

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาต้นแบบของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
สำหรับระบบเฝ้าตรวจวัดระดับน้ำ

Development of Electrical Energy Source of Wireless Sensor
Network for Water Level Monitoring System

คณะผู้วิจัย

ผศ. อนุวัตร ประเสริฐสิทธิ์

ผศ.ดร. กุศลมาลย์ เฉลิมยานนท์

ผศ. สุระพล เขียรมนตรี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2551-2552

บทคัดย่อ

ในการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อเฝ้าตรวจวัดระดับน้ำนั้น จำเป็นต้องติดตั้งเซนเซอร์โหนดไร้สายเป็นจำนวนมากไว้ในตำแหน่งต่าง ๆ ตามเส้นทางระบายน้ำตลอดถึงในแหล่งน้ำ การติดตั้งเซนเซอร์โหนดไร้สายในบางตำแหน่งอาจอยู่ในสถานที่ซึ่งไม่สามารถเข้าบำรุงรักษาได้สะดวก แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเซนเซอร์โหนดไร้สายจึงต้องสามารถจ่ายพลังงานได้ตลอดอายุการใช้งาน ดังนั้นเพื่อยืดอายุการใช้งานของเซนเซอร์โหนดให้ยาวนานขึ้น แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าต้องสามารถรับพลังงานไฟฟ้าที่เปลี่ยนรูปมาจากพลังงานในสิ่งแวดล้อมได้และต้องสามารถเก็บสะสมไว้ใช้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม เมื่อไม่สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานจากสภาพแวดล้อมได้

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาทางเลือกของแหล่งจ่ายพลังงานที่เหมาะสม รวมถึงการออกแบบและสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่มีหลายอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเซนเซอร์โหนด โดยอินพุตของวงจรเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แปลงมาจากพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ที่แฝงอยู่ในสิ่งแวดล้อม และมีแบตเตอรี่สำรองเพื่อให้เซนเซอร์โหนดไร้สายมีเสถียรภาพการทำงานมากขึ้น ทางด้านเอาต์พุตสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แรงดันหลายระดับ ในการออกแบบวงจรจะคำนึงถึงอายุการใช้งานและเสถียรภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นหลัก นอกจากนี้ยังสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไปเพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบสามารถรองรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าได้พร้อมกันสองแหล่งและมีแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ เป็นแหล่งเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าสำรอง แต่ละแหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่อผ่านสวิตช์เพื่อให้สามารถจัดการการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างอิสระต่อกัน นอกจากนี้ยังมีส่วนของการนำกำลังสูญเสียเนื่องจากความเหนี่ยวนำรั่วในหม้อแปลงมาประจุชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดความเครียดของสวิตช์ การทำงานของวงจรต้นแบบแบ่งได้เป็น 3 โหมด คือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดแบ็คอัป การทำงานทั้งหมดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นระบบจึงทำงานอย่างอัตโนมัติได้ในทุกสถานการณ์ วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบสามารถรับแรงดันอินพุตได้ในระดับ 30 โวลต์ และให้แรงดันเอาต์พุต 2 ระดับ คือ 5 โวลต์ ที่ 1.5 แอมแปร์ และ 12 โวลต์ ที่ 1 แอมแปร์ โดยมีขนาดกำลังไฟฟ้ามรวมประมาณ 25 วัตต์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะการทำงานของวงจรต้นแบบและการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรต้นแบบประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ วงจรมีขนาดเล็กใช้อุปกรณ์น้อยและสามารถใช้กับแหล่งจ่ายไฟได้หลากหลาย เหมาะกับการนำไปติดตั้งใช้งานในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายขนาดใหญ่

คำสำคัญ: วงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายอินพุตหลายเอาต์พุต แบตเตอรี่ เซนเซอร์โหนดไร้สาย

Abstract

In the applications of wireless sensor networks for water level monitoring, a large numbers of wireless sensor nodes are installed along open channels including water resources. In some locations that the wireless sensor nodes are installed, it is difficult to reach the nodes for maintenance. Therefore, their energy sources must be able to supply the electrical energy along their service life. Their energy sources must be derived from the conversion of energy in environment to electrical energy and can be able to accumulate the electrical energy in some forms for some situations that the conversion process cannot be preceded.

This research is to study of potential energy sources that are suitable in the wireless sensor networks for water level monitoring. Additionally, the prototype of multiple-input multiple-output converter with battery charger is designed and constructed to be used as a power supply of a sensor node. Inputs of the converter are supplied from electrical power converted from other energy sources among the environment. A battery is used as a backup source in order to increase reliability of a sensor node. Output voltages of the converter are designed in different levels to meet load requirements. The designed converter will be taken into account of lifetime and stability of the power supply. Moreover, it must be able to transmit power to the load efficiently with the simple structure and can be applied in a practical use.

The prototype converter has 2 inputs and 2 outputs including 24-V battery backup source. Each input is connected through a controlled switch for independent power managing purpose. Furthermore, it can bring power loss due to a leakage inductance back to charge a battery. This process will increase the converter efficiency and reduce stress in a main switch. The prototype has 3 modes of operation; normal, charging and backup, which are automatically controlled by microcontroller. Both input voltages of the converter are 30 V. The output voltages are 5 V/1.5 A and 12 V/1 A. The power rating is 25 W. The testing results show that the prototype converter can be able to operate in 3 modes by automatically controlled with microcontroller. The averaged efficiency is approximately 80 %. The structure of the converter is simple and uses a small number of devices. It can be used with various power supplies and is suitable for deployment in a large-scale of wireless sensor network.

Keywords: Multiple-input/multiple-output converter, battery, wireless sensor node

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้การสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดินปี 2551 – 2552 ในโครงการหมายเลข 2551A11501001 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่เพื่อทำการวิจัย

(ผศ. อนุวัตร ประเสริฐสิทธิ์)
ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
รายการตาราง	v
รายการภาพประกอบ	vi
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
1.6 อุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย	3
บทที่ 2 เซนเซอร์โหนดไร้สาย	4
2.1 องค์ประกอบของเซนเซอร์โหนดไร้สาย	4
2.2 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเซนเซอร์โหนดไร้สาย	4
2.3 การใช้กำลังไฟฟ้าในเซนเซอร์โหนดไร้สาย	7
2.4 แนวคิดการออกแบบแหล่งจ่ายไฟสำหรับเซนเซอร์โหนดไร้สาย	7
บทที่ 3 การรวมวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต	10
3.1 วงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต	10
3.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต	12
3.3 วงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบมีหม้อแปลงแยกกราวด์ออกจากกัน	15
3.4 โครงสร้างของวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่	20
บทที่ 4 การออกแบบต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่	21
4.1 โครงสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ	21
4.2 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรต้นแบบ	25
4.3 การจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบ	26
4.4 โปรแกรมสำหรับการควบคุมการทำงานของวงจร	28
4.5 การรวมวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบเข้ากับวงจรควบคุม	29
4.6 ผลการทดลอง	32
4.7 การทดสอบประสิทธิภาพ	36
4.8 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	41

	หน้า
บทที่ 5 การปรับปรุงต้นแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต	42
5.1 การเลือกรูปแบบของวงจรมาประยุกต์ใช้งาน	42
5.2 วงจรต้นแบบที่ปรับปรุง	44
5.3 การออกแบบวงจร	50
5.4 การจำลองการทำงาน	51
5.5 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของวงจร	58
5.6 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจรภาคกำลัง	59
5.7 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	59
5.8 ประสิทธิภาพของวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ	62
บทที่ 6 การปรับปรุงประสิทธิภาพพวงจรถูกแปลงคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต	63
6.1 หลักการทำงานของวงจรต้นแบบ	63
6.2 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของวงจร	67
6.3 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจรภาคกำลัง	68
6.4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	68
6.5 ประสิทธิภาพของวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	77

รายการตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2-1	เปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานแบบต่าง ๆ	6
ตารางที่ 2-2	เปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานประเภทต่าง ๆ	6
ตารางที่ 2-3	การใช้พลังงานของเซนเซอร์โหนดในช่วงการทำงานต่าง ๆ	7
ตารางที่ 3-1	แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวชี้วัดของวงจรดับเบิลอินพุตคอนเวอร์เตอร์ทั้งสามวงจรทำการคำนวณโดยป้อนค่าแรงดันอินพุตและเอาต์พุตเท่ากันทั้งสามวงจรลง	15
ตารางที่ 3-2	การเปรียบเทียบอัตราส่วนจำนวนรอบ (n) ของวงจรมัลติเพิลเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์	19
ตารางที่ 4-1	แสดงความสัมพันธ์ของสวิตช์ในโหมดการทำงาน	23
ตารางที่ 4-2	ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบ	25
ตารางที่ 4-3	ค่าอุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่	25
ตารางที่ 4-4	สถานะของสวิตช์ในโหมดปกติ	32
ตารางที่ 4-5	สถานะของสวิตช์ ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	34
ตารางที่ 4-6	สถานะของสวิตช์ในโหมดแบ็คอัป	35
ตารางที่ 4-7	ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดปกติ	38
ตารางที่ 4-8	ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมดปกติ	38
ตารางที่ 4-9	ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	39
ตารางที่ 4-10	ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	40
ตารางที่ 4-11	ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดแบ็คอัป	40
ตารางที่ 4-12	ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมดแบ็คอัป	41
ตารางที่ 5-1	หลักพิจารณาการเลือกวงจรและรูปแบบการต่อเซลล์แหล่งจ่ายของวงจรหลายอินพุต	43
ตารางที่ 5-2	ค่าอุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่	50
ตารางที่ 5-3	แสดงโหมดการทำงานของวงจร	59
ตารางที่ 5-4	พิกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ	59
ตารางที่ 5-5	ประสิทธิภาพของวงจร	62
ตารางที่ 6-1	โหมดการทำงานของวงจร	68
ตารางที่ 6-2	พิกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ	68
ตารางที่ 6-3	ประสิทธิภาพของวงจร	73

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1-1 แผนงานและระยะเวลาดำเนินการโครงการ	3
รูปที่ 2-1 สถาปัตยกรรมของเซนเซอร์โหนดไร้สาย	4
รูปที่ 3-1 เซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตตั้งประเภทต่าง ๆ	10
รูปที่ 3-2 เซลล์แหล่งจ่ายกระแสพัลเซตตั้งประเภทต่าง ๆ	10
รูปที่ 3-3 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลเซตตั้งประเภทต่าง ๆ	11
รูปที่ 3-4 เซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตตั้งต่อแบบอนุกรม	11
รูปที่ 3-5 เซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตตั้งต่อแบบขนาน	12
รูปที่ 3-6 เซลล์แหล่งจ่ายกระแสพัลเซตตั้งต่อแบบขนาน	12
รูปที่ 3-7 วงจรบั๊ก บั๊ก-บูสคอนเวอร์เตอร์	13
รูปที่ 3-8 สภาวะการทำงานของวงจรบั๊ก บั๊ก-บูสคอนเวอร์เตอร์	13
รูปที่ 3-9 ช่วงคาบเวลาการทำงานของสวิตช์	13
รูปที่ 3-10 วงจรบั๊ก บั๊กคอนเวอร์เตอร์	14
รูปที่ 3-11 ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์	14
รูปที่ 3-12 วงจรบั๊ก-บูส บั๊ก-บูสคอนเวอร์เตอร์	14
รูปที่ 3-13 ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์	14
รูปที่ 3-14 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	16
รูปที่ 3-15 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	17
รูปที่ 3-16 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	17
รูปที่ 3-17 วงจรพุ่ม-ฟูลคอนเวอร์เตอร์	18
รูปที่ 3-18 การสร้างวงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์จากวงจรบั๊ก-บูสคอนเวอร์เตอร์	19
รูปที่ 3-19 รูปแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ดับเบิลอินพุต-มัลติเปิลเอาต์พุตรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่	20
รูปที่ 4-1 โครงสร้างต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเปิลเอาต์พุต และรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่	21
รูปที่ 4-2 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติ	22
รูปที่ 4-3 วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดปกติ	22
รูปที่ 4-4 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	22
รูปที่ 4-5 วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	23
รูปที่ 4-6 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดแบคอัพ	23
รูปที่ 4-7 วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดแบคอัพ	23
รูปที่ 4-8 รูปคลื่นแรงดัน และกระแสในแต่ละโหมดการทำงาน	24
รูปที่ 4-9 วงจรที่ใช้จำลองผลการทำงานในโหมดปกติ	26
รูปที่ 4-10 แรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตในโหมดปกติ	26
รูปที่ 4-11 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดปกติ	27

	หน้า
รูปที่ 4-12 วงจรที่ใช้จำลองผลในโหมดแบ็คอัฟ	27
รูปที่ 4-14 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดแบ็คอัฟ	28
รูปที่ 4-15 แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	29
รูปที่ 4-16 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน	30
รูปที่ 4-17 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง	30
รูปที่ 4-18 แบบแผนวงจรที่ออกแบบ	31
รูปที่ 4-19 วงจรดับเบิลอินพุตที่ออกแบบ	32
รูปที่ 4-20 วงจรมัลติเพล็กซ์เอาต์พุตที่ออกแบบ	32
รูปที่ 4-21 ภาพไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรชาร์จแบตเตอรี่และวงจรรักษาแรงดันที่ออกแบบ	32
รูปที่ 4-22 แรงดันด้านปฐมภูมิ 1 ในโหมดปกติ	33
รูปที่ 4-23 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดปกติ	33
รูปที่ 4-24 แรงดันและกระแสที่ไดโอดขณะชาร์จประจุในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	34
รูปที่ 4-25 แรงดันด้านปฐมภูมิในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	34
รูปที่ 4-26 แรงดัน และกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	35
รูปที่ 4-27 แรงดันด้านปฐมภูมิ 2 ในโหมดแบ็คอัฟ	36
รูปที่ 4-28 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดแบ็คอัฟ	36
รูปที่ 4-29 กระแสอินพุตในขณะที่แหล่งจ่ายแยกกันทำงานอย่างอิสระในโหมดปกติ	36
รูปที่ 4-30 กระแสอินพุตในขณะที่แหล่งจ่ายทำงานร่วมกันในโหมดปกติ	37
รูปที่ 4-31 กระแสเอาต์พุตทั้งสามในโหมดปกติ	37
รูปที่ 4-32 กระแสอินพุตในขณะที่แหล่งจ่ายแยกกันทำงานอย่างอิสระในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	38
รูปที่ 4-33 กระแสอินพุตในขณะที่แหล่งจ่ายทำงานร่วมกันในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	38
รูปที่ 4-34 กระแสที่ไดโอด DB ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	39
รูปที่ 4-35 กระแสเอาต์พุตทั้งสามในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	39
รูปที่ 4-36 กระแสที่สวิตช์ QB ในโหมดแบ็คอัฟ	40
รูปที่ 4-37 กระแสเอาต์พุตทั้งสามในโหมดแบ็คอัฟ	40
รูปที่ 5-1 การต่อแบตเตอรี่กับวงจรคอนเวอร์เตอร์	44
รูปที่ 5-2 วงจรต้นแบบที่ปรับปรุง	45
รูปที่ 5-3 แหล่งจ่ายทั้งสองทำงานพร้อมกัน	46
รูปที่ 5-4 แหล่งจ่าย Vin1 ทำงาน	46
รูปที่ 5-5 แหล่งจ่าย Vin2 ทำงานเพียงตัวเดียว	47
รูปที่ 5-6 ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน	47
รูปที่ 5-7 แหล่งจ่าย Vin1 ทำงาน	48
รูปที่ 5-8 แหล่งจ่าย Vin2 ทำงานเพียงตัวเดียว	48
รูปที่ 5-9 แหล่งจ่าย Vbat ทำงาน	49
รูปที่ 5-10 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติ	49

รูปที่ 5-11 สัญญาณควบคุมสวิตซ์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	49
รูปที่ 5-12 สัญญาณควบคุมสวิตซ์ในโหมดแบ็คอัป	50
รูปที่ 5-13 วงจรภาคกำลัง	51
รูปที่ 5-14 วงจรภาคควบคุม	51
รูปที่ 5-15 แรงดันคร่อมสวิตซ์ S1, S2 และ S4 ตามลำดับ	52
รูปที่ 5-16 แรงดันเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2	52
รูปที่ 5-17 กระแสเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2	52
รูปที่ 5-18 แรงดันคร่อมสวิตซ์ S1 และ S4 ตามลำดับ	53
รูปที่ 5-19 แรงดันเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2	53
รูปที่ 5-20 กระแสเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2	53
รูปที่ 5-21 แรงดันคร่อมสวิตซ์ S2 และ S4 ตามลำดับ	54
รูปที่ 5-22 แรงดันเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2	54
รูปที่ 5-23 กระแสเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2	54
รูปที่ 5-24 แรงดันคร่อมสวิตซ์ S1, S2 และ S4 ตามลำดับ	55
รูปที่ 5-25 แรงดันเอาต์พุต 1, เอาต์พุต 2 และแรงดันชาร์จแบตเตอรี่	55
รูปที่ 5-26 กระแสเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 และกระแสชาร์จแบตเตอรี่	55
รูปที่ 5-27 แรงดันคร่อมสวิตซ์ S1 และ S4 ตามลำดับ	56
รูปที่ 5-28 แรงดันเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 และแรงดันชาร์จแบตเตอรี่	56
รูปที่ 5-29 กระแสเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 และกระแสชาร์จแบตเตอรี่	56
รูปที่ 5-30 แรงดันคร่อมสวิตซ์ S2 และ S4 ตามลำดับ	57
รูปที่ 5-31 แรงดันเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 และแรงดันชาร์จแบตเตอรี่	57
รูปที่ 5-32 กระแสเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 และกระแสชาร์จแบตเตอรี่	57
รูปที่ 5-33 แรงดันคร่อมสวิตซ์ S3 และ S4 ตามลำดับ	58
รูปที่ 5-34 แรงดันเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2	58
รูปที่ 5-35 กระแสเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2	58
รูปที่ 5-36 สัญญาณควบคุมในโหมดปกติ	60
รูปที่ 5-37 สัญญาณควบคุมในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	60
รูปที่ 5-38 สัญญาณควบคุมในโหมดแบ็คอัป	60
รูปที่ 5-39 สัญญาณควบคุมในโหมดหยุดทำงาน	60
รูปที่ 5-40 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	60
รูปที่ 5-41 แรงดันควบคุมสวิตซ์ S1 (Vgs1) และแรงดันคร่อมสวิตซ์ S1 (Vds1) ตามลำดับ	61
รูปที่ 5-42 แรงดันควบคุมสวิตซ์ S4 (Vgs4) แรงดันคร่อมสวิตซ์ S4 (Vds4) และกระแสที่ไหลทางด้าน ปรัภูมิตามลำดับ	61
รูปที่ 5-43 แรงดันควบคุมสวิตซ์ S4 (Vgs4) และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (Io1) ตามลำดับ	61
รูปที่ 5-44 แรงดันควบคุมสวิตซ์ S4 (Vgs4) และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (Io2)ตามลำดับ	62

	หน้า
รูปที่ 5-45 แรงดันเอาต์พุตที่ 1 (Vo1)	62
รูปที่ 5-46 แรงดันเอาต์พุตที่ 2 (Vo2)	62
รูปที่ 6-1 วงจรต้นแบบที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพ	63
รูปที่ 6-2 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติ	64
รูปที่ 6-3 แหล่งจ่าย Vin1 ทำงานในโหมดปกติ	64
รูปที่ 6-4 แหล่งจ่าย Vin2 ทำงานในโหมดปกติ	64
รูปที่ 6-5 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	65
รูปที่ 6-6 แหล่งจ่าย Vin1 ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	65
รูปที่ 6-7 แหล่งจ่าย Vin2 ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่	66
รูปที่ 6-8 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดแบ็คอัป	66
รูปที่ 6-9 แหล่งจ่าย Vbat ทำงานในโหมดแบ็คอัป	67
รูปที่ 6-10 สัญญาณการควบคุมและสัญญาณ PWM ถูกสร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	67
รูปที่ 6-11 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S1 (Vgs1) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S1 (Vds1)	69
รูปที่ 6-12 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S2 (Vgs2) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S2 (Vds2)	69
รูปที่ 6-13 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S4 (Vgs4) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S4 (Vds4) และ (ค) กระแสที่ไหล ทางด้านปฐมภูมิ	69
รูปที่ 6-14 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S4 (Vgs4) (ข) กระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (Io1)	70
รูปที่ 6-15 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S4 (Vgs4) (ข) กระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (Io2)	70
รูปที่ 6-16 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S1 (Vgs1) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S1 (Vds1)	70
รูปที่ 6-17 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S4 (Vgs4) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S4 (Vds4) และ (ค) กระแสที่ไหล ทางด้านปฐมภูมิ	71
รูปที่ 6-18 แรงดันควบคุมสวิตช์ S4 (Vgs4) และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (Io1)	71
รูปที่ 6-19 แรงดันควบคุมสวิตช์ S4(Vgs4) และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (Io2)	71
รูปที่ 6-20 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S2 (Vgs2) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S2 (Vds2)	72
รูปที่ 6-21 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S4(Vgs4), (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S4(Vds4) และ (ค) กระแสที่ไหล ทางด้านปฐมภูมิ	72
รูปที่ 6-22 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S4 (Vgs4) (ข) กระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (Io1)	72
รูปที่ 6-23 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S4 (Vgs4) (ข) กระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (Io2)	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า เซนเซอร์โหนดไร้สาย (Wireless sensor node) เป็นจำนวนมากมาเชื่อมต่อ/สื่อสารกันด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง โดยให้เซนเซอร์โหนดไร้สายทั้งหมดทำงานประสานกันกลายเป็นโครงข่ายไร้สายขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ได้ตามความเหมาะสมกับงานประยุกต์ ตัวอย่างงานประยุกต์ได้แก่ ระบบเฝ้าระวังภัย ระบบติดตามยานพาหนะ การขนส่งและสินค้าคงคลัง ระบบติดตามหรือเฝ้าระวังอาการผู้ป่วย เป็นต้น [1] ประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์และความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย ปัจจัยด้านแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเซนเซอร์โหนดไร้สายก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากตำแหน่งการติดตั้งและจำนวนของเซนเซอร์โหนดไร้สายมักจะเป็นปัญหาในการดูแลบำรุงรักษา เซนเซอร์โหนดไร้สายอาจติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ง่ายหรือเป็นตำแหน่งที่มีอันตรายต่อตัวบุคคลเช่น ตามป่าเขา หรือในที่ทุรกันดาน เป็นต้น เซนเซอร์โหนดไร้สายอาจมีจำนวนมากมาย ติดตั้งกระจายอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ เป็นบริเวณกว้าง จนทำให้มีต้นทุนในการการดูแลบำรุงรักษาสูงและไม่คุ้มกับการทยอยเปลี่ยนแบตเตอรี่ไปเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์โหนดในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับงานบางประเภทจะต้องทำงานเพียงลำพังปราศจากการเข้าถึงเพื่อดูแลและบำรุงรักษา เซนเซอร์โหนดไร้สายเหล่านี้จึงต้องพึ่งพาเมื่อหมดอายุการใช้งานหรือหมดพลังงานไฟฟ้าในแหล่งเก็บพลังงาน โดยปกติอายุการทำงานและขอบเขตการสื่อสารที่ครอบคลุมถึงของเซนเซอร์โหนดไร้สายขึ้นอยู่กับความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของแหล่งเก็บ/กำเนิดพลังงานไฟฟ้า แหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้าที่เซนเซอร์โหนดไร้สายใช้ส่วนใหญ่เป็นแบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary batteries) ชนิดต่าง ๆ ซึ่งหาซื้อได้สะดวกและใช้งานง่าย ถึงแม้ว่าความสามารถในการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดอายุการทำงานของเซนเซอร์โหนดไร้สาย แต่การยืดอายุการใช้งานของเซนเซอร์โหนดไร้สายก็สามารถทำได้โดยการพัฒนาการจัดการพลังงานไฟฟ้า (Energy management) เพื่อควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละส่วนของเซนเซอร์โหนดไร้สายให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อลดการใช้พลังงานของแบตเตอรี่ และการพัฒนาการแปลงพลังงานรูปแบบอื่นที่แฝงอยู่ในสภาพแวดล้อมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า (Energy harvesting) ซึ่งวิธีนี้จะทำให้เซนเซอร์โหนดไร้สายมีพลังงานใช้ได้ตลอดไป แต่ต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่เซนเซอร์โหนดไร้สายติดตั้งอยู่ด้วยซึ่งในบางช่วงเวลาอาจไม่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากสภาพแวดล้อมได้เลย

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่เซนเซอร์ไร้สาย โดยใช้การแปลงพลังงานรูปแบบอื่นที่แฝงอยู่ในสภาพแวดล้อมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีจุดประสงค์ มุ่งเน้นสำหรับการประยุกต์เข้ากับเซนเซอร์ไร้สายเพื่อเฝ้าตรวจวัดระดับน้ำในคลองเปิด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- (1) เพื่อศึกษาทางเลือกของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่เซนเซอร์ไร้สาย
- (2) เพื่อพัฒนาต้นแบบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อใช้แปลงพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานรูปแบบอื่น ๆ จากสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สามารถใช้แปลงพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานในธรรมชาติ
- (2) สามารถนำงานวิจัยไปศึกษาต่อยอด เพื่อปรับปรุงให้เหมาะกับงานเฉพาะและเพื่อให้ได้ องค์ความรู้ใหม่ ๆ ในการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศต่อไป

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาต้นแบบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานรูปแบบอื่น ๆ จากสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ โดยมีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

- (1) ศึกษาและสร้างต้นแบบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานรูปแบบอื่นๆจากสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ
- (2) ทดสอบต้นแบบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานรูปแบบอื่น ๆ จากสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ

1.5 แผนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มีรายละเอียดแบ่งตามหัวข้อกิจกรรมต่าง ๆ ดังนี้

- (1) ศึกษากระบวนการทำงาน การส่งข้อมูล และโครงสร้างของเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อให้รู้ถึงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
- (2) ศึกษาข้อจำกัดและความเป็นไปได้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากสิ่งแวดล้อมและการเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน
- (3) ออกแบบการจัดการพลังงานในเซนเซอร์ไร้สายให้สอดคล้องกับโครงสร้างของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
- (4) สร้างต้นแบบของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเซนเซอร์ไร้สาย และทดสอบการทำงานในระดับห้องปฏิบัติการ

(5) เชื่อมต่อกับเซนเซอร์โหนดไร้สายและทดสอบการทำงานพร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

(6) จัดทำรายงานโครงการฉบับสมบูรณ์

2550			2551												2552									
10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
	(1)																							
		(2)																						
				(3)																				
								(4)																
															(5)									
																					(6)			

รูปที่ 1-1 แผนงานและระยะเวลาดำเนินการโครงการ

1.6 อุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย

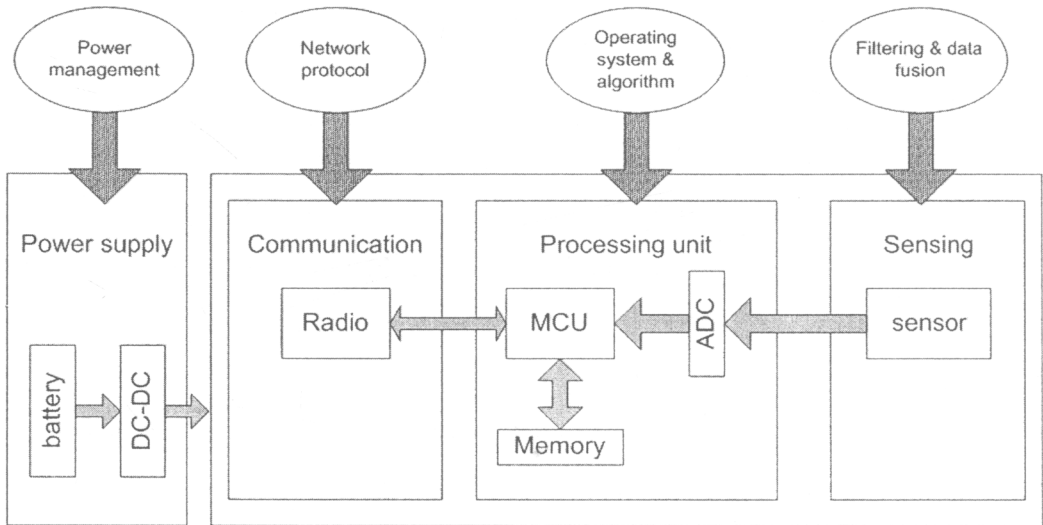
โครงการวิจัยนี้ได้ดำเนินกิจกรรมการศึกษา การจัดทำและการทดสอบต้นแบบ ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทที่ 2

เซนเซอร์ไร้สาย

2.1 องค์ประกอบของเซนเซอร์ไร้สาย

เซนเซอร์ไร้สายเป็นระบบสมองกลฝังตัวชนิดหนึ่ง มีองค์ประกอบสองส่วนแยกเป็นซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ส่วนของซอฟต์แวร์ประกอบด้วยระบบปฏิบัติการซึ่งมีส่วนของการจัดการกับการทำงานของฮาร์ดแวร์และส่วนของการจัดการกับงานประยุกต์ตามหน้าที่ของเซนเซอร์ไร้สายที่ออกแบบมา ส่วนฮาร์ดแวร์ของเซนเซอร์ไร้สายประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผล ส่วนสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุ ส่วนตรวจจับข้อมูลและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า รูปที่ 2-1 แสดงสถาปัตยกรรมของเซนเซอร์ไร้สาย



รูปที่ 2-1 สถาปัตยกรรมของเซนเซอร์ไร้สาย [1]

2.2 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเซนเซอร์ไร้สาย

แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเซนเซอร์ไร้สายสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท แหล่งจ่ายพลังงานประเภทแรกเป็นแหล่งจ่ายที่มีพลังงานไฟฟ้าจำกัด (Fixed energy source) ได้แก่ แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ (Primary battery หรือ Non-rechargeable battery) และแบบทุติยภูมิ (Secondary battery หรือ Rechargeable battery) นอกจากนี้ยังรวมถึงอัลตราคาปาซิเตอร์ (Ultra-capacitor) เซลล์เชื้อเพลิงขนาดเล็ก (Micro fuel cell) เครื่องยนต์ความร้อนขนาดเล็ก (Micro heat engine) เป็นต้น แหล่งจ่ายพลังงานเหล่านี้สะสมพลังงานไฟฟ้าอยู่ในตัวในรูปแบบต่าง ๆ แต่ความจุของการสะสมพลังงานมีจำกัด ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจึงมีปริมาณจำกัด ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่มีพลังงานไฟฟ้าสะสมอยู่ในรูปปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของสารเคมีที่

ใช้เก็บสะสมพลังงาน อัลตราคาปาซิเตอร์เก็บสะสมพลังงานอยู่ในรูปสนามไฟฟ้าในสารไดอิเล็กทริกส์ เซลล์เชื้อเพลิงเปลี่ยนรูปพลังงานที่สะสมในสารเชื้อเพลิง เป็นต้น เมื่อปัจจัยตั้งต้นของการสะสมพลังงานถูกใช้จนหมดไป แหล่งจ่ายพลังงานชนิดนี้ก็ไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อีก อายุการใช้งานของแหล่งจ่ายพลังงานชนิดนี้จึงแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ต้องจ่ายออกไปให้แก่โหลด หากต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปมากปัจจัยตั้งต้นของการสะสมพลังงานก็จะหมดไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอายุการทำงานของเซนเซอร์โหนดไร้สายจึงถูกกำหนดโดยอายุการใช้งานของแหล่งจ่ายพลังงานดังกล่าว แต่ถึงแม้จะมีข้อจำกัดในเรื่องอายุการใช้งาน แหล่งจ่ายพลังงานประเภทนี้ก็มีข้อดีในเรื่องของความสะดวกในการใช้งาน แหล่งจ่ายพลังงานชนิดนี้สามารถจ่ายพลังงานได้ตลอดเวลาตราบเท่าที่ปัจจัยตั้งต้นของการสะสมพลังงานยังมีอยู่ ส่วนแหล่งจ่ายพลังงานของเซนเซอร์โหนดไร้สายประเภทที่สองได้จากระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานที่อยู่ในรูปแบบอื่น ๆ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แหล่งจ่ายพลังงานประเภทนี้ที่จริงก็คือกระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานในรูปแบบอื่นให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้านั่นเอง จึงไม่มีการสะสมพลังงานในตัว ดังนั้นจึงเป็นแหล่งจ่ายที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ไม่จำกัด ลักษณะการทำงานของแหล่งจ่ายพลังงานประเภทนี้มักจะเรียกว่า การเก็บเกี่ยวพลังงานหรือกำลังไฟฟ้า (Energy harvesting หรือ Power scavenging) รูปแบบพลังงานตั้งต้นของแหล่งจ่ายประเภทนี้ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากการสั่นสะเทือน เป็นต้น ถึงแม้ว่าแหล่งจ่ายพลังงานประเภทนี้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ไม่จำกัด แต่ความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้ามีข้อจำกัดบางประการที่เกี่ยวกับคุณลักษณะของแหล่งพลังงานตั้งต้นในสภาพแวดล้อม แหล่งพลังงานตั้งต้นบางประเภทอาจไม่ปรากฏอยู่ตลอดเวลาเช่น แสงอาทิตย์ซึ่งมีเฉพาะในตอนกลางวัน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอัตราการแปลงพลังงานที่จำกัดทำให้กำลังไฟฟ้าที่ได้ถูกจำกัดด้วยความสามารถของกระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงาน ดังนั้นรูปแบบการทำงานของเซนเซอร์โหนดไร้สายจึงต้องอิงกับกระบวนการแปลงรูปพลังงานเป็นอย่างมาก

ในการประยุกต์ใช้งานกับเซนเซอร์โหนดไร้สาย แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าอาจมีเพียงประเภทใดประเภทหนึ่งเพียงอย่างเดียวหรือใช้ผสมผสานกันทั้งสองประเภทก็ได้ ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งานและลักษณะของงานประยุกต์เป็นสำคัญ ตารางที่ 2-1 และ 2-2 แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งพลังงานรูปแบบต่าง ๆ จากตารางที่ 2-1 ถึงแม้ว่าแหล่งพลังงานประเภทอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แบตเตอรี่มีความจุของพลังงานมากกว่า แต่แบตเตอรี่ทั้งแบบปฐมภูมิและแบบทุติยภูมิก็ยังเป็นแหล่งสะสมพลังงานที่ทำได้ง่ายและต้นทุนต่ำ ในทางปฏิบัติจึงนิยมเลือกใช้งานมากกว่าแหล่งจ่ายพลังงานแบบอื่น ๆ ส่วนแหล่งพลังงานที่ได้จากการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมตามตารางที่ 2-2 นั้น แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ก็นับว่าเป็นแหล่งพลังงานที่ให้พลังงานได้มากด้วยเทคโนโลยีด้านเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับการพัฒนามาอย่างยาวนาน ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะกับงานประยุกต์ที่อยู่

กลางแจ้ง แต่อย่างไรก็ตามในการเลือกใช้เทคนิคการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแหล่งพลังงานในสิ่งแวดล้อมต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ของแหล่งพลังงานนั้น ๆ ดังนั้นแหล่งพลังงานจากสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจึงไม่ได้เหมาะกับงานทุกประเภท

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานแบบต่าง ๆ [2]

		Power Density ($\mu\text{W}/\text{cm}^3$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{cm}^3$)
		1 Year lifetime	10 Year lifetime
Energy reservoirs (fixed energy source)	Battery (non-rechargeable Lithium)	45	3.5 (Include leakage)
	Battery (rechargeable Lithium)	7	0 (Include leakage)
	Hydrocarbon fuel (micro heat engine)	333	33
	Fuel cells (methanol)	280	28
	Nuclear isotope (uranium)	6×10^6	6×10^5

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานประเภทต่าง ๆ [2]

		Power Density ($\mu\text{W}/\text{cm}^3$)	Power Density ($\mu\text{W}/\text{cm}^3$)
		1 Year lifetime	10 Year lifetime
Scavenged power sources (fixed power source)	Solar (Outdoors)	15,000 - direct sun	15,000 - direct sun
		150 - cloudy day	150 - cloudy day
	Solar (Indoors)	6 - office desk	6 - office desk
	Vibration	200	200
	Acoustics noise	0.003 @75dB	0.003 @75dB
		0.96 @ 100 dB	0.96 @ 100 dB
	Daily temp. variation	10	10
Temp. gradient	15 @ 10° gradient	15 @ 10° gradient	
Shoe inserts	330	330	

แหล่งจ่ายพลังงานทั้งสองประเภทที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน แหล่งจ่ายพลังงานประเภทแรกมีข้อดีเรื่องอายุการใช้งาน แต่มีข้อดีเรื่องความสามารถในการจ่ายพลังงานไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและเวลา ส่วนแหล่งจ่ายพลังงานประเภทที่สองมีข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมและเวลา รวมทั้งอัตราการแปลงรูปพลังงาน แต่มีข้อดีด้านความสามารถในการจ่ายพลังงานได้ยาวนานกว่า ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานหากต้องการให้เซนเซอร์โหนดไร้สายมีอายุการใช้งานได้นาน จึงจำเป็นต้องผสมผสานเทคนิคของการเก็บเกี่ยวพลังงานและการสำรองพลังงานเข้าด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการแปลงพลังงานที่ส่งผ่านมาในแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าและเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ โดยที่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของ

เซนเซอร์โหนดไร้สายอาจดึงพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้โดยตรงในช่วงเวลาที่ยังมีแสงอาทิตย์ ส่วนช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์จะหยุดทำงาน แบตเตอรี่ก็จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเซนเซอร์โหนดไร้สายแทน ดังนั้นเซนเซอร์โหนดไร้สายก็สามารถทำงานได้ยาวนานกว่าการใช้แบตเตอรี่แบบปรุภูมิเพียงอย่างเดียว

2.3 การใช้กำลังไฟฟ้าในเซนเซอร์โหนดไร้สาย

โดยทั่วไปเซนเซอร์โหนดไร้สายมีช่วงเวลางานแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ (1) ช่วง Sleep ซึ่งเป็นช่วงเวลาส่วนใหญ่ในการทำงานของเซนเซอร์โหนดไร้สาย เป็นช่วงที่เซนเซอร์โหนดไร้สายรอทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งที่จะเกิดขึ้นตามเทคนิคของผู้ออกแบบระบบปฏิบัติการและงานประยุกต์ การเข้าสู่ช่วง Sleep เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งที่ช่วยให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเซนเซอร์โหนดไร้สายประหยัดพลังงานไฟฟ้า (2) ช่วง Wake-up คือ ช่วงที่เซนเซอร์โหนดไร้สายเปลี่ยนสภาวะจาก Sleep เป็น Active ซึ่งต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด และ (3) ช่วง Active คือ ช่วงเวลาที่เซนเซอร์โหนดไร้สายทำงาน และหลังจากนั้นเซนเซอร์โหนดไร้สายก็จะกลับเข้าสู่สภาวะ Sleep อีก การทำงานจะสลับสับเปลี่ยนวนเวียนเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ โดยเซนเซอร์โหนดไร้สายแต่ละชนิดจะใช้เวลาและพลังงานในแต่ละช่วงไม่เท่ากัน ตารางที่ 2-3 แสดงการใช้พลังงานของเซนเซอร์โหนดไร้สายชนิดต่าง ๆ ที่มีขายตามท้องตลาด และเวลาในการใช้งานของเซนเซอร์โหนดไร้สายเมื่อแหล่งพลังงานเป็นแบตเตอรี่ขนาด AA

ตารางที่ 2-3 การใช้พลังงานของเซนเซอร์โหนดในช่วงการทำงานต่าง ๆ [1]

Node	Mica2 (AVR)	MicaZ (AVR)	Telos (TI MSP)
Wake up time	0.2 ms	0.2 ms	0.006 ms
Power used in sleep mode	30 μ W	30 μ W	2 μ W
Power used in active mode	30 mW	33 mW	3 mW
Power used for radio	21 mW	45 mW	45 mW
Data rate	19 kbps	250 kbps	250 kbps
Minimum voltage	2.5 V	2.5 V	1.8 V
Life time of sensor node supplied by AA battery for reporting data every 3 minutes using synchronization (<1% duty cycle)	453 days	328 days	945 days

2.4 แนวคิดการออกแบบแหล่งจ่ายไฟสำหรับเซนเซอร์โหนดไร้สาย

ส่วนประกอบที่สำคัญของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่เซนเซอร์โหนดไร้สายที่พัฒนาขึ้นมาสามารถแบ่งส่วนประกอบหลักออกได้เป็น 3 ส่วน คือ (1) ส่วนที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติเป็นพลังงานไฟฟ้า (2) ส่วนเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการแปลงพลังงานและเหลือใช้จากส่วนประกอบอื่น ๆ ในเซนเซอร์โหนดไร้สาย และ (3) ส่วนจ่ายพลังงานไฟฟ้า

ให้แก่องค์กรประกอบอื่น ๆ ในเซนเซอร์โหนดไร้สาย ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมและจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า ในเซนเซอร์โหนด ในโครงการวิจัยนี้จะพิจารณาและจำแนกความเหมาะสมของแหล่งพลังงานจากสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติที่มีอยู่ในสภาพการใช้งานจริง ตลอดจนระยะเวลาของการปรากฏขึ้นของแหล่งพลังงานนั้นในแต่ละวันเพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกและออกแบบส่วนการแปลงพลังงาน การออกแบบวงจรแปลงผันพลังงานในส่วนนี้จะเน้นที่วงจรแบบสวิตชิ่งซึ่งสำคัญเพราะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวงจรแบบเชิงเส้น การศึกษาเบื้องต้นพบความเป็นไปได้ในการพัฒนาแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ จุดสำคัญอยู่ที่การยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในเซนเซอร์โหนดไร้สายจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการแปลงพลังงานในสิ่งแวดล้อมก่อนเป็นลำดับแรก หากกระบวนการแปลงพลังงานไม่สามารถดำเนินไปได้ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในเซนเซอร์โหนดจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมในแบตเตอรี่เป็นลำดับถัดมา

การพัฒนาแหล่งจ่ายไฟในปัจจุบันจะใช้แบตเตอรี่เป็นหลัก แต่เนื่องจากความจุของแบตเตอรี่เป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของเซนเซอร์โหนด ดังนั้นหากนำเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องติดตั้งเซนเซอร์โหนดไม่มากและผู้ใช้สามารถเข้าถึงตัวเซนเซอร์โหนดได้สะดวก การเปลี่ยนแบตเตอรี่ก็ไม่ใช่อุปสรรค นอกจากนี้ในงานที่ไม่จำเป็นต้องทำงานเป็นเวลานานและ/หรือสามารถทิ้งเซนเซอร์โหนดเหล่านั้นได้ก็เหมาะกับการใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า แต่ในทางตรงกันข้ามหากมีการใช้เซนเซอร์โหนดเป็นจำนวนมากและ/หรือติดตั้งอยู่ในสถานที่ที่ยากแก่การเข้าถึงตัวเซนเซอร์โหนด การเปลี่ยนแบตเตอรี่ก็จะกลายเป็นปัญหาสำคัญ แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการแก้ปัญหาเหล่านี้ก็คือ การแปลงพลังงานรูปแบบอื่นที่แฝงตัวอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น มาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้แก่เซนเซอร์โหนด แต่แหล่งพลังงานเหล่านี้ขึ้นกับ สภาพอากาศ ฤดูกาล เวลาและอุณหภูมิ จึงทำให้ขาดเสถียรภาพ รวมทั้งยังไม่สามารถนำแหล่งพลังงานเหล่านี้ไปใช้ได้โดยตรง นอกจากนี้ระดับและรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากกระบวนการแปลงอาจไม่ตรงตามที่เซนเซอร์โหนดต้องการ จึงต้องใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์เพื่อปรับเปลี่ยนระดับและรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม แต่เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายพลังงานเหล่านี้ไม่มีความแน่นอนเพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเดียวจึงอาจขาดเสถียรภาพ และอาจมีกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอในช่วงเวลาที่เซนเซอร์โหนดต้องการ แนวคิดในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าจึงควรรวมแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลายชนิดเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น โดยที่ผ่านในการสร้างวงจรที่มีหลาย ๆ แหล่งจ่ายเป็นอินพุตจะใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์หนึ่งวงจรต่อหนึ่งแหล่งจ่าย แล้วนำกำลังไฟฟ้าที่ได้มาจ่ายให้แก่โหลด [1]-[3] ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ขึ้นตามจำนวนแหล่งจ่ายไฟฟ้า และนอกจากนี้ยังทำให้วงจรมีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มขึ้น ต่อมาได้มีการรวมวงจรคอนเวอร์เตอร์ของแต่ละแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลาย ๆ แหล่งเข้าด้วยกันโดยใช้เพียงวงจรเดียวซึ่ง

ทำให้วงจรคอนเวอร์เตอร์ให้มีขนาดเล็กลง [4] และนอกจากนี้การนำเซนเซอร์โหนดไปประยุกต์ใช้งานในบริเวณเดียวกันอาจต้องติดตั้งตัวเซนเซอร์หลายชนิดก็ได้หรืออาจมีองค์ประกอบอื่น ๆ ร่วมทำงานอยู่ด้วย จึงทำให้มีต้องการระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่แตกต่างกันออกไป

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่มีหลายอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเซนเซอร์โหนดไร้สาย โดยอินพุตของวงจรสามารถรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มาจากแหล่งพลังงานหลาย ๆ รูปแบบ และเพิ่มส่วนประกอบในการจัดการของแบตเตอรี่เพื่อให้วงจรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้านเอาต์พุตสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ที่แรงดันหลายระดับ โดยในการออกแบบวงจรจะคำนึงถึงอายุการใช้งานและเสถียรภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นหลัก นอกจากนี้ยังต้องสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีโครงสร้างของวงจรที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไป เพื่อให้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้งานจริงได้ ในโครงการวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ ออกแบบ กำหนดโหมดการทำงาน สร้างและทดสอบวงจรเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตต่อไป

บทที่ 3

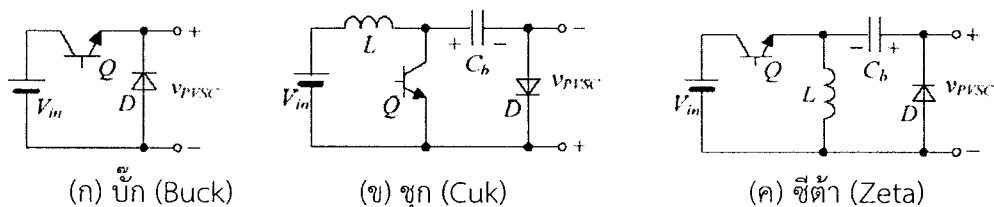
การรวมวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต

บทนี้จะนำเสนอการศึกษาการทำงานของวงจรดับเบิลอินพุตและโหมดการทำงานของสวิตช์หลักการทำงานของวงจรมัลติเพิลเอาต์พุต ลักษณะการรวมวงจรเข้าด้วยกัน และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวงจรแต่ละแบบเพื่อเลือกวงจรที่เหมาะสมกับการพัฒนาเป็นวงจรต้นแบบต่อไป

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

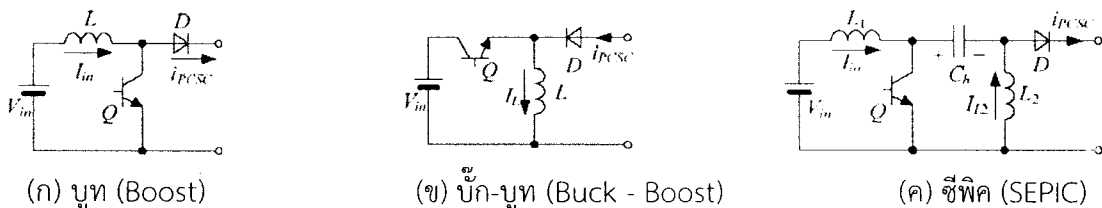
โครงสร้างพื้นฐานของวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ (1) เซลล์แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เรียกว่า เซลล์แหล่งจ่ายพัลเซตตึง(Pulsating source cell: PSC) และ (2) เซลล์ของฟิลเตอร์ทางด้านเอาต์พุต (Output filter cell: OFC) โดยเซลล์แหล่งจ่ายพัลเซตตึงยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตตึง (Pulsating voltage-source cell: PVSC) และเซลล์แหล่งจ่ายกระแสพัลเซตตึง (Pulsating current-source cell: PCSC)

เซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตตึง (Pulsating voltage-source cell: PVSC) เซลล์แหล่งจ่ายประเภทนี้สามารถนำมาต่อขนานหรือต่ออนุกรมกันก็ได้ แต่ในการต่อกับเซลล์ของฟิลเตอร์ทางด้านเอาต์พุตนั้น ต้องต่อกับเซลล์ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำชนิดแรงดัน (Voltage-type low-pass filter) โดยต่อเข้ากับตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุดังแสดงในรูปที่ 3-1



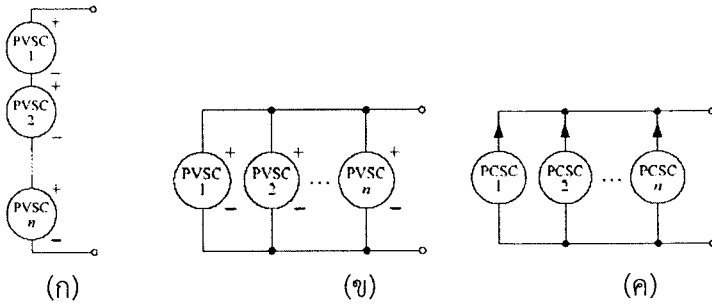
รูปที่ 3-1 เซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตตึงประเภทต่าง ๆ [7]

เซลล์แหล่งจ่ายกระแสพัลเซตตึง (Pulsating current-source cell: PCSC) เซลล์แหล่งจ่ายประเภทนี้สามารถต่อได้เพียงแบบขนานเท่านั้น แต่ในการต่อกับเซลล์ของฟิลเตอร์ทางด้านเอาต์พุตนั้น ต้องต่อกับเซลล์ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำชนิดกระแส (Current-type low-pass filter) โดยการต่อเข้ากับตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 3-2



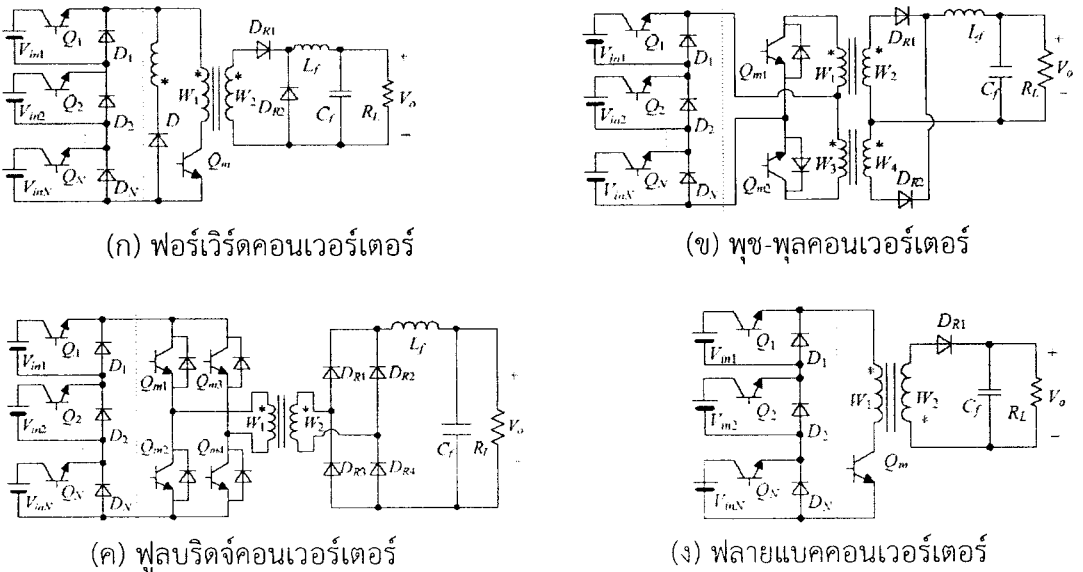
รูปที่ 3-2 เซลล์แหล่งจ่ายกระแสพัลเซตตึงประเภทต่าง ๆ [7]

รูปที่ 3-3 แสดงการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายชนิดแรงดันและชนิดกระแสหลายตัวเข้าด้วยกันโดยแหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตตั้งสามารถต่อเชื่อมกันได้ทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน ในขณะที่แหล่งจ่ายกระแสพัลเซตตั้งสามารถเชื่อมต่อกันแบบขนานเท่านั้น

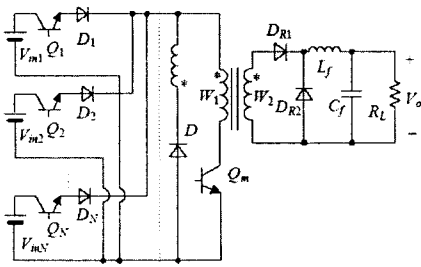


รูปที่ 3-3 การต่อเซลล์แหล่งจ่ายพัลเซตตั้งประเภทต่าง ๆ (ก) เซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตตั้งต่อแบบอนุกรม (ข) เซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตตั้งต่อแบบขนาน (ค) เซลล์แหล่งจ่ายกระแสพัลเซตตั้งต่อแบบขนาน [7]

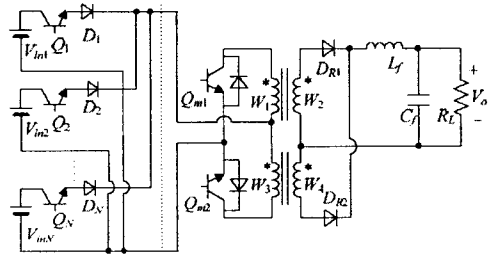
การต่อวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต เป็นการนำเซลล์แหล่งจ่ายพัลเซตตั้งทั้งสองชนิดมาต่อกับขดลวดปฐมภูมิของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบแยกโดดพื้นฐานชนิดที่มีหม้อแปลงได้แก่ วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ และวงจรพุกพุกคอนเวอร์เตอร์ ดังในรูปที่ 3-4 ถึง รูปที่ 3-6



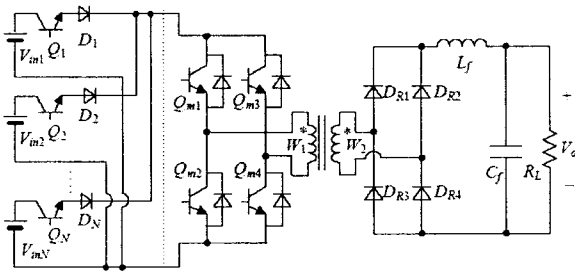
รูปที่ 3-4 เซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตตั้งต่อแบบอนุกรม [7]



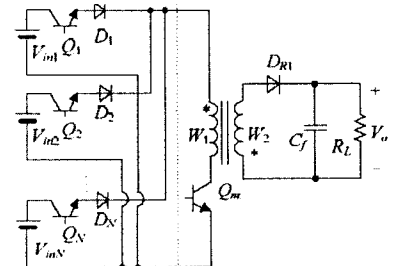
(ก) ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์



(ข) พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์

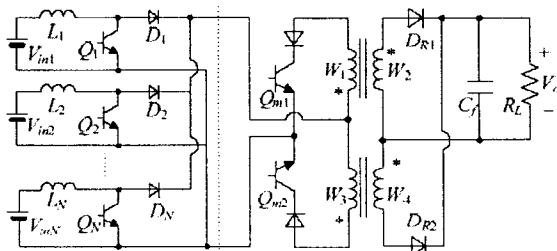


(ค) ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

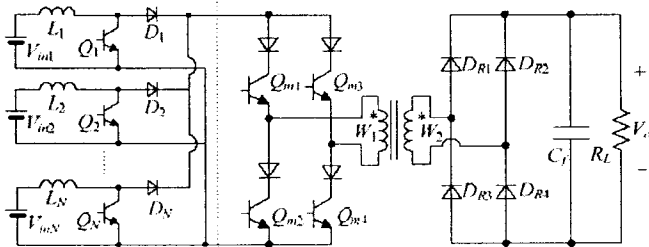


(ง) ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 3-5 เซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลเซตดิ่งต่อแบบขนาน [7]



(ก) พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์



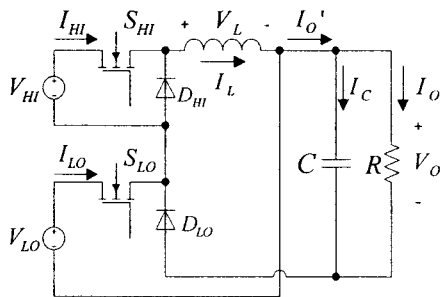
(ข) ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 3-6 เซลล์แหล่งจ่ายกระแสพัลเซตดิ่งต่อแบบขนาน [7]

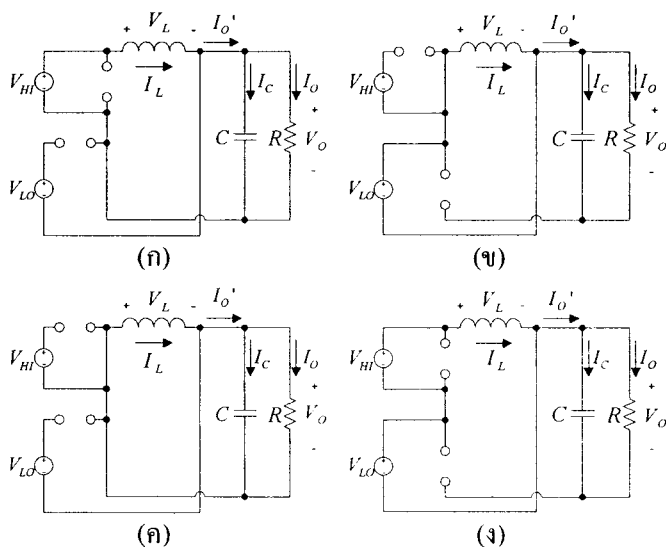
3.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต

3.2.1 วงจรดับเบิลอินพุตแบบบิก บิ๊ก-บูสคอนเวอร์เตอร์

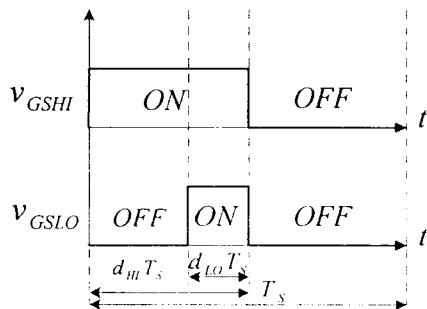
วงจรในรูปที่ 3-7 เป็นการรวมวงจรบักคอนเวอร์เตอร์และบัก-บูสคอนเวอร์เตอร์เข้าด้วยกัน โดยแหล่งจ่าย V_{HI} ในขณะที่จ่ายพลังงานให้กับโหลดจะเป็นวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ และแหล่งจ่าย V_{LO} ในขณะที่จ่ายพลังงานให้กับโหลดจะเป็นวงจรบัก-บูสคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3-7 วงจรบัก บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์ [8]



รูปที่ 3-8 สถานะการทำงานของวงจรบัก บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์ [8]



รูปที่ 3-9 ช่วงคาบเวลาการทำงานของสวิตช์ [8]

ช่วงคาบเวลาการทำงานของสวิตช์ จากรูปที่ 3-9 เทียบกับรูปที่ 3-8 มีสภาวะการทำงาน 3 สภาวะ คือ (1) สภาวะแหล่งจ่าย V_{HI} ทำงานอย่างเดียว (2) สภาวะทั้งแหล่งจ่าย V_{HI} และ V_{LO} ทำงานพร้อมกัน และ (3) สภาวะหยุดทำงานทั้งคู่ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

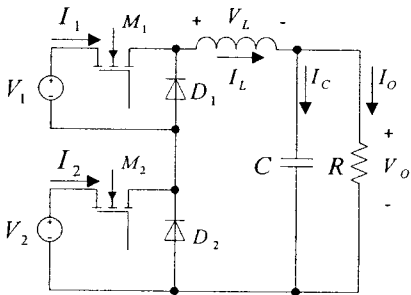
$$V_O = \frac{d_{HI}}{1-d_{LO}} V_{HI} + \frac{d_{LO}}{1-d_{LO}} V_{LO} \quad (3-1)$$

และมีความสัมพันธ์ของกระแสอินพุตและเอาต์พุตเป็นดังนี้

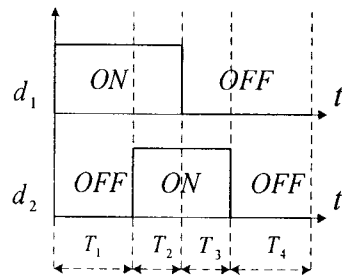
$$I_{HI} = \frac{d_{HI}}{1-d_{LO}} I_O \quad (3-2)$$

$$I_{LO} = \frac{d_{LO}}{1-d_{LO}} I_O \quad (3-3)$$

3.2.2 วงจรดับเบิลอินพุตแบบบิก บิ๊กคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3-10 วงจรบิก บิ๊กคอนเวอร์เตอร์ [9]

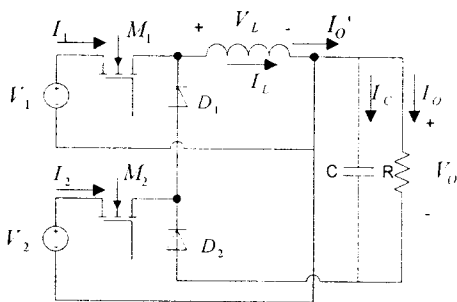


รูปที่ 3-11 ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์

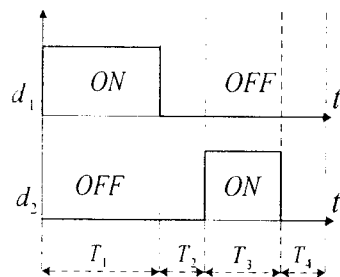
วงจรในรูปที่ 3-10 มีสภาวะการทำงาน 4 ช่วง คือ (1) ช่วงแหล่งจ่าย V_1 ทำงานอย่างเดียว (2) ช่วงทั้งแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน (3) ช่วงแหล่งจ่าย V_2 ทำงานอย่างเดียว และ (4) ช่วงหยุดทำงานทั้งคู่ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V_O = V_1 d_1 + V_2 d_2 \quad (3-4)$$

3.2.3 วงจรดับเบิลอินพุตแบบบิก-บูส บิ๊ก-บูสคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3-12 วงจรบิก-บูส บิ๊ก-บูสคอนเวอร์เตอร์ [9]



รูปที่ 3-13 ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์ [9]

วงจรในรูปที่ 3-12 มีช่วงการทำงานมี 4 ช่วงคือ (1) ช่วงแหล่งจ่าย V_1 ทำงานอย่างเดียว (2) ช่วงหยุดทำงานทั้งคู่ (3) ช่วงแหล่งจ่าย V_2 ทำงานอย่างเดียว และ (4) ช่วงหยุดทำงานทั้งคู่ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตจะได้ดังสมการนี้

$$V_o = \frac{d_1}{1-d_1-d_2} V_1 + \frac{d_2}{1-d_1-d_2} V_2 \quad (3-5)$$

จากการทำงานและหาความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ภายในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตทั้งสามชนิดที่ได้เลือกมา จะนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบจุดทำงานของทั้งสามวงจรในกรณีที่ป้อนค่าแรงดันอินพุตและเอาต์พุตเท่ากัน เพื่อหาต้นแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตที่เหมาะสมสำหรับการนำมาเป็นต้นแบบในการสร้างแหล่งจ่ายให้กับเซนเซอร์ไหนต่อไป

ตารางที่ 3-1 แสดงการเปรียบเทียบค่าดิวตี้ไซเคิลของวงจรดับเบิลอินพุตคอนเวอร์เตอร์ทั้งสามวงจรทำการคำนวณโดยป้อนค่าแรงดันอินพุตและเอาต์พุตเท่ากันทั้งสามวงจรลงใน (2) (13) และ (20)

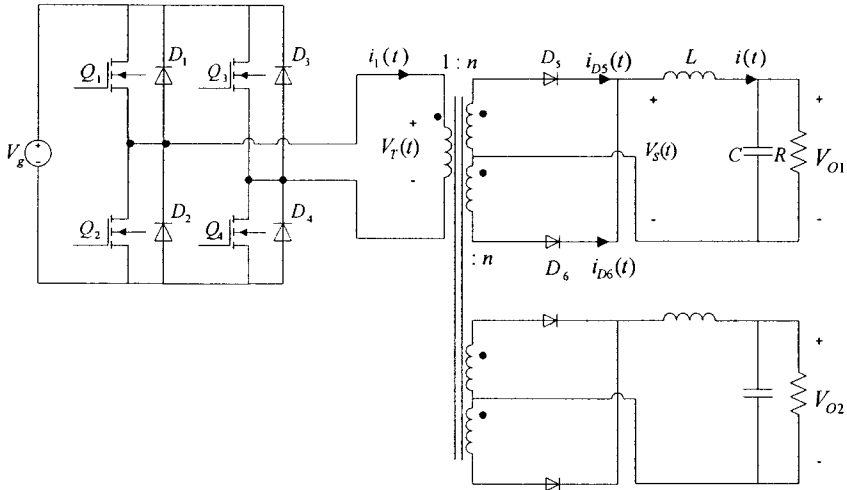
ชนิดวงจรคอนเวอร์เตอร์	แรงดัน (โวลต์)			ดิวตี้ไซเคิล	
	อินพุต 1	อินพุต 2	เอาต์พุต	อินพุต 1	อินพุต 2
บัก บัก	60	60	60	50%	50%
	60	30	30	35%	30%
	30	30	30	50%	50%
บัก บัก-บูส	60	60	60	50%	25%
	60	30	30	25%	25%
	30	30	30	50%	25%
บัก-บูส บัก-บูส	60	60	60	25%	25%
	60	30	30	20%	20%
	30	30	30	25%	25%

จากตารางที่ 3-1 เห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบกันวงจรบัก-บูส บัก-บูสคอนเวอร์เตอร์ มีอัตรานำกระแสต่ำกว่าวงจรอื่น ทำให้พลังงานสูญเสียจากการสวิตช์น้อยกว่าวงจรอื่น

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

ในการนำวงจรคอนเวอร์เตอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการแรงดันเอาต์พุตหลายระดับ วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้ชนิดที่มีหม้อแปลงเพื่อใช้เป็นส่วนแยกกราวด์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตและสามารถขยายจำนวนเอาต์พุตได้มากกว่า 1 เอาต์พุต ซึ่งวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ต่าง ๆ มีดังนี้

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



รูปที่ 3-14 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ [10]

จากรูปที่ 3-14 ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงจะต่อแบบเซนเตอร์แทป (Center-tapped) และมีอัตราส่วนจำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิต่อด้านทุติยภูมิทั้งสองเท่ากับ $1 : n : n$ โดยการทำงานของวงจรในช่วงแรก ($0 < t < DT_s$) สวิตช์ Q_1 และ Q_4 นำกระแส แรงดันตกคร่อมหม้อแปลงด้านปฐมภูมิเท่ากับ V_g เป็นผลให้ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ nV_g ดังนั้นไดโอด D_5 นำกระแสและ D_6 หยุดนำกระแส ต่อมาในช่วงเวลา $DT_s < t < T_s$ สวิตช์ทุกตัวหยุดนำกระแส ทำให้แรงดันตกคร่อมหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิเท่ากับศูนย์ ในช่วงนี้ไดโอด D_5 และ D_6 แต่ละตัวนำกระแสเพียงครั้งเดียวของกระแสเอาต์พุต ต่อมาในคาบที่ 2 ($DT_s < t < T_s$) การทำงานจะเหมือนกับในคาบแรก แต่แรงดันตกคร่อมหม้อแปลงมีทิศตรงกันข้าม โดยในช่วง $T_s < t < T_s + DT_s$ สวิตช์ Q_2 และ Q_3 นำกระแส แรงดันตกคร่อมหม้อแปลงด้านปฐมภูมิเท่ากับ $-V_g$ ทำให้แรงดันตกคร่อมด้านทุติยภูมิเท่ากับ nV_g ไดโอด D_6 นำกระแส ต่อมาในช่วง $(T_s + DT_s) < t < 2T_s$ ไดโอด D_5 และ D_6 นำกระแสอีกครั้งเช่นเดียวกับช่วง $DT_s < t < T_s$

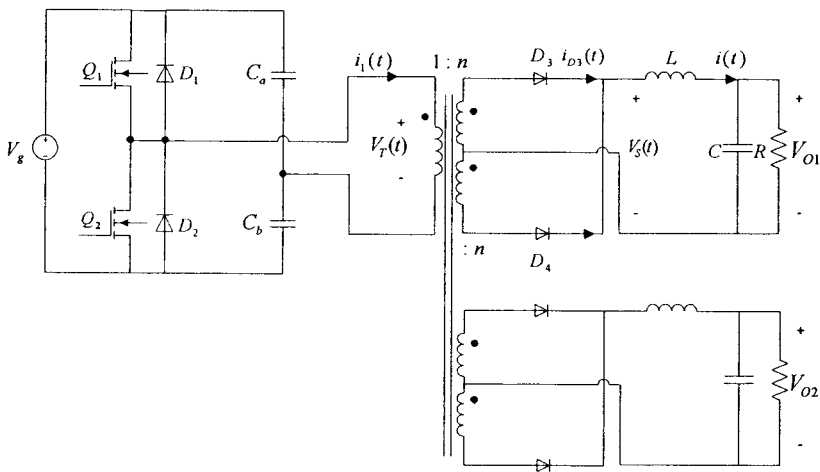
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V = nDV_g \tag{3-6}$$

จากรูปที่ 3-15 วงจรนี้มีลักษณะการทำงานที่ใกล้เคียงกับวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ใช้สวิตช์ในการทำงานเพียงครั้งเดียว โดยมีตัวเก็บประจุ C_a กับ C_b มาต่อแทนที่สวิตช์อีกสองตัว ทำให้วงจรนี้มีแรงดันเอาต์พุตเพียงครั้งเดียวของวงจร ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

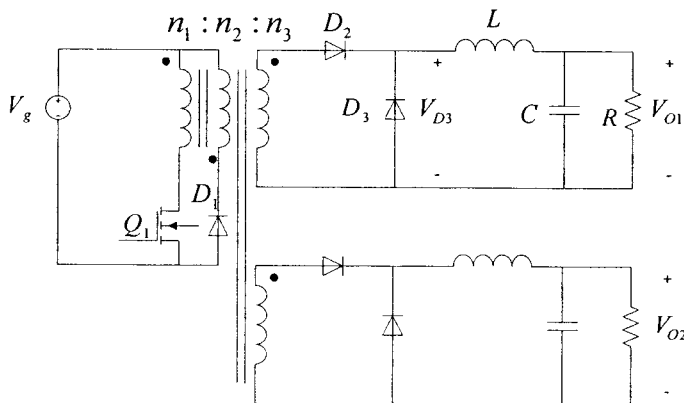
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V = 0.5nDV_g \tag{3-7}$$



รูปที่ 3-15 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ [10]

3.3.2 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)



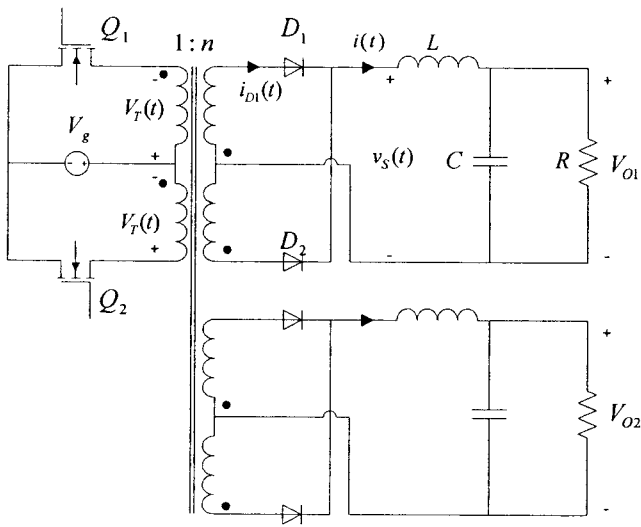
รูปที่ 3-16 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ [10]

วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีพื้นฐานมาจากวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) โดยประกอบด้วยขดลวดของหม้อแปลง 3 ขด ดังแสดงในรูปที่ 3-16 ซึ่งการต่อในลักษณะนี้จะทำให้กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลง (Magnetizing current: i_M) มีค่าเป็นศูนย์เมื่อสวิตช์หยุดนำกระแส การทำงานของวงจรในช่วงแรกที่เวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 และไดโอด D_2 นำกระแส กระแสทำแม่เหล็ก $i_M(t)$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยความชันเท่ากับ V_s/L_M ต่อมาในช่วงเวลา $DT_s < t < D_2T_s$ สวิตช์ Q_1 จะหยุดนำกระแส กระแสทำแม่เหล็กจะไหลอยู่ในด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงส่งผลให้ไดโอด D_1 นำกระแสและทำให้ไดโอด D_3 นำกระแสด้วย เมื่อกระแสทำแม่เหล็กลดลงจนเป็นศูนย์ไดโอด D_1 จึงหยุดนำกระแส และช่วงเวลา $D_2T_s < t < D_3T_s$ จึงเริ่มขึ้น โดยในช่วงนี้ไดโอด D_3 ยังคงนำกระแส

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V = (n_3 / n) DV_g \quad (3-8)$$

3.3.3 วงจรพุก-พุกคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Isolated Buck Converter)



รูปที่ 3-17 วงจรพุก-พุกคอนเวอร์เตอร์ [10]

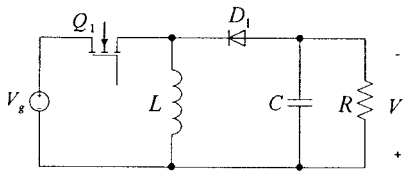
จากรูปที่ 3-17 ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงของวงจรพุก-พุกคอนเวอร์เตอร์ จะมีลักษณะเหมือนวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์และฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ส่วนทางด้านปฐมภูมิก็มีการต่อของหม้อแปลงในลักษณะเซนเตอร์แทปเช่นเดียวกัน การทำงานของวงจรในช่วงเวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 และไดโอด D_1 นำกระแส แรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิด้านบน $V_T = V_g$ และ $v_s(t) = nV_g$ ต่อมาในช่วงเวลา $DT_s < t < T_s$ สวิตช์ Q_1 หยุดนำกระแส ไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแส ในช่วงคาบต่อมาก็มีหลักการทำงานเช่นเดียวกัน แต่ในช่วงเวลา DT_s ของคาบถัดมาสวิตช์ Q_2 และไดโอด D_2 จะนำกระแสแทน วงจรนี้สามารถทำงานได้ในช่วงค่ารอบการทำงาน (D) ตั้งแต่ $0 \leq D \leq 1$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุต คือ

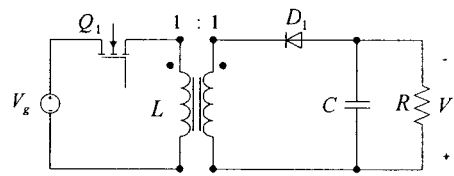
$$V = nDV_g \tag{3-9}$$

3.3.4 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)

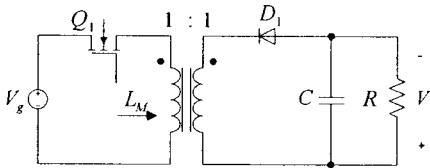
วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์มีพื้นฐานมาจากวงจรบัก-บูท คอนเวอร์เตอร์ที่มีการแยกขดลวดตัวเหนี่ยวนำออกเป็น 2 ขด ซึ่งเรียกว่าหม้อแปลงฟลายแบค ดังรูปที่ 3-18 แม้รูปแบบการเขียนสัญลักษณ์เหมือนกับหม้อแปลงทั่วไป แต่หลักการทำงานไม่เหมือนกับหม้อแปลง เนื่องจากกระแสจะไม่ไหลในทั้งสองขดลวดพร้อมกัน การทำงานของวงจรในช่วงเวลา $0 < t < DT_s$ สวิตช์ Q_1 นำกระแสเพื่อนำไปชาร์จตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (Magnetizing inductance: L_M) ในช่วงเวลานี้ ไดโอด D_1 หยุดนำกระแส ต่อมาในช่วงเวลา $DT_s < t < T_s$ สวิตช์ Q_1 หยุดนำกระแส ไดโอด D_1 นำกระแส พลังงานที่ถูกชาร์จไว้ในตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กจะถูกปล่อยออกมาผ่านทางไดโอด D_1



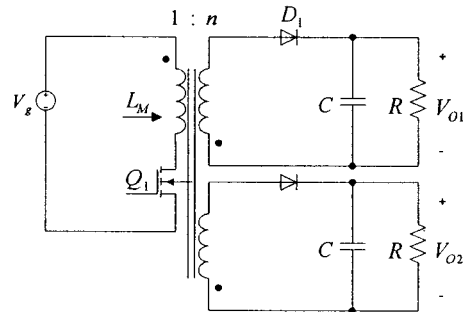
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3-18 การสร้างวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์จากวงจรบัค-บูสคอนเวอร์เตอร์ [10]

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$V = n \frac{D}{1-D} V_g \quad (3-10)$$

เพื่อเลือกโครงสร้างของวงจรต้นแบบที่เหมาะสม ตารางที่ 3-2 จะแสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนจำนวนรอบ (n) ของวงจรมัลติเพิลเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์ทั้งหมดที่กล่าวมา โดยกำหนดค่าแรงดัน $V/V_g = 1$ และดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.5 0.25 และ 0.1 ตามลำดับ

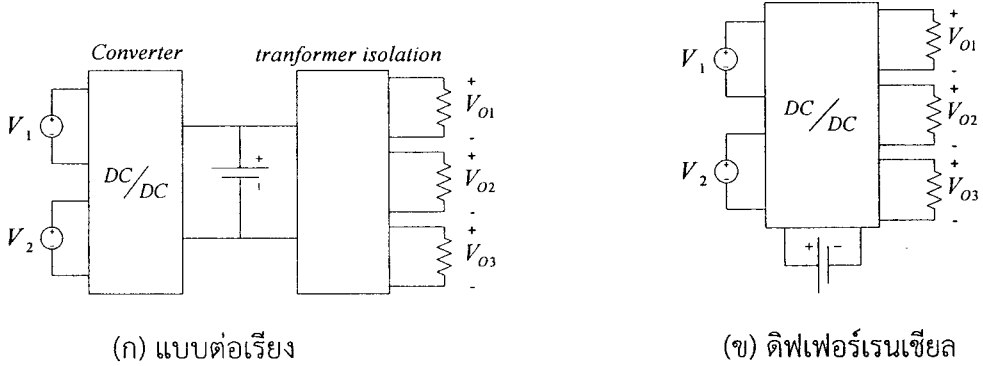
ตารางที่ 3-2 การเปรียบเทียบอัตราส่วนจำนวนรอบ (n) ของวงจรมัลติเพิลเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์

ชนิดวงจรคอนเวอร์เตอร์	ดิวตี้ไซเคิล = 0.5	ดิวตี้ไซเคิล = 0.25	ดิวตี้ไซเคิล = 0.1
	อัตราส่วนจำนวนรอบ (n)		
ฟลูบริดจ์ไอโซเลทบัค	2	4	10
ฮาล์ฟบริดจ์ไอโซเลทบัค	4	8	20
ฟอร์เวิร์ด	2	4	10
พูช-พูลไอโซเลทบัค	2	4	10
ฟลายแบ็ค	1	3	9

จากตารางที่ 3-2 พบว่า วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์มีอัตราส่วนจำนวนรอบ (n) น้อยกว่าวงจรอื่นทำให้วงจรมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพเท่า ๆ กัน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้น้อยกว่าวงจรอื่น การเกิดพลังงานสูญเสียในตัวอุปกรณ์ย่อมน้อยกว่าวงจรอื่น และยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสร้างวงจรอีกด้วย

3.4 โครงสร้างของวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเปิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

วงจรคอนเวอร์เตอร์ดับเบิลอินพุต-มัลติเปิลเอาต์พุต แบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ สามารถ ออกแบบได้ 2 ลักษณะ คือ แบบต่อเรียง (Cascade construction) และแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential construction) แสดงดังรูปที่ 3-19



(ก) แบบต่อเรียง

(ข) ดิฟเฟอเรนเชียล

รูปที่ 3-19 รูปแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ดับเบิลอินพุต-มัลติเปิลเอาต์พุตรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

ซึ่งการต่อแบตเตอรี่ในทั้งสองรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน โดยการต่อแบตเตอรี่แบบ ต่อเรียงนั้น ทำให้วงจรมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน เพราะเป็นการนำแบตเตอรี่ต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์โดยตรงแล้วใช้หม้อแปลงความถี่สูงทำหน้าที่เป็นตัวแยกโดดและขยายจำนวนเอาต์พุต แต่อย่างไรก็ตามการต่อแบบนี้หากวงจรแบตเตอรี่เกิดความเสียหาย ทำให้แหล่งจ่ายที่เหลือคือ V_1 และ V_2 จะไม่สามารถส่งพลังงานไปยังโหลดได้ ส่วนการต่อแบบดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งส่วนของวงจรชาร์จ แบตเตอรี่จะแยกออกมาจากวงจรคอนเวอร์เตอร์ โดยการทำงานที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นหากมีความ ผิดปกติเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่วงจรก็ยังคงทำงานได้ จึงทำให้วงจรมีเสถียรภาพมากกว่า อย่างไรก็ตาม การต่อในลักษณะนี้จะมีความซับซ้อนกว่า

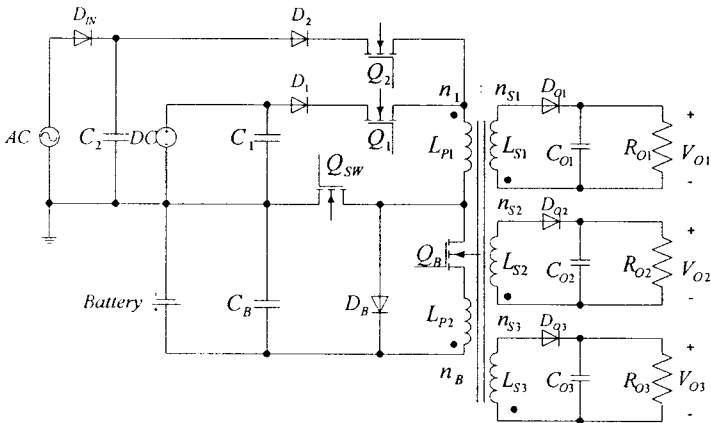
สำหรับในงานวิจัยนี้ได้เลือกรูปแบบการรวมวงจรแบตเตอรี่โดยการต่อแบบดิฟเฟอเรนเชียล เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบ

บทที่ 4

การออกแบบต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

4.1 โครงสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ

โครงสร้างของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตในแบบที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ออกแบบไว้แสดงดังรูปที่ 4-1 วงจรนี้สามารถรับแหล่งจ่ายที่แตกต่างกันได้ เช่น แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยแหล่งจ่ายทั้งสองสามารถจ่ายกำลังได้อย่างอิสระต่อกันโดยการควบคุมผ่านทางสวิตช์ Q_1 และ Q_2 นอกจากนี้ทางด้านเอาต์พุตยังสามารถจ่ายแรงดันที่มีระดับต่างกันสำหรับโหลดที่หลากหลายโดยอาศัยหม้อแปลงความถี่สูงเพียงตัวเดียว วงจรต้นแบบได้รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ซึ่งควบคุมผ่านทางสวิตช์ Q_{SW} และวงจรดิสชาร์จแบตเตอรี่ในกรณีที่แหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงาน โดยควบคุมผ่านทางสวิตช์ Q_B สวิตช์ทุกตัวควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ 18F458 แบบอัตโนมัติ

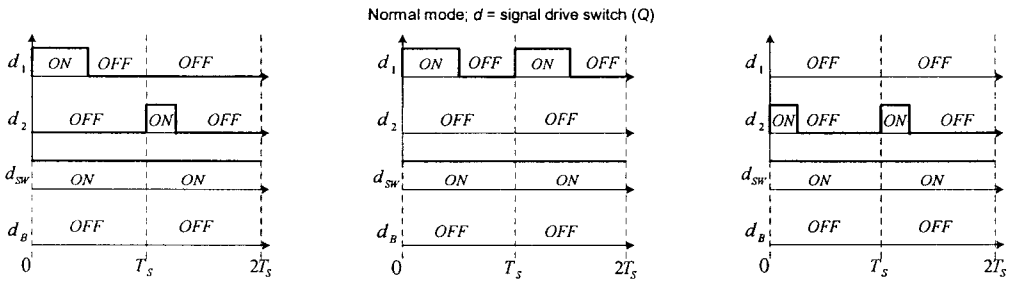


รูปที่ 4-1 โครงสร้างต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุต และรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

การทำงานของวงจรแบ่งเป็น 3 โหมดคือ (1) โหมดปกติ (Normal mode) (2) โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode) และ (3) โหมดแบ็คอัพ (Backup mode)

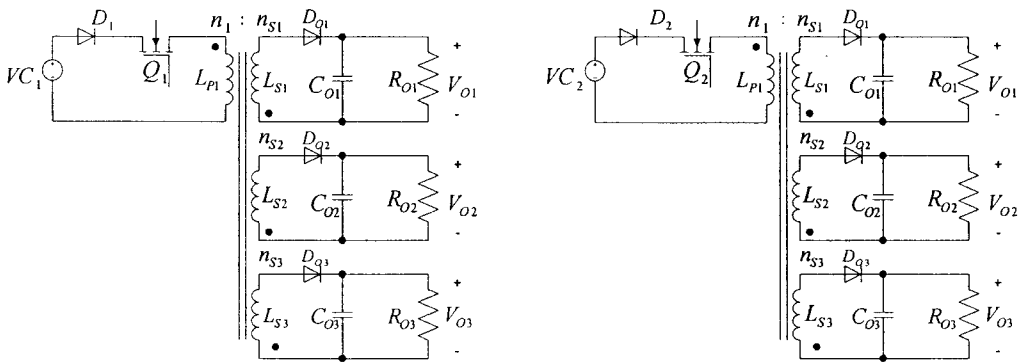
โหมดปกติ (Normal mode)

เงื่อนไขการทำงานในโหมดนี้คือ หากไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจพบระดับแรงดันที่แบตเตอรี่สูงกว่าระดับอ้างอิง นั่นคือ แบตเตอรี่ถูกชาร์จจนเต็มแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งสวิตช์ Q_{SW} “ON” ซึ่งหมายถึง ไม่มีการชาร์จประจุให้แบตเตอรี่ สวิตช์ Q_1 และ Q_2 นำกระแสตามรอบทำงานที่กำหนดไว้ โดยจะสลับกันทำงาน สัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ตัวในโหมดนี้แสดงดังรูปที่ 4-2 และรูปวงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดนี้แสดงดังรูปที่ 4-3



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

รูปที่ 4-2 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติ



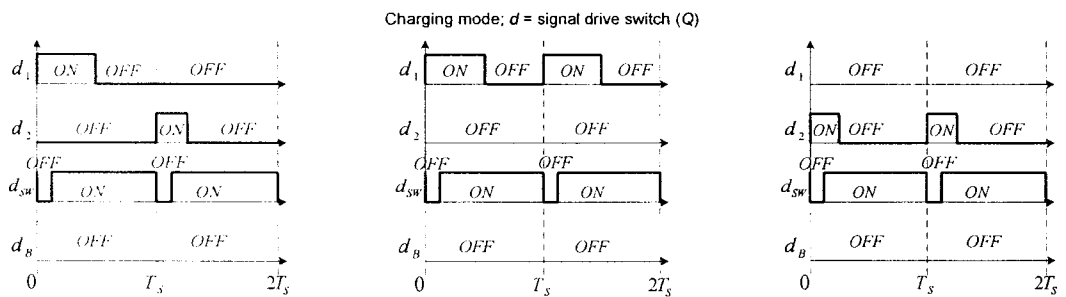
(ก) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทำงาน

(ข) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับทำงาน

รูปที่ 4-3 วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดปกติ

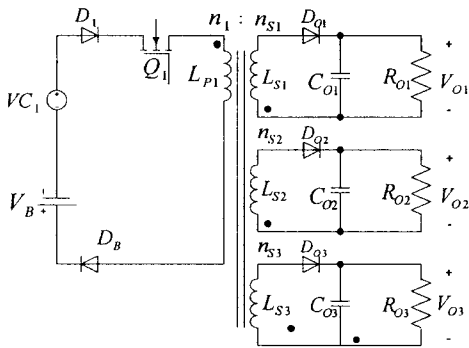
โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode)

หากไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจพบว่า ระดับแรงดันที่แบตเตอรี่ต่ำกว่าค่าแรงดันอ้างอิง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้สวิตช์ Q_{SW} มีการ “ON” และ “OFF” เป็นรอบโดยช่วงที่สวิตช์ Q_{SW} “OFF” จะต้องเป็นช่วงเวลาที่สวิตช์ Q_1 หรือ Q_2 นำกระแส โดยในช่วงเวลานี้กระแสจากแหล่งจ่ายส่งไปชาร์จแบตเตอรี่ผ่านทางไดโอด D_B ส่วนการทำงานของสวิตช์ตัวอื่นเหมือนในกรณีโหมดปกติ สัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ตัวในโหมดนี้แสดงดังรูปที่ 4-4 และวงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดนี้แสดงดังรูปที่ 4-5

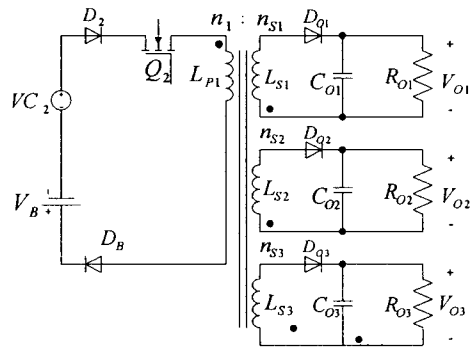


(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ

รูปที่ 4-4 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่



(ก) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทำงาน



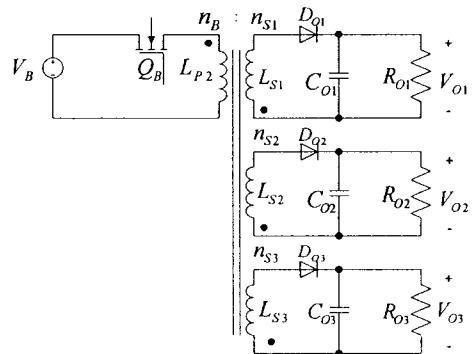
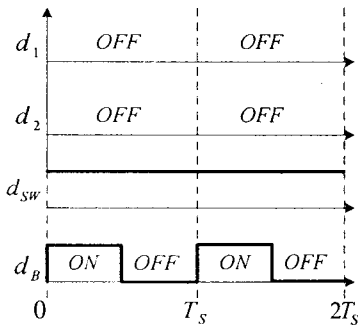
(ข) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับทำงาน

รูปที่ 4-5 วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

โหมดแบ็คอัพ (Backup mode)

ในกรณีนี้แหล่งจ่ายทั้งสองไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมสวิตช์ Q_B ให้นำกระแสตามรอบทำงานที่ออกแบบไว้ สัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ตัวในโหมดนี้แสดงดังรูปที่ 4-6 และวงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดนี้แสดงดังรูปที่ 4-7

Backup mode; $d =$ signal drive switch (Q)



รูปที่ 4-6 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดแบ็คอัพ

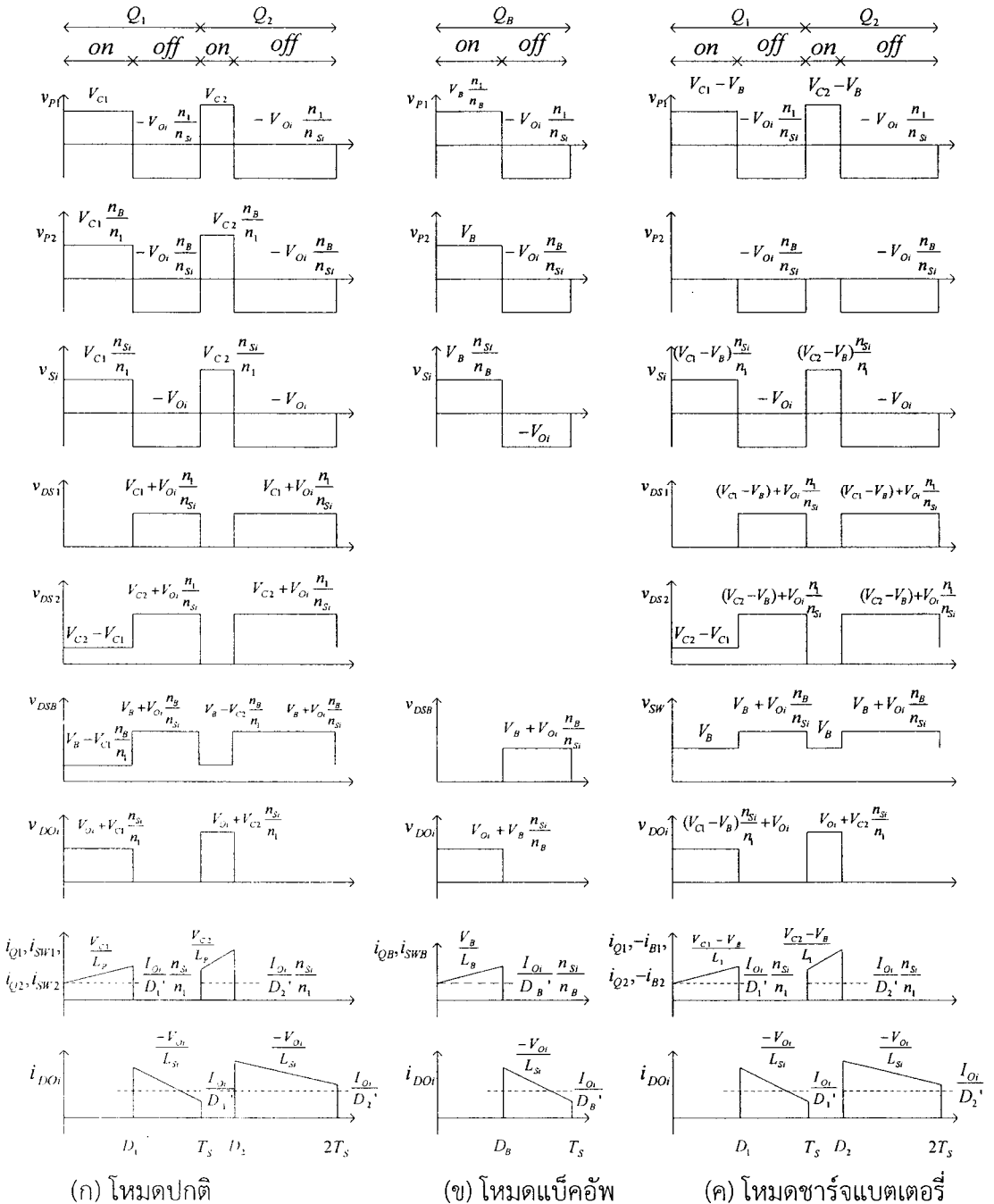
รูปที่ 4-7 วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดแบ็คอัพ

ตารางที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ของสวิตช์ในโหมดการทำงาน

	โหมดปกติ	โหมดชาร์จแบตเตอรี่	โหมดแบ็คอัพ
Q_1, Q_2	PWM	PWM	OFF
Q_B	OFF	OFF	PWM
Q_{sw}	ON	PWM	ON

จากการวิเคราะห์การทำงานของวงจรสมมูลทั้งสามโหมด รูปคลื่นแรงดันและกระแสของส่วนประกอบหลักของวงจรต้นแบบดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุต และวงจรชาร์จแบตเตอรี่ภายใต้การทำงานทั้งสามโหมดสามารถเขียนได้ดังรูปที่ 4-8 โดยแสดงลำดับจากบนลงล่างดังนี้ แรงดันด้านปฐมภูมิ 1 แรงดันด้านปฐมภูมิ 2 แรงดันด้านทุติยภูมิ แรงดันที่สวิตช์ Q_1 แรงดันที่สวิตช์ Q_2 แรงดันที่สวิตช์ Q_B แรงดันที่ไดโอดเอาต์พุต กระแสที่สวิตช์ Q_1 กระแสที่สวิตช์ Q_2 และกระแสที่ไดโอดเอาต์พุต

ตามลำดับ โดยค่าแรงดันและกระแสเหล่านี้จะนำไปใช้ในการออกแบบและเลือกอุปกรณ์สำหรับวงจร
 ต้นแบบต่อไป



รูปที่ 4-8 รูปคลื่นแรงดัน และกระแสในแต่ละโหมตการทำงาน

4.2 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรต้นแบบ

ในการออกแบบได้กำหนดให้เอาต์พุตของวงจรคอนเวอร์เตอร์มีกำลังงานรวม 30 วัตต์ โดยแบ่งเป็นเอาต์พุตละ 10 วัตต์ เท่ากันทั้งสามเอาต์พุต และกำหนดให้ Z แทนลำดับเอาต์พุตที่ 1 2 และ 3 วงจรทำงานที่ความถี่ 100 kHz

V_{C1} = แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

V_{C2} = แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

V_B = แรงดันจากแหล่งจ่ายแบตเตอรี่

V_{OZ} = แรงดันเอาต์พุต

n_1 = อัตราส่วนจำนวนรอบดำนปฐมภูมิ 1

d_1 = อัตราส่วนการนำกระแสของสวิตช์ Q_1

d_B = อัตราส่วนการนำกระแสของสวิตช์ Q_B

ตารางที่ 4-2 ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบ

$V_{C1} = 30$ โวลต์	$V_{O1} = 12$ โวลต์	$n_1 = 1$
$V_{C2} = 60$ โวลต์	$V_{O2} = 5$ โวลต์	$d_1 = 0.5$
$V_B = 24$ โวลต์	$V_{O3} = 3.3$ โวลต์	$d_B = 0.5$

4.2.1 การเลือกสวิตช์และอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร

จากข้อกำหนดในการออกแบบวงจรต้นแบบข้างต้น สามารถคำนวณและสรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ได้ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ค่าอุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

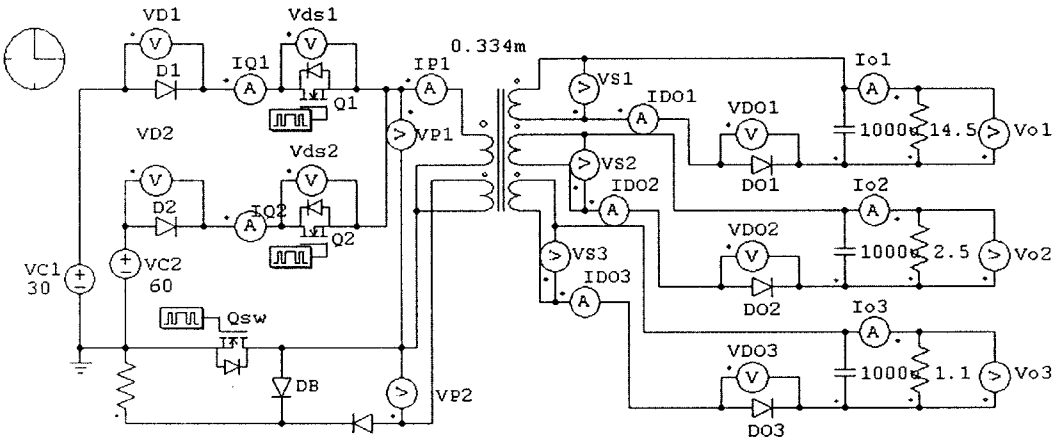
พารามิเตอร์	อุปกรณ์/ค่าที่เลือก	พารามิเตอร์	อุปกรณ์/ค่าที่เลือก
Q_1, Q_2, Q_B, Q_{SW}	IRFP250N	n_{S2}	4 รอบ
$D_1, D_2, D_B, D_{O1}, D_{O2}, D_{O3}$	MUR1520G	n_{S3}	3 รอบ
D_{IN}	FR605	L_{P1}	1.27mH
C_1, C_2, C_B	470 μ F	L_{P2}	0.838mH
C_{O1}, C_{O2}, C_{O3}	1,000 μ F	R_{O1}	14.5 Ω
n_1	21 รอบ	R_{O2}	2.5 Ω
n_B	17 รอบ	R_{O3}	1.1 Ω
n_{S1}	9 รอบ	แกนเฟอร์ไรท์	ETD44

4.3 การจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบ

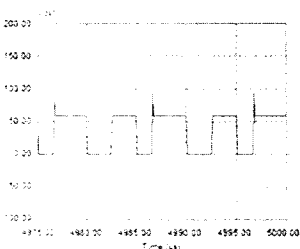
จากการนำค่าต่างๆ ของอุปกรณ์ในการสร้างวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่มาสร้างแบบจำลองในโปรแกรม PSIM และจำลองการทำงานซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนคือ โหมดปกติและโหมดแบ็คอัพเท่านั้น ในส่วนของโหมดชาร์จแบตเตอรี่ไม่สามารถทำการจำลองผลได้เนื่องจากขีดจำกัดของโปรแกรมจำลอง กรณีมีรูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสอยู่ในรูปเดียวกันทุกกรณี ให้รูปคลื่นแรงดันเป็นรูปสัญญาณที่อยู่ด้านบนและรูปคลื่นกระแสอยู่ด้านล่าง

4.3.1 ผลการจำลองการทำงานในโหมดปกติ

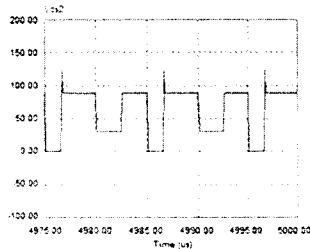
การจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบได้กำหนดแรงดันอินพุตให้มีขนาดต่างกันโดยกำหนดให้ $V_{C1} = 30$ โวลต์ และ $V_{C2} = 60$ โวลต์ แรงดันเอาต์พุตมีขนาดแรงดัน 12 โวลต์ 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์ ตามลำดับทำงานที่ความถี่ 100 kHz ทำงานพร้อมกันทั้งสองแหล่งจ่าย วงจรที่ใช้จำลองผลแสดงดังรูปที่ 4-9 รูปคลื่นของแรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตแสดงดังรูปที่ 4-10 และรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอดของเอาต์พุตทั้งสามแสดงดังรูปที่ 4-11



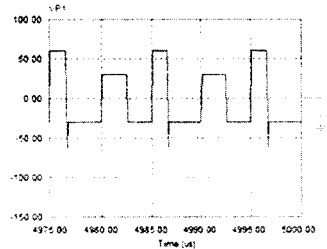
รูปที่ 4-9 วงจรที่ใช้จำลองผลการทำงานในโหมดปกติ



(ก) แรงดันที่สวิตช์ Q_1

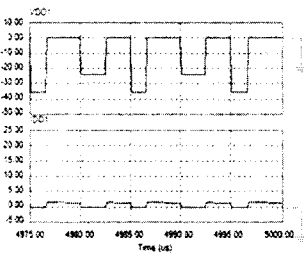


(ข) แรงดันที่สวิตช์ Q_2

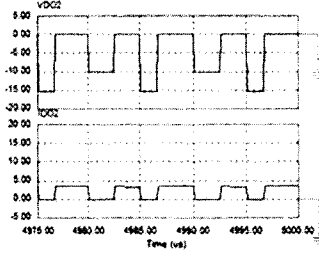


(ค) แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{P1}

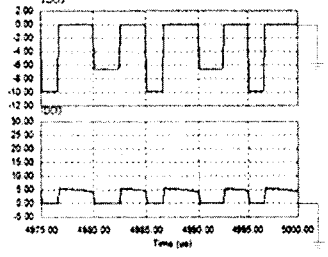
รูปที่ 4-10 แรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตในโหมดปกติ



(ก) เอาดต์ฟุต 1



(ข) เอาดต์ฟุต 2

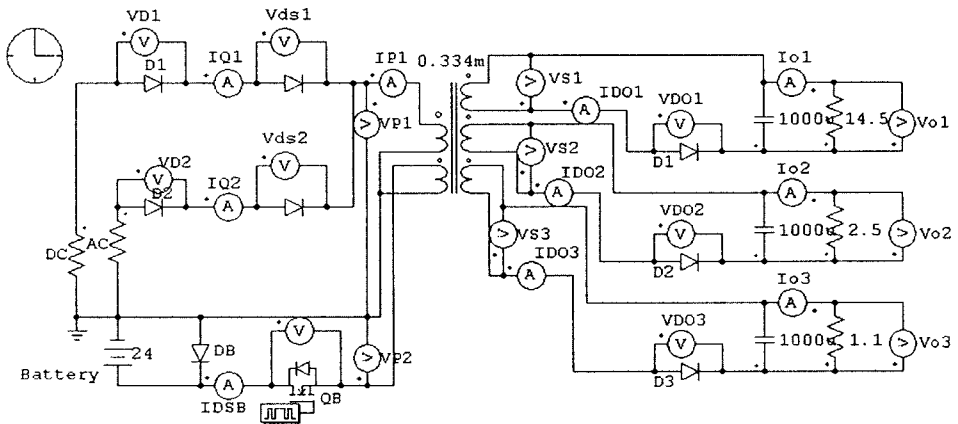


(ค) เอาดต์ฟุต 3

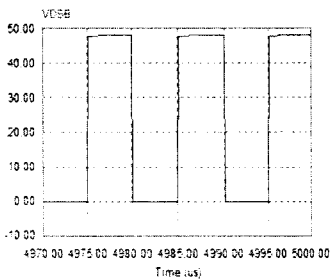
รูปที่ 4-11 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาดต์ฟุตในโหมดปกติ

4.3.2 ผลการจำลองการทำงานในโหมดแบ็คคัพ

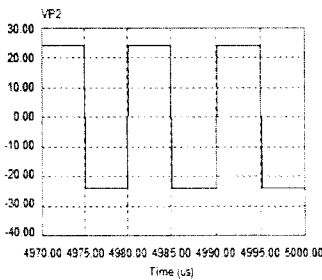
กำหนดให้ $V_B = 24$ โวลต์ แรงดันเอาดต์ฟุตมีขนาดแรงดัน 12 โวลต์ 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์ ตามลำดับ ความถี่ในการทำงาน 100 kHz และรูปแบบวงจรที่ใช้จำลองผลการการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 4-12 ผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นรูปคลื่นแรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตดังรูปที่ 4-13 และรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาดต์ฟุตทั้งสามแสดงดังรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-12 วงจรที่ใช้จำลองผลในโหมดแบ็คคัพ

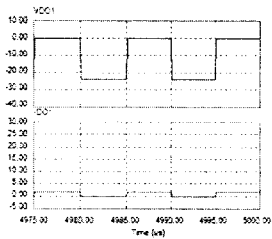


(ก) แรงดันที่สวิตช์ Q_B

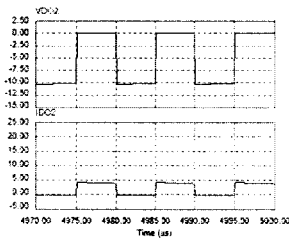


(ข) แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{P2}

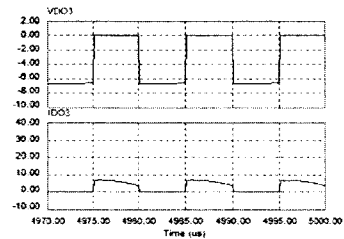
รูปที่ 4-13 แรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตในโหมดแบ็คคัพ



(ก) เอาต์พุต 1



(ข) เอาต์พุต 2



(ค) เอาต์พุต 3

รูปที่ 4-14 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดแบ็คคัพ

4.4 โปรแกรมสำหรับการควบคุมการทำงานของวงจร

ในการทำงานของวงจรดับเบิ้ลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่จำเป็นต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของสวิตช์ในการเปลี่ยนโหมดการทำงาน PIC18F458 เป็นชิพที่ใช้ในการควบคุมลำดับขั้นตอนการทำงาน ดังรูปที่ 4-15 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

ถ้าแรงดันแบตเตอรี่สูงกว่าค่าแรงดันอ้างอิง ($V_{batt} > 12V$) สวิตช์ที่ทำหน้าที่ชาร์จแบตเตอรี่จะนำกระแส “Gsw ON” จะไม่มีการชาร์จประจุให้แบตเตอรี่ซึ่งเป็นโหมดปกติ หากแรงดันแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับแรงดันอ้างอิง ($V_{batt} \leq 12V$) สวิตช์ “Gsw PWM” เข้าสู่โหมดชาร์จแบตเตอรี่ สวิตช์ Gsw จะทำงานพร้อมกับสวิตช์ G1 และ G2 ในช่วงนำกระแส ต่อมาเป็นการเช็คแหล่งจ่ายพลังงานหลักของวงจร โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทำงานเป็นอันดับแรกและแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับทำงานเป็นอันดับที่สองตามลำดับ

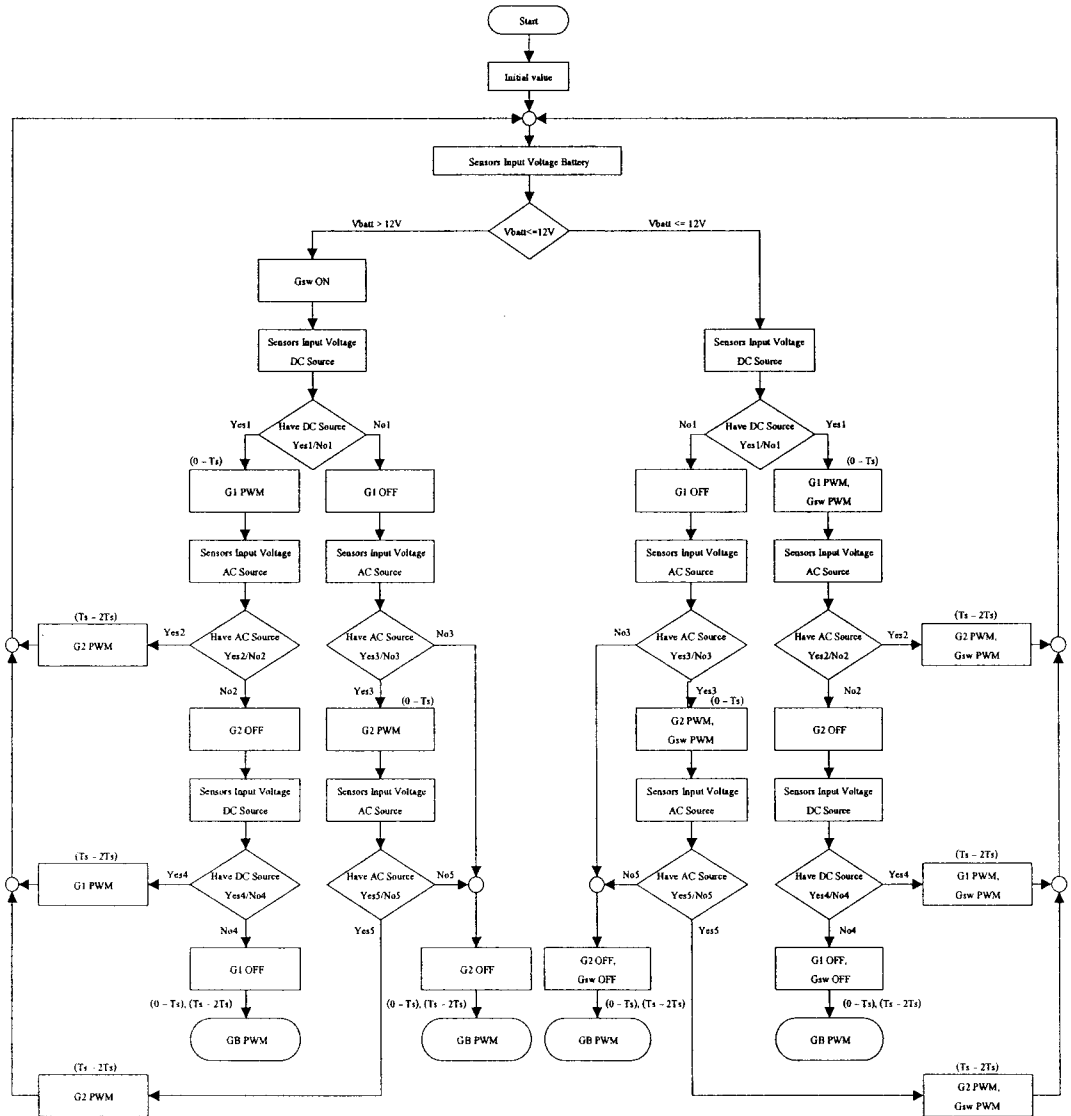
เซนเซอร์ตรวจจับแรงดันอินพุตของวงจร (Sensors Input Voltage DC Source) เช็คว่ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงหรือไม่หรือไม่ (Yes1/No1) ถ้ามี (Yes1) “G1 PWM” ทำงานช่วงเวลา (0-Ts) ต่อจากนั้นเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันอินพุตของวงจร (Sensors Input Voltage AC Source) เช็คว่ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหรือไม่ (Yes2/No2) ถ้ามี (Yes2) “G2 PWM” ทำงานช่วงคาบเวลา (Ts-2Ts) แล้ววนกลับไปจุดเริ่มต้น

ถ้า (No2) “G2 OFF” จากนั้น เซนเซอร์ตรวจจับแรงดันอินพุตของวงจร (Sensors Input Voltage DC Source) เช็คว่ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงหรือไม่ (Yes4/No4) ถ้ามี (Yes4) “G1 PWM” ทำงานช่วงคาบเวลา (Ts-2Ts) แล้ววนกลับไปจุดเริ่มต้น ถ้าไม่มี (No4) “G1 OFF” เข้าสู่โหมดแบ็คคัพ “GB PWM” ทำงานช่วงคาบเวลา (0-Ts) และ (Ts-2Ts)

ถ้าหากไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงช่วงแรก (No1) “G1 OFF” จากนั้น เซนเซอร์ตรวจจับแรงดันอินพุตของวงจร (Sensors Input Voltage AC Source) เช็คว่ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหรือไม่ (Yes3/No3) ถ้ามี (Yes3) “G2 PWM” ทำงานช่วงเวลา (0-Ts)

จากนั้นเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันอินพุตของวงจร (Sensors Input Voltage AC Source) เช็คว่ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหรือไม่ (Yes5/No5) ถ้ามี (Yes5) “G2 PWM” ทำงานช่วงคาบเวลา

(Ts-2Ts) ถ้าไม่มี (No5) “G2 OFF” เข้าสู่โหมดแบ็คอัพ “GB PWM” ทำงานช่วงคาบเวลา (Ts-2Ts) และ (0-Ts) ถ้า (No3) “G2 OFF” เข้าสู่โหมดแบ็คอัพ “GB PWM” ทำงานช่วงคาบเวลา (0-Ts) และ (Ts-2Ts)

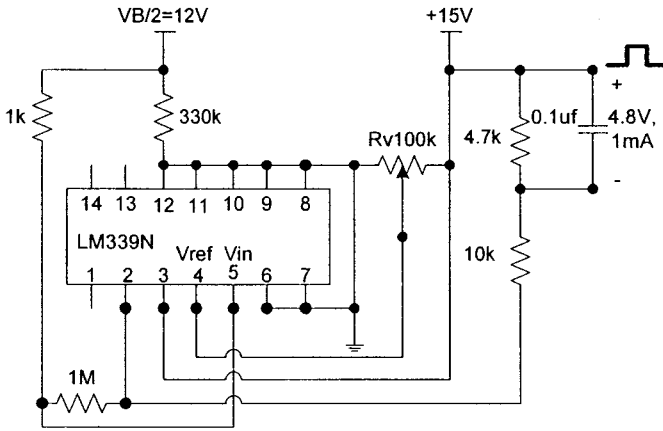


รูปที่ 4-15 แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

4.5 การรวมวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบเข้ากับวงจรควบคุม

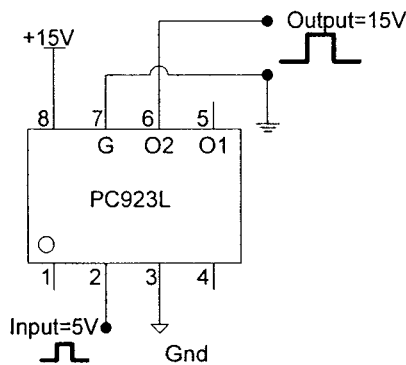
สวิตช์ Q_{sw} ในวงจรที่ออกแบบไว้ทำหน้าที่ซาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รับอินพุตเข้ามาประมวลผลการทำงาน จากเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับระดับแรงดันโดยใช้ IC LM339N ซึ่งรับอินพุตมาจากแบตเตอรี่ด้วยระดับแรงดันที่ลดทอนลง $0.5 \times V_B = 12$ โวลต์ เปรียบเทียบกับระดับแรงดันที่ใช้เป็นไฟเลี้ยงวงจรนี้คือ 15 โวลต์ สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรนี้จะต้องผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง และลดทอนระดับแรงดันลงก่อนจะต่อ

เข้ากับอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากระดับแรงดันที่ใช้ไม่ได้เปรียบกับกราวด์เดียวกัน ลอจิก 0 แสดงถึง ระดับพลังงานเต็มของแบตเตอรี่สวิตช์ Q_{SW} (ON) ลอจิก 1 แสดงถึง การชาร์จแบตเตอรี่สวิตช์ Q_{SW} (PWM) รูปที่ 4-16 แสดงวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน



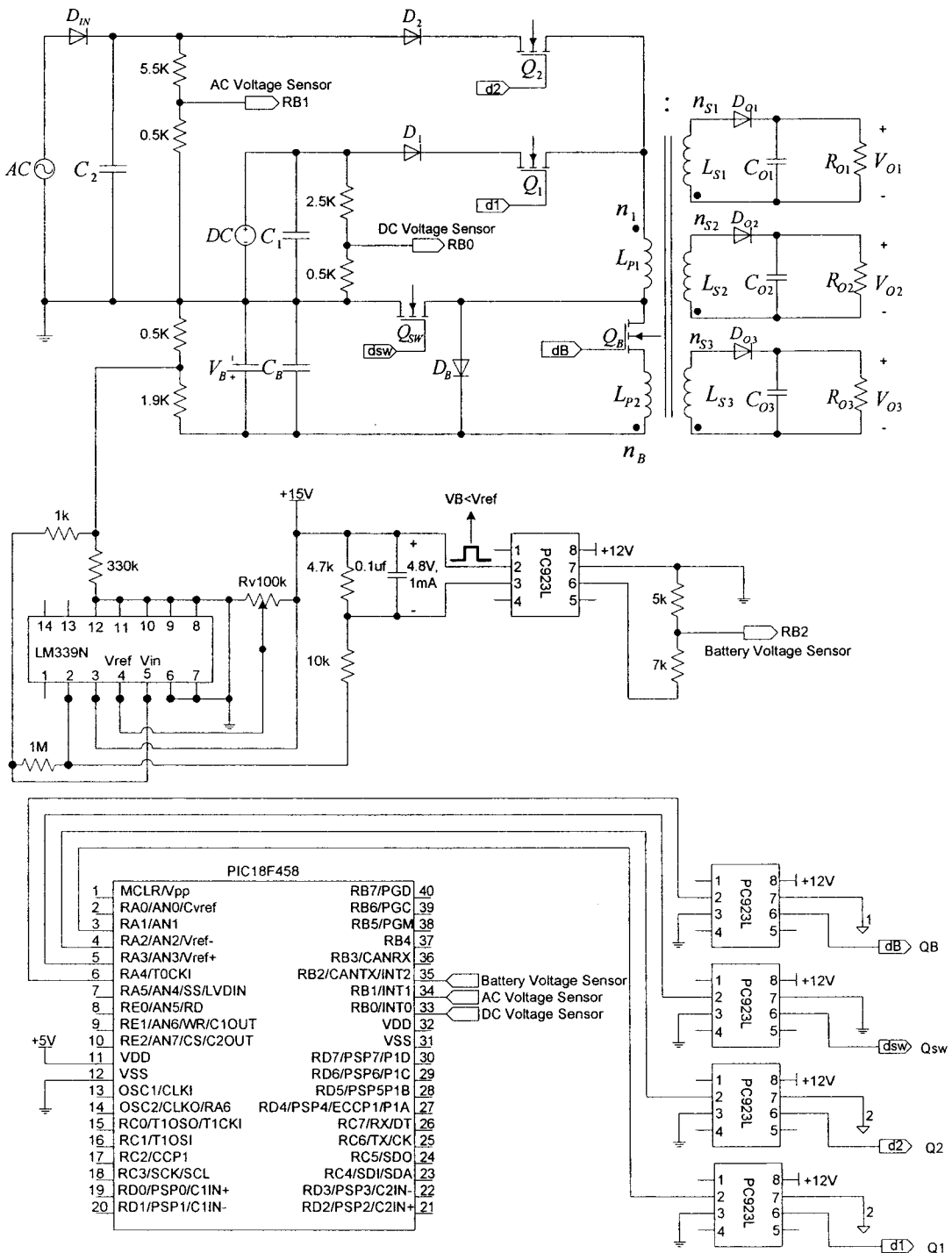
รูปที่ 4-16 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน

IC PC923L ทำงานด้วยไฟเลี้ยงจากภายนอก ถูกใช้เพื่อยกระดับแรงดันของสัญญาณขับสวิตช์จากเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สูงขึ้น การเชื่อมต่อทางแสงนี้ทำให้ระบบกราวด์ถูกแยกจากกันโดยสิ้นเชิงเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวงจรควบคุมได้ในขณะส่งสัญญาณขับสวิตช์ให้กับวงจรเพาเวอร์ รูปที่ 4-17 แสดงวงจรรยกระดับแรงดัน



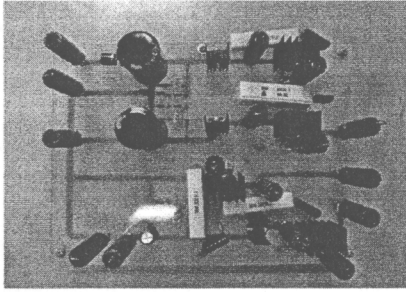
รูปที่ 4-17 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง

วงจรทั้งหมดจะเชื่อมต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบเพื่อควบคุมการทำงานอย่างเป็นอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 4-18 ส่วนของวงจรต้นแบบจริงที่สร้างขึ้นแสดงในรูปที่ 4-19 ถึงรูปที่ 4-21

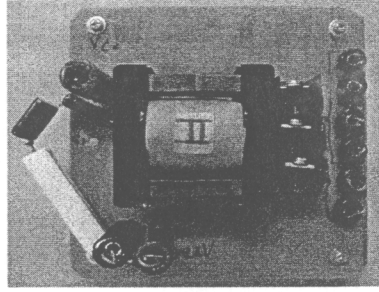


Schematic of an Integrated Double-Input Multiple-Output Converter Topology with Battery Charger

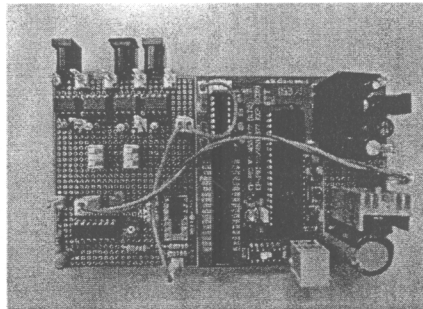
รูปที่ 4-18 แบบแผนวงจรที่ออกแบบ



รูปที่ 4-19 วงจรดับเบิลอินพุตที่ออกแบบ



รูปที่ 4-20 วงจรมัลติเพล็กซ์เอาต์พุตที่ออกแบบ



รูปที่ 4-21 ภาพไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรชาร์จแบตเตอรี่และวงจรยกระดับแรงดันที่ออกแบบ

4.6 ผลการทดลอง

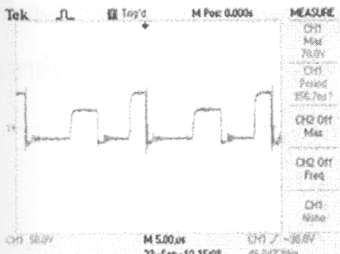
ในการทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบ กำหนดให้แรงดันอินพุต $V_{C1} = 30$ โวลต์ $V_{C2} = 60$ โวลต์ แรงดันเอาต์พุตทั้งสามมีขนาด 12 โวลต์ 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์ ตามลำดับ วงจรทำงานที่ความถี่ 100 kHz จากการบันทึกรูปคลื่นด้วยออสซิลโลสโคป กรณีที่มีรูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสในรูปเดียวกัน ให้รูปคลื่นสัญญาณด้านบนเป็นแรงดันและด้านล่างเป็นกระแส

4.6.1 ผลการทำงานในโหมดปกติ

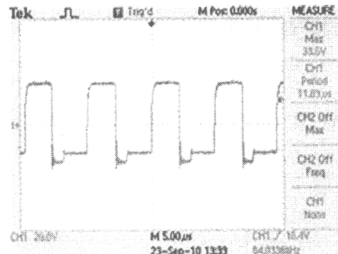
การทำงานของสวิตช์ขึ้นกับสถานะของแหล่งจ่ายซึ่งเปลี่ยนแปลงได้อัตโนมัติโดยควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ตารางที่ 4-4 แสดงสถานะของสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ รูปคลื่นแรงดันด้านปฐมภูมิ 1 แสดงดังรูปที่ 4-22 และรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 4-23

ตารางที่ 4-4 สถานะของสวิตช์ในโหมดปกติ

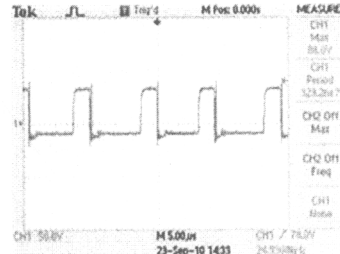
สถานะ	Q_1	Q_2	Q_B	Q_{SW}
ทำงานสองแหล่งจ่าย	PWM	PWM	OFF	ON
มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง	PWM	OFF	OFF	ON
มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ	OFF	PWM	OFF	ON



แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{P1}

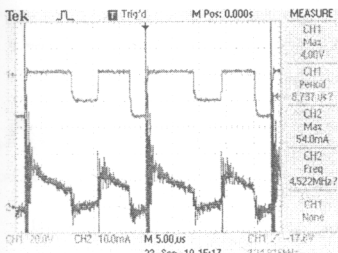


แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{P1}

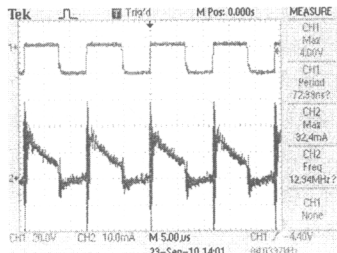


แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{P1}

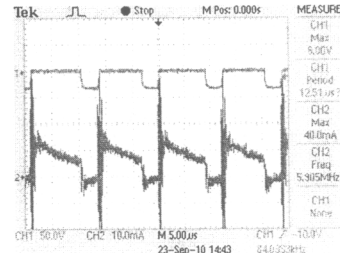
(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ
รูปที่ 4-22 แรงดันด้านปฐมภูมิ 1 ในโหมดปกติ



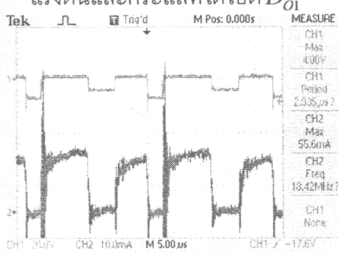
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O1}



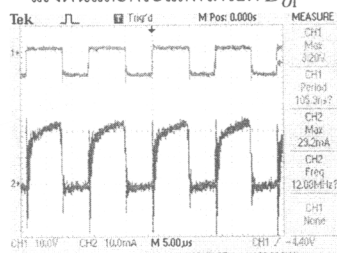
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O1}



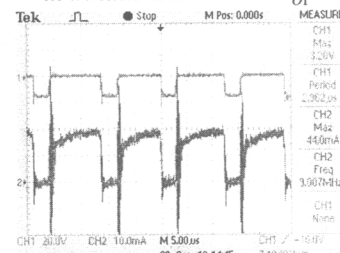
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O1}



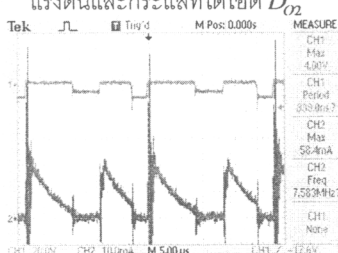
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O2}



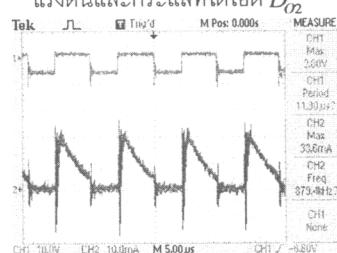
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O2}



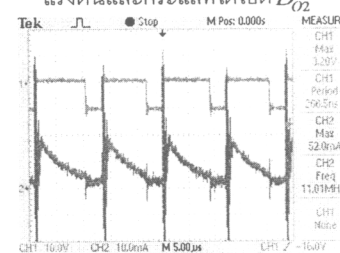
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O2}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O3}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O3}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O3}

(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ
รูปที่ 4-23 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดปกติ

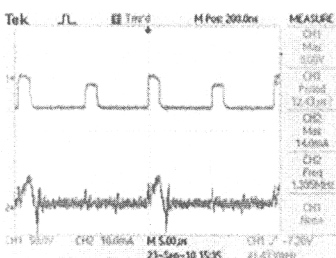
4.6.2 ผลการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

ไดโอด D_B นำกระแสชาร์จประจุแบตเตอรี่ในช่วงที่สวิตช์ Q_1 และ Q_2 นำกระแส สถานะของสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังตารางที่ 4-5 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอด D_B แสดงดังรูป

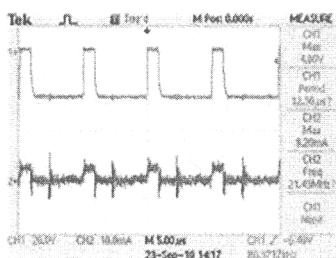
ที่ 4-24 รูปคลื่นแรงดันด้านปฐมภูมิ 1 แสดงดังรูปที่ 4-25 และรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตทั้งสามแสดงดังรูปที่ 4-26

ตารางที่ 4-5 สถานะของสวิตช์ ในโหมดชาร์จแบตเตอร์

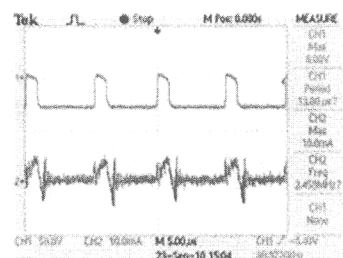
สถานะ	Q_1	Q_2	Q_B	Q_{SW}
ทำงานสองแหล่งจ่าย	PWM	PWM	OFF	PWM
มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง	PWM	OFF	OFF	PWM
มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ	OFF	PWM	OFF	PWM



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_B



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_B

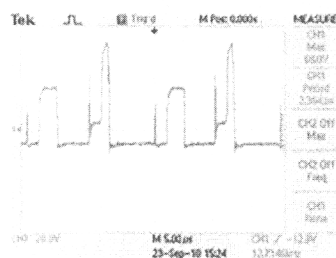


แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_B

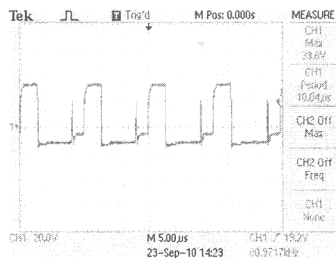
(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ

รูปที่ 4-24 แรงดันและกระแสที่ไดโอดขณะชาร์จประจุในโหมดชาร์จแบตเตอร์

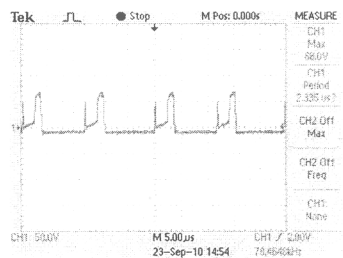
รูปที่ 4-24 (ก) ไดโอด D_B นำกระแสเฉพาะช่วงที่แหล่งจ่าย V_{C2} ทำงานเนื่องจากระดับแรงดัน $V_{C2} > V_{C1}$ ไดโอด D_B จึงรีเวิร์สไบอัสทำให้ไม่มีการนำกระแสในขณะแหล่งจ่าย V_{C1} ทำงาน



แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{P1}



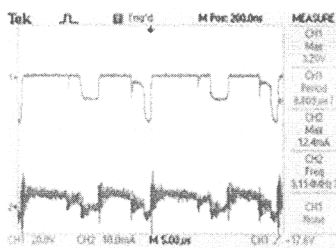
แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{P1}



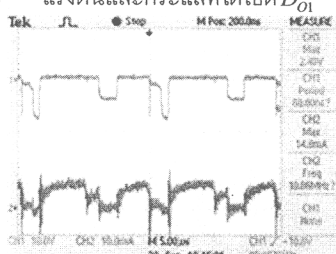
แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{P1}

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

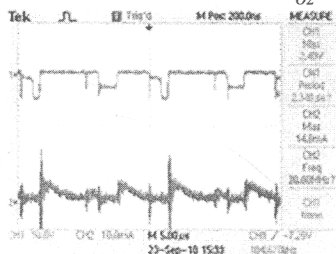
รูปที่ 4-25 แรงดันด้านปฐมภูมิในโหมดชาร์จแบตเตอร์



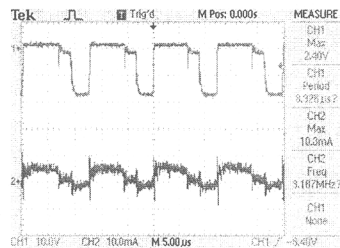
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{01}



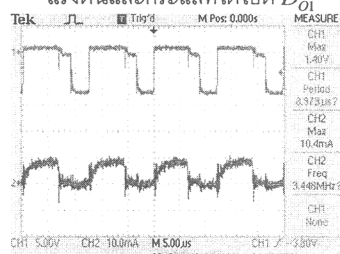
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{02}



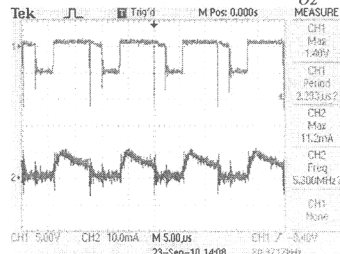
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{03}



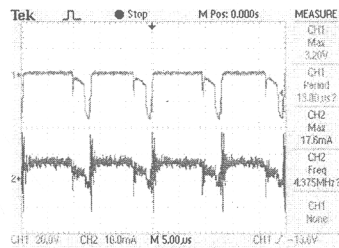
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{01}



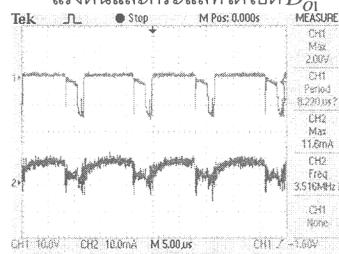
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{02}



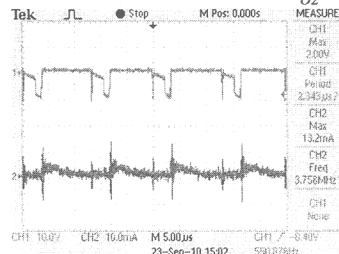
แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{03}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{01}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{02}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{03}

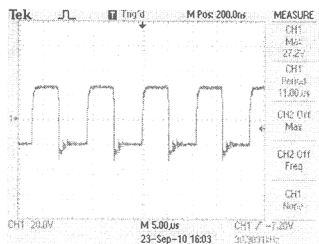
(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ
รูปที่ 4-26 แรงดัน และกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

4.6.3 ผลการทำงานในโหมดแบ็คอัพ

เมื่อแหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงาน สวิตช์ Q_B จะนำกระแสเพื่อให้แบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดแทน ตารางที่ 4-6 แสดงสถานะของสวิตช์ในโหมดแบ็คอัพ รูปที่ 4-27 แสดงรูปคลื่นแรงดันด้านปฐมภูมิ 2 ในโหมดแบ็คอัพ และรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตทั้งสามแสดงดังรูปที่ 4-28

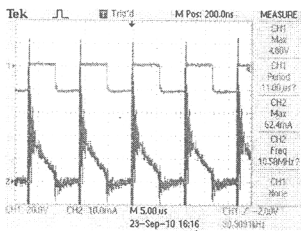
ตารางที่ 4-6 สถานะของสวิตช์ในโหมดแบ็คอัพ

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

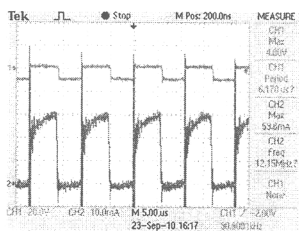


แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{P2}

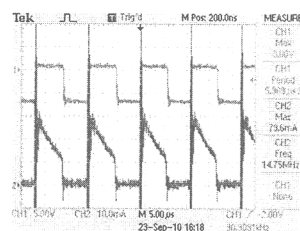
รูปที่ 4-27 แรงดันด้านปฐมภูมิ 2 ในโหมดแบ็คอัฟ



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O1}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O2}



แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_{O3}

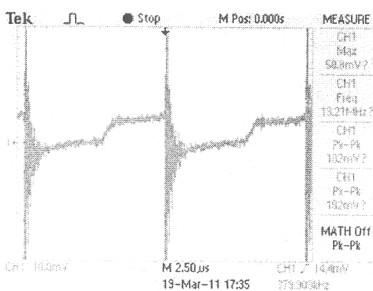
รูปที่ 4-28 แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดแบ็คอัฟ

4.7 การทดสอบประสิทธิภาพ

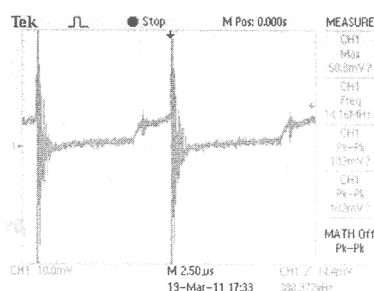
ในการทดสอบค่าประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบจะทำการทดสอบโดยให้วงจรทำงานที่กระแสพิกัดของโหลด วัดค่าแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตเพื่อใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพ โดยจะทำการทดสอบทั้ง 3 โหมดทำงานคือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดแบ็คอัฟ กำหนดให้รูปคลื่นกระแสมีค่าเท่ากับ 1A/DIV ทุกค่าการทดสอบ

4.7.1 การทดสอบประสิทธิภาพในโหมดปกติ

รูปที่ 4-29 และรูปที่ 4-30 แสดงรูปคลื่นกระแสทางด้านอินพุตในกรณีที่แหล่งจ่ายทั้งสองแยกกันทำงานและในกรณีทำงานร่วมกันตามลำดับ รูปคลื่นกระแสเอาต์พุตทั้ง 3 ขณะทำงานที่ค่าพิกัดแสดงดังรูปที่ 4-31

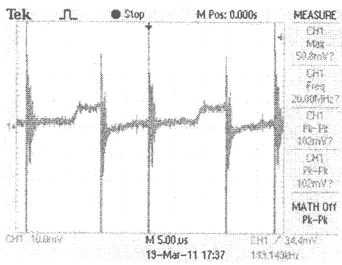


(ก) กระแสที่สวิตช์ Q_1

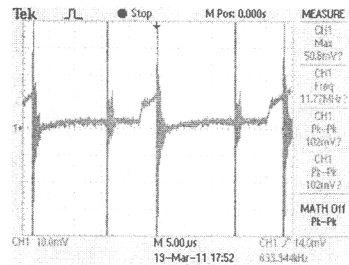


(ข) กระแสที่สวิตช์ Q_2

รูปที่ 4-29 กระแสอินพุตในขณะแหล่งจ่ายแยกกันทำงานอย่างอิสระในโหมดปกติ

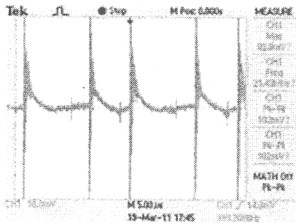


(ก) กระแสที่สวิตช์ Q_1

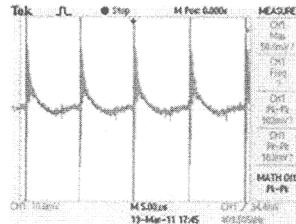


(ข) กระแสที่สวิตช์ Q_2

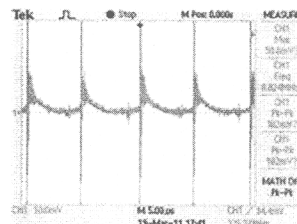
รูปที่ 4-30 กระแสอินพุตในขณะแหล่งจ่ายทำงานร่วมกันในโหมดปกติ



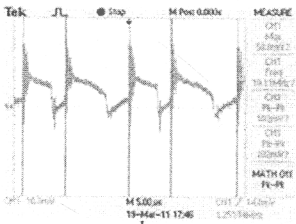
กระแสที่เอาต์พุต1



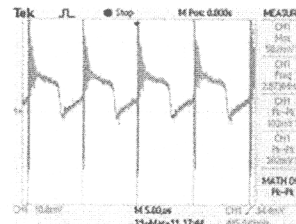
กระแสที่เอาต์พุต1



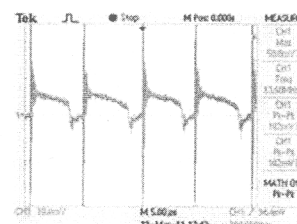
กระแสที่เอาต์พุต1



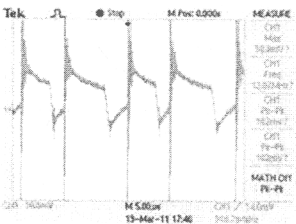
กระแสที่เอาต์พุต2



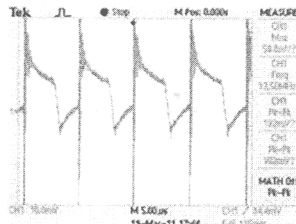
กระแสที่เอาต์พุต2



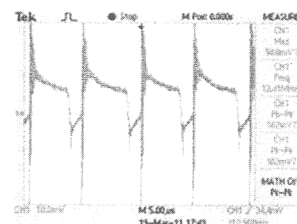
กระแสที่เอาต์พุต2



กระแสที่เอาต์พุต3



กระแสที่เอาต์พุต3



กระแสที่เอาต์พุต3

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

รูปที่ 4-31 กระแสเอาต์พุตทั้งสามในโหมดปกติ

ค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตในโหมดปกติแสดงดังตารางที่ 4-7 ซึ่งค่าทั้งหมดสามารถนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบในโหมดปกติได้ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดปกติ

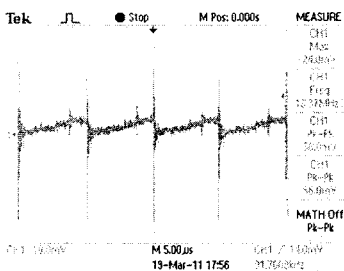
สถานะการทำงาน	อินพุต		เอาต์พุต 1		เอาต์พุต 2		เอาต์พุต 3	
	V	A	V	A	V	A	V	A
ทำงานสองแหล่งจ่าย	(30) (60)	(1) (0.5)	8	0.8	2.5	2.2	1.1	3.4
แหล่งจ่ายกระแสตรง	30	1	8	0.8	2.5	2.2	1.1	3.4
แหล่งจ่ายกระแสสลับ	60	0.5	8	0.8	2.5	2.2	1.1	3.4

ตารางที่ 4-8 ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมดปกติ

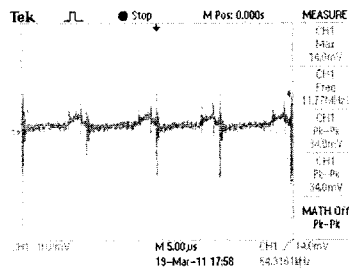
สถานะการทำงาน	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)				ประสิทธิภาพ
	อินพุต	เอาต์พุต 1	เอาต์พุต 2	เอาต์พุต 3	
ทำงานสองแหล่งจ่าย	30	6.4	5.5	3.74	52%
แหล่งจ่ายกระแสตรง					
แหล่งจ่ายกระแสสลับ					

4.7.2 การทดสอบประสิทธิภาพในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

รูปที่ 4-32 และรูปที่ 4-33 แสดงรูปคลื่นกระแสทางด้านอินพุตในกรณีที่แหล่งจ่ายทั้งสองแยกกันทำงานและในกรณีทำงานร่วมกันตามลำดับ รูปที่ 4-34 แสดงรูปคลื่นกระแสที่ไดโอด D_B ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ รูปคลื่นกระแสเอาต์พุตทั้ง 3 ขณะทำงานที่ค่าพิกัดแสดงดังรูปที่ 4-35

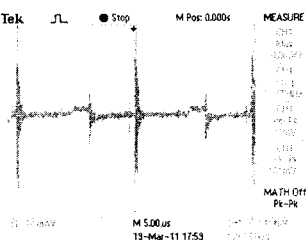


(ก) กระแสที่สวิตช์ Q_1

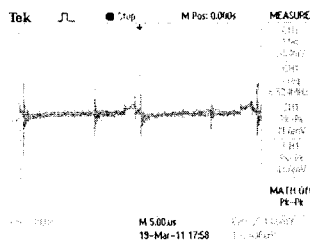


(ข) กระแสที่สวิตช์ Q_2

รูปที่ 4-32 กระแสอินพุตในขณะแหล่งจ่ายแยกกันทำงานอย่างอิสระในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

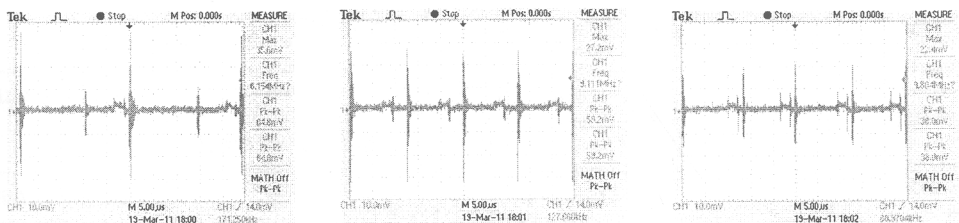


(ก) กระแสที่สวิตช์ Q_1

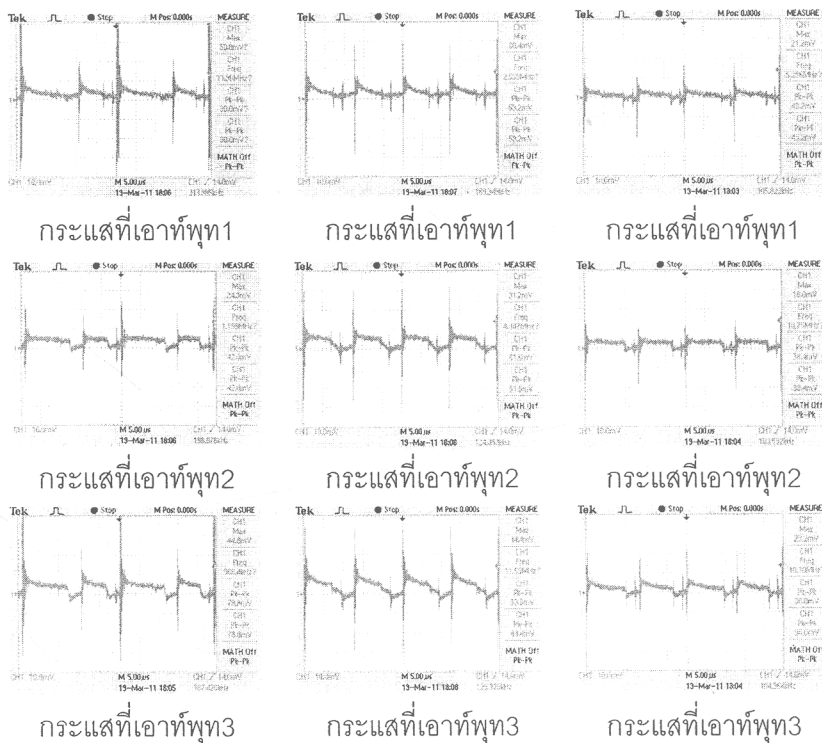


(ข) กระแสที่สวิตช์ Q_2

รูปที่ 4-33 กระแสอินพุตในขณะแหล่งจ่ายทำงานร่วมกันในโหมดชาร์จแบตเตอรี่



(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย (ข) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรง (ค) มีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับ
รูปที่ 4-34 กระแสที่ไดโอด D_B ในโหมดชาร์จแบตเตอร์



รูปที่ 4-35 กระแสเอาต์พุตทั้งสามในโหมดชาร์จแบตเตอร์

ค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตในโหมดชาร์จแบตเตอร์แสดงดังตารางที่ 4-9 ซึ่งค่าทั้งหมดนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบในโหมดชาร์จแบตเตอร์ได้ดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-9 ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดชาร์จแบตเตอร์

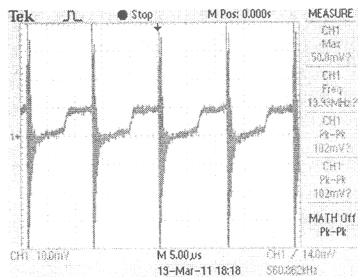
สถานะการทำงาน	อินพุต		เอาต์พุต 1		เอาต์พุต 2		เอาต์พุต 3		แบตเตอร์	
	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A
สองแหล่งจ่าย	(30) (60)	(0.8) (0.4)	5	0.5	1.7	1.5	0.7	2.5	60	0.09
แหล่งจ่ายกระแสตรง	30	0.8	5	0.5	1.7	1.5	0.7	2.5	30	0.18
แหล่งจ่ายกระแสสลับ	60	0.4	5	0.5	1.7	1.5	0.7	2.5	60	0.09

ตารางที่ 4-10 ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

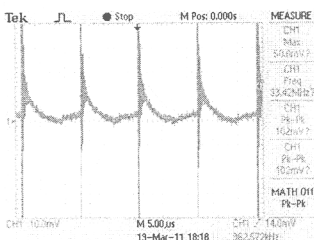
สถานะการทำงาน	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)					ประสิทธิภาพ
	อินพุต	เอาต์พุต 1	เอาต์พุต 2	เอาต์พุต 3	แบตเตอรี่	
สองแหล่งจ่าย	24	2.5	2.55	1.75	5.4	51%
แหล่งจ่ายกระแสตรง						
แหล่งจ่ายกระแสสลับ						

4.7.3 การทดสอบประสิทธิภาพในโหมดแบ็คอัป

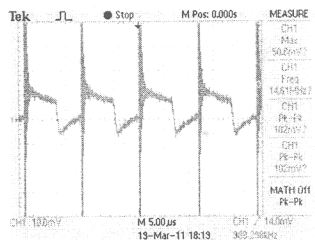
รูปที่ 4-36 แสดงรูปคลื่นกระแสที่สวิตช์ Q_B ในโหมดแบ็คอัป รูปคลื่นกระแสเอาต์พุตทั้ง 3 ขณะทำงานที่ค่าพิกัดแสดงดังรูปที่ 4-37



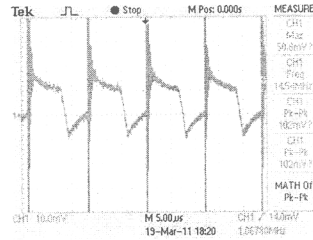
รูปที่ 4-36 กระแสที่สวิตช์ Q_B ในโหมดแบ็คอัป



กระแสที่เอาต์พุต 1



กระแสที่เอาต์พุต 2



กระแสที่เอาต์พุต 3

รูปที่ 4-37 กระแสเอาต์พุตทั้งสามในโหมดแบ็คอัป

ค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตในโหมดแบ็คอัปแสดงดังตารางที่ 4-11 ซึ่งค่าทั้งหมดนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบในโหมดแบ็คอัปได้ดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-11 ผลการทดสอบค่าแรงดันและกระแสในโหมดแบ็คอัป

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

ตารางที่ 4-12 ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพในโหมดแบ็คอัป

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

จากการทดสอบการทำงานของวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตและวงจรชาร์จแบตเตอรี่ในกรณีต่างๆ พบว่าวงจรสามารถทำงานได้ทุกโหมดการทำงานอย่างเป็นอัตโนมัติ

ในส่วนของการทำงานในโหมดปกติและโหมดแบ็คอัปประสิทธิภาพของวงจรอยู่ที่ 52% ในขณะที่การทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ประสิทธิภาพของวงจรอยู่ที่ 51%

4.8 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตได้ออกแบบโดยรวมส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อใช้เก็บพลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่าย โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการจ่ายกำลังรวมทั้งใช้ควบคุมการชาร์จประจุและดิสชาร์จแบตเตอรี่ในโหมดที่แหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงาน โดยแบ่งการทำงานเป็น 3 โหมดคือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดแบ็คอัป ในบทนี้ได้นำเสนอการออกแบบวงจร การควบคุม รวมถึงการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในหลายกรณี จากผลการทดลองในทุกโหมดการทำงานเห็นได้ว่าวงจรที่ได้ทำการออกแบบนี้สามารถทำงานได้จริงตามที่กล่าวมาโดยเอาต์พุตทั้ง 3 ทำงานในโหมดนำกระแสแบบต่อเนื่อง (CCM) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นยังมีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งจะต้องทำการปรับปรุงวงจรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เป็นตามความต้องการของการใช้งานเป็นแหล่งจ่ายในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายต่อไป

บทที่ 5

การปรับปรุงต้นแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต

ในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าดันแบบเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย มีปัจจัยที่จะต้องคำนึงถึงได้แก่ อายุการใช้งานและเสถียรภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายเป็นปัจจัยหลักที่จะใช้ในการพัฒนางจรต้นแบบ โดยจะใช้การผสมผสานพลังงานไฟฟ้าจากหลาย ๆ แหล่งเข้าด้วยกัน ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่และพลังงานไฟฟ้าจากสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ต้องสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ระดับแรงดันแตกต่างกัน โดยแต่ละระดับแรงดันจะต้องมีความคงที่ ต่อมาก็คือ ประสิทธิภาพ เนื่องจากวงจรต้นแบบทำงานที่กำลังไฟฟ้ต่ำ ดังนั้นอุปกรณ์ในวงจรต้องมีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดกำลังสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากอุปกรณ์เหล่านี้และจะทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงได้ การทำงานของวงจรต้นแบบก็ต้องมีความเรียบง่าย ไม่ซับซ้อนจนเกินไป เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

ในบทที่ผ่านมาถึงการออกแบบ สร้างและทดสอบต้นแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตที่รวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ โดยการต่ออินพุตจากทั้งสองแหล่งจ่ายแบบขนาน การควบคุมแหล่งจ่ายทั้งสองแยกอิสระต่อกัน อย่างไรก็ตามวงจรต้นแบบยังมีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้ไม่เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ดังนั้นจึงได้พัฒนางจรต้นแบบใหม่โดยมุ่งเน้นให้มีคุณลักษณะสำคัญดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

ส่วนประกอบสำคัญของวงจรต้นแบบที่นำมาพิจารณาเพื่อหาความเหมาะสมได้แก่ วงจรหลายอินพุต วงจรหลายเอาต์พุต และส่วนของวงจรแบตเตอรี่ โดยมีการวิเคราะห์ดังนี้

ข้อกำหนดของวงจร ในการสร้างวงจรต้นแบบมีข้อกำหนดต่าง ๆ ดังนี้

แรงดันอินพุตที่ 1	30	V
แรงดันอินพุตที่ 2	30	V
แรงดันแบตเตอรี่	24	V
แรงดัน/กระแสเอาต์พุตที่ 1	5V/1.5A	
แรงดัน/กระแสเอาต์พุตที่ 2	12V/1A	
พิกัดกำลังเอาต์พุต	25	W

5.1 การเลือกรูปแบบของวงจรมาประยุกต์ใช้งาน

ตารางที่ 5-1 เป็นการวิเคราะห์หาวงจรและรูปแบบการต่อเซลล์แหล่งจ่ายไฟฟ้าพบว่า การต่อวงจรหลายอินพุตโดยใช้รูปแบบของวงจรบัก (Buck) มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากใช้อุปกรณ์น้อย

แต่ละเซลล์ใช้เพียงสวิตช์และไดโอดอย่างละตัวเท่านั้น โดยไม่มีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ การต่อแต่ละเซลล์เข้าด้วยกันจะต่อแบบอนุกรมเพื่อให้สามารถทำงานพร้อมกันได้

ตารางที่ 5-1 หลักพิจารณาการเลือกวงจรและรูปแบบการต่อเซลล์แหล่งจ่ายของวงจรหลายอินพุต

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

* เมื่อต่อเซลล์แบบอนุกรม

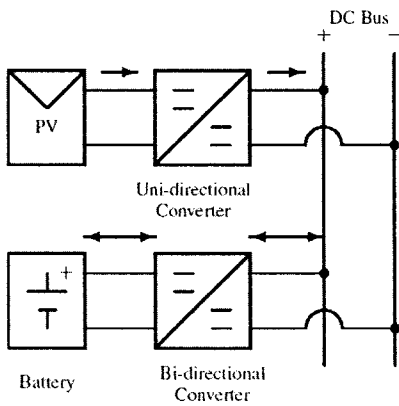
การเลือกวงจรหลายเอาต์พุตจะพิจารณาจากวงจรที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ใช้อุปกรณ์น้อย เพื่อให้มีกำลังสูญเสียต่ำสุด และสามารถทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงได้ เนื่องจากการทำงานที่กำลังไฟฟ้าต่ำปัจจัยที่สำคัญเป็นลำดับต้น ๆ คือ เรื่องประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเลือกวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้สวิตช์และไดโอดอย่างละตัว โดยวงจรนี้นิยมใช้ในงานกำลังไฟฟ้าต่ำกันอย่างแพร่หลาย เช่น วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลายอินพุตทั่ว ๆ ไป (30 W) [11] บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (35 W) [11] ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับหลอดแอลอีดี (18 W) [12], (10-24 W) [13] เป็นต้น

สำหรับวงจรแบตเตอรี่นั้น การต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์จะมีโหมดการทำงานด้วยกัน 2 โหมด คือ โหมดชาร์จและโหมดดิสชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งการที่จะให้ได้โหมดการทำงานทั้งสองจำเป็นต้องต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์สองรูปแบบคือ

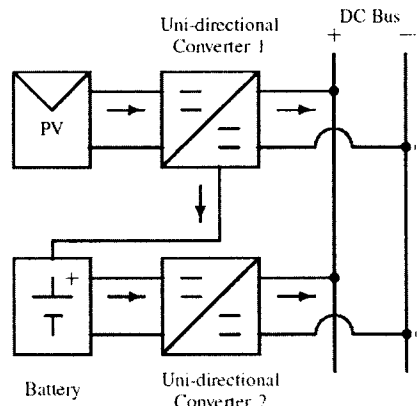
- วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทาง (Bi-directional dc/dc converter) [14] – [16] เหมาะสำหรับใช้ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าสามารถนำไปต่อเข้ากับโหลดหรือบัสได้โดยตรง การเพิ่มส่วนของแบตเตอรี่ผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทางจึงช่วยลดความซับซ้อนของวงจร โดยจะทำให้วงจรทำงานแค่สองส่วนคือ การชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่ แต่หากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่สามารถ

นำไปต่อเข้ากับโหลดหรือบัสโดยตรง แต่ต้องผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์ก่อน การเพิ่มแบตเตอรี่เข้าไป โดยผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทางดังแสดงในรูปที่ 5-1(ก) จะทำให้ทั้งระบบมีวงจรคอนเวอร์เตอร์สองวงจรถูกต้องทำงานถึง 3 ส่วน คือ นอกจากการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่แล้ว ยังมี ส่วนของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังโหลดหรือบัส ทำให้เพิ่มความยุ่งยากและยังจะทำให้กำลังสูญเสียเพิ่มขึ้นอีกด้วย

- วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว (Uni-directional dc/dc converter) [17] เหมาะสำหรับใช้เชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับระบบที่แหล่งจ่ายต้องส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์อยู่ก่อนแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 5-1(ข) ซึ่งแหล่งจ่ายส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านทางวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว 1 ไปยังโหลด และในขณะเดียวกันก็ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปชาร์จแบตเตอรี่ และวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว 2 ก็ทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ไปยังโหลด ทำให้มีการทำงานแค่ 2 ส่วน



ก) การต่อแบตเตอรี่แบบ 2 ทาง



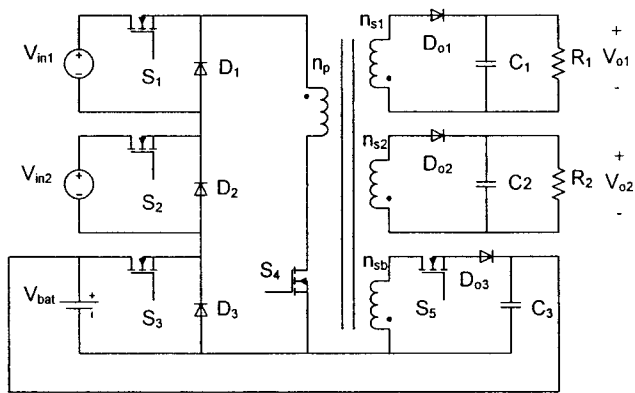
ข) การต่อแบตเตอรี่แบบทางเดียว

รูปที่ 5-1 การต่อแบตเตอรี่กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ [17]

ดังนั้นการนำแบตเตอรี่มาต่อเข้ากับวงจรต้นแบบจึงเลือกแบบต่อผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทางเดียว เพื่อช่วยลดกระบวนการทำงาน ความซับซ้อน และกำลังสูญเสียของวงจร

5.2 วงจรต้นแบบที่ปรับปรุง

จากการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมของแต่ละส่วน ทำให้ได้วงจรต้นแบบดังรูปที่ 5-2 ซึ่งสามารถรองรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้สองแหล่งและมีอีกหนึ่งแหล่งจ่ายที่เป็นแบตเตอรี่ โดยแต่ละแหล่งจ่ายใช้รูปแบบของวงจรบิ่กต่ออนุกรมกันเพื่อต่อเข้ากับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ โดยจะต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์ในลักษณะการต่อแบบทางเดียว แหล่งจ่ายทั้งสองในวงจรนี้สามารถทำงานพร้อมกันได้และมีแบตเตอรี่ทำหน้าที่เป็นตัวสำรองการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังเอาต์พุต ทำให้วงจรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5-2 วงจรต้นแบบที่ปรับปรุง

5.2.1 หลักการทำงาน

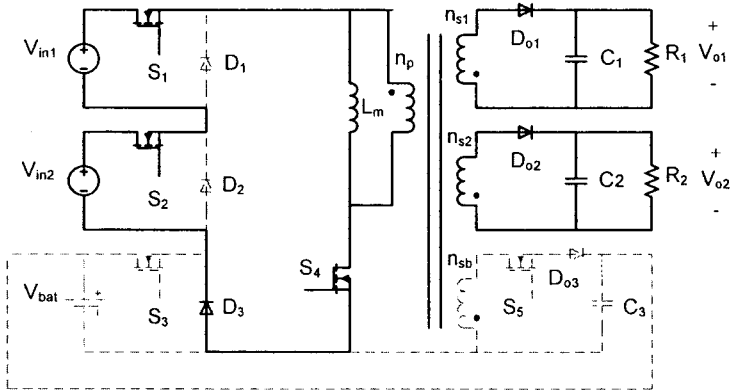
วงจรต้นแบบในรูปที่ 5-2 ประกอบด้วยแหล่งจ่ายสองแหล่งคือ V_{in1} และ V_{in2} และมีหนึ่งแหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่ คือ V_{bat} โดยมีสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 เป็นตัวควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากทั้งสามแหล่งจ่าย และมี S_4 เป็นสวิตช์หลักในการควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุต เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าใดไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ก็จะมีไดโอด D_1 , D_2 และ D_3 ทำหน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ตอนที่แหล่งจ่ายทำงาน ตัวไดโอดที่ต่อक्रमแหล่งจ่ายนั้นจะไม่ทำงาน ทางด้านเอาต์พุตมีขดลวดหม้อแปลงพันอยู่ 3 ขด โดยสองขดแรกใช้เพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังเอาต์พุตทั้งสองผ่านทางไดโอด D_{o1} และ D_{o2} ตามลำดับ ส่วนขดที่สามจะทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ผ่านทางสวิตช์ S_5 และไดโอด D_{o3} โดยสวิตช์ S_5 จะหยุดทำงานเมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จจนเต็ม

ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรในสภาวะอยู่ตัว จะสมมุติให้สวิตช์แต่ละตัวเป็นอุดมคติ โดยที่ตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็ก L_m มีขนาดใหญ่จนสามารถจ่ายกระแสได้อย่างต่อเนื่อง ตัวเก็บประจุ C_1 , C_2 และ C_3 มีขนาดใหญ่จนทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสามมีค่าคงที่ วงจรต้นแบบมีค่ารอบการทำงาน (Duty cycle) D_{q1} , D_{q2} และ D_{q3} ใช้ในการควบคุมการทำงานในแต่ละโหมดซึ่งประกอบด้วยโหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่และโหมดแบ็คคัพ ตามลำดับ ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจร กำหนดให้ n_p คือ ขดลวดทางด้านปฐมภูมิ n_{sj} คือ ขดลวดทางด้านทุติยภูมิ โดยที่ $j = 1$ และ 2 แทนลำดับของเอาต์พุต และ n_{sb} คือ ขดลวดที่ใช้ส่งกำลังไฟฟ้าไปชาร์จแบตเตอรี่

โหมดปกติ (Normal mode)

การทำงานในโหมดนี้ สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 จะทำงานพร้อมกันเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดทั้งสอง เมื่อแหล่งจ่ายทั้งสองอยู่ในสภาวะที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ โดยสวิตช์ S_1 และ S_2 เป็นตัวควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทั้งสองดังในรูปที่ 5-3 โดยที่สวิตช์ S_3 และ S_5 ไม่ทำงาน ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุตแต่ละเอาต์พุตได้ดังนี้

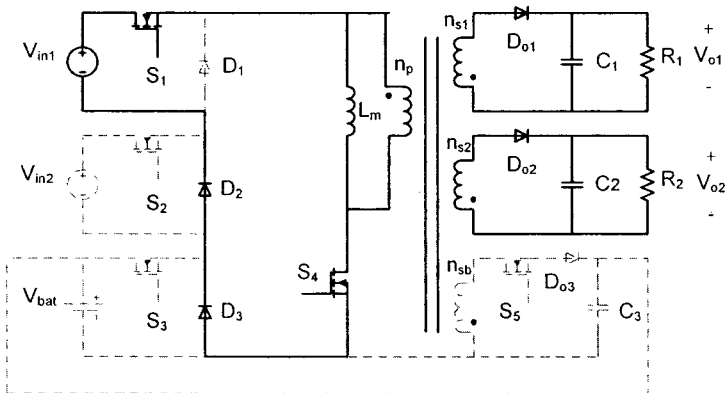
$$V_{oj} = \frac{D_{q1}}{1-D_{q1}} \frac{n_{sj}}{n_p} (V_{in1} + V_{in2}) \quad (5-1)$$



รูปที่ 5-3 แหล่งจ่ายทั้งสองทำงานพร้อมกัน

ในกรณีที่แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียว สวิตช์ S_1 และ S_4 ทำงาน ส่วนสวิตช์ที่เหลือจะไม่ทำงาน ดังในรูปที่ 5-4 ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุตแต่ละเอาต์พุตได้ดังนี้

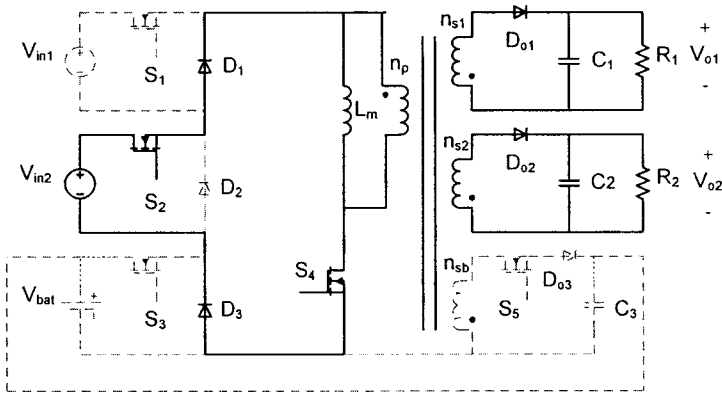
$$V_{oj} = \frac{D_{q2}}{1-D_{q2}} \frac{n_{sj}}{n_p} V_{in1} \quad (5-2)$$



รูปที่ 5-4 แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงาน

และในกรณีที่แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว สวิตช์ S_2 และ S_4 ทำงาน ส่วนสวิตช์ที่เหลือจะไม่ทำงานดังในรูปที่ 5-5 ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุตแต่ละเอาต์พุตได้ดังนี้

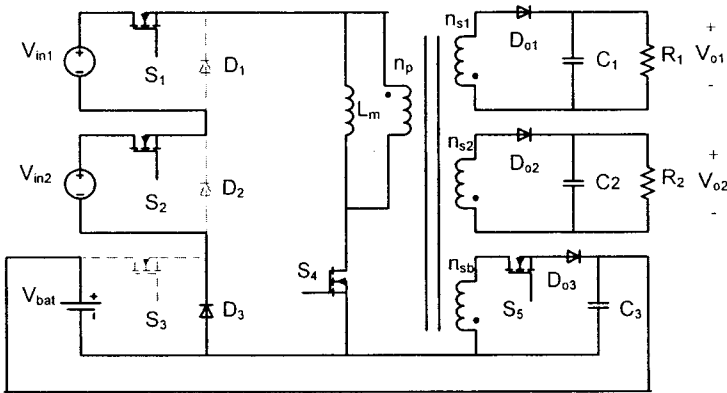
$$V_{oj} = \frac{D_{q2}}{1-D_{q2}} \frac{n_{sj}}{n_p} V_{in2} \quad (5-3)$$



รูปที่ 5-5 แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว

โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode)

การทำงานในโหมดนี้คล้ายกับโหมดปกติ เพียงแต่เพิ่มสวิตช์ S_5 ซึ่งจะทำงานกลับกันกับสวิตช์ S_4 เพื่อเพิ่มส่วนของการชาร์จแบตเตอรี่เข้าไป การทำงานของวงจรทั้ง 3 กรณีคือทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียวและแหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียวก็จะสามารถหาแรงดันของทั้งสองเอาต์พุตได้ตามสมการ (5-4) (5-5) และ (5-6) ตามลำดับ โดยในกรณีที่ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกันดังแสดงในรูปที่ 5-6



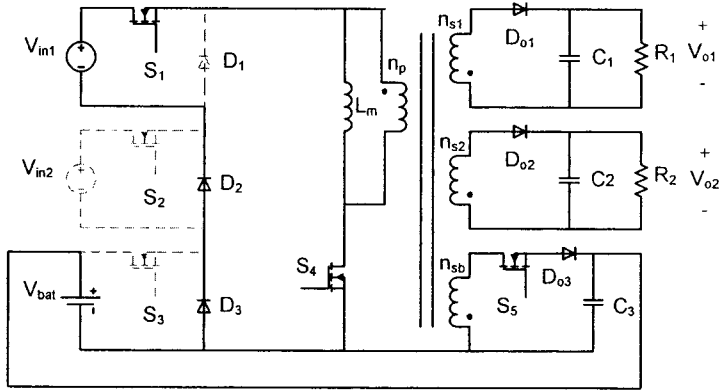
รูปที่ 5-6 ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน

ในการหาแรงดันที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่สามารถหาได้ดังนี้

$$V_{bat} = \frac{D_{q1}}{1-D_{q1}} \frac{n_{sb}}{n_p} (V_{in1} + V_{in2}) \quad (5.4)$$

ในกรณีเดียวกันที่แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียวสวิตช์ S_1 , S_4 และ S_5 ทำงาน ส่วนสวิตช์ที่เหลือจะไม่ทำงานดังในรูปที่ 5-7 ซึ่งจะได้สมการในการหาแรงดันชาร์จแบตเตอรี่ดังนี้

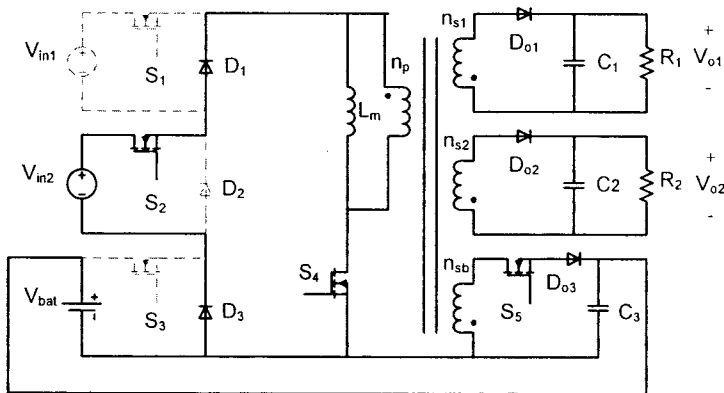
$$V_{bat} = \frac{D_{q2}}{1-D_{q2}} \frac{n_{sb}}{n_p} V_{in1} \quad (5-5)$$



รูปที่ 5-7 แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงาน

และในกรณีที่แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียวสวิตช์ S_2 , S_4 และ S_5 ทำงาน ส่วนสวิตช์ที่เหลือจะไม่ทำงานดังในรูปที่ 5-8 ซึ่งจะได้สมการในการหาแรงดันชาร์จแบตเตอรี่ดังนี้

$$V_{bat} = \frac{D_{q2}}{1-D_{q2}} \frac{n_{sb}}{n_p} V_{in2} \quad (5-6)$$

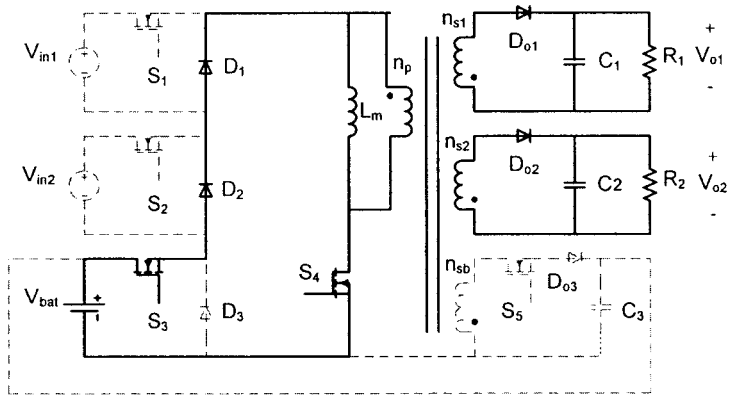


รูปที่ 5-8 แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว

โหมดแบ็คอัพ (Backup mode)

การทำงานในโหมดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อทั้งสองแหล่งจ่ายอยู่ในสถานะที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ โดยสวิตช์ S_3 และ S_4 จะทำงานพร้อมกัน ส่วนสวิตช์ที่เหลือไม่ทำงานดังในรูปที่ 5-9 ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุตแต่ละเอาต์พุตได้ดังนี้

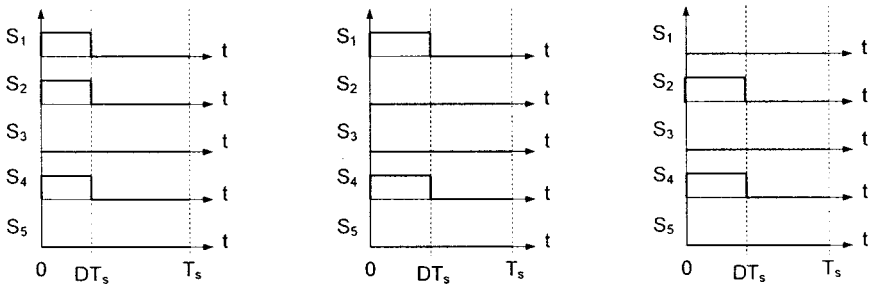
$$V_{oj} = \frac{D_{q3}}{1-D_{q3}} \frac{n_{sj}}{n_p} V_{bat} \quad (5.7)$$



รูปที่ 5-9 แหล่งจ่าย V_{bat} ทำงาน

5.2.2 การควบคุมการทำงานในแต่ละโหมด

การทำงานในแต่ละโหมดจะใช้สวิตช์ S_4 เป็นสวิตช์หลักในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแต่ละอินพุตไปยังแต่ละเอาต์พุต ส่วนสวิตช์ S_1 S_2 และ S_3 จะใช้ในการควบคุมการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแต่ละแหล่งจ่าย โดยมีค่ารอบการทำงาน (Duty cycle) เหมือนกับสวิตช์หลัก ส่วนสวิตช์ S_5 ใช้ควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งสัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 5-10 ถึงรูปที่ 5-12

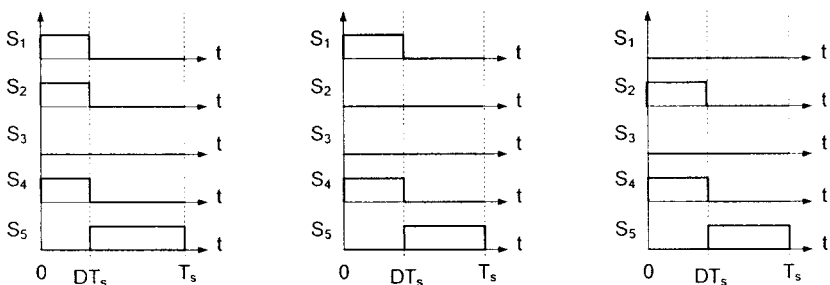


(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย

(ข) V_{in1} ทำงาน

(ค) V_{in2} ทำงาน

รูปที่ 5-10 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติ

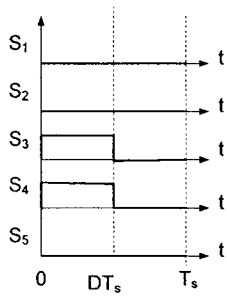


(ก) ทำงานสองแหล่งจ่าย

(ข) V_{in1} ทำงาน

(ค) V_{in2} ทำงาน

รูปที่ 5-11 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 5-12 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดแค็คอัพ

5.3 การออกแบบวงจร

5.3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบวงจร

แรงดันอินพุตที่ 1	30 V
แรงดันอินพุตที่ 2	30 V
แรงดันแบตเตอรี่	24 V
แรงดัน/กระแสเอาต์พุตที่ 1	5 V/1.5 A
แรงดัน/กระแสเอาต์พุตที่ 2	12 V/1 A
พิกัดกำลังเอาต์พุต	25 W

5.3.2 การเลือกสวิตช์และอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร

จากข้อกำหนดในการออกแบบวงจรต้นแบบ สามารถสรุปค่าอุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ได้ดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ค่าอุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรดับเบิลอินพุต-มัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

พารามิเตอร์	อุปกรณ์/ค่าที่เลือก
D_{q1}	0.25
D_{q2}	0.4
D_b	0.45
n_1	25 รอบ
n_{S1}	7 รอบ
n_{S1}	15 รอบ
n_B	35 รอบ
แกนเฟอร์ไรท์	ETD29

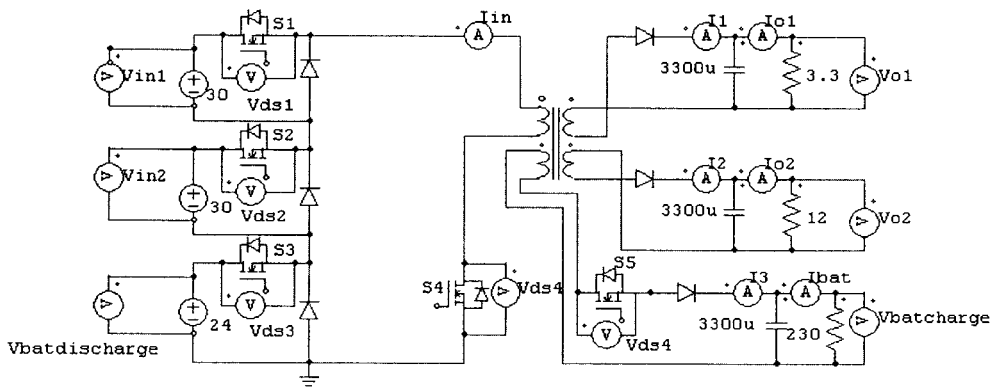
D_{q1} = ค่า Duty ratio ในกรณีที่ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน

D_{q2} = ค่า Duty ratio ในกรณีที่แหล่งจ่ายแรงดัน ทำงานเพียงตัวเดียว

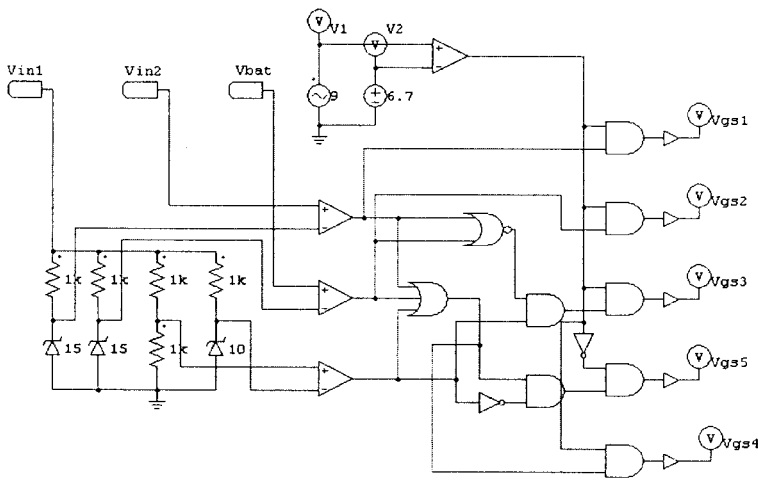
D_b = ค่า Duty ratio ตอนที่วงจรทำงานในโหมดแบ็คคัพ แบตเตอรี่ทำงาน

5.4 การจำลองการทำงาน

ค่าต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในการสร้างวงจรต้นแบบได้นำมาป้อนเข้าโปรแกรม PSIM เพื่อจำลองการทำงาน โดยแบ่งการจำลองออกเป็นสองกรณีคือ โหมดปกติและโหมดแบ็คคัพเท่านั้น ในส่วนของโหมดชาร์จแบตเตอรี่ไม่สามารถทำการจำลองการทำงานได้ เนื่องจากขีดจำกัดของโปรแกรม PSIM วงจรภาคกำลังและภาคควบคุมแสดงดังในรูปที่ 5-13 และรูปที่ 5-14 ตามลำดับ



รูปที่ 5-13 วงจรภาคกำลัง

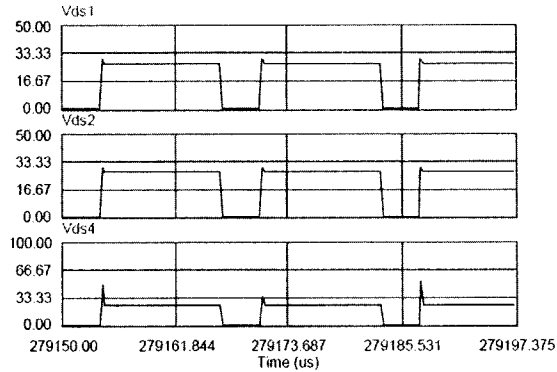


รูปที่ 5-14 วงจรภาคควบคุม

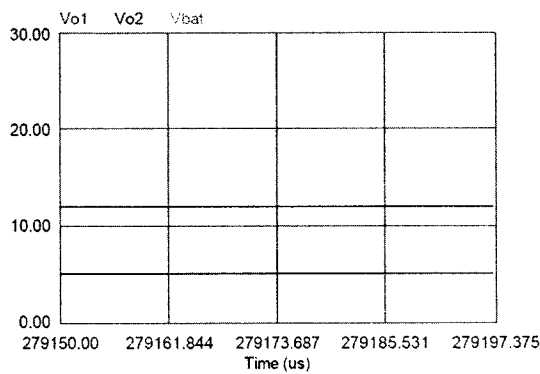
โหมดปกติ (Normal mode)

การจำลองการทำงานของวงจรต้นแบบได้กำหนดแรงดันอินพุตให้มีขนาดต่างกันโดยกำหนดให้ $V_{in1} = 30$ โวลต์ และ $V_{in2} = 30$ โวลต์ แรงดันเอาต์พุตมีขนาดแรงดัน 5 โวลต์ 12 โวลต์ ตามลำดับทำงานที่ความถี่ 60 kHz ทำงานพร้อมกันทั้งสองแหล่งจ่าย รูปคลื่นของแรงดันที่อุปกรณ์

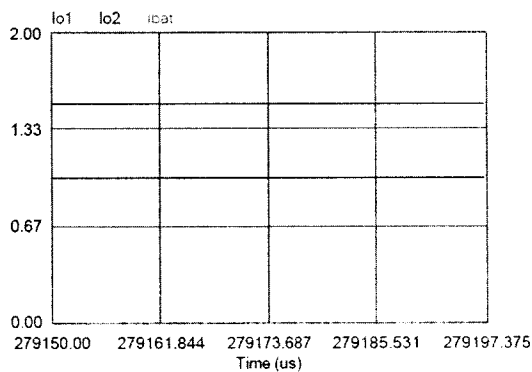
ด้านอินพุตแสดงดังรูปที่ 5-15 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตทั้งสองแสดงดังรูปที่ 5-16 และรูปคลื่นกระแสเอาต์พุตทั้งสองแสดงดังรูปที่ 5-17



รูปที่ 5-15 แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ตามลำดับ

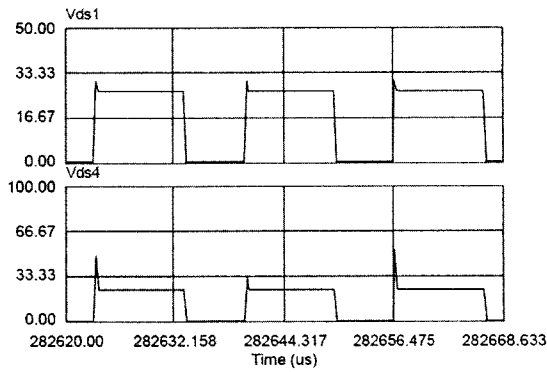


รูปที่ 5-16 แรงดันเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2

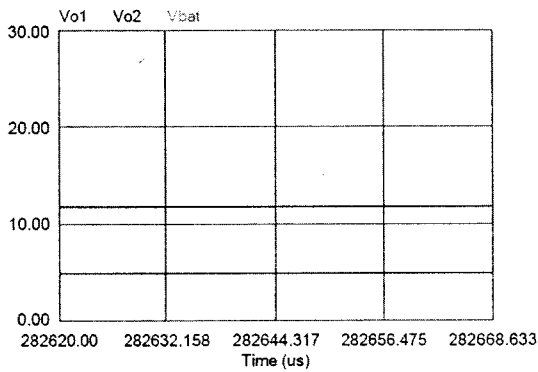


รูปที่ 5-17 กระแสเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2

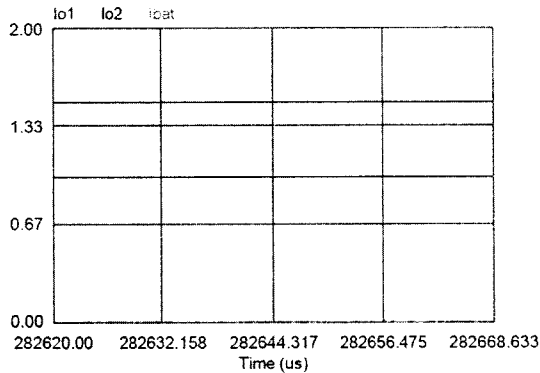
ผลการจำลองการทำงานเมื่อแหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงแหล่งเดียว รูปคลื่นของแรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตแสดงดังรูปที่ 5-18 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตทั้งสองแสดงดังรูปที่ 5-19 และรูปคลื่นกระแสเอาต์พุตทั้งสองแสดงดังรูปที่ 5-20



รูปที่ 5-18 แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 และ S_4 ตามลำดับ

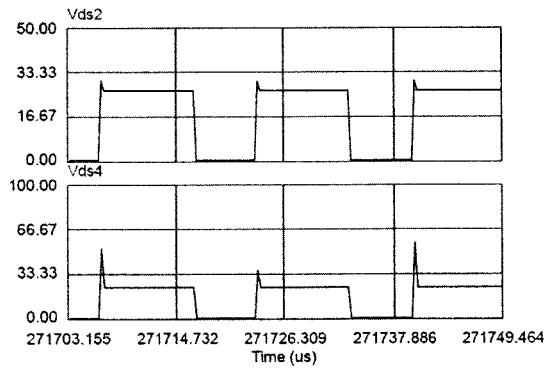


รูปที่ 5-19 แรงดันเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2

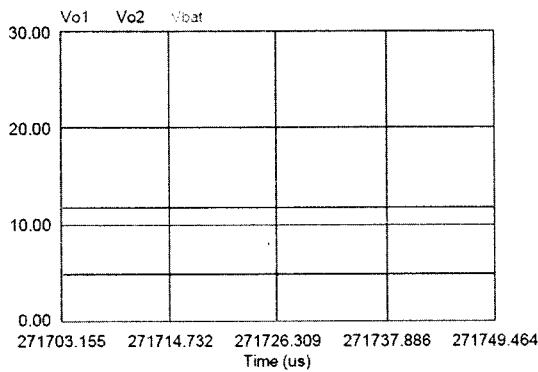


รูปที่ 5-20 กระแสเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2

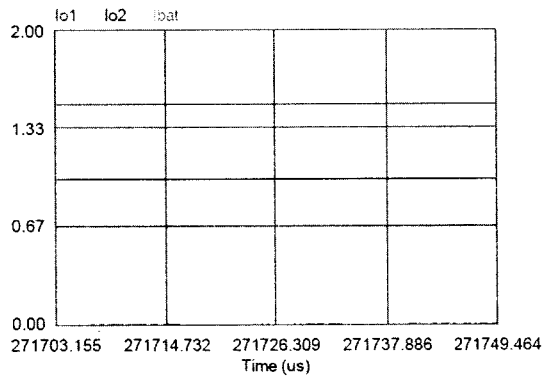
ผลการจำลองการทำงานเมื่อแหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงแหล่งเดียว รูปคลื่นของแรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตแสดงดังรูปที่ 5-21 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตทั้งสองแสดงดังรูปที่ 5-22 และรูปคลื่นกระแสเอาต์พุตทั้งสองแสดงดังรูปที่ 5-23



รูปที่ 5-21 แรงดันคร่อมสวิตช์ S_2 และ S_4 ตามลำดับ



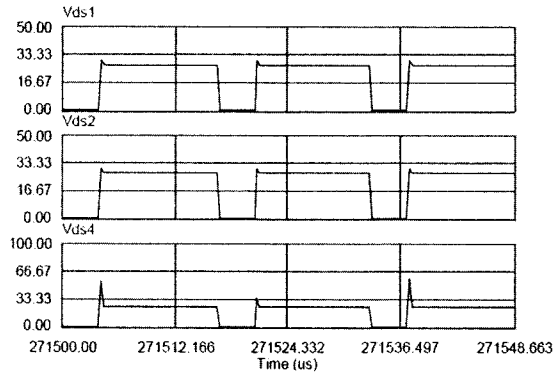
รูปที่ 5-22 แรงดันเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2



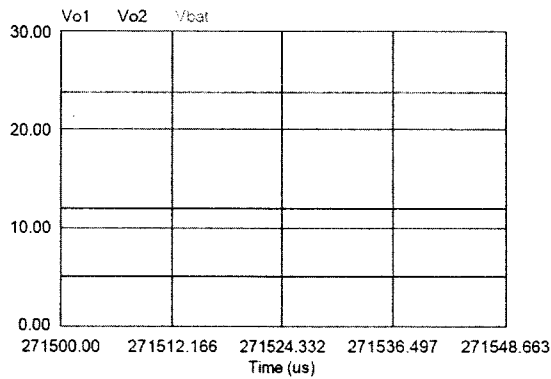
รูปที่ 5-23 กระแสเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2

โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode)

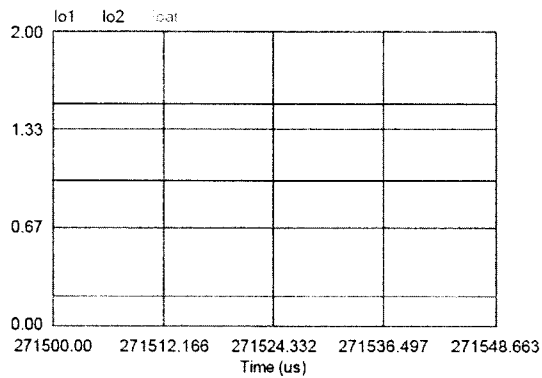
ผลการจำลองการทำงานเมื่อแหล่งจ่ายทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน รูปคลื่นของแรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตแสดงดังรูปที่ 5-24 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตทั้งสองและแรงดันแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5-25 และรูปคลื่นกระแสเอาต์พุตทั้งสองและกระแสชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5-26



รูปที่ 5-24 แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_4 ตามลำดับ

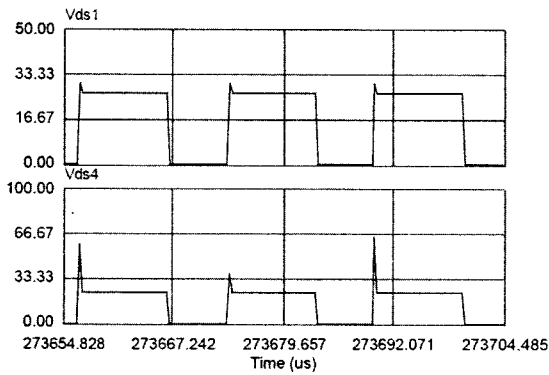


รูปที่ 5-25 แรงดันเอาต์พุต 1, เอาต์พุต 2 และแรงดันชาร์จแบตเตอรี่

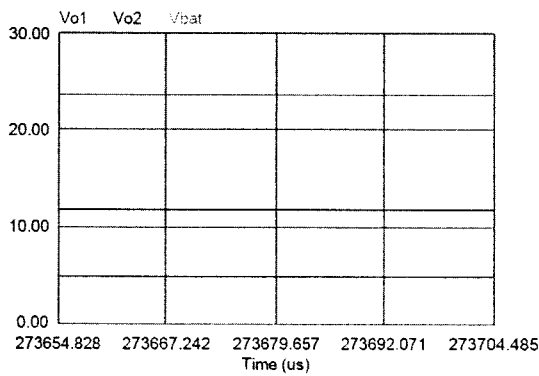


รูปที่ 5-26 กระแสเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 และกระแสชาร์จแบตเตอรี่

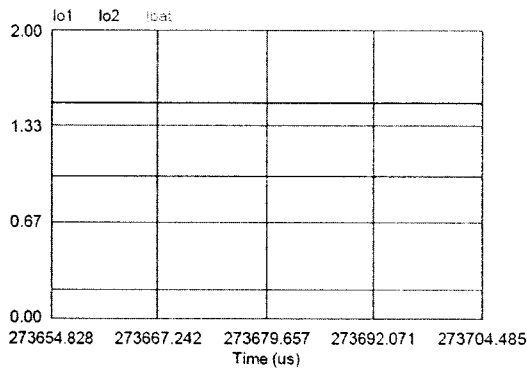
ผลการจำลองการทำงานเมื่อแหล่งจ่าย V_{in1} ทำงาน รูปคลื่นของแรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุต แสดงดังรูปที่ 5-27 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตทั้งสองและแรงดันแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5-28 และ รูปคลื่นกระแสเอาต์พุตทั้งสองและกระแสชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5-29



รูปที่ 5-27 แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 และ S_4 ตามลำดับ

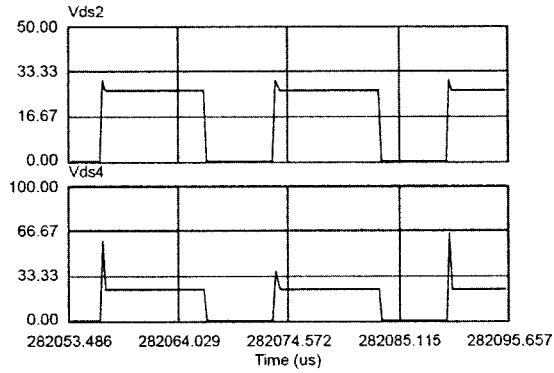


รูปที่ 5-28 แรงดันเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 และแรงดันชาร์จแบตเตอรี่

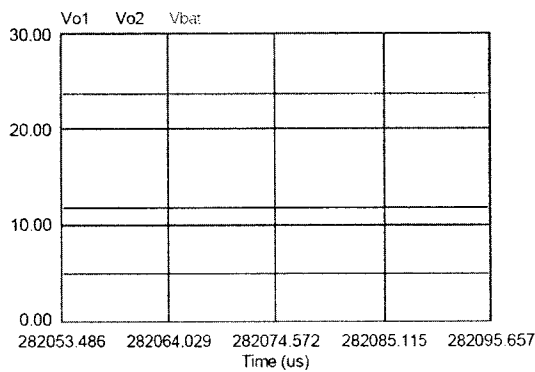


รูปที่ 5-29 กระแสเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 และกระแสชาร์จแบตเตอรี่

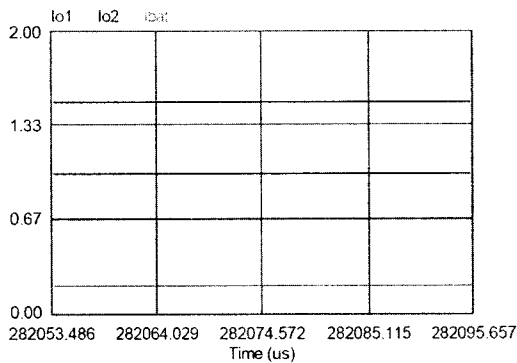
ผลการจำลองการทำงานเมื่อแหล่งจ่าย V_{in2} ทำงาน รูปคลื่นของแรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุต แสดงดังรูปที่ 5-30 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตทั้งสองและแรงดันแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5-31 และ รูปคลื่นกระแสเอาต์พุตทั้งสองและกระแสชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5-32



รูปที่ 5-30 แรงดันคร่อมสวิตช์ S_2 และ S_4 ตามลำดับ



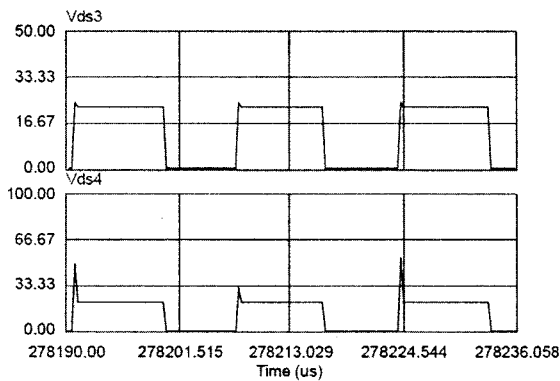
รูปที่ 5-31 แรงดันเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 และแรงดันชาร์จแบตเตอรี่



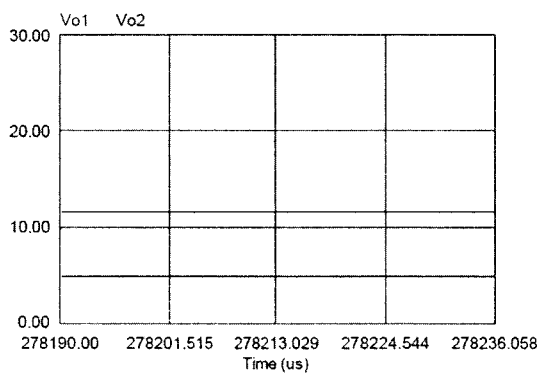
รูปที่ 5-32 กระแสเอาต์พุต 1 เอาต์พุต 2 และกระแสชาร์จแบตเตอรี่

โหมดแบ็คอัพ (Backup mode)

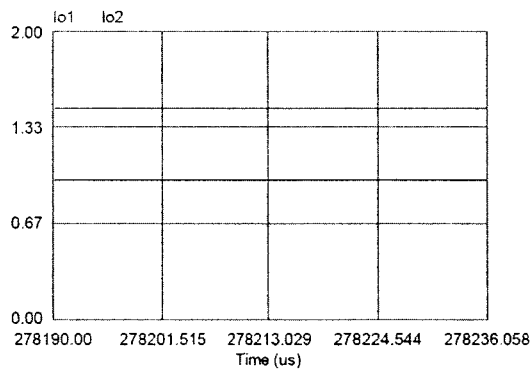
ผลการจำลองการทำงานเมื่อแบตเตอรี่ทำงานเป็นแหล่งจ่าย รูปคลื่นของแรงดันที่อุปกรณ์ด้านอินพุตแสดงดังรูปที่ 5-33 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตทั้งสองแสดงดังรูปที่ 5-34 และรูปคลื่นกระแสเอาต์พุตทั้งสองแสดงดังรูปที่ 5-35



รูปที่ 5-33 แรงดันคร่อมสวิตช์ S_3 และ S_4 ตามลำดับ



รูปที่ 5-34 แรงดันเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2



รูปที่ 5-35 กระแสเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2

5.5 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของวงจร

ในการควบคุมการทำงานจะรับค่าแรงดันจากแต่ละแหล่งจ่ายมาเปรียบเทียบโดยใช้ไอซี Comparator ซึ่งค่าที่ได้จะอยู่ในรูปลอจิก “0” กับ “1” จากนั้นผ่านไอซีลอจิกต่าง ๆ เพื่อนำสัญญาณ PWM ที่สร้างจากไอซี TL494 มาใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมดการทำงาน ส่วนสัญญาณควบคุมสวิตช์ที่ได้ในโหมดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 แสดงโหมดการทำงานของวงจร

โหมดการทำงาน	ลอจิกการทำงาน			สวิตช์				
	Vin1	Vin2	Vbat	S1	S2	S3	S4	S5
1. โหมดปกติ								
- ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงาน	1	1	1	PWM	PWM	OFF	PWM	OFF
- แหล่งจ่าย Vin1 ทำงาน	1	0	1	PWM	OFF	OFF	PWM	OFF
- แหล่งจ่าย Vin2 ทำงาน	0	1	1	OFF	PWM	OFF	PWM	OFF
2. โหมดชาร์จแบตเตอรี่								
- ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงาน	1	1	0	PWM	PWM	OFF	PWM	PWM
- แหล่งจ่าย Vin1 ทำงาน	1	0	0	PWM	OFF	OFF	PWM	PWM
- แหล่งจ่าย Vin2 ทำงาน	0	1	0	OFF	PWM	OFF	PWM	PWM
3. โหมดแบ็คอัพ	0	0	1	OFF	OFF	PWM	PWM	OFF
4. โหมดหยุดการทำงาน	0	0	0	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

5.6 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจรภาคกำลัง

ในการเลือกค่าสวิตช์และอุปกรณ์ต่างในวงจร จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะค่าพิกัดของกระแสและแรงดันในส่วนต่าง ๆ ของวงจร อุปกรณ์ที่จะเลือกใช้จะต้องมีพิกัดที่สามารถทนค่าของกระแสและแรงดันได้ และชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับการทำงานของวงจรด้วย โดยในการเลือกค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 5-4

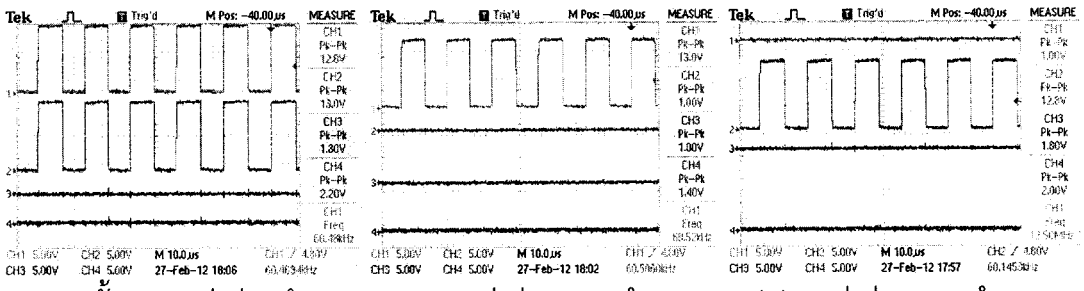
ตารางที่ 5-4 พิกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ

	อุปกรณ์/ค่า	รายละเอียด
1. สวิตช์ S_1, S_2, S_3 และ S_5	IRF530	Power MOSFET N-Ch 17A/100V, $r_{ds(on)}$ 0.16 Ω
2. สวิตช์ S_4	IRF740	Power MOSFET N-Ch 10A/400V, $r_{ds(on)}$ 0.55 Ω
3. ไดโอด $D_1, D_2, D_3, D_{01}, D_{02}$ และ D_{03}	MUR460	Ultrafast DIODE 4A/600V
4. คาปาซิเตอร์ C_1, C_2 และ C_3	3,300 μ F	50 V

5.7 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

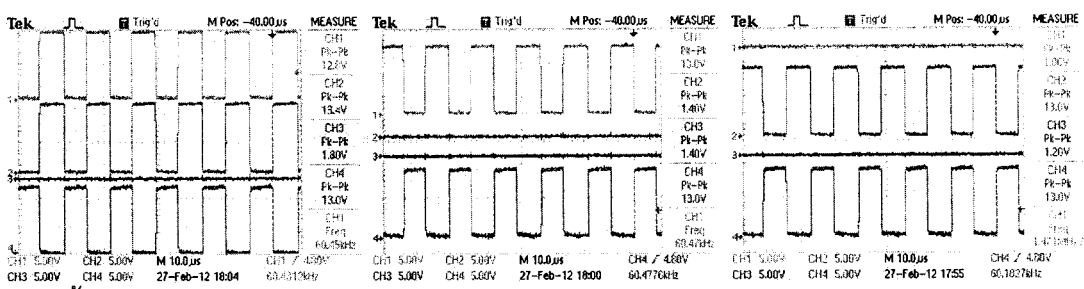
5.7.1 สัญญาณควบคุมที่ได้จากโหมดต่าง ๆ

สัญญาณควบคุมที่ได้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขขนาดของแรงดันจากทั้งสามแหล่งจ่ายคือ V_{in1}, V_{in2} และ V_{bat} โดยแต่ละสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 5-36 ถึงรูปที่ 5-39 จะประกอบด้วยสัญญาณควบคุมสวิตช์ S_1, S_2, S_3 และ S_5 ตามลำดับ



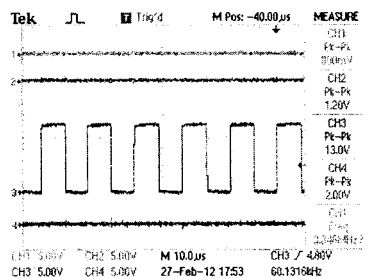
(ก) ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงาน (ข) แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงาน (ค) แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงาน

รูปที่ 5-36 สัญญาณควบคุมในโหมดปกติ

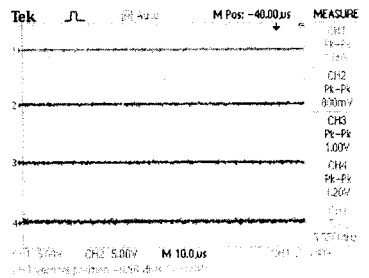


(ก) ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงาน (ข) แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงาน (ค) แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงาน

รูปที่ 5-37 สัญญาณควบคุมในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

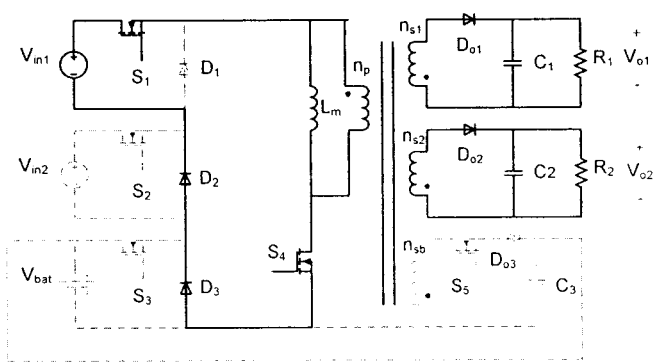


รูปที่ 5-38 สัญญาณควบคุมในโหมดแบ็คคัพ



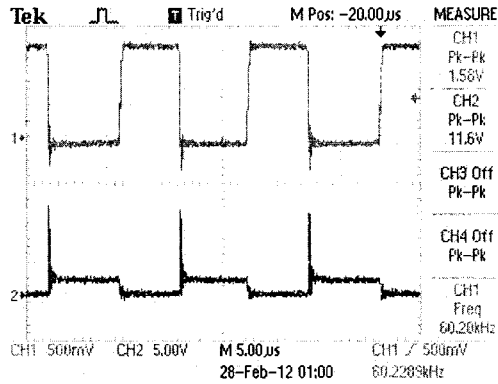
รูปที่ 5-39 สัญญาณควบคุมในโหมดหยุดทำงาน

5.7.2 การทดสอบการทำงานของวงจร

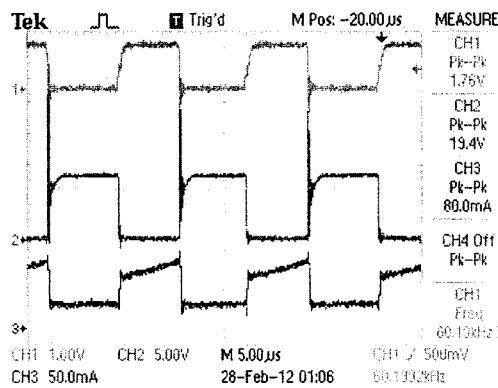


รูปที่ 5-40 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ

ในเบื้องต้นจะเป็นการทดสอบการทำงานในโหมดปกติดังแสดงในรูปที่ 5-40 โดยป้อนแหล่งจ่ายแรงดันขนาด 30 V ให้กับอินพุตที่ 1 ของวงจร และทางด้านเอาต์พุตของวงจรต่อกับโหลดที่ค่าพิกัดของวงจรซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

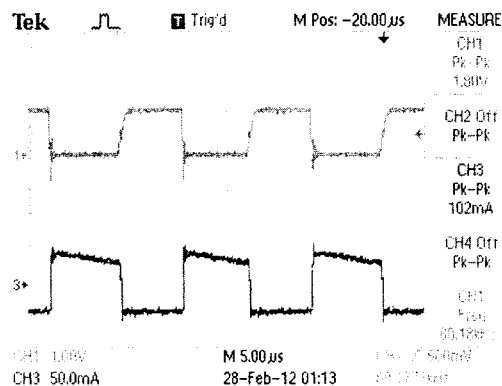


รูปที่ 5-41 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_1 (V_{gs1}) และแรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1}) ตามลำดับ

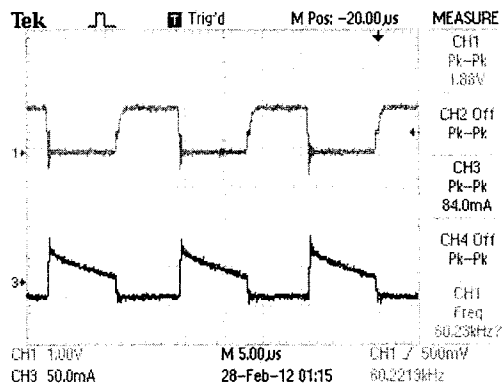


รูปที่ 5-42 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) แรงดันคร่อมสวิตช์ S_4 (V_{ds4})

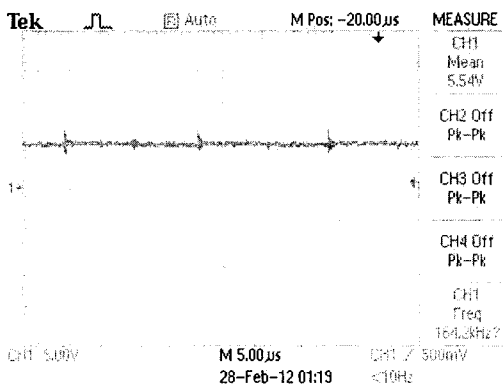
และกระแสที่ไหลทางด้านปฐมภูมิตามลำดับ



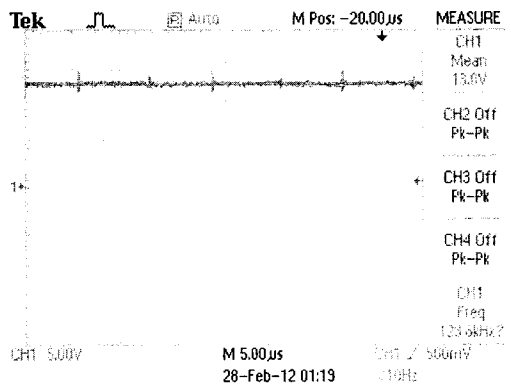
รูปที่ 5-43 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o1}) ตามลำดับ



รูปที่ 5-44 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2})ตามลำดับ



รูปที่ 5-45 แรงดันเอาต์พุตที่ 1 (V_{o1})



รูปที่ 5-46 แรงดันเอาต์พุตที่ 2 (V_{o2})

5.8 ประสิทธิภาพของวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ

จากการทดลองในโหมดปกติ แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียวโดยให้วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัด สามารถคำนวณประสิทธิภาพได้เท่ากับ 69.07 % ตามตารางที่ 5-5 ซึ่งจากรูปคลื่นของผลการทดลองจะพบว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ น่าจะเกิดจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของตัวหม้อแปลง (Leakage Inductance) ซึ่งนอกจากจะสูญเสียไปในวงจร Snubber แล้วยังจะต้องสูญเสียไปเนื่องจากการสวิตช์อีกด้วย สังเกตได้จากค่าแรงดันสไปค์ (Voltage spike) ที่สวิตช์ยังมีค่าที่สูงอยู่

ตารางที่ 5-5 ประสิทธิภาพของวงจร

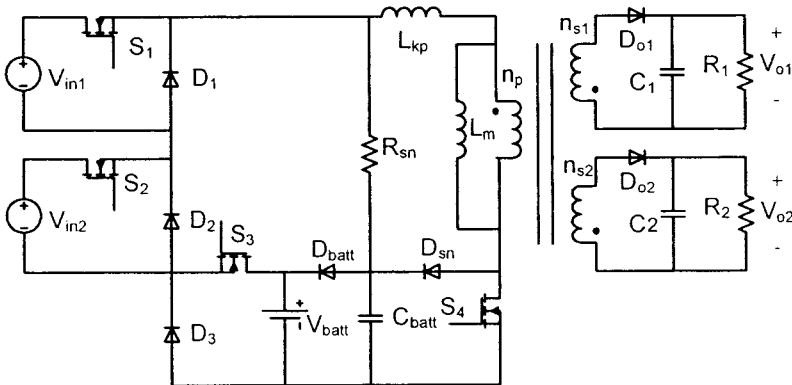
Input			Output 1			Output 2			ประสิทธิภาพ (%)
$V_{in1}(V)$	$I_{in1}(A)$	$P_{in}(W)$	$V_{o1}(V)$	$R_{o1}(ohm)$	$P_{o1}(W)$	$V_{o2}(V)$	$R_{o2}(ohm)$	$P_{o2}(W)$	
30	1	30	5.24	3.4	8.08	12.52	12.4	12.64	69.07

บทที่ 6

การปรับปรุงประสิทธิภาพวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุต

บทที่ผ่านมาแสดงการออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบใหม่ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรโดยเปลี่ยนการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายเป็นแบบอนุกรมและออกแบบอุปกรณ์โดยคำนึงประสิทธิภาพโดยรวมเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามจากการทดสอบการทำงานในโหมดปกติ โดยแหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียว เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัด วงจรมีประสิทธิภาพ 69.07% ซึ่งจากรูปคลื่นของผลการทดลองพบว่า กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วของหม้อแปลง (Leakage Inductance) นอกจากนี้ยังสูญเสียในวงจร snubber (Snubber) และยังมี การสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์อีกด้วย โดยสังเกตได้จากค่าแรงดันสไปค์ (Voltage spike) ที่สวิตช์ยังมีค่าสูงอยู่

ในบทนี้จึงออกแบบวงจรเพื่อปรับปรุงวงจรต้นแบบโดยการดัดแปลงที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำรั่ว ซึ่งจะสูญเสียไปในวงจร snubber มาชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อลดค่ายอดของแรงดันสไปค์และกำลังสูญเสียในวงจร snubber โดยรูปแบบวงจรที่ทำการปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 6-1

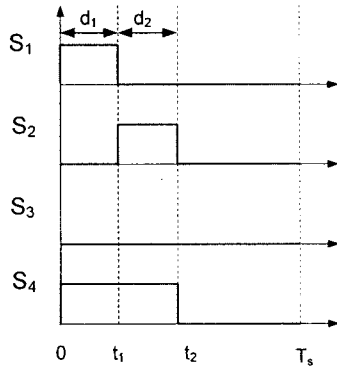


รูปที่ 6-1 วงจรต้นแบบที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพ

6.1 หลักการทำงานของวงจรต้นแบบ

โหมดปกติ (Normal mode)

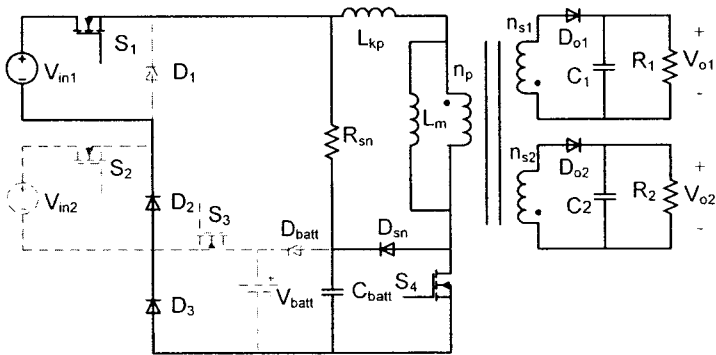
แหล่งจ่ายทั้งสองพร้อมทำงาน กำหนดให้ S_1 เป็นสวิตช์ที่ใช้ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่าย V_{in1} โดยมีรอบทำงาน (Duty cycle) เท่ากับ d_1 ส่วน S_2 เป็นสวิตช์ที่ใช้ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่าย V_{in2} โดยมีรอบทำงานเท่ากับ d_2 การจัดการพลังงานไฟฟ้าจากทั้งสองแหล่งจ่ายสามารถทำได้โดยการควบคุมค่ารอบทำงานทั้งสองนี้ ส่วนรอบทำงานของสวิตช์ S_4 จะเป็นตัวควบคุมการคงค่าของแรงดันต้านออก รูปสัญญาณควบคุมในโหมดปกติแสดงดังรูปที่ 6-2



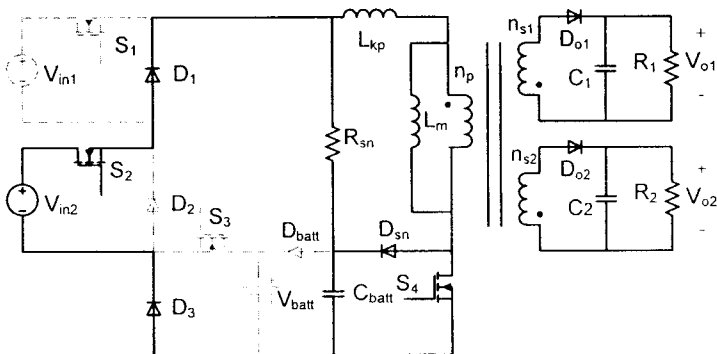
รูปที่ 6-2 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติ

ในโหมดปกติ ช่วงเวลา $0-t_1$ แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงาน รูปวงจรมูลแสดงดังรูปที่ 6-3 ในช่วงเวลา t_1-t_2 แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงาน รูปวงจรมูลแสดงดังรูปที่ 6-4 จากวงจรมูลสามารถวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุตแต่ละเอาต์พุตได้ดังนี้

$$V_{oj} = \frac{n_{sj}}{n_p} \left[\frac{(V_{in1} - V_{in2})d_1 + V_{in2}d_2}{1 - d_2} \right] \quad (6-1)$$



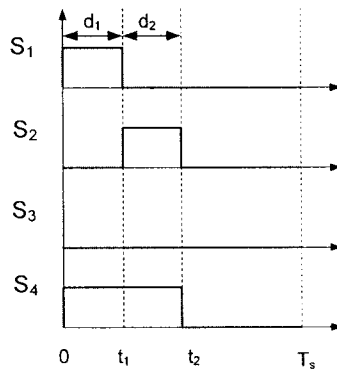
รูปที่ 6-3 แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานในโหมดปกติ



รูปที่ 6-4 แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานในโหมดปกติ

โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode)

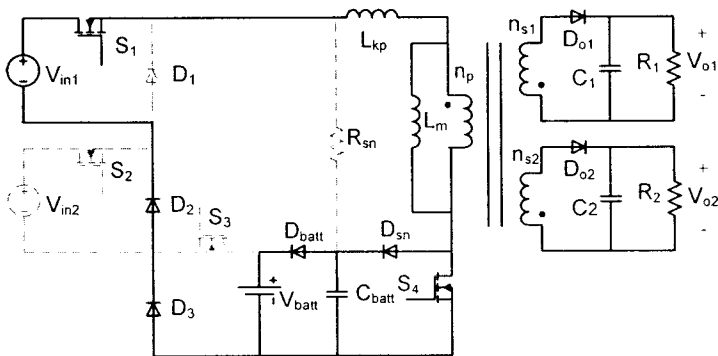
เพื่อลดผลของแรงดันสไปค์ตกคร่อมสวิตช์ในหม้อแปลงพลาเยแบคอันเกิดจากตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลและเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรต้นแบบ แบตเตอรี่ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองจะถูกต่อคร่อมสวิตช์ของวงจรพลาเยแบค S_4 เมื่อแรงดันในแบตเตอรี่ลดต่ำลง กำลังไฟฟ้าส่วนที่ต้องสูญเสียในสับเบอร์จะถูกส่งมาชาร์จแบตเตอรี่แทน รูปสัญญาณควบคุมในโหมดชาร์จแบตเตอรี่จะเหมือนกับโหมดปกติดังแสดงในรูปที่ 6-5



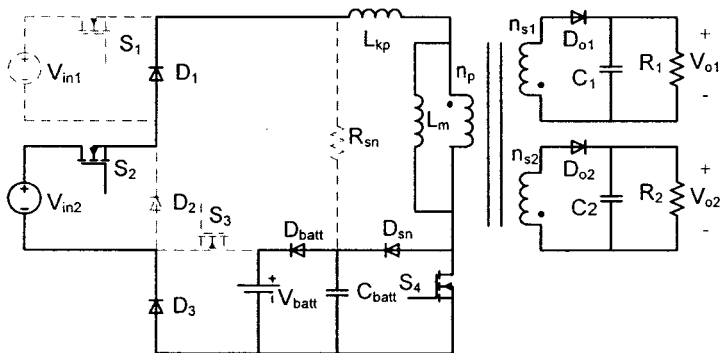
รูปที่ 6-5 สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

ในช่วงเวลา $0-t_1$ เมื่อแหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานและแรงดันที่แบตเตอรี่ลดต่ำลงกำลังไฟฟ้าส่วนที่สูญเสียในสับเบอร์จะถูกส่งมาชาร์จแบตเตอรี่ รูปวงจรสมมูลแสดงดังรูปที่ 6-6 ในทำนองเดียวกันในช่วงเวลา t_1-t_2 แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงาน รูปวงจรสมมูลแสดงดังรูปที่ 6-7 จากวงจรสมมูลสามารถวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุตแต่ละเอาต์พุตในโหมดนี้ได้ดังนี้

$$V_{oj} = \frac{n_{sj}}{n_p} \left[\frac{(V_{in1} - V_{in2})d_1 + V_{in2}d_2}{1 - d_2} \right] \quad (6-2)$$



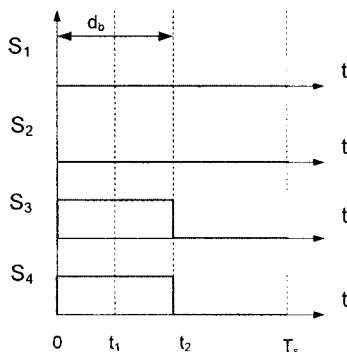
รูปที่ 6-6 แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 6-7 แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

โหมดแบ็คอัพ (Backup mode)

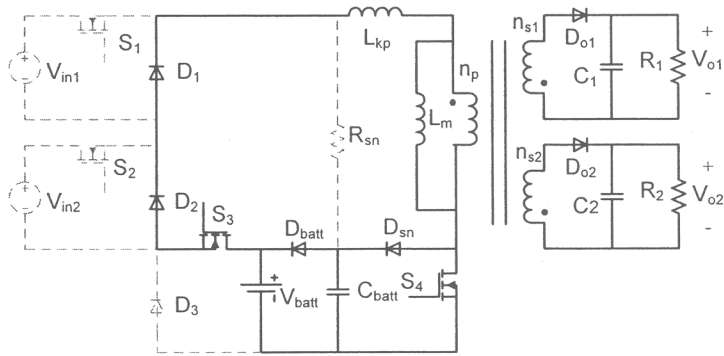
เมื่อแหล่งจ่ายหลักทั้งสองไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้จะเข้าสู่โหมดแบ็คอัพ โดยแบตเตอรี่จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองซึ่งจะถูกควบคุมผ่านทางสวิตช์ S_3 รูปสัญญาณควบคุมในโหมดแบ็คอัพแสดงดังรูปที่ 6-8



รูปที่ 6-8 สัญญาณควบคุมสวิตซ์ในโหมดแบ็คอัพ

ในช่วงเวลา $0-t_2$ แบตเตอรี่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายในโหมดแบ็คอัพเมื่อแหล่งจ่ายหลักทั้งสองไม่ทำงาน รูปวงจรมูลแสดงดังรูปที่ 6-9 ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุตแต่ละเอาต์พุตได้ดังนี้

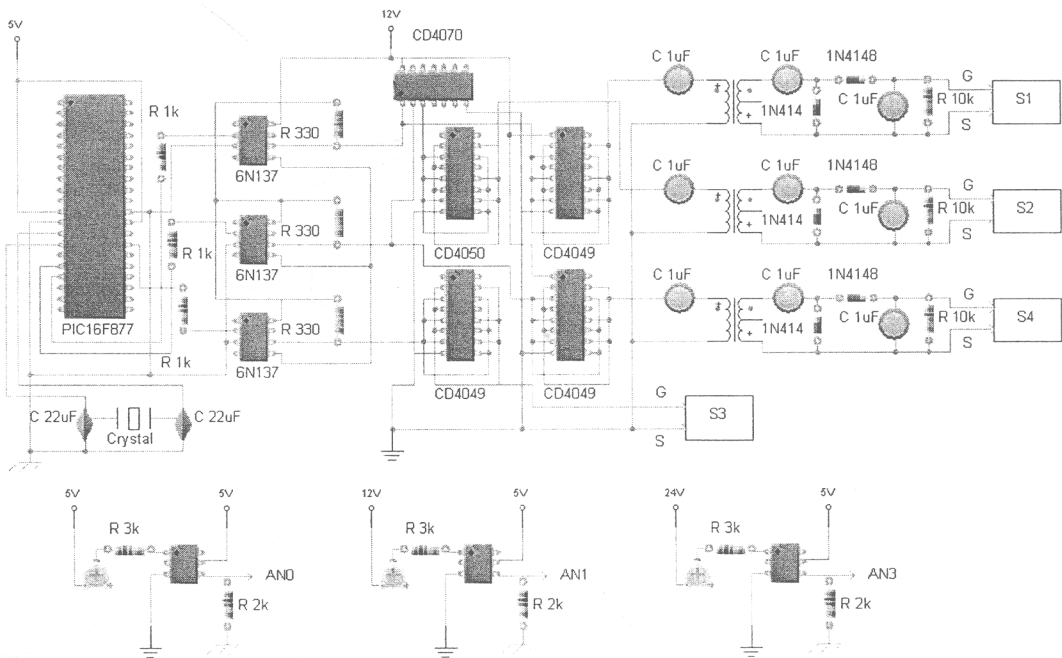
$$V_{oj} = \frac{d_b}{1-d_b} \frac{n_{sj}}{n_p} V_{bat} \quad (6-3)$$



รูปที่ 6-9 แหล่งจ่าย V_{bat} ทำงานในโหมดแบ็คอัป

6.2 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของวงจร

สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 6-1 โดยสัญญาณควบคุมและสัญญาณ PWM สร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 และผ่านวงจรแยกโดดเพื่อควบคุมสวิตช์ต่าง ๆ ในวงจรดังแสดงในรูปที่ 6-10



รูปที่ 6-10 สัญญาณควบคุมและสัญญาณ PWM สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ตารางที่ 6-1 โหมดการทำงานของวงจร

โหมดการทำงาน	ลอจิกการทำงาน			สวิตช์				
	Vin1	Vin2	Vbat	S1	S2	S3	S4	S5
1. โหมดปกติ								
- แหล่งจ่าย Vin1 ทำงาน	1	0	1	PWM	OFF	OFF	PWM	OFF
- แหล่งจ่าย Vin2 ทำงาน	0	1	1	OFF	PWM	OFF	PWM	OFF
2. โหมดชาร์จแบตเตอรี่								
- แหล่งจ่าย Vin1 ทำงาน	1	0	0	PWM	OFF	OFF	PWM	PWM
- แหล่งจ่าย Vin2 ทำงาน	0	1	0	OFF	PWM	OFF	PWM	PWM
3. โหมดแบ็คอัป	0	0	1	OFF	OFF	PWM	PWM	OFF
4. โหมดหยุดการทำงาน	0	0	0	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

6.3 การเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจรภาคกำลัง

การเลือกสวิตช์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะค่าพิกัดของกระแสและแรงดันในส่วนต่าง ๆ ของวงจร อุปกรณ์ที่เลือกใช้ต้องมีพิกัดที่สามารถทนค่าของกระแสและแรงดันได้ และชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับการทำงานของวงจรด้วย อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เลือกใช้ในวงจรต้นแบบแสดงดังตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-2 พิกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ

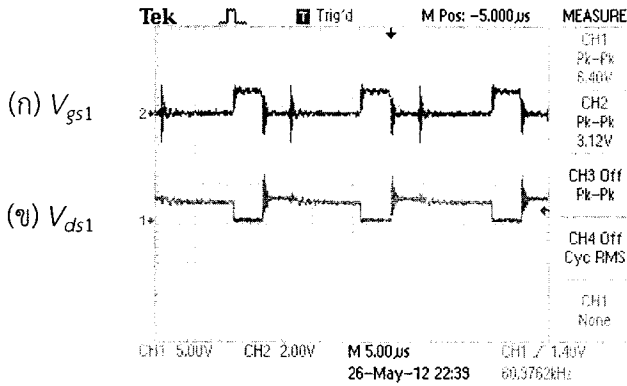
พารามิเตอร์	อุปกรณ์/ค่า	รายละเอียด
1. สวิตช์ S_1, S_2, S_3	IRF530	Power MOSFET N-CH 17A/100V, $r_{ds(on)}$ 0.16 Ω
2. สวิตช์ S_4	IRF740	Power MOSFET N-CH 10A/400V, $r_{ds(on)}$ 0.55 Ω
3. ไดโอด $D_1, D_2, D_3, D_{01}, D_{02}$ และ D_{03}	MUR460	Ultrafast DIODE 4A/600V
4. คาปาซิเตอร์ C_1, C_2 และ C_3	3,300 μ F	50 V

6.4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

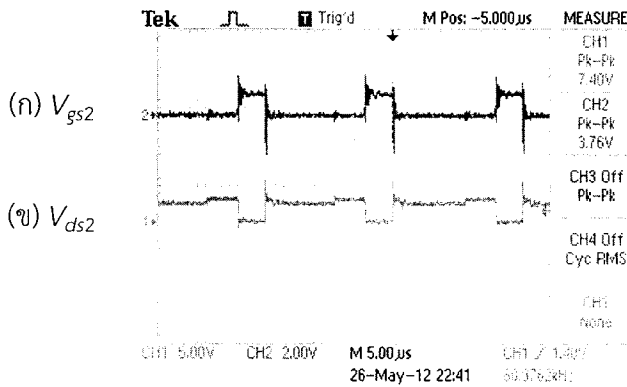
6.4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบเมื่อทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน

ในเบื้องต้นเป็นการทดสอบการทำงานในโหมดปกติ โดยทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน โดยป้อนแหล่งจ่ายแรงดันขนาด 30 V ให้กับทั้งสองอินพุตของวงจรและทางด้านเอาต์พุตของวงจรต่อกับโหลดที่ค่าพิกัดของวงจรซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้ รูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์ S_1 (V_{gs1}) และแรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1}) แสดงดังรูปที่ 6-11 รูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์ S_2 (V_{gs2}) และแรงดันคร่อมสวิตช์ S_2 (V_{ds2}) แสดงดังรูปที่ 6-12 รูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_4

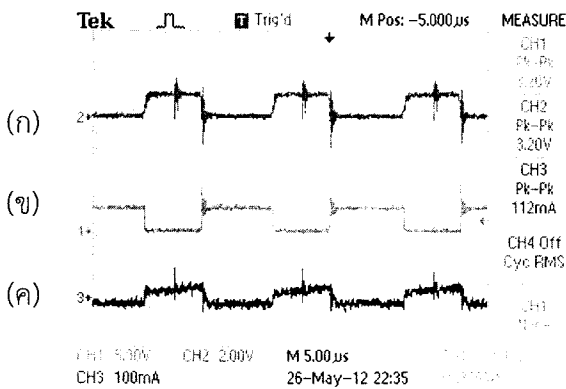
(V_{ds4}) และกระแสที่ไหลทางด้านปฏุมภูมิแสดงดังรูปที่ 6-13 ส่วนผลการทดสอบแรงดันและกระแส ด้านเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 6-14 และรูปที่ 6-15



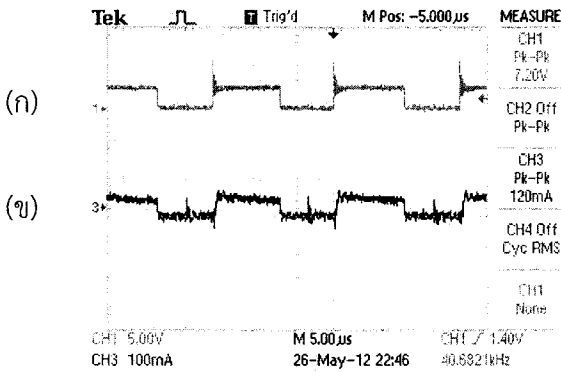
รูปที่ 6-11 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_1 (V_{gs1}) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1})



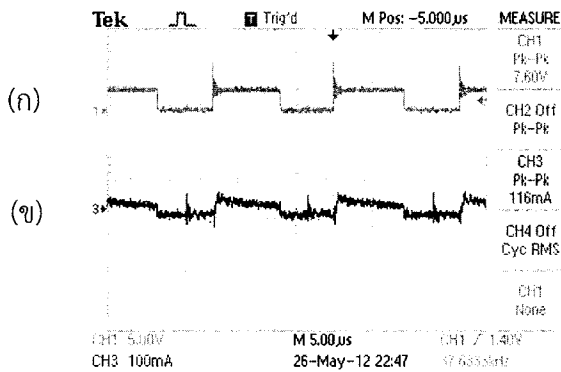
รูปที่ 6-12 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_2 (V_{gs2}) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S_2 (V_{ds2})



รูปที่ 6-13 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S_4 (V_{ds4}) และ (ค) กระแสที่ไหลทางด้านปฏุมภูมิ



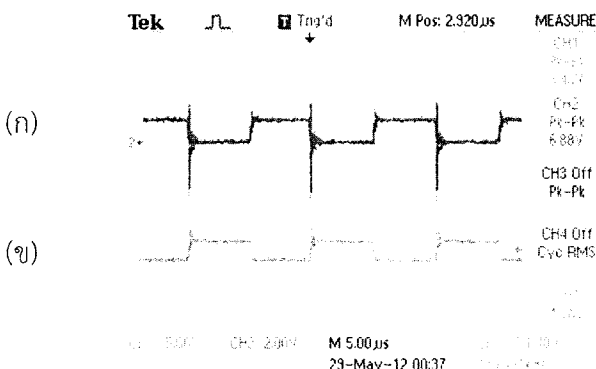
รูปที่ 6-14 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) (ข) กระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o1})



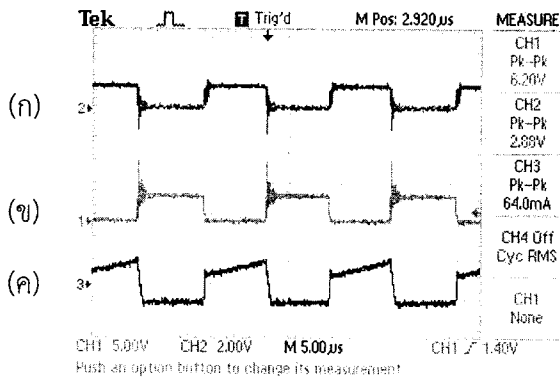
รูปที่ 6-15 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) (ข) กระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2})

6.4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบเมื่อแหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานแหล่งจ่ายเดียว

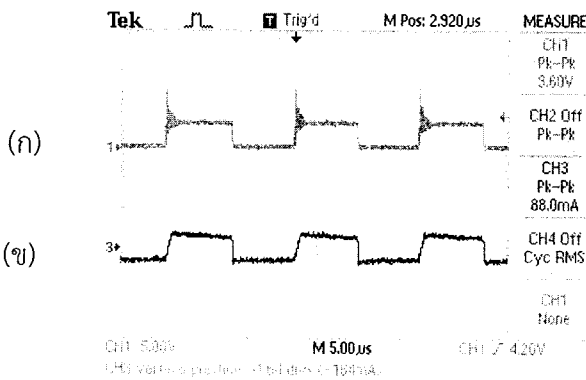
การทดสอบการทำงานในโหมดปกติ เมื่อแหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานแหล่งจ่ายเดียว รอบทำงานของสวิตช์ S_1 จะเท่ากับรอบทำงานของสวิตช์ S_4 โดยป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน 30 V ให้อินพุตที่ 1 ของวงจรและด้านเอาต์พุตต่อกับโหลดที่ค่าพิกัด ผลการทดลองเป็นดังนี้ รูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์ S_1 (V_{gs1}) และแรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1}) แสดงดังรูปที่ 6-16 รูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}), แรงดันคร่อมสวิตช์ S_4 (V_{ds4}) และกระแสทางด้านปฐมภูมิแสดงดังรูปที่ 6-17 ส่วนผลการทดสอบแรงดันและกระแสด้านเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 6-18 และ 6-19



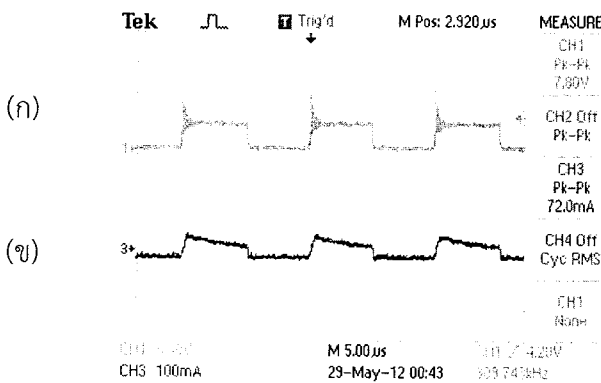
รูปที่ 6-16 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_1 (V_{gs1}) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S_1 (V_{ds1})



รูปที่ 6-17 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}), (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S_4 (V_{ds4}) และ (ค) กระแสที่ไหลทางด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 6-18 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o1})

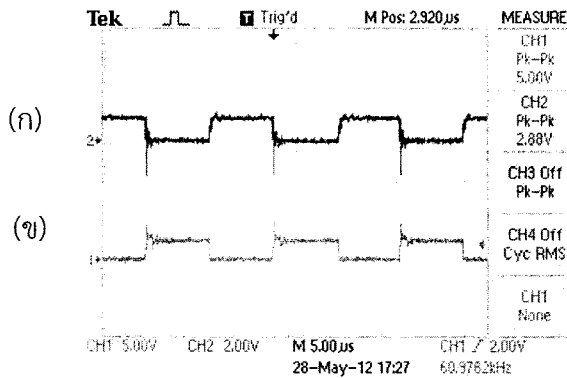


รูปที่ 6-19 แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) และกระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2})

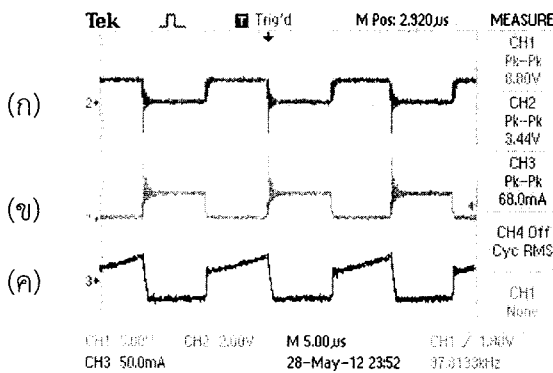
6.4.3 การทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบเมื่อแหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานแหล่งจ่ายเดียว

ในการทดสอบการทำงานในโหมดปกติเมื่อมีแหล่งจ่าย V_{in2} เพียงแหล่งจ่ายเดียวทำงาน วงรอบการทำงานของสวิตช์ S_2 จะเท่ากับสวิตช์ S_4 โดยป้อนแหล่งจ่ายแรงดันขนาด 30 V ให้กับ อินพุตที่ 1 ของวงจรและทางด้านเอาต์พุตของวงจรต่อกับโหลดที่ค่าพิกัด ซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ โดยรูปคลื่นแรงดัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้ รูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์ S_2 (V_{gs2}) และแรงดันคร่อม

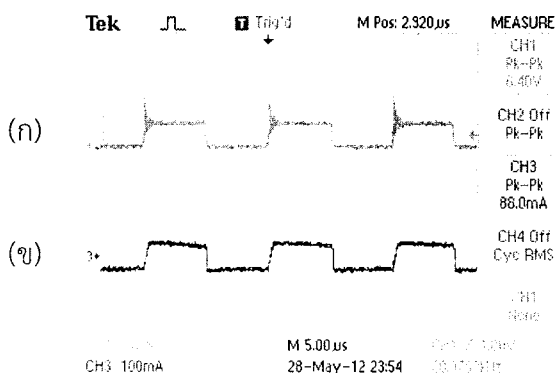
สวิตช์ S_2 (V_{ds2}) แสดงดังรูปที่ 6-20 รูปคลื่นแรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) แรงดันคร่อมสวิตช์ S_4 (V_{ds4}) และกระแสที่ไหลทางด้านปฐมภูมิแสดงดังรูปที่ 6-21 ส่วนผลการทดสอบแรงดันและกระแสด้านเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 6-22 และรูปที่ 6-23



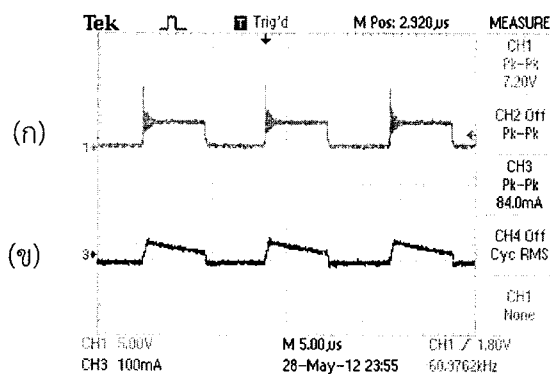
รูปที่ 6-20 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_2 (V_{gs2}) (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S_2 (V_{ds2})



รูปที่ 6-21 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}), (ข) แรงดันคร่อมสวิตช์ S_4 (V_{ds4}) และ (ค) กระแสที่ไหลทางด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 6-22 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) (ข) กระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o1})



รูปที่ 6-23 (ก) แรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 (V_{gs4}) (ข) กระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิ (I_{o2})

6.5 ประสิทธิภาพของวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ

จากการทดสอบการทำงานในโหมดปกติ โดยทดสอบทั้ง 3 กรณี คือ แหล่งจ่ายทั้งสองทำงานพร้อมกัน แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียว และแหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว โดยให้วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัด สามารถคำนวณประสิทธิภาพในแต่ละกรณีได้ตามตารางที่ 6-3 ซึ่งจะเห็นว่า ในกรณีที่แหล่งจ่ายเพียงแหล่งเดียวทำงาน วงจรจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีที่สองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีสองแหล่งจ่ายเกิดกำลังสูญเสียที่สวิตช์มากกว่า อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรต้นแบบที่ได้ปรับปรุงมีค่าประมาณ 80% ซึ่งสูงกว่าวงจรเดิมและมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายต่อไป

ตารางที่ 6-3 ประสิทธิภาพของวงจร

การทดลอง	Vin1 (V)	Iin1 (A)	Vin2 (V)	Iin2 (A)	Pin (W)	Vbatt (V)	Ibatt (A)	Vo1 (V)	Ro1 (Ω)	Vo2 (V)	Ro2 (Ω)	Pout (W)	ประสิทธิภาพ (%)
1. Vin1 และ Vin2 ทำงาน	32.36	0.40	31.78	0.48	28.20	32.52	0.05	5.09	3.30	12.34	12.00	22.17	78.61
2. Vin1 ทำงาน	26.43	1.01	-	-	26.69	31.45	0.05	5.03	3.30	12.07	12.00	21.38	80.09
3. Vin2 ทำงาน	-	-	27.08	1.00	27.08	31.30	0.05	5.00	3.30	12.14	12.00	21.42	79.11

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิกลม ธีรภาพจรเดช และคณะผู้วิจัย, รายงานวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการศึกษาเบื้องต้นในเทคโนโลยีและศักยภาพทางการวิจัยและพัฒนาของ สถาบันอุดมศึกษาไทยทางด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย, 2007.
- [2] S. Roundy, D. Steingart, L. Frechette, P. K. Wright, and J. M. Rabaey, "Power Sources for Wireless Sensor Networks," presented at Proc. of EWSN, Jan. 2004.
- [3] P. Zhang, C. M. Sadler, S. A. Lyon, and M. Martonori, "Hardware design experiences in zebranet," presented at Proceeding of SenSys, Nov 2004.
- [4] M. Rahimi, H. Shah, G. Sukhatme, J. Heidemann, and D. Estrin, "Studying the Feasibility of Energy Harvesting in a Mobile Sensor Network," presented at Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 2003.
- [5] G. K. Ottman, H. F. Hofmann, and G. A. Lesieutre, "Optimized piezoelectric energy harvesting circuit using step-down converter in discontinuous conduction mode," *IEEE trans. on power electronics*, vol. 18, March 2003.
- [6] S. Roundy and P. K. Wright, "A Piezoelectric Vibration Based Generator for Wireless Electronics," *Smart material and structure*, vol. 13, 2004.
- [7] 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.
- [8] Y. M. Chen, Y. C. Liu and S. H. Lin. "Double-Input PWM DC/DC Converter for High-/Low-Voltage Sources", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. vol. 53, no 5, pp. 1538-1545, Oct 2006.
- [9] K. P. Yalamanchili, M. Ferdowsi and K. Corzine. "New Double Input DC-DC Converters for Automotive", *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, vol.06, pp.1-6, Sept 2006.
- [10] R. W. Erickson and D. Maksimovic. "Fundamentals of Power Electronics Second Edition", Kluwer Academic Publisher, 2001.

- [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] A.U.Chuku, B.Oni, F.Kuate, E.Overton. “Teaching solar Energy Applications Using In-House Developed Testbench” , Proceedings of the Thirty - Seventh Southeastern Symposium on System Theory. vol.05, pp.346-351, Mar 2005.
- [19] R. Ramakumar, N. G. Butler, A. P. Rodriguez and S. S. Venkata. “Economic aspects of advanced energy technologies” , Proceedings of the IEEE. vol. 81, no. 3, pp. 318–332, Mar 1993.

- [20] E. Muljadi and H. E. McKenna. "Power quality issues in a hybrid power system", IEEE Transactions on Industry Applications. vol. 38, no. 3, pp. 803–809, May/Jun 2002.
- [21] S. M. Alghuwainem. "Performance analysis of a PV powered dc motor driving a 3 - phase self – excited induction generator", IEEE Transaction on Energy Conversion,. vol. 11, no. 1, pp. 155–161, Mar 1996.
- [21] E. Muljadi and R. Taylor "PV water pumping with a peak-power tracker using a simple six-step square-wave inverter", Conference Record of Industry Applications. vol. 1,pp. 133-142, Oct 1996.
- [22] Z. Chen and E. Spooner. "Grid power quality with variable speed wind turbines", IEEE Transaction on Energy Conversion. vol. 16, no. 2, pp. 148-154, June 2001.
- [23] F. Giraud and Z. M. Salameh. "Steady-state performance of a gridconnected rooftop hybrid wind-Photo-voltaic power system with battery storage", IEEE Transaction on Energy Conversion. vol. 16, no. 1, pp. 1-7,Mar 2001.
- [24] W. M. Kwok and S. L. Yim. "An Integrated Flyback Converter for DC Uninterruptible Power Supply", IEEE Transactions on Power Electronics, vol.11, no 2, pp. 318-327, Mar 1996.
- [25] N. C. Yi, C. L. Deng, C. T. Kuo and W. W. Cheng "A MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT POWER CONVERTER WITH EFFICIENT POWER MANAGEMENT", Journal of the Chinese Institute of Engineers, vol.30, no. 7, pp.1277-1286, 2007.

ภาคผนวก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- ก.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตที่มีอัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้ขดลวดปฐมภูมิร่วมกัน
(A High Voltage Gain Double-Input DC-DC Converter with Single-Primary Winding)
ธวัชชัย เครือเตียว จิรวัดน์ ฉายแสงเจริญ กุสุมาลย์ เฉลิมยานนท์ อนุวัตร ประเสริฐสิทธิ์
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 34 (EECON-34) 30 พฤศจิกายน – 2 ธันวาคม
2554 มหาวิทยาลัยสยาม หน้า 369-372
- ก.2 การพัฒนาต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุตมัลติเปิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่
(Development of an Integrated Double-Input Multiple-Output Converter Topology with Battery Charger)
ปรีชญา สัตยารักษ์ กุสุมาลย์ เฉลิมยานนท์ ญัฐฐา จินดาเพ็ชร
วิศวกรรมลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ปีที่ 28 ฉบับที่ 1 หน้า 13-18

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตที่มีอัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้ขดลวดทางด้านปฐมภูมิร่วมกัน

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

รัชชัย เครือเตียว จิรวัดน์ ฉายแสงเจริญ กุศุมลย์ เฉลิมยานนท์ อนุวัตร ประเสริฐสิทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตที่มีอัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้ขดลวดทางด้านปฐมภูมิร่วมกัน จุดเด่นของวงจรนี้คือ ใช้อุปกรณ์น้อย มีความเครียดของสวิตช์ต่ำ นอกจากนี้ทั้งสองแหล่งจ่ายยังสามารถจ่ายกำลังให้กับโหลดได้ในเวลาเดียวกัน และมีการนำพลังงานจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลส่งผ่านไปยังโหลดโดยการชาร์จตัวเก็บประจุซึ่งจะทำให้วงจรมีประสิทธิภาพดีขึ้น และเป็นส่วนช่วยเพิ่มอัตราขยายแรงดันให้สูงขึ้น วงจรนี้ถูกออกแบบให้มีขนาด 100 วัตต์ทำงานที่ 60 kHz โดยใช้จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM พร้อมทั้งอธิบายในแต่ละช่วงการทำงานและผลการจำลองการทำงานของวงจร

คำสำคัญ: วงจรหลายอินพุต, อัตราขยายแรงดันสูง, พลังงานทดแทน

Abstract

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

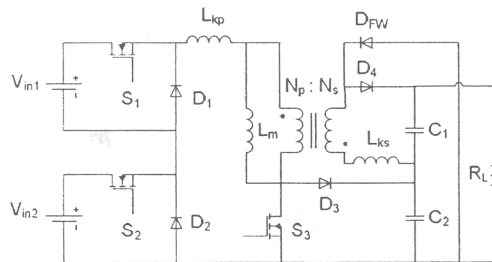
Keywords: Multiple-input, high voltage gain, renewable energy

1. บทนำ

ในปัจจุบันการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนกำลังได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากพลังงานหลักที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติซึ่งนับวันมีแต่จะหมดไป โดยพลังงานทดแทน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม มีข้อดีคือเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่เกิดมลภาวะ และมีอยู่ทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการนำพลังงานเหล่านี้มาใช้ก็คือ จะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ

ฤดูกาล เวลา และอุณหภูมิ เป็นต้น ดังนั้นในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโดยใช้เพียงแหล่งจ่ายเดียวจึงทำให้ขาดเสถียรภาพแนวทางในการแก้ปัญหานี้ก็คือ การนำพลังงานทดแทนจากหลายแหล่งจ่ายมาทำงานร่วมกัน ที่ผ่านมามีการนำเสนอวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต [1] โดยนำวงจรฟูลบริดจ์ 2 วงจรมาต่อทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง มีข้อดีคือ มีลักษณะเป็นซอฟต์สวิตชิ่ง (soft-switching) แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้สวิตช์หลายตัว ต่อมา มีการนำเสนอวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุต [2] มีข้อดีคือ มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือ มีเพียงอินพุตเดียวเท่านั้นที่ทำงานในแต่ละเวลา และมีหนึ่งอินพุตต่อหนึ่งขดลวดทางด้านปฐมภูมิทำให้หม้อแปลงมีขนาดใหญ่ จากนั้นจึงได้มีการพัฒนาวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบหลายอินพุตที่ใช้ขดลวดทางด้านปฐมภูมิร่วมกัน [3] ซึ่งนอกจากจะทำให้หม้อแปลงมีขนาดเล็กลงแล้วยังทำให้ความเครียดของสวิตช์ลดลงเมื่อเทียบกับวงจรแบบเดิม [2] แต่วงจรนี้ยังมีข้อเสียคือ ไม่ได้มีการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและอาจเกิดความเสียหายต่อสวิตช์ได้และมีข้อจำกัดคือ นำไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องการแรงดันเอาต์พุตต่ำเท่านั้น

ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตที่มีพื้นฐานมาจากวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยวงจรที่นำเสนอที่มีอัตราขยายแรงดันสูง สามารถลดผลกระทบของตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลในวงจรโดยนำพลังงานจากตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลกลับมาใช้ใหม่ในรูปของการชาร์จตัวเก็บประจุ [4] นอกจากนี้วงจรยังถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานพร้อมกันทั้งสองแหล่งจ่ายหรือจ่ายเพียงแหล่งจ่ายเดียวก็ได้



รูปที่ 1 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุต

2. หลักการทำงาน

วงจรต้นแบบในรูปที่ 1 ประกอบด้วยแหล่งจ่าย 2 แหล่งคือ V_{in1} และ V_{in2} โดยมีสวิตช์ S_1 และ S_2 เป็นตัวควบคุมการทำงานเพื่อควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายทั้งสอง และมี S_3 เป็นสวิตช์หลักในการควบคุมแรงดันด้านเอาต์พุต โดยทางด้านเอาต์พุต ไดโอด D_4 จะทำหน้าที่นำกระแสเพื่อชาร์จตัวเก็บประจุ C_1 ในขณะที่ไดโอด D_3 จะทำหน้าที่ในการนำพลังงานจากตัวความเหนี่ยวนำรีว้าไหลทางด้านปฐมภูมิ L_p มาชาร์จตัวเก็บประจุ C_2 ส่วนไดโอด D_{FW} ทำหน้าที่ให้กระแสจากตัวเหนี่ยวนำรีว้าไหล L_s ทางด้านทุติยภูมิไหลผ่านตอนชาร์จตัวเก็บประจุ C_2 ในการอธิบายการทำงานในแต่ละสภาวะของแต่ละโหมดที่ทำงานในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะสมมติให้สวิตช์แต่ละตัวเป็นอุดมคติ โดยที่ตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็ก L_m มีขนาดใหญ่มากจนสามารถจ่ายกระแสได้อย่างต่อเนื่องได้ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีขนาดใหญ่มากทำให้แรงดันที่คร่อมตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีค่าคงที่ วงจรต้นแบบสามารถควบคุมการทำงานได้ในสองโหมดคือ โหมดแหล่งจ่ายทั้งสองทำงานพร้อมกันและโหมดแหล่งจ่ายเพียงแหล่งเดียวทำงาน

2.1 โหมดทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน

ในโหมดนี้สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ทำงานพร้อมกัน การทำงานแต่ละช่วงเวลาใน 1 คาบการสวิตช์อธิบายได้ดังนี้

ช่วงที่ 1 (t_0-t_1) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 นำกระแสพร้อมกันตัวเหนี่ยวนำ L_m และ L_p ทางด้านปฐมภูมิจะถูกชาร์จจากแรงดัน V_{in1} และ V_{in2} ส่วนทางด้านทุติยภูมิ กระแสจากพลังงานที่สะสมใน L_s จะไหลไปชาร์จตัวเก็บประจุ C_1 ผ่านทางไดโอด D_4 ตามรูปที่ 2(ก)

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

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

ช่วงที่ 4 (t_3-t_4) สวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ไม่ทำงาน แต่กระแสทางด้านทุติยภูมิจะเปลี่ยนทิศทางการไหลอีกครั้ง โดยกระแสจะเปลี่ยนไปไหลไดโอด D_1 แทน เพื่อกลับไปชาร์จ C_1 ตามรูปที่ 2(ง)

ช่วงที่ 5 (t_4-t_5) พลังงานใน L_p จะปล่อยออกมาจนหมด ทำให้ไดโอด D_1 หยุดนำกระแส ส่วนทางด้านทุติยภูมิจะยังคงมีกระแสไหลในไดโอด D_1 ตามรูปที่ 2(จ)

จากการทำงานแต่ละช่วงเวลาในโหมดนี้สามารถวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุต ได้ดังนี้

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

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

2.2 โหมดแหล่งจ่ายทำงานเพียงตัวเดียว

ในกรณีที่แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียว สวิตช์ S_1 และ S_2 ทำงาน ส่วนสวิตช์ S_3 ไม่ทำงาน ช่วงที่สวิตช์ S_1 และ S_2 นำกระแส วงจรสมมูลจะเป็นไปดังรูปที่ 2(ฉ) และ 2(ช) และเมื่อสวิตช์ S_1 และ S_2 หยุดนำกระแส วงจรสมมูลจะเหมือนกับในโหมดที่ทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน ส่วนในกรณีที่แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว สวิตช์ S_2 และ S_3 ทำงาน ส่วนสวิตช์ S_1 ไม่ทำงาน โดยวงจรสมมูลในช่วงสวิตช์ทำงานจะเป็นไปดังรูปที่ 2(ซ) และ 2(ฎ)

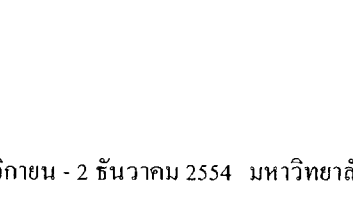
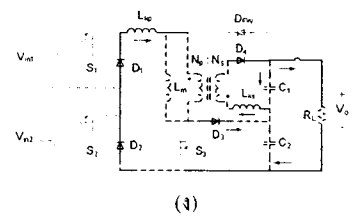
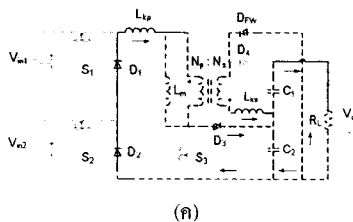
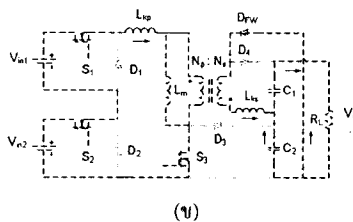
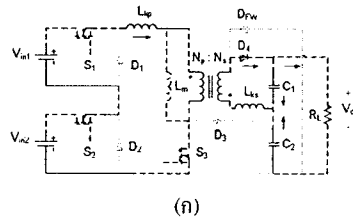
แรงดันเอาต์พุตในกรณีที่ V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียว หาได้จากสมการ

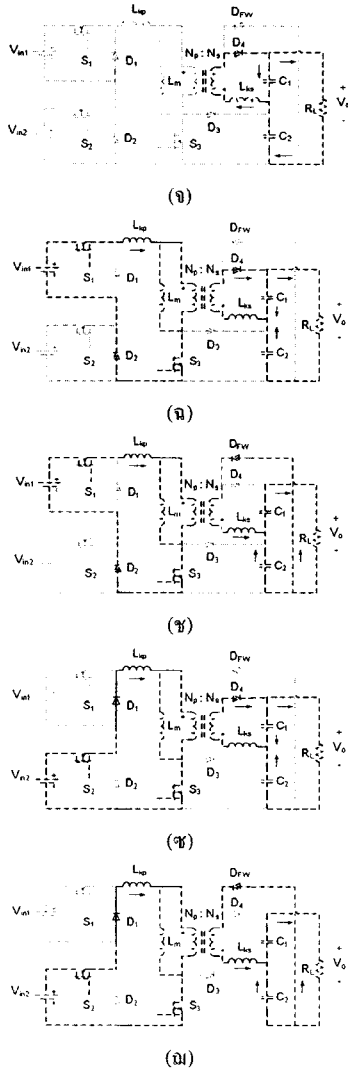
$$V_o = \frac{n}{1-D_{q2}} (V_{in2}) \quad (2)$$

และในกรณีที่ V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว จะได้

$$V_o = \frac{n}{1-D_{q3}} (V_{in2}) \quad (3)$$

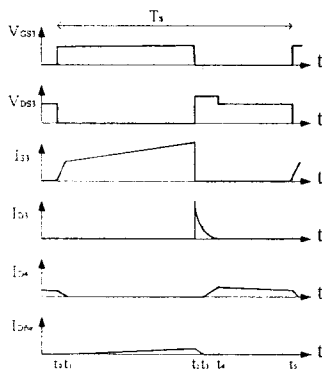
โดยที่ D_{q2} และ D_{q3} คือ ค่ารอบทำงานเมื่อแหล่งจ่าย V_{in1} และ V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียวตามลำดับ





รูปที่ 2 การทำงานของวงจรต้นแบบทั้งสองโหมดการทำงานในแต่ละช่วงเวลา

ในรูปที่ 3 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ในวงจรต้นแบบในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 3 รูปคลื่นแสดงการทำงานของวงจร

3. การควบคุมการทำงานในแต่ละโหมด

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

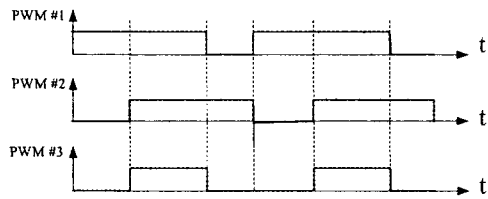
$$(1 - D_{q1}) = (1 - D_{q2}) + (1 - D_{q3}) \quad (4)$$

ซึ่งความสัมพันธ์ในสมการ (4) ใช้ในการออกแบบสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมสวิตช์ในแต่ละโหมดดังในรูปที่ 4 โดยที่

- PWM #1 เป็นสัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ S_1 และ S_2 ในโหมดแหล่งจ่าย V_{m1} ทำงานเพียงตัวเดียว

- PWM #2 เป็นสัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ S_2 และ S_3 ในโหมดแหล่งจ่าย V_{m2} ทำงานเพียงตัวเดียว

- PWM #3 เป็นสัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ S_1 , S_2 และ S_3 ในโหมดทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกันพร้อมกัน ซึ่งได้จากการนำสัญญาณ PWM#1 และ PWM #2 มา AND กัน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณควบคุมสวิตช์ในแต่ละโหมด

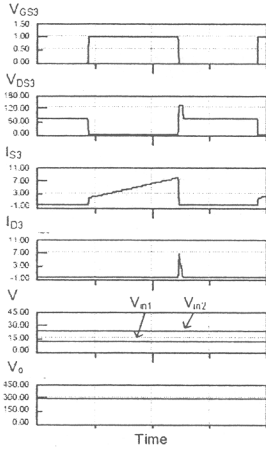
3. ผลการจำลองการทำงาน

วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบชนิดสองอินพุต สามารถจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM ในการจำลองจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

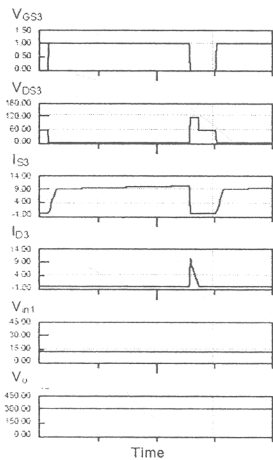
แรงดันอินพุตที่ 1: V_{m1}	= 12	V
แรงดันอินพุตที่ 2: V_{m2}	= 24	V
แรงดันเอาต์พุต: V_o	= 300	V
ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก: L_m	= 124	uH
ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลทางด้านปฐมภูมิ: L_{lp}	= 1	uH
ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลทางด้านทุติยภูมิ: L_{sp}	= 4	uH
ตัวเก็บประจุ: $C_1 = C_2$	= 330	uF
ความถี่ในการสวิตช์: f_s	= 60	kHz
อัตราส่วนหม้อแปลง: n	= 4	
กำลังเอาต์พุต: P_{out}	= 100	วัตต์

โดยผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรในโหมดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละโหมดเมื่อสวิตช์ S_1 ซึ่งเป็นสวิตช์หลักของวงจรไม่ทำงาน กระแสที่เกิดขึ้นจากค่าเหนี่ยวนำรั่วไหลจะไหลไปชาร์จตัวเก็บประจุผ่านไดโอด D_1 ดังแสดงในรูปคลื่นของกระแส I_{D1} โดยในขณะที่เดียวกันก็จะทำให้แรงดันที่คร่อมสวิตช์ S_1 เท่ากับแรงดันที่คร่อม C_2 ซึ่งในช่วงเวลานี้ก็จะเป็นการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจาก

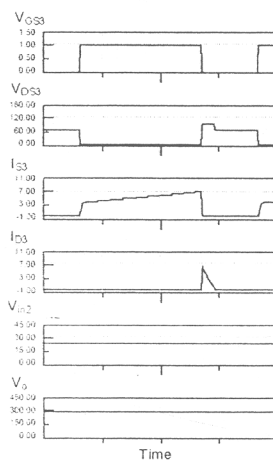
ตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลไปยังโหลด ทำให้สามารถลดกำลังสูญเสียที่เกิดจากการสวิตซ์ และช่วยทำให้ประสิทธิภาพของวงจรดีขึ้น นอกจากนี้การเชื่อมต่อกันของอินพุตกับเอาต์พุตของวงจรผ่านทางไดโอด D_2 ก็จะเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มอัตราขยายแรงดันให้กับวงจร



(ก) โหมดทั้งสองแหล่งจ่ายทำงานพร้อมกัน



(ข) แหล่งจ่าย V_{in1} ทำงานเพียงตัวเดียว



(ค) แหล่งจ่าย V_{in2} ทำงานเพียงตัวเดียว

รูปที่ 5 รูปคลื่นของผลการจำลองการทำงานในโหมดต่างๆ

4. สรุป

บทความนี้นำเสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองอินพุตที่มีอัตราขยายแรงดันสูงโดยใช้ชุดหลอดทางด้านปฐมภูมิร่วมกัน ซึ่งจากผลการจำลองการทำงานพบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยได้แสดงให้เห็นถึงการลดผลกระทบที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำรั่วไหล โดยการนำกระแสเหนี่ยวนำรั่วไหลไปชาร์จตัวเก็บประจุ ซึ่งจะส่งผลให้วงจรมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น มีอัตราขยายแรงดันสูง นอกจากนี้ยังสามารถจ่ายพลังงานพร้อมกันทั้งสองแหล่งจ่ายหรือจ่ายเพียงแหล่งจ่ายเดียวก็ได้

เอกสารอ้างอิง

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



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



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



กุดสมาลัย เฉลิมยานนท์: อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ม.สงขลานครินทร์ การศึกษา: วศ.บ วิศวกรรมไฟฟ้า ม.สงขลานครินทร์, M.S. and Ph.D. Degrees from the University of Colorado at Boulder, USA งานวิจัยที่สนใจ: Power Electronics



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

สนใจ: Power Electronics, Electric Machines

การพัฒนาต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุทมัลติเปิลเอาต์พุทแบบรวม วงจรชาร์จแบตเตอรี่

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

ปรัชญา สัตยารักษ์ กุศุมลย์ เกลิมยานนท์ ณัฏฐา จินดาเพชร
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

วงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายอินพุทหลายเอาต์พุท เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งาน เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบที่มีการใช้พลังงานจากหลายแหล่ง เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดที่ต้องการระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลายระดับเช่น ในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นต้นในบทความนี้นำเสนอต้นแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบดับเบิลอินพุทมัลติเปิลเอาต์พุท ที่มีการรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มเสถียรภาพในการทำงานของวงจร โดยวงจรต้นแบบจะประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของอินพุททั้งสอง รวมถึงควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ และดิสชาร์จในกรณีที่อินพุททั้งสองไม่ทำงาน โดยระบบจะทำงานแบบอัตโนมัติในทุกสถานการณ์ วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบสองอินพุทสามเอาต์พุท ขนาดกำลังไฟฟ้าวรวม 30 วัตต์ มีแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ ได้ถูกออกแบบและทดสอบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะการทำงานของต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุทมัลติเปิลเอาต์พุทแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ และการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

คำสำคัญ : ดับเบิลอินพุท มัลติเปิลเอาต์พุท การชาร์จประจุ

Abstract

Multiple-input multiple-output converters are properly used as a power supply for the system that uses two or more renewable energy sources supply to load that require different levels of dc voltages for example in the wireless sensor network system. This paper presents a novel double-input multiple-output converter topology integrated with battery charger to increase reliability of the converter. In this topology, microcontroller is used to control power supplied from two inputs. Moreover, it is used to control charging and discharging of battery in the backup mode of the converter. The control system is designed to work automatically in all situations. A 30W two-input three-output prototype with a 24V battery charging is constructed and tested. The experimental results are presented to verify the theoretical analysis and the effectiveness of the control system.

Keyword : Double input, Multiple output, Battery charger

1. บทนำ

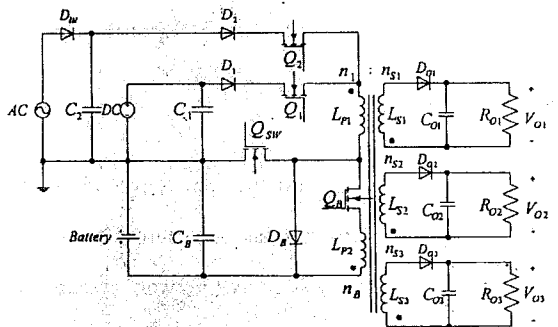
ปัจจุบันพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติถูกนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนมากขึ้น พลังงานเหล่านี้สามารถนำมาใช้ได้ตลอด ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ทั้งยังช่วยลดปัญหาการสูญเสียทรัพยากรจากธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น ก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมัน ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงาน โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าที่มาจากพลังงานหมุนเวียนเช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือพลังงานลมยังไม่สามารถนำไปจ่ายกับโหลดได้โดยตรง เนื่องจากระดับแรงดันอาจยังไม่เหมาะสมกับโหลด จึงต้องมีการใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ เพื่อปรับเปลี่ยนระดับแรงดันให้เหมาะสมตามที่โหลดต้องการ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งพลังงานเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และไม่สามารถควบคุมได้ [1]-[5] ดังนั้นในบางครั้งจึงต้องใช้แหล่งพลังงานจากหลายๆ แหล่งเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้อย่างเพียงพอ ที่ผ่านมามีการใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ หนึ่งตัวต่อเชื่อมกับแหล่งพลังงานหนึ่งแหล่ง ซึ่งทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ตามจำนวนแหล่งจ่าย ต่อมาได้มีการพัฒนาวงจรให้มีขนาดเล็กโดยรวมวงจรคอนเวอร์เตอร์เข้าด้วยกัน [6]-[7] ทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลง อย่างไรก็ตามในวงจรเหล่านี้ยังเป็นวงจรแบบเอาต์พุตเดียว และไม่มีกรรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นหัวใจหลักอย่างหนึ่งในแหล่งจ่ายที่เป็นพลังงานทดแทน

ดังนั้นในบทความนี้ จึงนำเสนอการรวมวงจรคอนเวอร์เตอร์ แบบดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุต เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว นอกจากนี้จะรวมส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อใช้เก็บพลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่าย โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการจ่ายกำลังจากแหล่งจ่ายทั้งสอง รวมทั้งใช้ควบคุมการชาร์จประจุและดิสชาร์จแบตเตอรี่ ในโหมดที่แหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงาน การกำหนดโหมดการทำงาน การวิเคราะห์วงจรรวมทั้งการออกแบบและสร้างวงจรเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุตต่อไป

2. ทฤษฎีและการออกแบบ

2.1 โครงสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ

โครงสร้างของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 1 วงจรนี้ถูกออกแบบให้สามารถใช้กับแหล่งจ่ายที่มีรูปแบบที่แตกต่างกันทั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งอาจมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ แหล่งจ่ายทั้งสองสามารถจ่ายกำลังได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน โดยควบคุมผ่านสวิทช์ Q_1 และ Q_2 นอกจากนี้ทางด้านเอาต์พุต ยังสามารถจ่ายแรงดันที่มีระดับแตกต่างกันสำหรับโหลดหลากหลายชนิด โดยอาศัยหม้อแปลงความถี่สูงเพียงตัวเดียว ตัววงจรต้นแบบจะรวมวงจรชาร์จ ซึ่งควบคุมผ่านสวิทช์ Q_{sw} และวงจรดิสชาร์จแบตเตอรี่ กรณีแหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงาน ซึ่งควบคุมผ่านสวิทช์ Q_b สวิทช์ทุกตัวควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณขับสวิทช์ d_1, d_2, d_{sw} และ d_b เพื่อไปขับสวิทช์ Q_1, Q_2, Q_{sw} และ Q_b ตามลำดับโดยไมโครชิพ 18F458 แบบอัตโนมัติ การทำงานของวงจรแบ่งเป็น 3 โหมดคือ โหมดปกติ (Normal mode) โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode) และโหมดแบ็กอัพ (Backup mode)



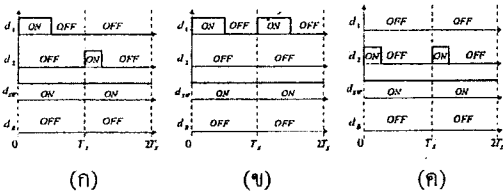
รูปที่ 1. โครงสร้างต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

โหมดปกติ หากไมโครคอนโทรลเลอร์มีการตรวจสอบค่าแรงดันที่แบตเตอรี่ แล้วพบว่ามีค่าสูงกว่าค่าอ้างอิง นั่นคือแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งสวิทช์ Q_{sw} "ON" ซึ่งหมายถึงไม่มีการชาร์จประจุให้แบตเตอรี่ สวิทช์ Q_1 และ Q_2 นำกระแสตามรอบทำงานที่

กำหนดไว้ โดยจะสลับกันทำงาน สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติแสดงดังรูปที่ 2 รูปวงจรมูลงจรต้นแบบในโหมดปกติแสดงดังรูปที่ 3

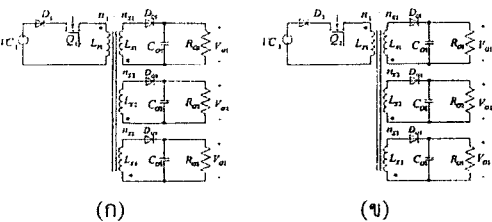
โหมดชาร์จแบตเตอรี่ หากไมโครคอนโทรลเลอร์ มีการตรวจสอบพบว่า ค่าแรงดันที่แบตเตอรี่ มีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันอ้างอิง สวิตช์ Q_{SW} จะมีการ "ON" และ "OFF" เป็นรอบโดยช่วงที่สวิตช์ Q_{SW} "OFF" จะต้องเป็นช่วงเวลาที่สวิตช์ Q_1 หรือ Q_2 นำกระแส โดยในช่วงเวลานี้ กระแสจากแหล่งจ่ายจะทำการชาร์จประจุแบตเตอรี่ผ่านทางไดโอด D_B ส่วนการทำงานของสวิตช์ตัวอื่นจะเหมือนในกรณีโหมดปกติ สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4 และวงจรมูลงจรต้นแบบในโหมดชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5

โหมดแบ็กอัพ กรณีแหล่งจ่ายทั้งสองไม่สามารถจ่ายกำลังให้กับโหลด ได้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมสวิตช์ Q_B ให้นำกระแสตามรอบทำงานที่ออกแบบไว้ สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดแบ็กอัพแสดงดังรูปที่ 6 (ก) และวงจรมูลงจรต้นแบบในโหมดแบ็กอัพแสดงดังรูปที่ 6 (ข)



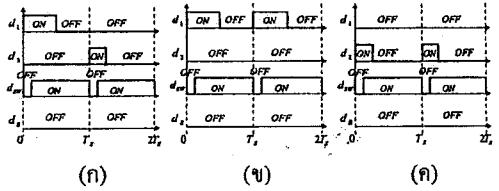
รูปที่ 2: สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติ

- (ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย
- (ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



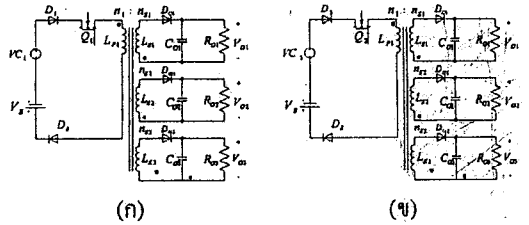
รูปที่ 3: วงจรมูลงจรต้นแบบในโหมดปกติ

- (ก) ขณะแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ข) ขณะแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



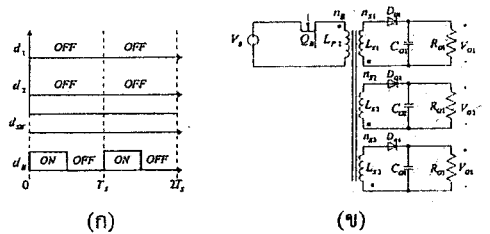
รูปที่ 4: สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

- (ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย
- (ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



รูปที่ 5: วงจรมูลงจรต้นแบบในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

- (ก) ขณะแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ข) ขณะแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



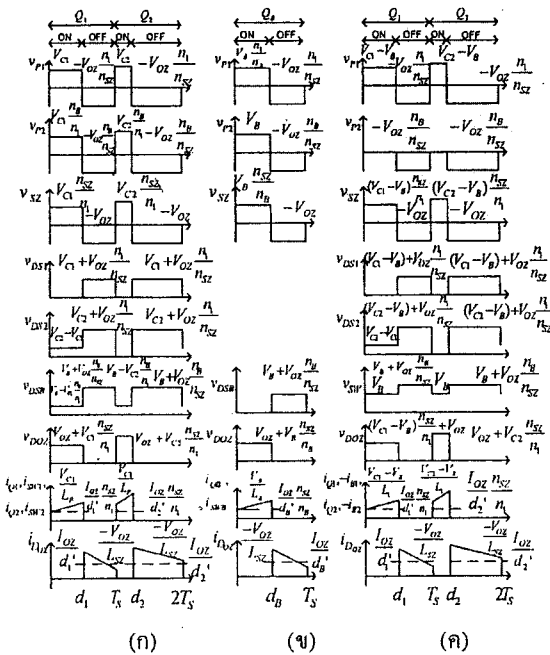
รูปที่ 6: สัญญาณควบคุมสวิตช์และวงจรมูลงจรต้นแบบในโหมดแบ็กอัพ

- (ก) สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดแบ็กอัพ
- (ข) วงจรมูลงจรต้นแบบในโหมดแบ็กอัพ

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของสวิตช์ในแต่ละโหมดการทำงาน

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

จากการวิเคราะห์วงจรสมมูลทั้งสามโหมดการทำงาน สามารถทำการเขียนรูปคลื่นแรงดันและกระแสของ ส่วนประกอบหลัก ภายใต้การทำงานทั้งสามโหมด ได้ดัง รูปที่ 7 ซึ่งกำหนดให้ Z แทนลำดับเอ๊าท์พุท โดยแสดง ลำดับจากบนลงล่างดังนี้ แรงดันด้านปฐมภูมิ 1 แรงดัน ด้านปฐมภูมิ 2 แรงดันด้านทุติยภูมิ แรงดันที่สวิตช์ Q_1 แรงดันที่สวิตช์ Q_2 แรงดันที่สวิตช์ Q_B แรงดันที่ไดโอด เอ๊าท์พุท กระแสที่สวิตช์ Q_1 กระแสที่สวิตช์ Q_2 และ กระแสที่ไดโอดเอ๊าท์พุทตามลำดับโดยค่าแรงดัน และ กระแสเหล่านี้จะนำไปใช้ในการออกแบบ และเลือก อุปกรณ์สำหรับวงจรต้นแบบต่อไป



รูปที่ 7: รูปคลื่นแรงดันและกระแสในแต่ละโหมด (ก) ในโหมดปกติ (ข) ในโหมดเบก้อพ (ค) ในโหมดชาร์จแบคเตอร์

3. ผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบกำหนดค่า แรงดันอินพุท $V_{C1} = 30$ โวลท์ และ $V_{C2} = 60$ โวลท์ แรงดัน เอ๊าท์พุทมีขนาด 12 โวลท์ 5 โวลท์ และ 3.3 โวลท์ ตามลำดับ ความถี่การสวิตช์เท่ากับ 100 kHz กำหนดให้

รูปคลื่นแรงดันเป็นสัญญาณบนและรูปคลื่นกระแสเป็น สัญญาณล่าง กรณีแรงดันและกระแสอยู่ในรูปเดียวกัน

3.1 ผลการทำงานในโหมดปกติ

การทำงานของสวิตช์ขึ้นอยู่กับสถานะของแหล่งจ่าย ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้แบบอัตโนมัติโดยการควบคุม จากไมโครคอนโทรลเลอร์สถานะของสวิตช์ในโหมด ชาร์จแบคเตอร์แสดงดังตารางที่ 2 รูปคลื่นแรงดันด้านปฐม ภูมิ 1 แสดงดังรูปที่ 8 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอด เอ๊าท์พุทแสดงดังรูปที่ 9

3.2 ผลการทำงานในโหมดชาร์จแบคเตอร์

ไดโอด D_B นำกระแสชาร์จแบคเตอร์ในช่วงที่ สวิตช์ Q_1 และ Q_2 นำกระแส สถานะของสวิตช์ในโหมด ชาร์จแบคเตอร์ แสดงดังตารางที่ 3 รูปคลื่นแรงดัน และ กระแสที่ไดโอด D_B แสดงดังรูปที่ 10 รูปคลื่นแรงดันด้าน ปฐมภูมิ 1 แสดงดังรูปที่ 11 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ ไดโอดเอ๊าท์พุทแสดงดังรูปที่ 12

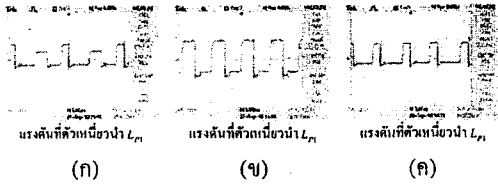
3.3 ผลการทำงานในโหมดเบก้อพ

เมื่อแหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงานสวิตช์ Q_B จะนำกระแส เพื่อให้แบคเตอร์ขนาด 24 โวลท์ จ่ายกำลังไฟทำให้โหลด สถานะของสวิตช์ในโหมดเบก้อพแสดงดังตารางที่ 4 รูปคลื่นแรงดันด้านปฐมภูมิ 2 แสดงดังรูปที่ 13 รูปคลื่น แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอ๊าท์พุทแสดงดังรูปที่ 14 ตารางที่ 2 สถานะของสวิตช์ในโหมดปกติ

สถานะ	Q_1	Q_2	Q_B	Q_{sw}
ทำงานสองแหล่งจ่าย	PWM	PWM	OFF	ON
มีเพียงแหล่งจ่าย กระแสตรงทำงาน	PWM	OFF	OFF	ON
มีเพียงแหล่งจ่าย กระแสสลับทำงาน	OFF	PWM	OFF	ON

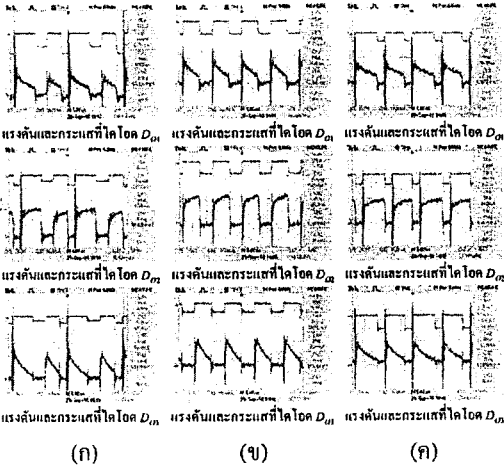
ตารางที่ 3 สถานะของสวิตช์ในโหมดชาร์จแบคเตอร์

สถานะ	Q_1	Q_2	Q_B	Q_{sw}
ทำงานสองแหล่งจ่าย	PWM	PWM	OFF	PWM
มีเพียงแหล่งจ่าย กระแสตรงทำงาน	PWM	OFF	OFF	PWM
มีเพียงแหล่งจ่าย กระแสสลับทำงาน	OFF	PWM	OFF	PWM



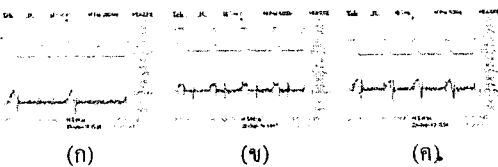
รูปที่ 8: แรงดันด้านปฐมภูมิ 1 ในโหมดปกติ

- (ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย
- (ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



รูปที่ 9: แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาท์พุทในโหมดปกติ

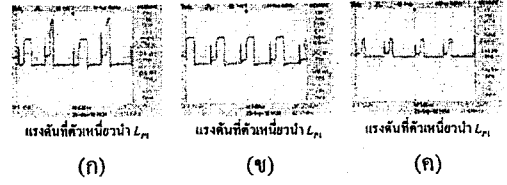
- (ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย
- (ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



รูปที่ 10: แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_B ขณะชาร์จประจุในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

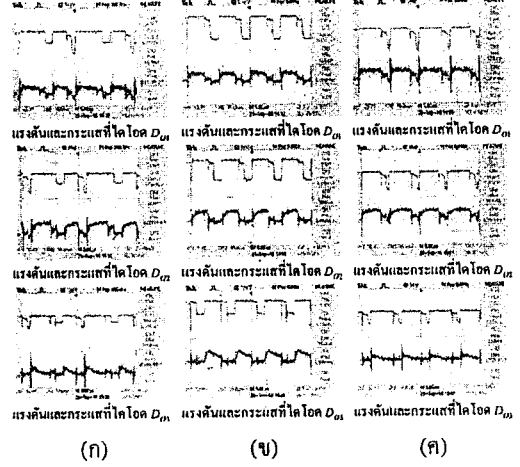
- (ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย
- (ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน

รูปที่ 10 (ก) ไดโอด D_B นำกระแสเฉพาะช่วงที่แหล่งจ่าย V_{C1} ทำงานเนื่องจากระดับแรงดัน $V_{C2} > V_{C1}$ ทำให้ไดโอด D_B หยุดนำกระแสในขณะแหล่งจ่าย V_{C1} ทำงาน



รูปที่ 11: แรงดันด้านปฐมภูมิ 1 ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

- (ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย
- (ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน

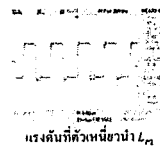


รูปที่ 12: แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาท์พุทในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

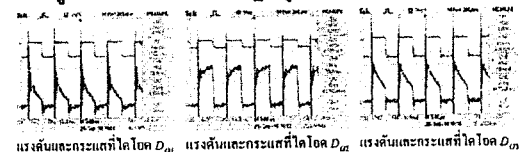
- (ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย
- (ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน

ตารางที่ 4 สถานะของสวิตช์ในโหมดเบ็กอัพ

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



รูปที่ 13: แรงดันด้านปฐมภูมิ 2 ในโหมดเบ็กอัพ



รูปที่ 14: แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาท์พุทในโหมดเบ็กอัพ

4. สรุป

วงจรถอนเวอร์เตอร์แบบดับเบิลอินพุทมัลติเฟสอินพุทที่นำเสนอนี้มีบทบาทความถี่ มีการรวมส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อใช้เก็บพลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่าย โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทั้งสอง รวมทั้งใช้ควบคุมการชาร์จประจุและดีชาร์จแบตเตอรี่ ในโหมดที่แหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงาน โดยแบ่งการทำงานเป็น 3 โหมดคือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดแบ็กอัพ ในบทความได้นำเสนอการออกแบบวงจร การควบคุม รวมถึงการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในหลายกรณี จากผลการทดลองในทุกโหมดการทำงานเห็นได้ว่าวงจรที่ได้ทำการออกแบบนี้สามารถทำงานได้จริงตามที่กล่าวมาโดยเอาท์พุททั้ง 3 นำกระแสแบบต่อเนื่อง ประสิทธิภาพของการชาร์จประจุแบตเตอรี่แบบแหล่งจ่ายเดียวทำงานจะสูงกว่าสองแหล่งจ่าย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และทุนในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] E. Muljadi and H. E. McKenna. "Power quality issues in a hybrid power system", IEEE Transactions on Industry Applications. vol. 38, no. 3, pp. 803-809, May/June 2002.
- [2] S. M. Alghuwainem. "Performance analysis of a PV powered dc motor driving a 3 - phase self - excited induction generator", IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 11, no. 1, pp. 155-161, Mar 1996.
- [3] E. Muljadi and R. Taylor "PV water pumping with a peak-power tracker using a simple six-step square-wave inverter", Conference Record of Industry Applications. vol. 1, pp. 133-142, Oct 1996.
- [4] Z. Chen and E. Spooner. "Grid power quality with variable speed wind turbines", IEEE Transaction on Energy Conversion. vol. 16, no. 2, pp. 148-154, June 2001.
- [5] F. Giraud and Z. M. Salameh. "Steady-state performance of a gridconnected rooftop hybrid wind-Photo-voltaic power system with battery storage", IEEE Transaction on Energy Conversion. vol. 16, no. 1, pp. 1-7, Mar 2001.
- [6] Y. M. Chen, Y. C. Liu and S. H. Lin. "Double-Input PWM DC/DC Converter for High/Low-Voltage Sources", IEEE Transactions on Industrial Electronics. vol. 53, no 5, pp. 1538-1545, Oct 2006.
- [7] K. P. Yamanchilli, M. Ferdowsi and K. Corzine. "New Double Input DC-DC Converters for Automotive", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, vol.06, pp.1-6, Sept 2006.
- [8] W. M. Kwok and S. L. Yim. "An Integrated Flyback Converter for DC Uninterruptible Power Supply", IEEE Transactions on Power Electronics, vol.11, no 2, pp. 318-327, Mar 1996.
- [9] N. C. Yi, C. L. Deng, C. T. Kuo and W. W. Cheng "A Multiple-Input Multiple-Output Power Converter With Efficient Power Management", Journal of the Chinese Institute of Engineers, vol.30, no. 7, pp.1277-1286, 2007.
- [10] R. W. Erickson and D. Maksimovic. "Fundamentals of Power Electronics Second Edition", Kluwer Academic Publisher, 2001.
- [11] มนตรี คำเงิน, ธีติมา ตรีพิทักษ์ และกอบชัย เดชหาญ "วงจรถี้อเพอร์มอดูเลเตอร์โดยใช้วงจรสายพานกระแสแบบแรงดันอินพุทแตกต่างเป็นวงจรพื้นฐาน" วิศวกรรมลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.ปีที่ 26 ฉบับที่ 1, เดือนมีนาคม 2552 ISSN 0125-1724 วารสารระดับชาติ