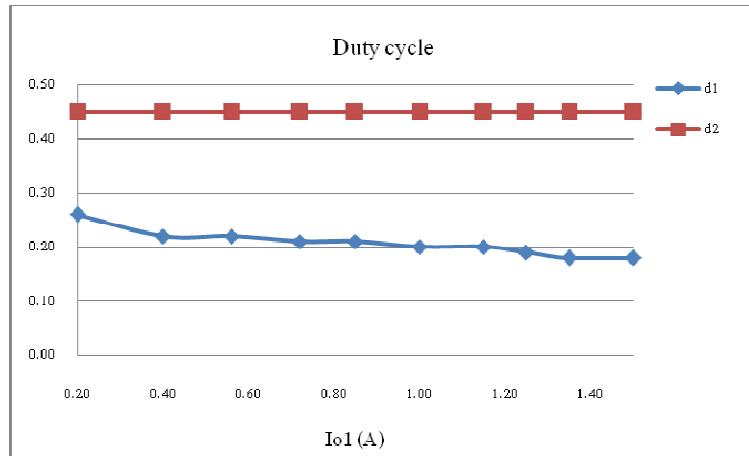
กรณีที่ 3 แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิงและเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเอาท์พุตที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-3 ภาพประกอบ 4-35 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-36 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด ภาพประกอบ 4-37 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด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



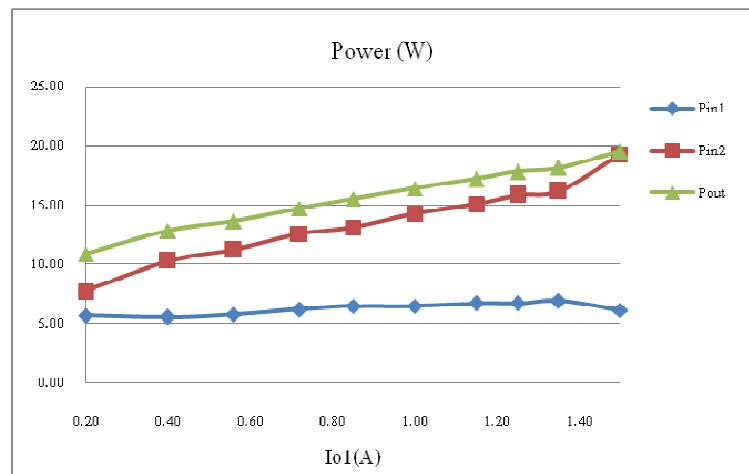
ภาพประกอบ 4-35 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่เอาท์พุตที่ 1 เป็นเช่นนี้

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

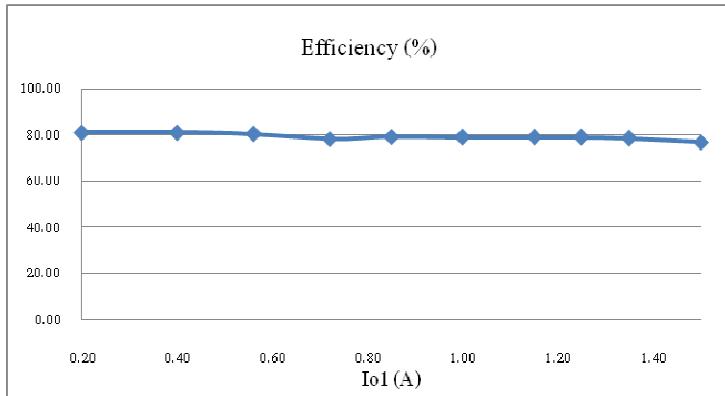
Io1	Io2	Vin1 (V)	In1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	In2 (A)	Pin2 (W)	d1	d2	d2	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Pout (W)	η (%)
0.20	0.98	20.18	0.28	5.65	29.71	0.26	7.72	0.26	0.45	0.45	5.04	10.04	10.85	81.10
0.40	1.03	20.50	0.27	5.54	31.16	0.33	10.28	0.22	0.45	0.45	5.03	10.50	12.83	81.09
0.56	1.02	20.55	0.28	5.75	31.10	0.36	11.20	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 ค่าอ่อนทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



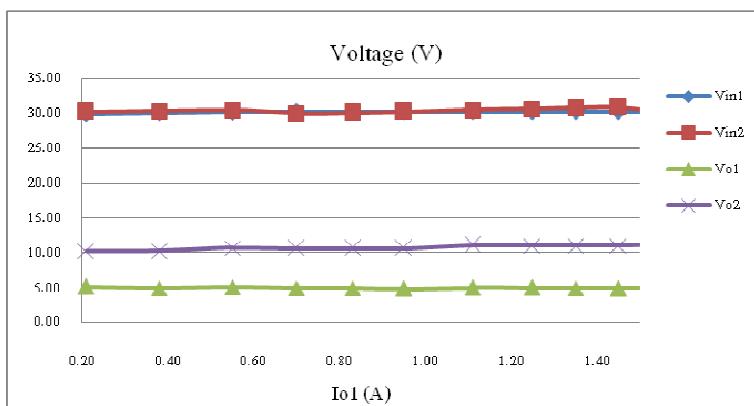
ภาพประกอบ 4-37 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



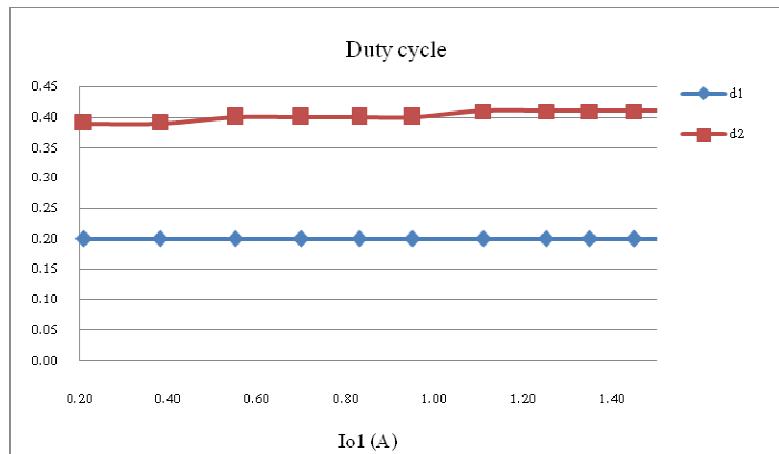
ภาพประกอบ 4-38 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

2) โหนดชาร์จแบตเตอรี่

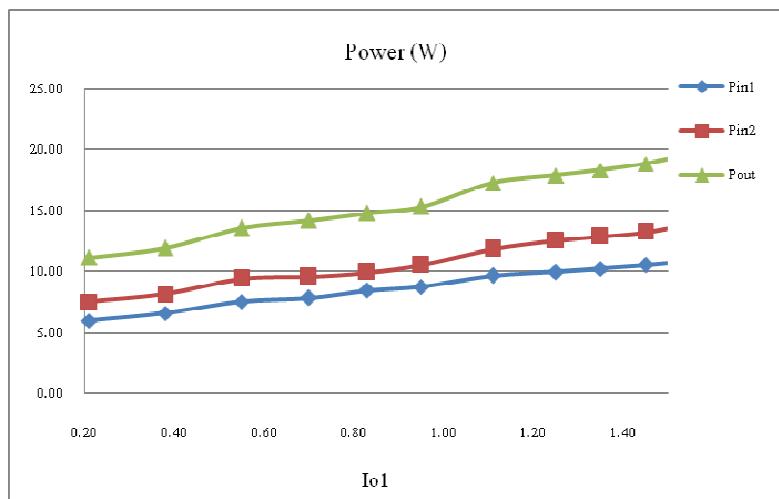
กรณีที่ 1 แรงดันทั้งสองอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเอาท์พุตที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-4 ภาพประกอบ 4-39 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-40 แสดงร่องทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด ภาพประกอบ 4-41 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด และภาพประกอบ 4-42 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-39 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



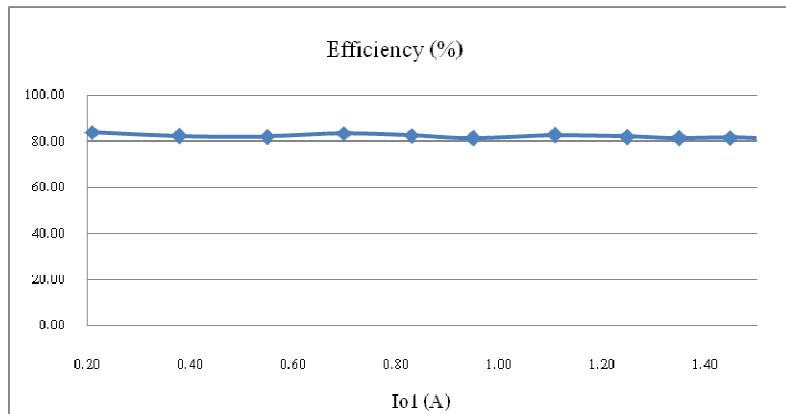
ภาพประกอบ 4-40 ค่าอ่อนทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-41 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าคงที่ เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

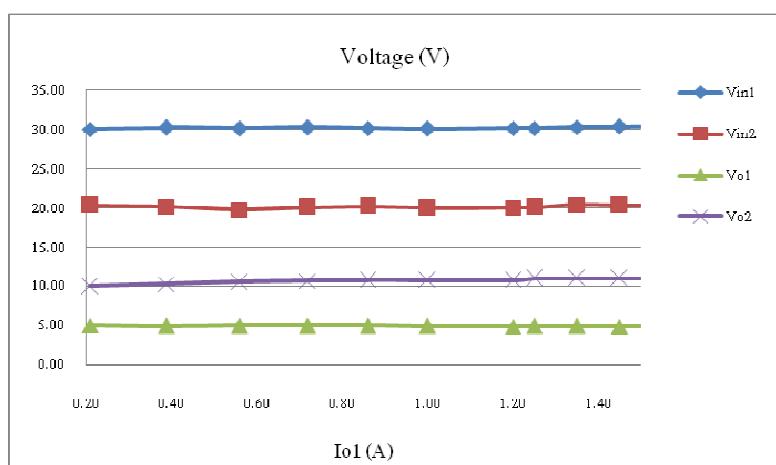
ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองที่แรงดันทั้งสองอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

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

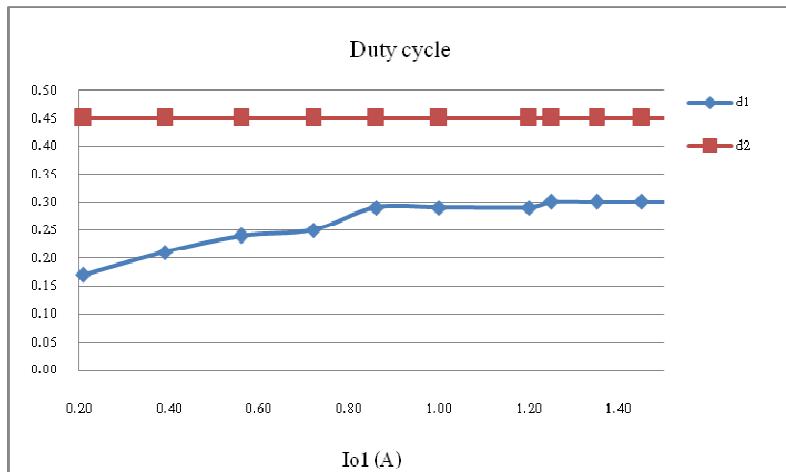


ภาพประกอบ 4-42 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

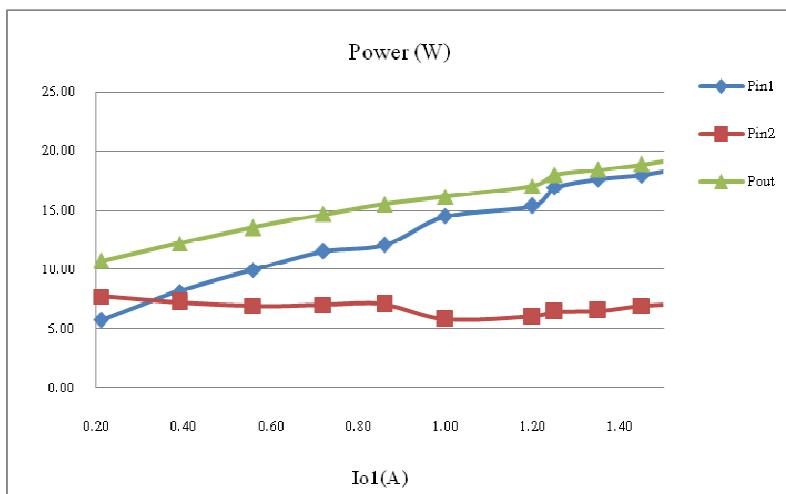
กรณีที่ 2 แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเอาท์พุตที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-5 ภาพประกอบ 4-43 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-44 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด ภาพประกอบ 4-45 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด และภาพประกอบ 4-46 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-43 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



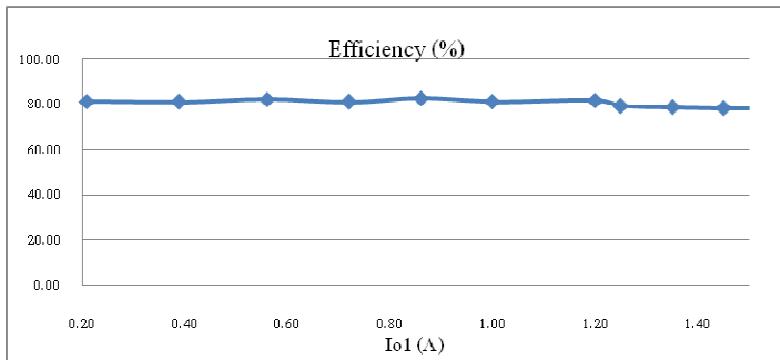
ภาพประกอบ 4-44 ค่าร้อนทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เป็นlynapple



ภาพประกอบ 4-45 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เป็นlynapple

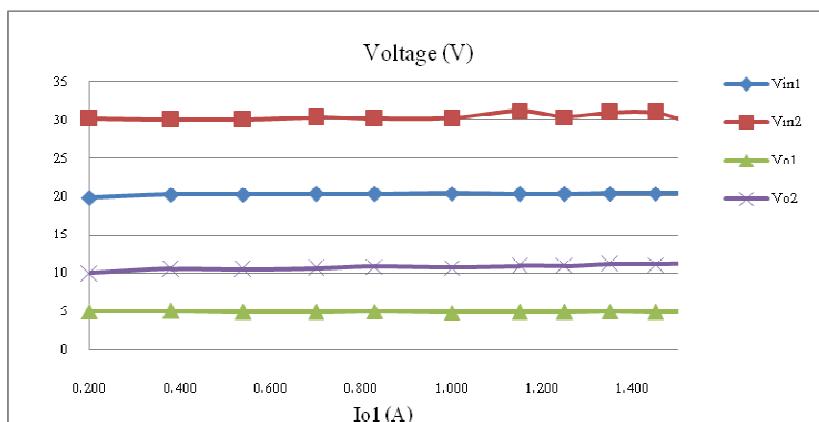
ตารางที่ 4-5 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

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

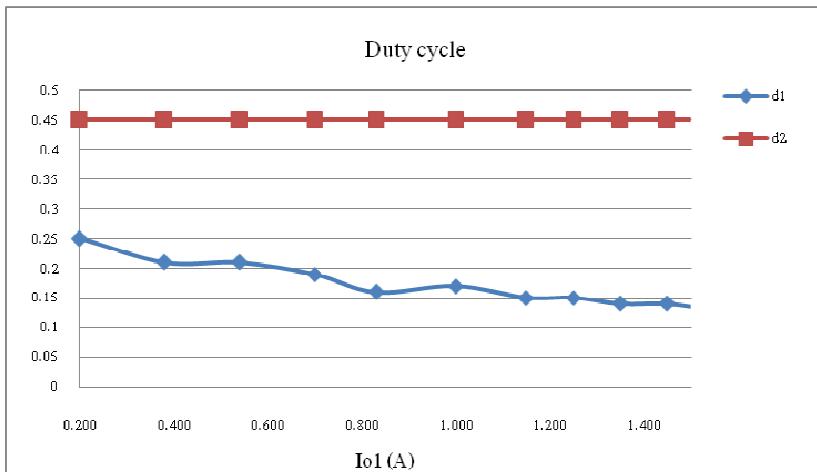


ภาพประกอบ 4-46 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

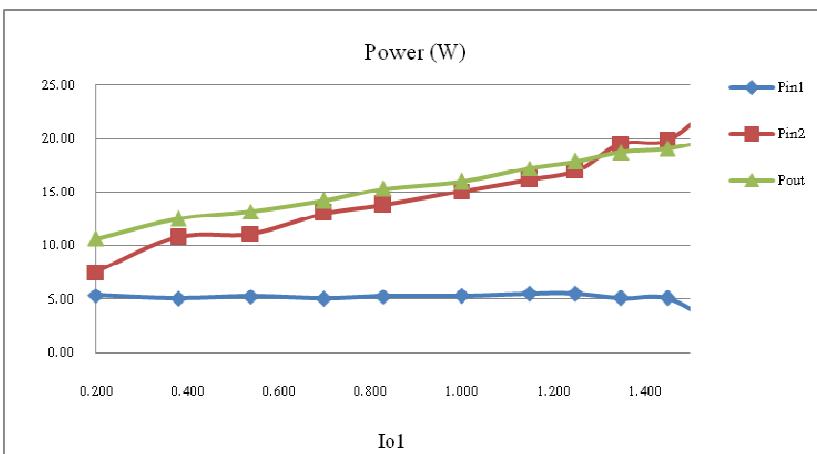
กรณีที่ 3 แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าโหลดเอาท์พุตที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-6 ภาพประกอบ 4-47 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-48 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด ภาพประกอบ 4-49 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด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



ภาพประกอบ 4-47 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



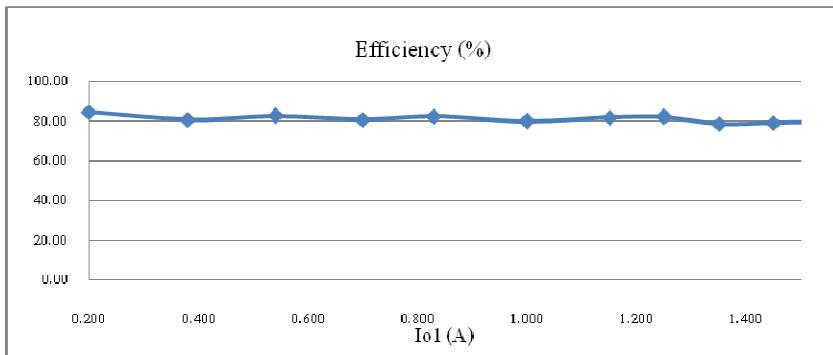
ภาพประกอบ 4-48 ค่าร้อนทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เป็นlynx แปลง



ภาพประกอบ 4-49 ค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เป็นlynx แปลง

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



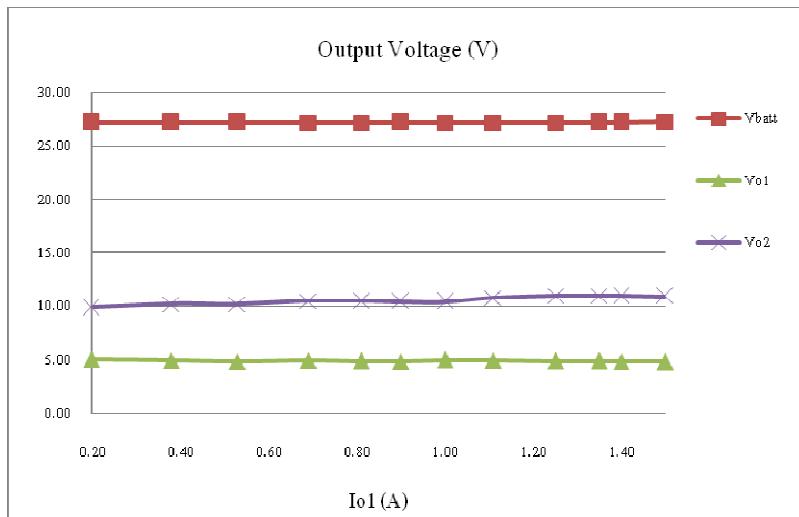
ภาพประกอบ 4-50 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไฟหลอดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

3. โภมดเบ็คอัพ

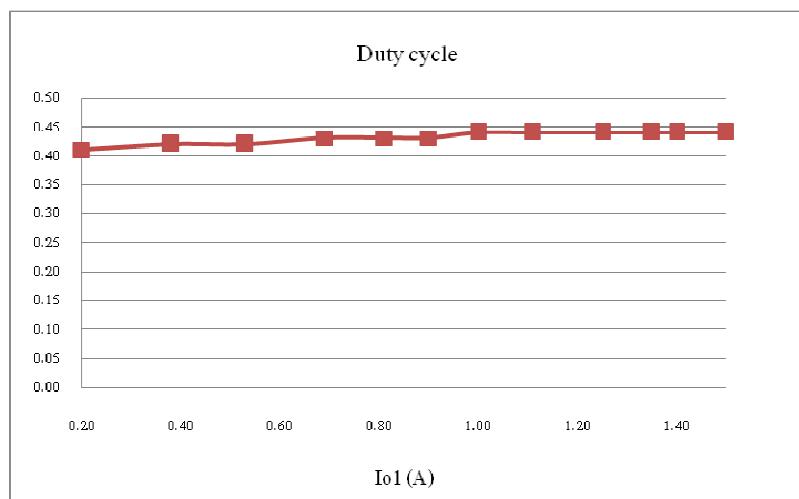
ในโภมดนี้แรงดันแบบเตอร์จะมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าไฟหลอดเอาท์พุตที่ (I_{o1}) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-7 ภาพประกอบ 4-51 แสดงค่าแรงดันอินพุตและการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อกระแสไฟหลอดเปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-52 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟหลอด ภาพประกอบ 4-53 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟหลอด และภาพประกอบ 4-54 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อไฟหลอดมีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-7 ผลการทดลองเมื่อค่าไฟหลอดเปลี่ยนแปลง โดยที่แรงดันแบบเตอร์คงที่

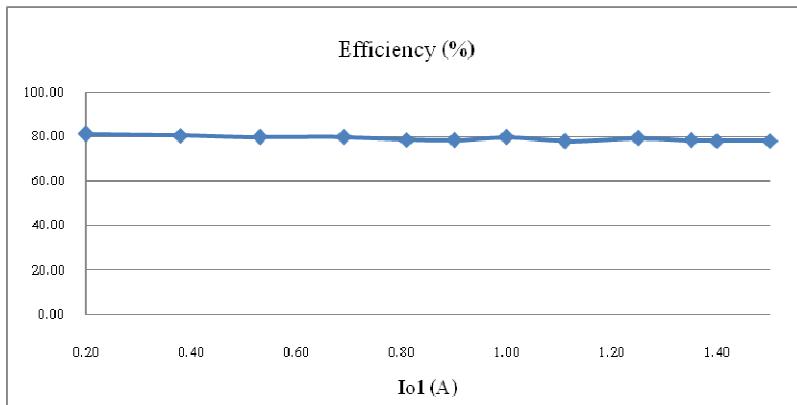
Io1	Io2	Vbatt (V)	Ibatt (A)	Pin (W)	d2	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Io1	Io2	Pout (W)	efficiency (%)
0.20	1.06	27.18	0.52	14.13	0.41	5.04	9.89	0.20	1.06	11.49	81.30
0.38	1.10	27.21	0.60	16.33	0.42	4.97	10.23	0.38	1.10	13.14	80.50
0.53	1.09	27.21	0.63	17.14	0.42	4.85	10.20	0.53	1.09	13.69	79.84
0.69	1.12	27.14	0.70	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 เมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

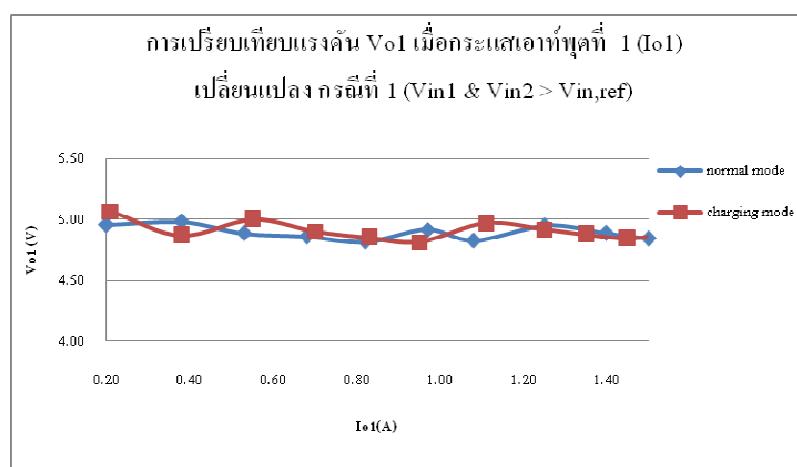


ภาพประกอบ 4-52 ค่าร้อนทำงานเมื่อกระแสโหลดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

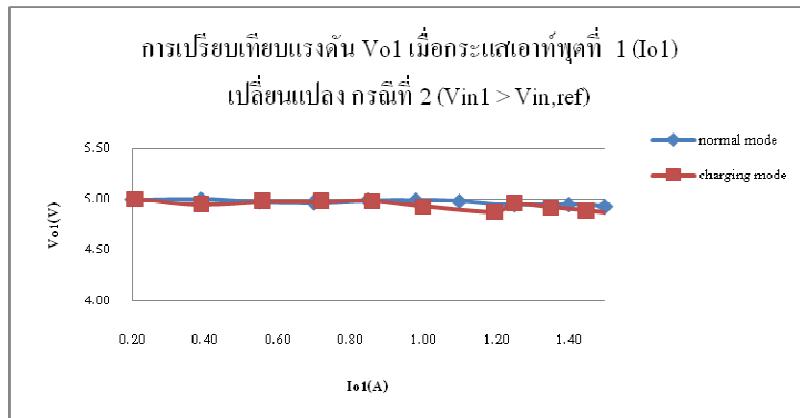


ภาพประกอบ 4-53 ค่าประสิทธิภาพเมื่อกระแสไฟหลอดที่เอาท์พุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

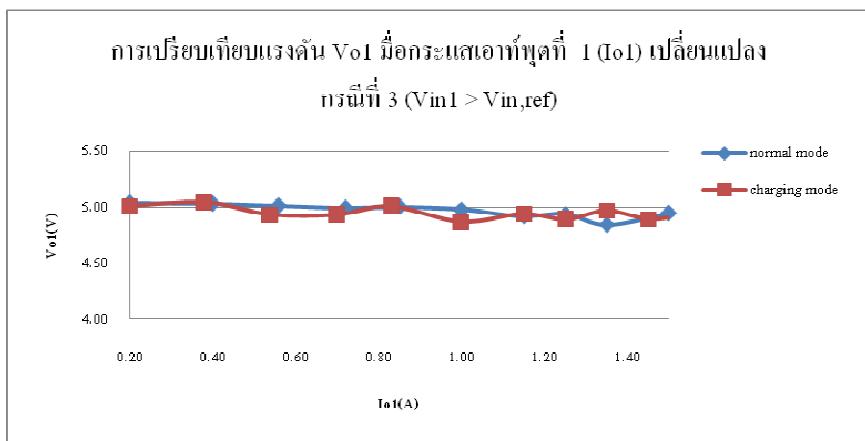
4) การเปรียบเทียบการคงค่าแรงดัน ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดปกติจะมีการทดสอบการคงค่าแรงดันเอาท์พุตที่ 1 (V_{o1}) ซึ่งเป็นเอาท์พุตหลักของวงจรใน 3 กรณี ซึ่งแต่ละกรณีสามารถนำมาเปรียบเทียบกันดังแสดงในภาพประกอบ 4-54 เป็นการเปรียบเทียบกันในกรณีที่แรงดัน อินพุตที่ 1 และแรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง, ภาพประกอบ 4-55 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{o1} ในกรณีที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง, และภาพประกอบ 4-56 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดัน V_{o1} ในกรณีที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง



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 จะเห็นได้ว่าค่าแรงดัน V_{o1} ทั้งในโหมดปกติและโหมดชาร์จแบตเตอรี่จะมีลักษณะใกล้เคียงกันที่ระดับแรงดันประมาณ 5 โวลท์ เมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{o1}) ก่ออยู่ เพิ่มขึ้นจากกระแสเม็ดจำทนไปถึงค่าพิกัด แต่จะมีค่าความผิดพลาด (Error) เมื่อออกจากแรงดัน V_{o1} มีค่าต่ำสุด-สูงสุดอยู่ระหว่าง 4-81-5-07 โวลท์ ซึ่งเกิดมาจากการโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมแรงดันเอาท์พุตที่ 1 (Feedback control) ให้ค่าความลับเฉียดของเปอร์เซนต์ค่าร้อนการทำงาน (Duty cycle (%)) อยู่ระหว่าง 0-100 % เท่านั้น ไม่สามารถลดลงได้ถึงจุดทศนิยม (โดยคริสตัลที่ใช้อยู่ 20 MHz ที่ความถี่การสวิตช์ 50 kHz)

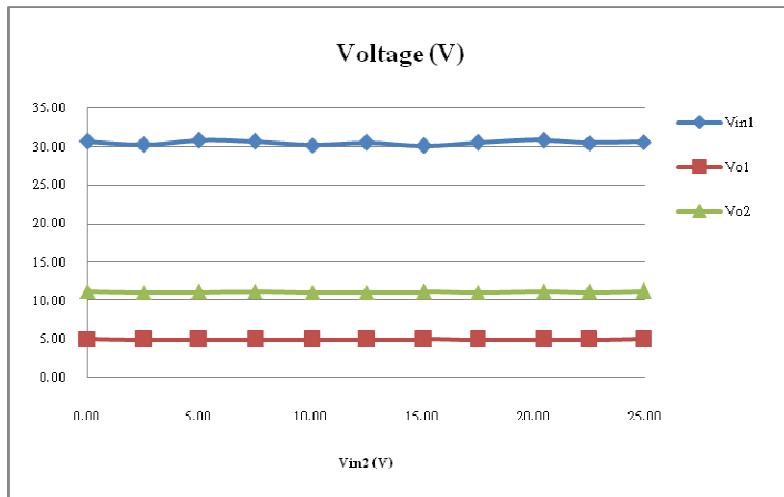
4.2.3 การทดสอบการจัดการพลังงานของแต่ละอินพุต

1) โหมดปกติ

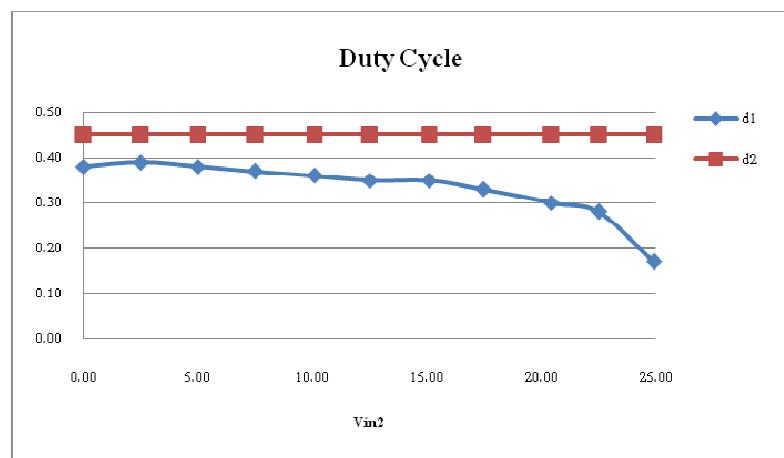
กรณีที่ 1 แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอินพุตที่ 2 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 ภาพประกอบ 4-57 แสดงค่าแรงดันอินพุตที่ 1 และการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-58 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 2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

ตารางที่ 4-8 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

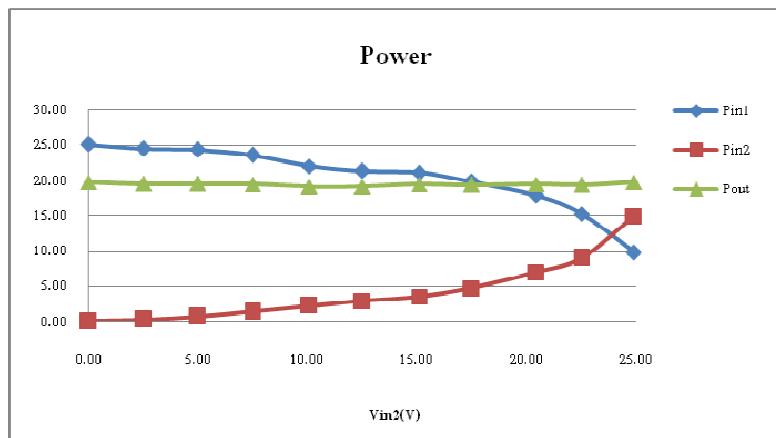
Vin2 (V)	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Io1 (A)	Io2 (A)	Pout (W)	efficiency (%)
0.00	30.63	0.82	25.12	0.01	0.00	0.38	0.45	0.45	4.96	11.19	1.50	1.10	19.75	78.65
2.52	30.21	0.81	24.47	0.09	0.23	0.39	0.45	0.45	4.92	11.03	1.50	1.10	19.51	79.00
5.00	30.80	0.79	24.33	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



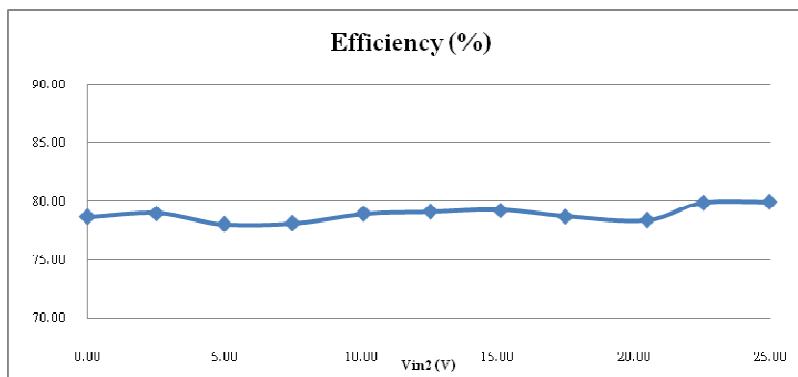
ภาพประกอบ 4-57 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-58 ค่าร้อยทำงานเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-59 ค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เป็นเที่ยงແປลง

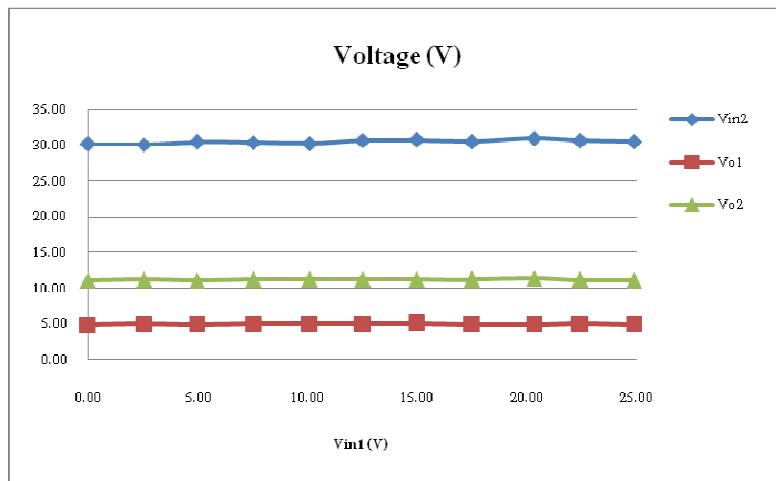


ภาพประกอบ 4-60 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เป็นเที่ยงແປลง

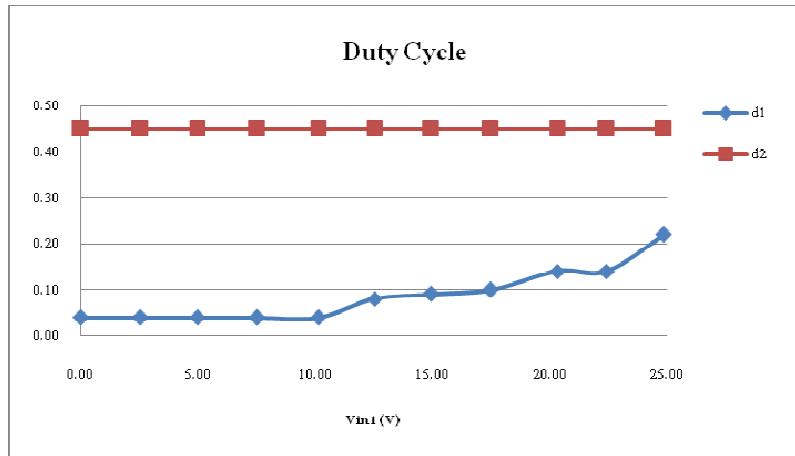
กรณีที่ 2 แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันข้างอิ่ม และเปลี่ยนແປลงค่าแรงดันอินพุตที่ 1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-9 ภาพประกอบ 4-61 แสดงค่าแรงดันอินพุตที่ 2 และการเปลี่ยนແປลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เป็นเที่ยงແປลง ภาพประกอบ 4-62 แสดงรอบทำงานค่าการเปลี่ยนແປลงของแรงดันอินพุตที่ 1 ภาพประกอบ 4-63 แสดงการเปลี่ยนແປลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนແປลงของแรงดันอินพุตที่ 1 และภาพประกอบ 4-64 แสดงประสิทธิภาพของวงจรเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 มีการเปลี่ยนແປลง

ตารางที่ 4-9 ผลการทดลองที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

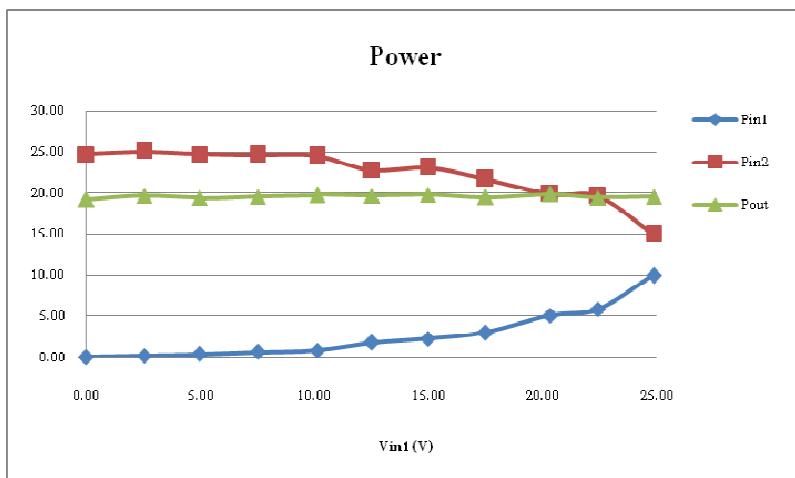
Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Io1 (A)	Io2 (A)	Pout (W)	efficiency (%)
0.00	0.02	0.00	30.15	0.82	24.72	0.04	0.45	0.45	4.82	11.07	1.50	1.08	19.18	77.59
2.55	0.07	0.18	30.11	0.83	24.99	0.04	0.45	0.45	4.98	11.18	1.50	1.09	19.65	78.08
4.96	0.07	0.35	30.49	0.81	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



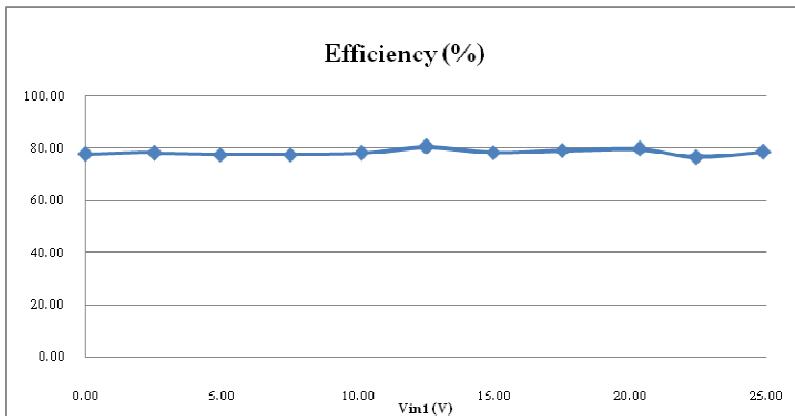
ภาพประกอบ 4-61 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เป็นขั้นแปลง



ภาพประกอบ 4-62 ค่ารอบทำงานเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี้ยงแบล็ง



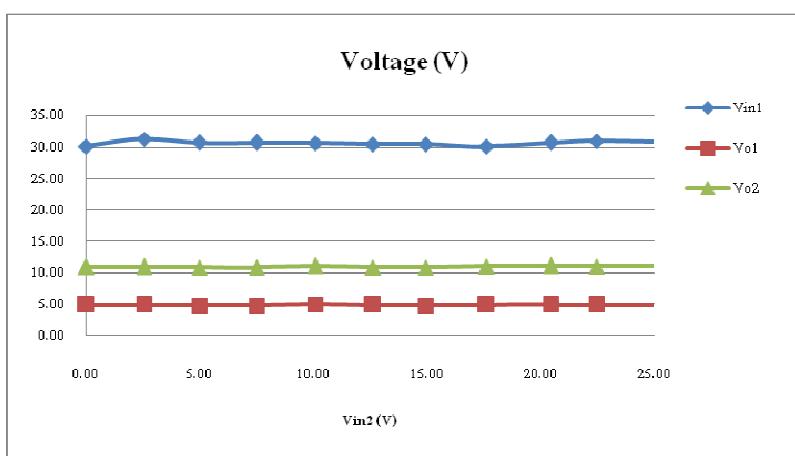
ภาพประกอบ 4-63 ค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี้ยงแบล็ง



ภาพประกอบ 4-64 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

2) โภมchar์จแบตเตอรี

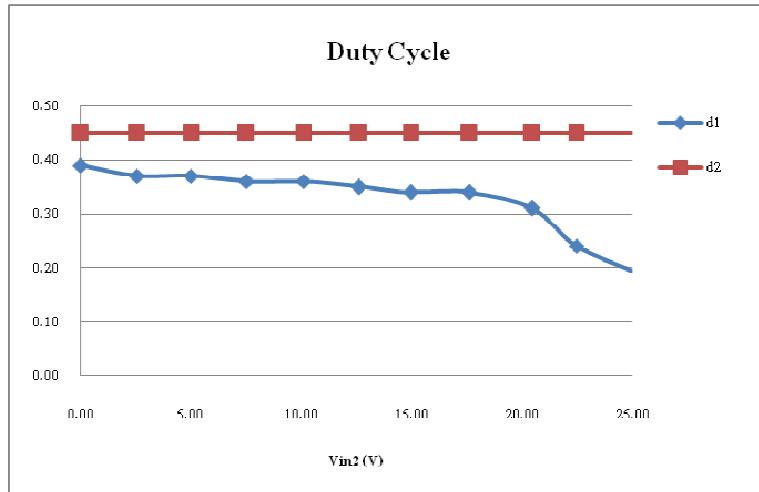
กรณีที่ 1 แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอินพุตที่ 2 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-10 ภาพประกอบ 4-65 แสดงค่าแรงดันอินพุตที่ 1 และการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-66 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 2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



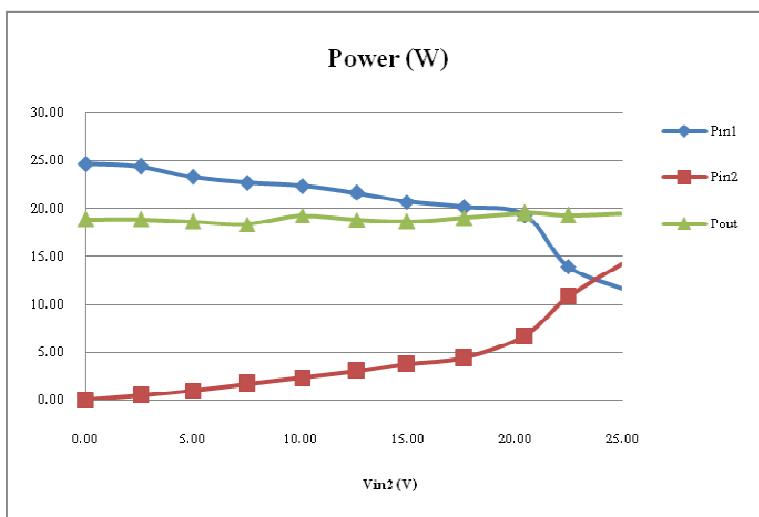
ภาพประกอบ 4-65 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-10 ผลการทดสอบที่แรงดันอินพุตที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

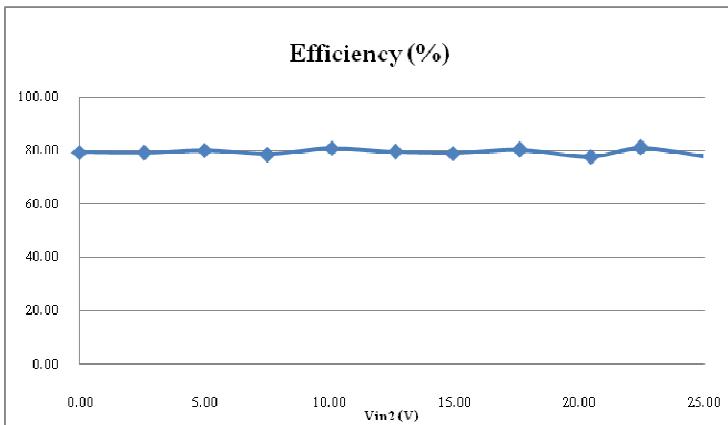
Vin2 (A)	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Pin1 (W)	Iin2 (A)	Pin2 (W)	Vbatt (A)	Ibatt (A)	Pbatt (W)	d1	d2	d4	Vo1 (V)	Vo2 (V)	Io1 (A)	Io2 (A)	Pout (W)	efficiency (%)
0.00	30.09	0.82	24.67	0.03	0.00	25.19	0.0270	0.68	0.39	0.45	0.45	4.86	10.94	1.50	1.06	18.88	79.29
2.57	31.28	0.78	24.40	0.19	0.49	25.25	0.0310	0.78	0.37	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 ค่าอุบัติการณ์เมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง



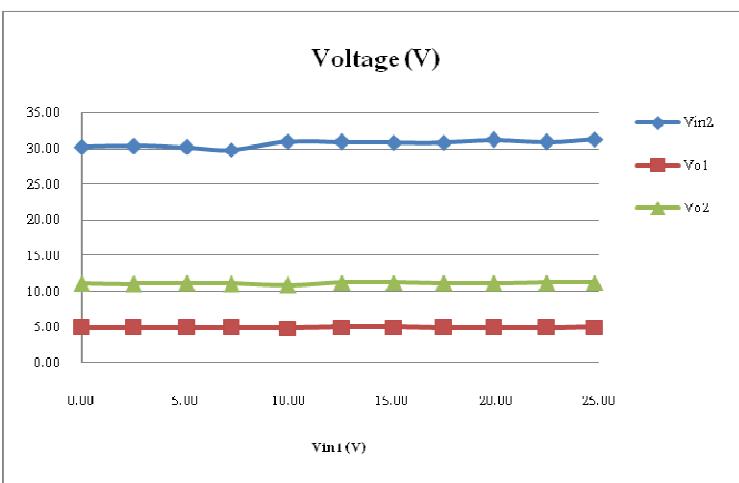
ภาพประกอบ 4-67 ค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง



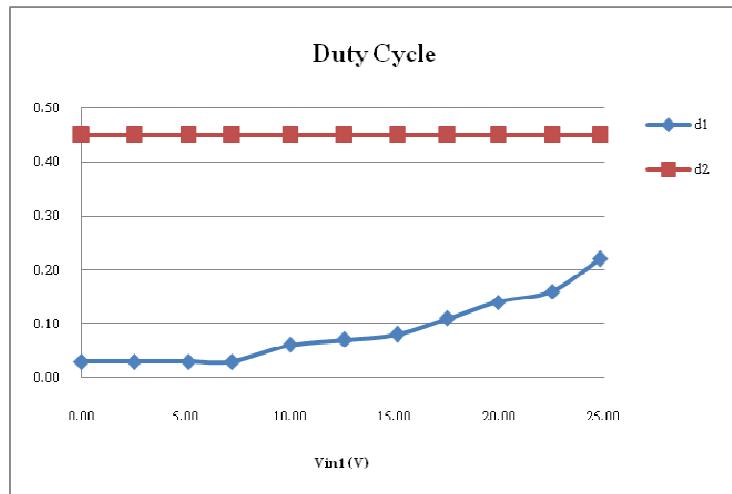
ภาพประกอบ 4-68 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 2 เปลี่ยนแปลง

ที่จุดรูปแบบ: แบบอักษร: 14 พ., แบบอักษรภาษาไทย: 14 พ.

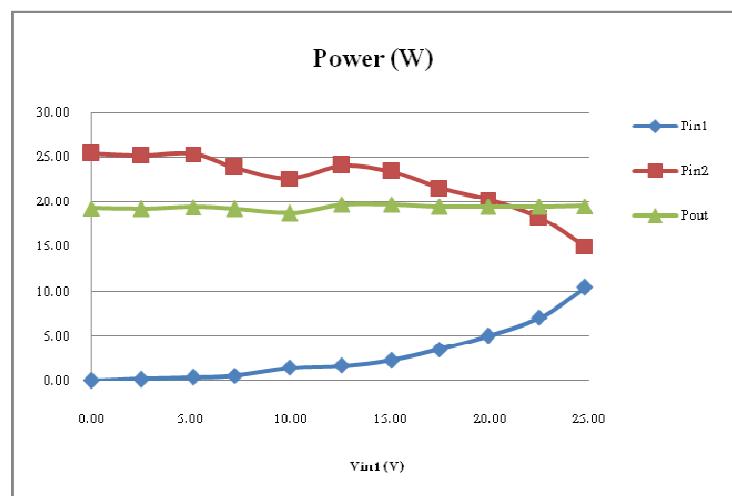
กรนีที่ 2 แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง และเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอินพุตที่ 1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-11 ภาพประกอบ 4-69 แสดงค่าแรงดันอินพุตที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแรงดันเอาท์พุตเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง ภาพประกอบ 4-70 แสดงรอบทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตที่ 1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



ภาพประกอบ 4-69 ค่าแรงดันต่างๆ เมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



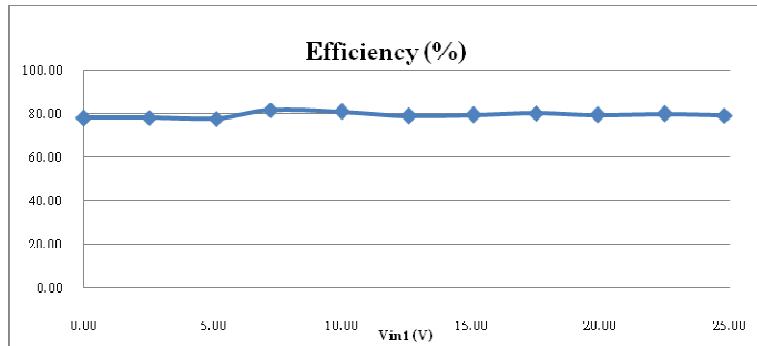
ภาพประกอบ 4-70 ค่าอุบทำงเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-71 ค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เปลี่ยนแปลง

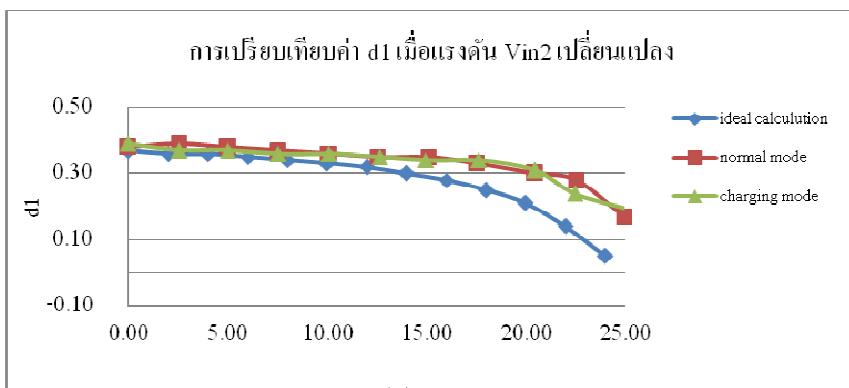
ตารางที่ 4-11 ผลการทดสอบที่แรงดันอินพุตที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

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

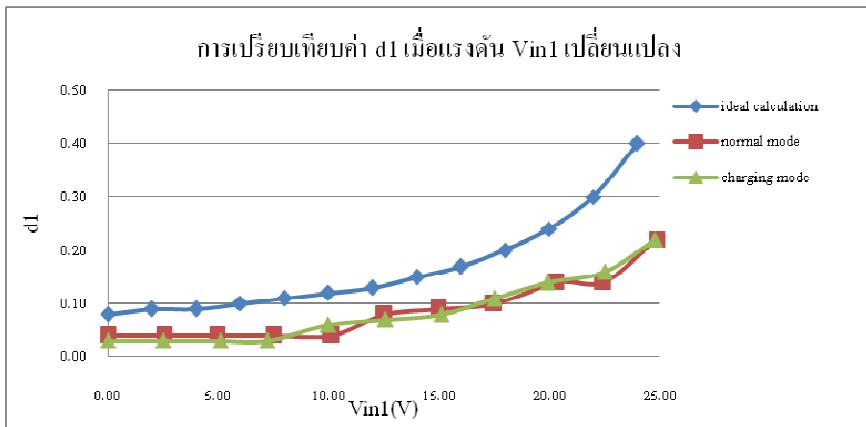


ภาพประกอบ 4-72 ค่าประสิทธิภาพเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 เป็นอย่างเปลี่ยนแปลง

3) การเปรียบเทียบค่าร้อนการทำงาน การจัดพลังงานจะเกิดขึ้นในกรณีที่แหล่งจ่ายพลังงานตัวใดตัวหนึ่งมีค่าแรงดันมากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง และอิกแหล่งจ่ายมีค่าแรงดันน้อยกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง โดยการคงค่าร้อนการทำงาน d_2 กับ d_4 และทำการเปลี่ยนแปลงค่าร้อนการทำงาน d_1 ตามค่าแรงดันแต่ละอินพุต แหล่งจ่ายตัวใดมีค่าแรงดันมากกว่า ก็จะมีช่วงเวลาการทำงานมากกว่า จนกว่าจะได้ถูกต้องตามที่พิสูจน์ โดยอาศัยสมการที่ 2.12 และ 2.13 โดยในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อนการทำงาน d_1 ของแต่ละโหมดในแต่ละกรณีกับค่าร้อนการทำงานที่ได้จากการคำนวณตามสมการ 2.12 และ 2.13 ในภาพประกอบ 4-73 เป็นการเปรียบเทียบค่าร้อนการทำงาน d_1 ต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาท์พุตที่ 2 และภาพประกอบ 4-74 เป็นการเปรียบเทียบค่าร้อนการทำงาน d_1 ต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาท์พุตที่ 1



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



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

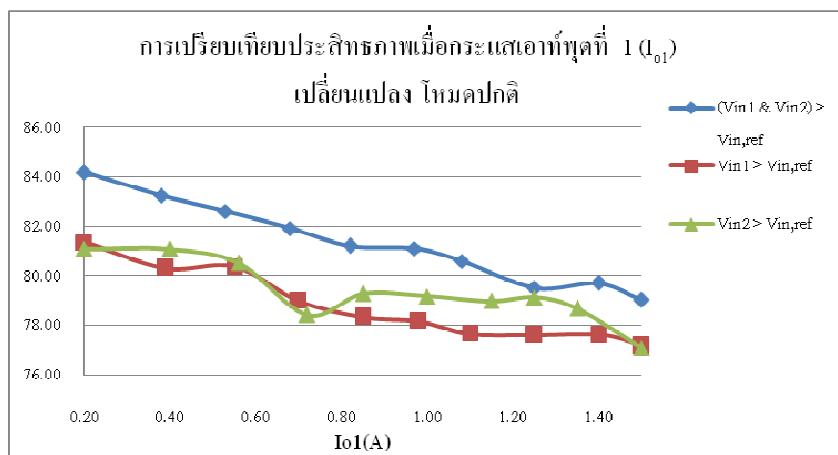
จากภาพประกอบ 4-73 และ 4-74 จะเห็นได้ว่า ค่ารอนการทำงาน d_1 เมื่อแรงดัน อินพุตที่ 2 และแรงดันอินพุตที่ 1 เป็นไปตามเปลี่ยนแปลงตามลำดับ ในโหมดชาร์จแบบเตอร์เรียและโหมดปกติจะ มีลักษณะใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มเดียวกันกับค่าที่ได้จากการคำนวณคือ รูปกราฟจะมีแนวโน้ม ลดลงเมื่อแรงดัน V_{in2} มีค่าเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดัน V_{in1} มีค่าเพิ่มขึ้น แต่รูปคลื่นจาก การคำนวณค่อยข้างมีระยะห่างจากกราฟที่ได้จากโหมดชาร์จแบบเตอร์เรียและโหมดปกติ ตลอดช่วงที่ แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเกิดจากความไม่อุตุนติของวงจร โดยเฉพาะหน้าจอเปลี่ยนไฟลายเบค

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการทำงานในโหมดชาร์จแบบเตอร์เรียและโหมดปกติ

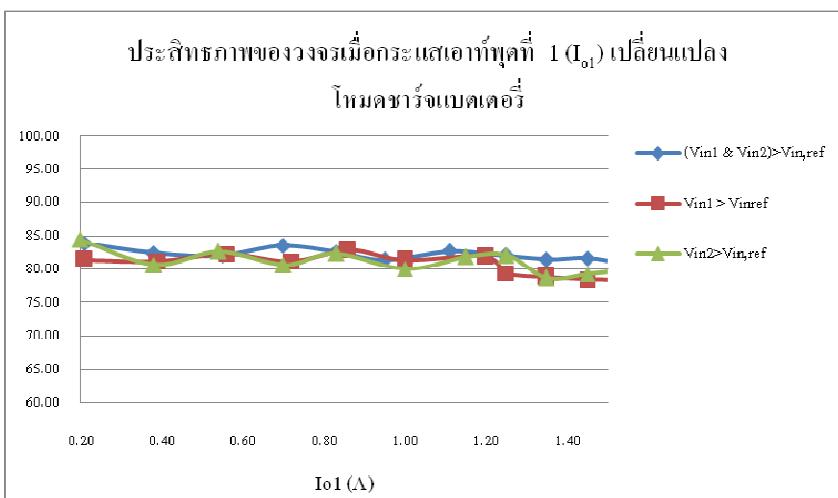
การทำงานของวงจรในโหมดชาร์จแบบเตอร์เรียและโหมดปกติมีความใกล้เคียงกัน ยกเว้นในโหมดชาร์จแบบเตอร์เรียที่มีการนำพลังงานจากความเหนื่อยยวานร้าวไหลซึ่งเป็นพลังงาน ศูนย์เสียมาชาร์จแบบเตอร์เรียซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในโหมดชาร์จแบบเตอร์เรียมีค่าสูงกว่าโหมด ปกติ ดังนั้นในการทดสอบจะจึงจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้งสองโหมดเพื่อเป็นการ ยืนยันว่า โหมดชาร์จแบบเตอร์เรียมีประสิทธิภาพมากกว่าโหมดปกติจริง โดยแยกการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพในแต่ละรูปแบบ ได้แก่

- เปรียบเทียบประสิทธิภาพตอนกระแสและโหมดเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 กรณี ในแต่ละ โหมดดังแสดงในภาพประกอบ 4-75 และ 4-76

- เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง โใหมดชาร์ตแบบเตอร์กับ โใหมดปกติตอนกระแสโหลดเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 กรณี ดังแสดงในภาพประกอบ 4-77, 4-78 และ 4-79
- เปรียบประสิทธิภาพระหว่าง โใหมดชาร์ตแบบเตอร์กับ โใหมดปกติตอนแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพประกอบ 4-80 และ 4-81



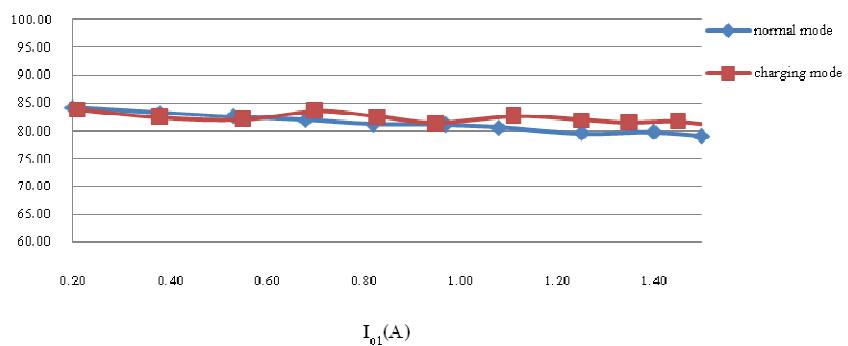
ภาพประกอบ 4-75 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง โใหมดปกติ



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

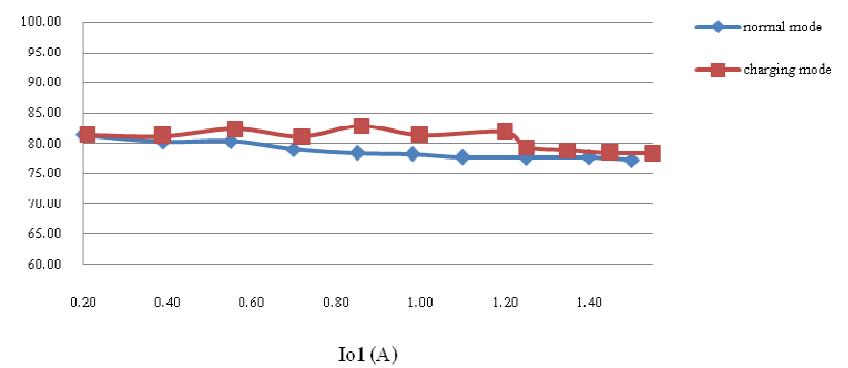
ใหม่ด้วยแบบเดียวกัน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง
กรณีที่ 1 ($V_{in1} & V_{in2} > V_{in,ref}$)

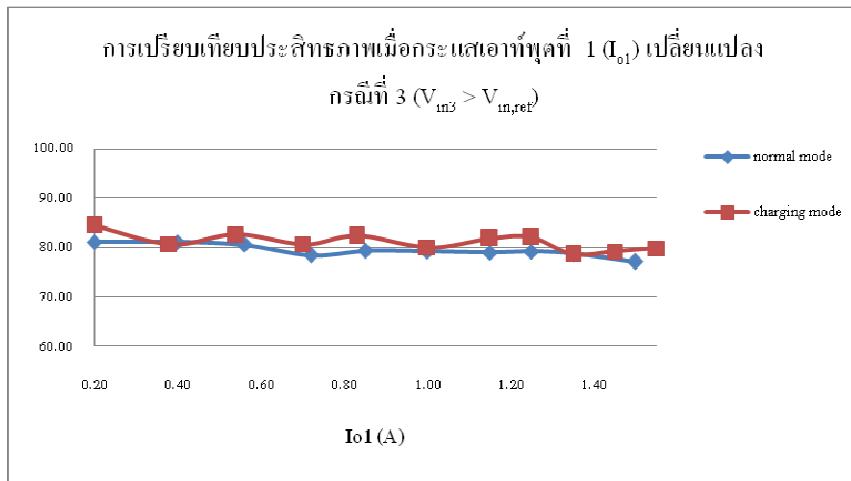


ภาพประกอบ 4-77 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง
กรณีที่ 1

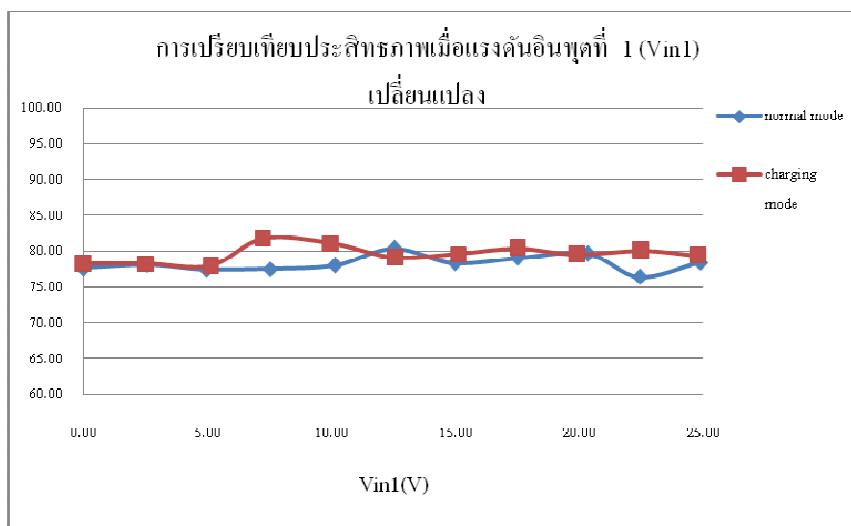
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง
กรณีที่ 2 ($V_{in1} > V_{in,ref}$)



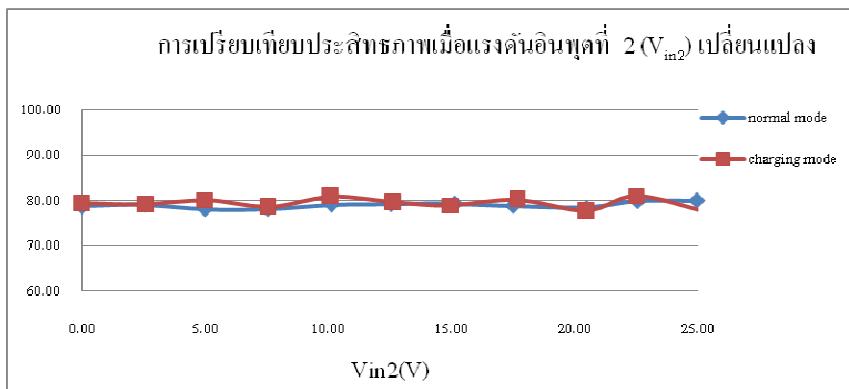
ภาพประกอบ 4-78 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง
กรณีที่ 2



ภาพประกอบ 4-79 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 (I_{o1}) เปลี่ยนแปลง
กราฟที่ 3



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



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

จากภาพประกอบ 4-75 ถึง 4-76 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรเมื่อกระแสเอาท์พุตที่ 1 เป็นไปในทั้ง 3 กรณี ระหว่างโหมดชาร์จแบตเตอรี่กับโหมดปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีที่ทั้งสองอินพุตมีแรงดันมากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่มีอินพุตโดยอินพุตหนึ่งมีค่าแรงดันมากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง เนื่องการในกรณีที่ทั้งสองอินพุตมีแรงดันมากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิงจะมีช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์ S_1 และ S_2 ที่ใกล้เคียงกันในแต่ละค่าซึ่งสลับกันทำงาน และช่วงเวลาการรอการทำงานในแต่ละค่านี้มีค่าต่ำกว่าค่าต่อไป ดังจากค่า d_1 และค่า d_2 เพื่อให้ได้แรงดันเอาท์พุตตามพิกัด ทำให้สวิตช์ทั้งสองไม่ทำงานหนักจนเกินไป ดังจากตอนที่แหล่งจ่ายอินพุตตัวใดตัวหนึ่งมีค่ามากกว่าแรงดันอินพุตอ้างอิง ซึ่งในกรณีจะค่า d_1 และเปลี่ยนค่า d_2 ตามค่าแรงดันแต่ละอินพุต ทำให้ช่วงเวลาการเปิดของสวิตช์นานกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรลดลง

จากภาพประกอบที่ 4-77 ถึง 4-79 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรระหว่างโหมดชาร์จแบตเตอรี่กับโหมดปกติทั้ง 3 กรณีเมื่อกระแสโหลดเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละกรณี โหมดชาร์จแบตเตอรี่จะมีค่าประสิทธิภาพมากกว่าโหมดปกติ เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตามภาพประกอบที่ 4-80 ถึง 4-81 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดปกติเมื่อแรงดันอินพุตที่ 1 และอินพุตที่ 2 เป็นไปใน模式 ตามลำดับ โดยที่วงจรทำงานที่พิกัด ซึ่งจากการไฟจะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันแต่ละอินพุตเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของวงจรในโหมดชาร์จแบตเตอรี่จะมีค่ามากกว่าโหมดปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากการนำพลังงานจากค่าความเห็นใจนำร่องให้ของหม้อแปลงมาชาร์จแบตเตอรี่นั่นเอง

4.4 การทดสอบการทำงานของวงจรในระยะเวลา 6 ชั่วโมง

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาสมรรถนะของวงจรต้นแบบในการทำงานที่ระยะเวลาที่นานนานขึ้น โดยการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ Fluke 62 Mini Infrared Thermometer วัดอุณหภูมิของส่วนต่างๆ ของวงจรต้นแบบ

ข้อกำหนด

1) โหมดการทำงาน: โหมดปกติ

2) พิกัดวงจร:

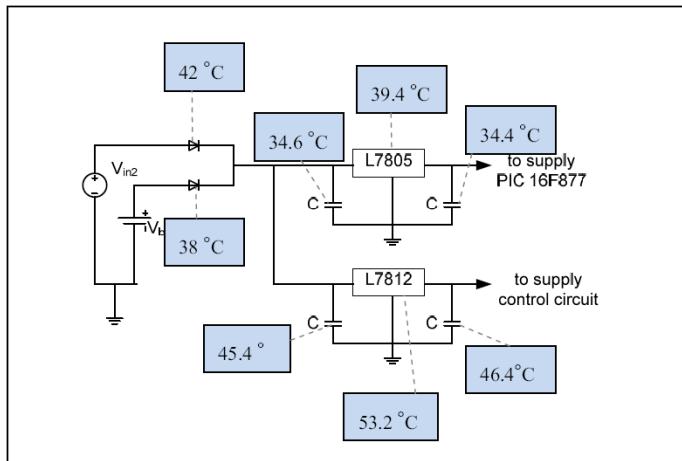
$$V_{in1} = V_{in2} = 30 \text{ V}$$

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

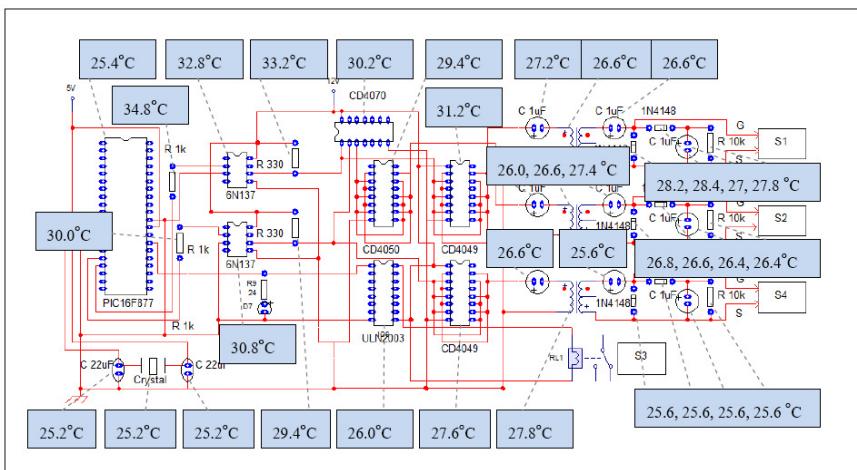
$$V_{o2}/I_{o2} = 12\text{V}/1\text{A}$$

3) อุณหภูมิห้อง: 25.6°C

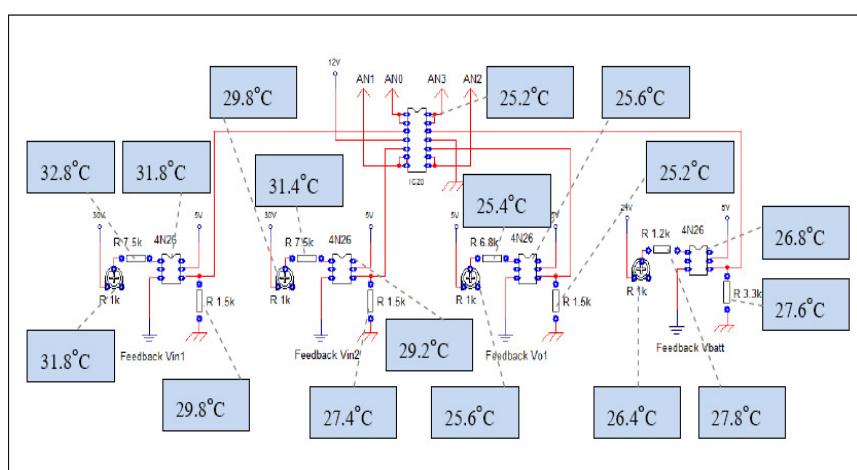
4) เวลาในการทดสอบ: 6 ชั่วโมง



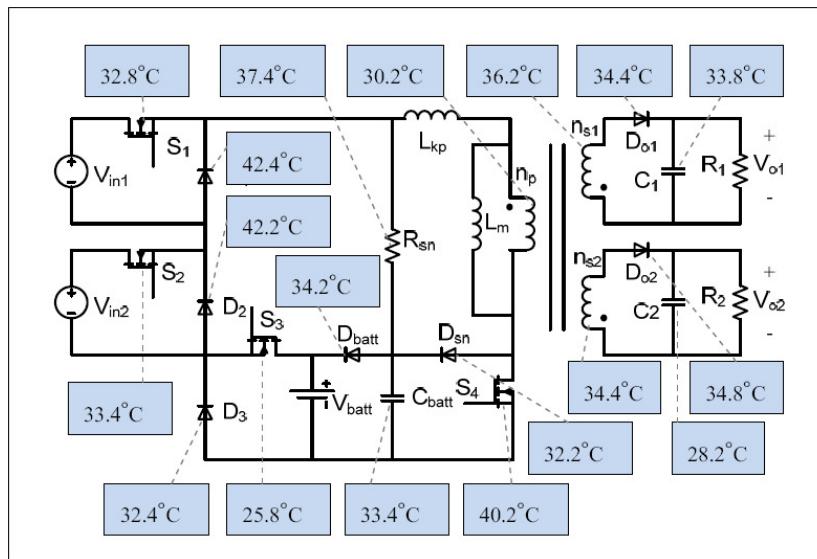
ภาพประกอบ 4-82 วงจรไฟเลี้ยง



ภาพประกอบ 4-83 วงจรควบคุมสวิตช์



ภาพประกอบ 4-84 วงจรป้องกันลับแรงดัน



ภาพประกอบ 4-85 วงจรกำลัง

จากผลการทดสอบวงจรตามภาพประกอบ 4-82 ถึง 4-85 เมื่อวงจรทำงานในระยะเวลา 6 ชั่วโมงพบว่าวงจรสามารถทำงานได้อย่างปกติภายใต้อุณหภูมิห้องที่ 25.6°C ซึ่งผลจากการวัดอุณหภูมิพบว่าในส่วนของวงจรควบคุมที่จุด ด้าวไอซี 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

งานวิจัยนี้นำเสนอของรศ.ดร.อรุณรัตน์ ใจกลาง อินพุตสายอากาศ เอาท์พุตที่มีวงจรชาร์จแบบเตอร์เรีย โดยวงจรประกอบด้วยสองอินพุต และสองเอาท์พุต การทำงานของวงจรประกอบไปด้วย 3 โหมด คือ โหมดชาร์จแบบเตอร์เรีย โหมดปกติ และโหมดเบ็คอัพ ควบคุมการทำงานของวงจรโดยการใช้ในโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 โดยวงจรถูกออกแบบให้สามารถนำกำลังสูญเสียจากค่าความหนึ่งขึ้นมาได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงมาตรฐานชาร์จแบบเตอร์เรีย เพื่อลดความเครียดที่สวิตช์ และทำให้วงจรไม่ประสิทธิภาพมากขึ้นและใช้แบบเตอร์เรียเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับวงจร ในส่วนของการจัดการพลังงานจากทั้งสองอินพุตที่ทำให้สามารถใช้พลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่ายได้อย่างเหมาะสม โดยในหนึ่งรอบการทำงาน (Duty cycle) จะมีการใช้พลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่าย อินพุตที่มีค่าแรงดันมากกว่าจะมีระยะเวลาการเปิดของสวิตช์ (Turn on) มากกว่า ด้วยวิธีการนำสัญญาณควบคุมสวิตช์ S_1 และ S_4 มาอีกชุดหนึ่ง หรือ กันเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้ควบคุมสวิตช์ S_2 ซึ่งวิธีนี้จะทำให้สามารถควบคุมการจ่ายพลังงานของแต่ละอินพุตไม่ซับซ้อน โดยใช้เพียงแค่การปรับค่าสัญญาณควบคุมสวิตช์ S_1 เท่านั้น นอกจากนี้ยังทำให้สวิตช์ S_1 และ S_2 ทางด้านอินพุตจะเปิดไม่พร้อมกันซึ่งจะมีข้อดีคือ ทำให้แรงดันที่คร่อมสวิตช์ S_1 ซึ่งเป็นสวิตช์หลักของวงจร มีแรงดันสูงสุดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมการทำงานแบบมีช่วงที่เปิดสวิตช์ของแต่ละอินพุตพร้อมกัน [4] ซึ่งส่งผลให้ความเครียดของสวิตช์ลดลงและนอกจากนี้การที่สวิตช์ไม่มีช่วงที่เปิดพร้อมกันจะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการไฟลุกของกระแสซึ่งถ้าเกิดมีช่วงที่สวิตช์เปิดพร้อมกันทำให้แหล่งจ่ายทั้งสองต่อแบบอนุกรมกระแสอินพุตสูงสุดจะเท่ากันแหล่งจ่ายตัวที่สามารถจ่ายได้น้อยกว่าเท่านั้นทำให้ไม่สามารถคงพลังงานมาใช้ได้อย่างเต็มที่

การคงค่าระดับแรงดันเอาท์พุต จะใช้ค่าแรงดันจากเอาท์พุตที่หนึ่ง (5V, 1.5A) มาป้อนกลับเพื่อกำหนดค่ารอบการทำงานของสวิตช์ S_4 เพื่อทำให้แรงดันเอาท์พุตมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ เมื่อแรงดันอินพุตหรือโหลดเปลี่ยนแปลง

วงจรต้นแบบที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยที่มีแหล่งจ่ายพลังงานเป็นพลังงานทดแทน เพื่อให้สามารถนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพ

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

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

5.2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของวงจรควบคุมที่ได้จากแหล่งจ่ายพลังงานเพียงแหล่งเดียวทำให้มีเสถียรภาพ แก้ปัญหาโดยการออกแบบวงจรให้สามารถเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าจากสองแหล่งจ่ายได้

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

5.3.1 ปรับปรุงวงจรควบคุมให้ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงอีก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวงจร

5.3.2 จัดทำวงจรเป็นแบบแผ่นปรินท์ หน้า เพื่อลดขนาดของวงจร ให้มีความกว้างรัดมากขึ้น

5.3.3 เพิ่มส่วนของจอแสดงสถานะการทำงานของวงจร

បររលាយករណ៍

- [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.

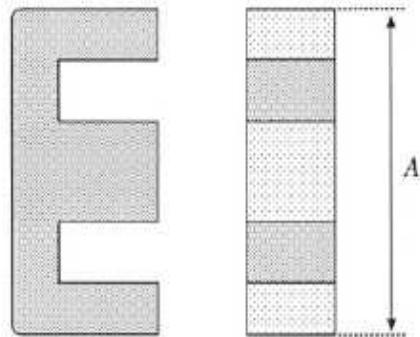
- [17] D.D.-C. Lu, W. Zhao, V.G Agelidis, “Integrated Photovoltaic-Battery Converter Design for DC Power System,” AUPEC Power Engineering Conference, 2009, pp. 1-5.
- [18] วิกฤติ ชีรภพจรเดช และคณะ, “การศึกษาเบื้องต้นในเทคโนโลยีและศักยภาพทางการวิจัยและพัฒนาของสถาบันอุดมศึกษาไทยทางด้านเครื่องข่ายเชนเชอร์ไวร์สาย,”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

ภาคผนวก

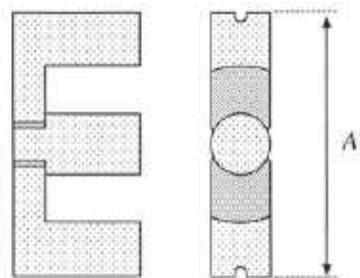
ภาคผนวก ก ตารางแกนหม้อแปลงเพื่อใช้ในการออกแบบ

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

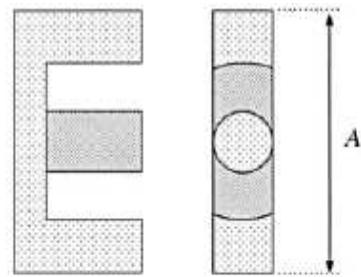
แกน EE



Core type (A) (mm)	Geometrical constant K_g (cm ⁵)	Geometrical constant $K_{g\ell_e}$ (cm ³)	Cross-sectional area A_c (cm ²)	Bobbin winding area W_A (cm ²)	Mean length per turn MLT (cm)	Magnetic path length ℓ_m (cm)	Core weight (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

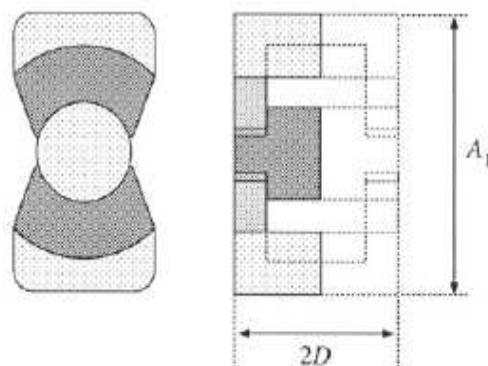
ມັນ EC

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 ³)	A_c (cm ²)	W_A (cm ²)	MLT (cm)	ℓ_m (cm)	R_{th} (°C/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

ມັນ 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 ³)	A_c (cm ²)	W_A (cm ²)	MLT (cm)	ℓ_m (cm)	R_{th} (°C/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

ແກນ PQ



Core type $(A_1/2D)$ (mm)	Geometrical constant K_g (cm^5)	Geometrical constant $K_{g/c}$ (cm^8)	Cross-sectional area A_c (cm^2)	Bobbin winding area W_A (cm^2)	Mean length per turn MLT (cm)	Magnetic path length ℓ_m (cm)	Core weight (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 การตีพิมพ์เผยแพร่องาน

วงจรค่อนเวอร์เดอร์แบบสองอินพุตที่มีอัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้คลอดการทำงานด้านปฐมภูมิร่วมกัน

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

ชวีชัย เครือเดียว จิรัสเน ฉายแสงเจริญ คุณมาลย์ เจริมยานนท์ อุนวัตร ประเสริฐสิงห์

ภาควิชาศึกษาฯ ไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

PE003

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรค่อนเวอร์เดอร์แบบสองอินพุตที่มีอัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้คลอดการทำงานด้านปฐมภูมิร่วมกัน จุดเด่นของวงจรนี้คือ ใช้อุปกรณ์น้อย มีความเครียดของสวิตช์ต่ำ นอกจากนี้ที่สองแหล่งจ่ายพลังงานจะสามารถจ่ายกำลังให้กับโหลดได้ในเวลาเดียวกัน และมีการนำพลังงานจากค่าความหนาแน่นร่วงไว้ให้หลังผ่านไปปั๊บโดยการชาร์จตัวเก็บประจุซึ่งจะทำให้เวลาปรับเปลี่ยนตัวเดินที่นี่ แล้วเป็นส่วนช่วยเพื่ออัตราขยายแรงดันให้สูงขึ้น วงจรนี้มีคุณสมบัติแบบใหม่ขนาด 100 วัตต์ต่ำทำงานที่ 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. Distinguishing 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 from a leakage inductance can be sent back to recharge 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.

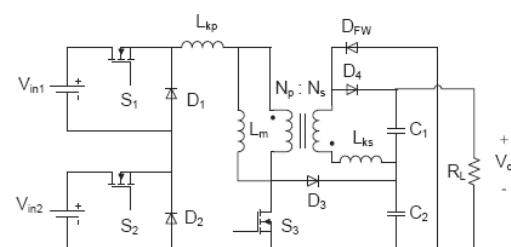
Keywords: Multiple-input, high voltage gain, renewable energy

1. บทนำ

ในปัจุบันการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนกำลังได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากพลังงานหลักที่ใช้ในปัจุบัน เช่น น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติซึ่งนับวันมีแต่จะหมดไป โดยพลังงานทดแทน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม มีข้อดีคือ เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่เกิดมลภาวะ และมีอยู่ทั่วไป แต่อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของการนำพลังงานเหล่านี้มาใช้คือ จะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ

อุปกรณ์ เวลา และอุณหภูมิ เป็นต้น ดังนั้น ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโดยใช้เพียงแหล่งจ่ายเดียวจึงทำให้ขาดเสียรากฐาน แนวทางในการแก้ปัญหานี้คือ การนำพลังงานทดแทนจากแหล่งแหล่งจ่ายมาทำงานร่วมกัน ที่ผ่านมามีการนำเสนองานของปูลูบวิชช์ ค่อนเวอร์เดอร์แบบสองอินพุต [1] โดยนำวงจรปูลูบวิชช์ 2 วงร่วมกัน ทางด้านปฐมภูมิของทั้งสองแหล่ง มีข้อดีคือ มีลักษณะเป็นซอนได้สวิตช์ชิ่ง (soft-switching) แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้สวิตช์หลักตัวเดียวมีการนำเสนองานของไฟลายแบบค่อนเวอร์เดอร์แบบกลা�ยอินพุต [2] มีข้อดีคือ มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือ มีเพียงอินพุตเดียวเท่านั้นที่ทำงาน ในแต่ละเวลา และมีหนึ่งอินพุตต่อหัวนึงของคลอดการทำงานด้านปฐมภูมิทำให้หนึ่งแหล่งมีขนาดใหญ่ จากนั้นจึงได้มีการพัฒนาวงจรไฟลายแบบค่อนเวอร์เดอร์แบบหลักอินพุตที่ใช้คลอดการทำงานด้านปฐมภูมิร่วมกัน [3] ซึ่งนอกจากจะทำให้หัวแหล่งพลังงานเดียวสามารถเด่วงกันได้แล้ว ยังมีความเครียดของสวิตช์ลดลงเมื่อเทียบกับวงจรแบบเดิม [2] แต่ว่าจะนี้ข้อดีมีข้อเสียคือ ไม่ได้มีการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากค่าความหนาแน่นร่วงไว้ให้จะส่งผลกระทบทำให้เกิดการสปายค์ (Spike) และความเครียดสูงที่สวิตช์หลักของวงจรซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและอาจเกิดความเสียหายต่อตัวตัวตัวได้และมีข้อจำกัดคือ นำไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องการแรงดันเอาที่สูงค่าเท่านั้น

ดังนั้น บทความนี้จึงได้นำเสนอวงจรค่อนเวอร์เดอร์แบบสองอินพุตที่มีพื้นฐานมาจากวงจรไฟลายแบบค่อนเวอร์เดอร์ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยวงจรนี้นำเสนอที่มีอัตราขยายแรงดันสูง สามารถลดผลกระทบของตัวหนาแน่นร่วงไว้ให้หลักการที่ไม่ใช่ไฟล์ในรูปของวงจรชาร์จตัวเก็บประจุ [4] นอกจากนี้วงจรยังถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานพร้อมกันทั้งสองแหล่งจ่ายหรือจ่ายเพียงแหล่งจ่ายเดียวได้



รูปที่ 1 วงจรค่อนเวอร์เดอร์แบบสองอินพุต

2. หลักการทำงาน

วงจรด้านบนในรูปที่ 1 ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟ 2 แหล่งคือ V_{in1} และ V_{in2} โดยมีสวิตช์ S_1 และ S_2 เป็นตัวควบคุมการทำงานเพื่อควบคุมการจ่ายกำลังไฟที่จากแหล่งจ่ายไฟสอง แหล่งนี้ D_1 เป็นสวิตช์ลักษณะของการควบคุมแรงดันด้านเอาท์พุต โดยทางด้านเอาท์พุตได้โอด D_4 จะทำหน้าที่นำกระแสเพื่อชาร์จตัวเก็บประจุ C_1 ในขณะที่ไดโอด D_3 จะทำหน้าที่ในการนำไฟส่องงานจากด้านความหนืดที่ยานร่วมไฟทางด้านปฐมภูมิ L_{th} หาชาร์จตัวเก็บประจุ C_2 ส่วนไดโอด D_{FW} ทำหน้าที่ให้กระแสจากตัวหนึ่งยานร่วมไฟ L_{th} ทางด้านที่二ดึงกระแสก่อนชาร์จตัวเก็บประจุ C_2 ในการอธิบายการทำงานในแต่ละสถานะของแต่ละโหมดคือ โหมดที่ 1 ทำงานในช่วงสถานะอยู่ด้วย จะสมมุติให้สวิตช์แต่ละตัวเป็นอุดมคุณิ โดยที่ตัวหนึ่งยานร่วมไฟที่ L_{th} มีขั้นตอนการจ่ายกระแสอย่างต่อเนื่องได้ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีขั้นตอนการจ่ายกระแสอย่างต่อเนื่องได้ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีค่าคงที่ วงจรด้านบนสามารถควบคุมการทำงานได้ในสองโหมดคือ โหมดแหล่งจ่ายสองยานร่วมไฟและ โหมดแหล่งจ่ายเพียงแหล่งเดียว

2.1 โหมดตั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน

ในโหมดนี้สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ทำงานพร้อมกัน การทำงานแต่ละช่วงเวลาใน 1 คาบการสวิตช์ขึ้นไปได้ดังนี้

ช่วงที่ 1 (t_0-t_1) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 นำกระแสพร้อมกันตัวหนึ่งยานร่วม L_{th} และ L_{th} ทางด้านปฐมภูมิจะชาร์จจากแรงดัน V_{in1} และ V_{in2} ส่วนทางด้านที่二ดึงกระแสที่สามใน L_{th} จะไฟล์ไปชาร์จตัวเก็บประจุ C_1 ผ่านทางไดโอด D_4 ตามรูปที่ 2(ก)

ช่วงที่ 2 (t_1-t_2) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ขึ้นมาทำงานในขณะที่ทางด้านที่二ดึงกระแสที่ไฟล์งานให้แรงดันที่สองข้างของไดโอด D_4 มีค่าเท่ากันจะเปลี่ยนทิศทางการไฟล์ โดยกระแสจะเปลี่ยนไปไฟล์ผ่านไดโอด D_{FW} แทน ตามรูปที่ 2(ข)

ช่วงที่ 3 (t_2-t_3) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 หยุดนำกระแส หลังงานจาก L_{th} จะไฟล์ไปชาร์จ C_2 ผ่านทางไดโอด D_3 ทางด้านที่二ดึงกระแสที่สามใน L_{th} ผ่านไดโอด D_{FW} ตามรูปที่ 2(ค)

ช่วงที่ 4 (t_3-t_4) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ไม่ทำงาน แต่กระแสทางด้านที่二ดึงกระแสที่ไฟล์อีกครั้ง โดยกระแสจะเปลี่ยนไปไฟล์ไดโอด D_4 แทน เพื่อกลับไปชาร์จ C_1 ตามรูปที่ 2(ง)

ช่วงที่ 5 (t_4-t_5) หลังงานใน L_{th} จะปล่อยออกมานหมด ทำให้ไดโอด D_3 หยุดนำกระแส ส่วนทางด้านที่二ดึงกระแสที่ไฟล์ใน L_{th} ผ่านไดโอด D_{FW} ตามรูปที่ 2(จ)

จากการทำงานแต่ละช่วงเวลาในโหมดนี้สามารถอธิบายได้ว่า แรงดันเอาท์พุต ได้ดังนี้

$$V_o = \frac{n}{1-D_{q1}} (V_{in1} + V_{in2}) \quad (1)$$

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

2.2 โหมดแหล่งจ่ายเดียวทำงานเพียงตัวเดียว

ในกรณีที่แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียว สวิตช์ S_1 และ S_2 ไม่ทำงาน ช่วงที่สวิตช์ S_1 และ S_3 นำกระแส วงจรสามมูลจะเป็นไปดังรูปที่ 2(ฉ) และ 2(ช) และเมื่อสวิตช์ S_1 และ S_3 หยุด น้ำกระแสจะส่งไปยังมูลที่สองในโหมดที่ห้องส่องแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน ส่วนในกรณีที่แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว สวิตช์ S_2 และ S_3 ทำงาน ส่วนสวิตช์ S_1 ไม่ทำงาน โดยวงจรสามมูลในช่วงสวิตช์ทำงานจะเป็นไปดังรูปที่ 2(ง) และ 2(บ)

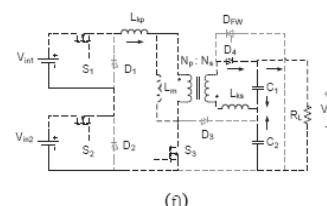
แรงดันเอาท์พุตในกรณีที่ V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียว หาได้จากสมการ

$$V_o = \frac{n}{1-D_{q2}} (V_{in2}) \quad (2)$$

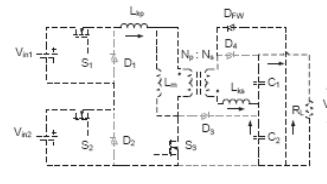
และในกรณีที่ V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว จะได้

$$V_o = \frac{n}{1-D_{q3}} (V_{in1}) \quad (3)$$

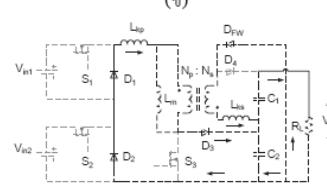
โดยที่ D_{q2} และ D_{q3} คือ ค่ารอบทำงานเมื่อแหล่งจ่าย V_{in1} และ V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียวตามลำดับ



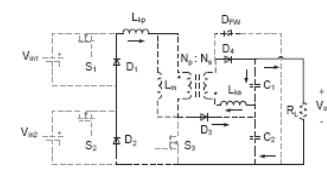
(a)



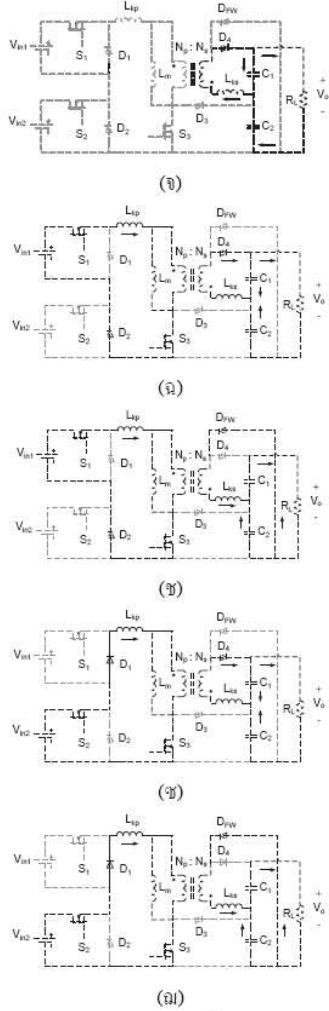
(b)



(c)

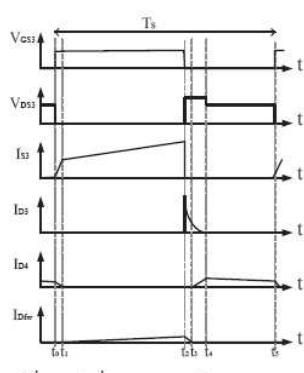


(d)



รูปที่ 2 การทำงานของวงจรด้านบนที่ใช้สองไหមคการทำงานในแต่ละช่วงเวลา

ในรูปที่ 3 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ในวงจรด้านบนในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 3 รูปคลื่นแสดงการทำงานของวงจร

3. การควบคุมการทำงานในแต่ละไหมค

จากสมการที่ (1), (2) และ (3) เมื่อให้ค่าแรงดันเอาท์พุต V_o และอัตราส่วนรอบหม้อแปลง n คงที่ในทุกไหมคการทำงาน จะได้

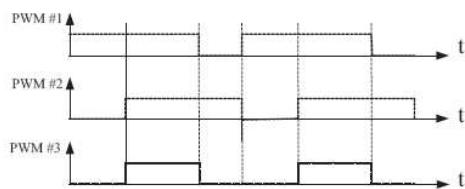
$$(1 - D_{q1}) = (1 - D_{q2}) + (1 - D_{q3}) \quad (4)$$

ซึ่งความสัมพันธ์ในสมการ (4) ใช้ในการออกแบบสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมสวิตช์ในแต่ละไหมคที่ 4 โดยที่

- PWM #1 เป็นสัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ S_1 และ S_2 ในไหมคแรกล่างจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงคราวเดียว

- PWM #2 เป็นสัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ S_2 และ S_3 ในไหมคแรกล่างจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงคราวเดียว

- PWM #3 เป็นสัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ในไหมคที่สองและล่างจ่ายทำงานพร้อมกันกัน ก็จะได้จากการนำสัญญาณ PWM#1 และ PWM #2 มา AND กัน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณควบคุมสวิตช์ในแต่ละไหมค

3. ผลการจำลองการทำงาน

วงจรค่อนเวอร์เคอร์ด้านบนเป็นวงจรที่สามารถจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM ในกระบวนการจำลองจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ดังนี้

แรงดันอินพุตที่ 1: $V_{in1} = 12 \text{ V}$

แรงดันอินพุตที่ 2: $V_{in2} = 24 \text{ V}$

แรงดันเอาท์พุต: $V_o = 300 \text{ V}$

ค่าความเทาที่ยาน้ำหนาแม่เหล็ก: $L_m = 124 \mu\text{H}$

ค่าความเทาที่ยาน้ำหนาร้าวไฟลอกทางด้านปฐมภูมิ: $L_{kp} = 1 \mu\text{H}$

ค่าความเทาที่ยาน้ำหนาร้าวไฟลอกทางด้านทุกภูมิ: $L_{bp} = 4 \mu\text{H}$

ค่าเก็บประจุ: $C_1 = C_2 = 330 \mu\text{F}$

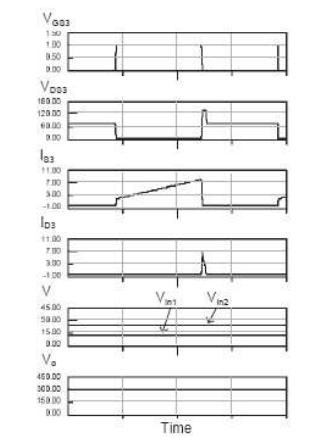
ความถี่ในการสวิตช์: $f_s = 60 \text{ kHz}$

อัตราส่วนหม้อแปลง: $n = 4$

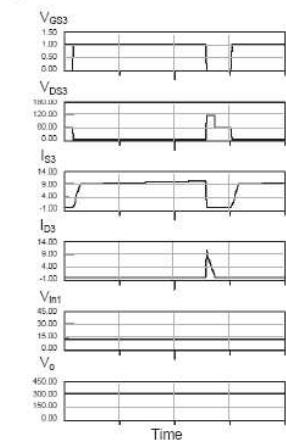
กำลังเอาท์พุต: $P_{out} = 100 \text{ W}$

โดยกลไกที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรในไหมคดังๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละไหมค เมื่อตัวตัด S_1 ซึ่งเป็นสวิตช์หลักของวงจรไม่ทำงาน กระแสแท่งที่เกิดจากค่าเทาที่ยาน้ำหนาร้าวไฟลอกไฟไปชาร์จตัวเก็บประจุทุกท่านได้โดย D_1 , ดังแสดงในรูปคลื่นของกระแส I_{o2} โดยในขณะเดียวกันก็จะทำให้แรงดันที่คู่ออมสวิตช์ S_3 เท่ากับแรงดันที่คู่ออม C_2 ซึ่งในช่วงเวลาที่เริ่มเป็นการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจาก

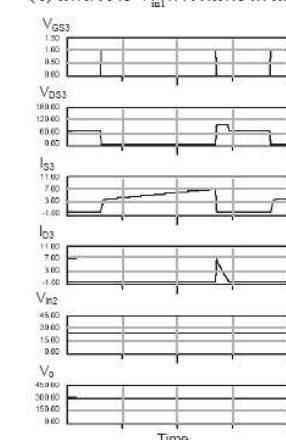
ตัวหนีบวันร้าวไฟล์ไปยังไฟล์ ทำให้สามารถลดกำลังสูญเสียที่เกิดจาก การสวิตช์ และช่วยทำให้ประสิทธิภาพของวงจรดีขึ้น นอกจากนี้การ เชื่อมต่อวันของอินพุตกับเอาท์พุตของวงจรท่านทางไดโอด D_1 ก็จะเป็น ส่วนที่ช่วยเพิ่มอัตราขยายแรงดันให้บวกจรจ.



(ก) ไหமดถึงสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน



(ก) แหล่งจ่าย V_{in} ทำงานเพียงตัวเดียว



(ก) แหล่งจ่าย V_{in} ทำงานเพียงตัวเดียว

รูปที่ 5 รูปคลื่นของผลการจำลองข้อมูลการทำงานในไหமดค่าๆ

4. สรุป

บทความนี้นำเสนอของเรื่องคือรูปแบบสองอินพุตที่มี อัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้คอลคูลท์ค้างค้านปฐมภูมิร่วมกัน ซึ่งจากผล การจำลองการทำงานพบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยได้ แสดงให้เห็นถึงการลดผลกระทบที่เกิดจากตัวหนีบวันร้าวไฟล์ โดยการ นำกระแสແສเนื้อยวนร้าวไฟล์ไปชาร์จตัวเก็บประจุ ซึ่งจะส่งผลให้วงจร มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น มีอัตราขยายแรงดันสูง นอกจากนี้ยังสามารถจ่าย พลังงานพร้อมกันทั้งสองแหล่งจ่ายที่รือจ่ายเพียงแหล่งจ่ายเดียวที่ได้

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 ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร งานวิจัยที่สนใจ: Power Electronics



จิรภัณฑ์ ฉายแสงเจริญ: นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร งานวิจัยที่สนใจ: Power Electronics



กฤศมาลย์ เฉลิมยานนนท์: อาจารย์ประจำภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร ภาควิชา: วศ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร, M.S. and Ph.D. Degrees from the University of Colorado at Boulder, USA งานวิจัยที่สนใจ: Power Electronics



อนุวัตร ประเสริฐธิพัช: อาจารย์ประจำภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร ภาควิชา: วศ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร, M.S. Degree from The George Washington University, USA งานวิจัยที่ สนใจ: Power Electronics, Electric Machines