



รายงานการวิจัย

กล่องควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงสำหรับแปลงเกษตรกรรม

**The Solar Regulator Box Having High Efficiency for
Agricultural Farm Applications**

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รายงานการวิจัย

กล่องควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงสำหรับแปลง

เกษตรกรรม

(The Solar Regulator Box Having High Efficiency for
agricultural Farm Applications)

ผู้วิจัย

รศ.ดร.ก้องพັນ อารีรักษ์
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ผู้ร่วมวิจัย

ปทุมพร วงศ์ใหญ่

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์สมเด็จพระรัตนราชสุตาฯ สยามบรมราชกุมารี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสร้างกล่องควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงสำหรับแปลงเกษตรกรรม โดยศึกษาระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ เพื่อให้ได้กำลังเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในระดับที่สูงที่สุด สอดคล้องกับสภาวะความเข้มแสง ณ ขณะนั้น ซึ่งถ้าโหลดต้องการพลังงานน้อยก็สามารถเก็บพลังงานส่วนที่เหลือไว้ที่แบตเตอรี่ได้ เพื่อสำรองไฟไว้ใช้ตอนกลางคืน หรือตอนที่ไม่มีแดด และการมีตัวควบคุมการตามรอยกำลังงานสูงสุดนี้ ยังช่วยให้การชาร์จแบตเตอรี่ได้เร็วกว่าปกติ ถ้าในเวลานั้นมีแดดค่อนข้างจัด งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตามรอยกำลังงานสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร และได้ดำเนินการสร้างชุดทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าชุดทดสอบวิธีรบกวนและสังเกตสามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้มากกว่า และคุ้มทุนเร็วกว่า ชุดชาร์จที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด อีกทั้งได้นำชุดชาร์จที่สร้างขึ้นจากงานวิจัยนี้ไปติดตั้งในการใช้งานจริงร่วมกับร่วมกับชุดแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้เครื่องรีดยางพาราอัจฉริยะ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยก่อกำเนิดพลังงานแสวงหาเกียรติยศประสิทธิภาพสูงสำหรับแปลงเกษตรกรรมสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการวิจัย และขอขอบคุณวิศวกรและเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ครู อาจารย์ ทุกท่านที่ให้ความรู้ ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน และบุคคลที่สำคัญอย่างยิ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ทุก ๆ ท่านที่ให้ความรัก กำลังใจ การอบรมเลี้ยงดู และการดูแลส่งเสริมทางการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอดจนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเสมอมา

คณะผู้วิจัย



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	4
2 ทฤษฎีพื้นฐาน	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.3 ลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.3.1 กราฟคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.3.2 ผลกระทบของปริมาณความเข้มแสง	9
2.3.3 ผลกระทบของอุณหภูมิ	9
2.4 วงจรแปลงผันแบบบักก์.....	10
2.5 แบตเตอรี่	11
2.6 สรุป	13
3 การตามรอยกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร	14
3.1 บทนำ.....	14
3.2 ระบบที่พิจารณา	14
3.3 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์	17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4	สรุป.....	23
4	การสร้างชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร...	24
4.1	บทนำ.....	24
4.2	ชุดทดสอบตามรอยกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC.....	24
4.2.1	วงจรตั้งเวลา.....	26
4.2.2	วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า.....	30
4.2.3	วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ.....	34
4.2.4	วงจรคูณสัญญาณ.....	38
4.2.5	วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ.....	44
4.2.6	วงจรแยกโคคสัญญาณ.....	50
4.2.7	วงจรแปลงผันแบบบัคค์.....	52
4.3	สรุป.....	54
5	การเปรียบเทียบผลการตามรอยกำลังสูงสุดของวิธีต่าง ๆ	55
5.1	บทนำ.....	55
5.2	การทดสอบค่าอัตราส่วนคงที่.....	55
5.3	ผลการทดสอบชุดทดสอบ VOC	58
5.4	สรุป.....	65
6	การเปรียบเทียบผลการทดสอบชุดทดสอบ.....	66
6.1	บทนำ.....	66
6.2	ผลการทดสอบชุดทดสอบ	66
6.3	การตามรอยกำลังของแสงอาทิตย์จริงด้วยชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ	73
6.4	เศรษฐศาสตร์.....	77
6.4.1	การประเมินราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ และจุดคุ้มทุนของแต่ละชุดชาร์จ.....	77
6.4.2	การประเมินราคาหาจุดคุ้มทุนของชุดชาร์จ MPPT VOC.....	79
6.5	การประยุกต์ใช้งานชุดทดสอบ MPPT VOC ในแปลงเกษตรกรรม	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.6 สรุป.....	83
7 สรุปและข้อเสนอแนะ	85
7.1 สรุป	85
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
รายการอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. คู่มือการใช้งาน ชุดชาร์จเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการตามรอยกำลังสูงสุด ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร	88
ภาคผนวก ข. ตัวแยกกราวด์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองสถานการณ์
	ระบบตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธี VOC..... 17
4.1	ผลการทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันเปิดวงจร 32
4.2	ผลการทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันเบคเตอร์ี่..... 33
4.3	พิกัดอุปกรณ์ของวงจรแปลงผันแบบบักก์ 53
5.1	ผลทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า k 57
5.2	ผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC 62
5.3	แผนภาพผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC 63
6.1	ผลการทดสอบชุดทดสอบ MPPT VOC..... 68
6.2	ผลการทดสอบชุดชาร์จ Com. without MPPT..... 69
6.3	ผลการทดสอบชุดชาร์จทั่ว MPPT Com..... 69
6.4	การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีต่าง ๆ 70
6.5	แผนภาพการดึงกำลังงานของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ..... 71
6.6	ผลการทดสอบการตามรอยกำลังของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ในเวลา 1 วัน 75
6.7	การประเมินราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ และจุดคุ้มทุนของแต่ละชุดชาร์จ 78
6.8	การประเมินราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระและจุดคุ้มทุนของชุดชาร์จ เมื่อพิกัดของชุดชาร์จ MPPT VOC มีค่าเพิ่มขึ้น 80

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับแปลงเกษตรกรรม 2
2.1	โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ 6
2.2	วงจรมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ 6
2.3	กราฟคุณลักษณะของกระแส แรงดันและกำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ 8
2.4	กราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อระดับความเข้มแสงเปลี่ยนขณะอุณหภูมิคงที่ 9
2.5	กราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนขณะที่ความเข้มแสงคงที่ 10
2.6	วงจรแปลงผันแบบบักกิ้ง 10
3.1	ระบบตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธี VOC 15
3.2	การจำลองสถานการณ์ระบบตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วิธี VOC ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SIMULINK ใน MATLAB 19
3.3	ผลการจำลองสถานการณ์การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC 21
3.4	กราฟลักษณะเฉพาะของแรงดัน และจุดกำลัง ที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 และ 1000 W/m^2 22
4.1	โครงสร้างชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC 24
4.2	ภาพรวมชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC ที่ใช้งานจริง 25
4.3	ไอซีเบอร์ 555 26
4.4	วงจรอะสเตเบิล 27
4.5	วงจรตั้งเวลาที่ใช้งานจริง 28
4.6	สัญญาณเอาต์พุตของวงจรตั้งเวลา 29
4.7	การนำวงจรตั้งเวลาไปใช้งานร่วมกับวงจรอื่น ๆ 29
4.8	วงจรตั้งเวลาไปประยุกต์ใช้งานจริงร่วมกับวงจรอื่น ๆ 30
4.9	โครงสร้างของวงจรตรวจจับแรงดัน 30
4.10	วงจรตรวจจับแรงดันเปิดวงจร 31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 วงจรตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่	32
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่วัดได้ จากวงจรตรวจจับแรงดัน ไฟฟ้า และแรงดันเปิดวงจร	33
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่วัดได้ จากวงจรตรวจจับแรงดัน ไฟฟ้า และแรงดันแบตเตอรี่	34
4.14 โครงสร้างและการทำงานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ	35
4.15 ไอซีเบอร์ LF398	35
4.16 การทำงานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์	36
4.17 วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ	37
4.18 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ	37
4.19 โครงสร้างของไอซี AD633	38
4.20 โครงสร้างวงจรคูณสัญญาณ โดยใช้ไอซี AD633 และไอซี UA741	39
4.21 วงจรคูณสัญญาณที่ได้จากการออกแบบ	42
4.22 วงจรคูณและการสัญญาณที่ใช้งานจริง	42
4.23 สัญญาณเอาต์พุตของของวงจรคูณสัญญาณเมื่อ $V_{batt} = 1.254V$ และ $V_{oc} = 2.08V$	43
4.24 สัญญาณเอาต์พุตของของวงจรคูณสัญญาณเมื่อ $V_{batt} = 1.214V$ และ $V_{oc} = 2.038V$	43
4.25 วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย	44
4.26 วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยที่ใช้งานจริง	45
4.27 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย	46
4.28 ไอซีเบอร์ LF351	46
4.29 โครงสร้างของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	47
4.30 การทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	48
4.31 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้งานจริง	48
4.32 ผลการทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ กรณีที่ 1	49
4.33 ผลการทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ กรณีที่ 2	49
4.34 โครงสร้างของไอซี PC923	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.35 การต่อวงจรไอซี PC 923 เพื่อนำไปใช้งานจริง	50
4.36 ผลการทดสอบวงจรแยกโคคัลสัญญาณกรณีที่ 1 ความกว้างพัลส์ 30 %.....	51
4.37 ผลการทดสอบวงจรแยกโคคัลสัญญาณกรณีที่ 1 ความกว้างพัลส์ 80 %.....	51
4.38 วงจรแปลงผันแบบบัคค์ที่ใช้งานจริง.....	54
5.1 การทดสอบหากราฟลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	55
5.2 แสงอาทิตย์เทียมในห้องปฏิบัติการ	56
5.3 กราฟลักษณะเฉพาะของแรงดัน และกำลัง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์	57
5.4 เครื่องมือวัดความเข้มแสง	59
5.5 การทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC.....	59
5.6 รูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 200 W/m ² อุณหภูมิ 36.5 °C	60
5.7 รูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 400 W/m ² อุณหภูมิ 36.7 °C	60
5.8 รูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 600 W/m ² อุณหภูมิ 38 °C.....	61
5.9 รูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 800 W/m ² อุณหภูมิ 38.5 °C	61
5.10 รูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 1000 W/m ² อุณหภูมิ 39.5 °C	62
5.11 กราฟลักษณะเฉพาะของแรงดัน และกำลัง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์	64
6.1 ชุดชาร์จ MPPT VOC	67
6.2 ชุดชาร์จ Com. without MPPT	67
6.3 ชุดชาร์จ MPPT Com.....	68
6.4 กราฟลักษณะเฉพาะของแรงดัน และกำลัง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์	73
6.5 ดาดฟ้าศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3	74
6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ในเวลา 1 วัน	76
6.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่ากำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ ของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ในเวลา 1 วัน	76
6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดคุ้มทุน (ปี) ของชุดชาร์จแต่ละชุดชาร์จ	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัด ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ และจุดคุ้มทุน (ปี).....	81
6.10 ชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร ติดตั้งใช้งานกับเครื่องรีดขางพาราอัจฉริยะที่ใช้โซลาร์เซลล์ ณ หมู่บ้านศรีควนทอง ตำบลช้างซ้าย อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี	82
6.11 ชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร ติดตั้งใช้งานกับเครื่องรีดขางพาราอัจฉริยะที่ใช้โซลาร์เซลล์ ณ สวนขางพารา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	83
ก.1 กล่องชุดชาร์จเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีตามรอยกำลังงานสูงสุด ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร	89
ก.2 การเชื่อมต่อสายไฟของระบบโซลาร์เซลล์เข้ากับ MPPT VOC Charger.....	91
ข.1 ตัวแยกกราวด์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หรือ dc/dc isolate.....	93

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบัน พลังงานนับเป็นปัญหาใหญ่ในประเทศ และมีผลกระทบต่อการพัฒนาของประเทศไทยมากขึ้นทุกที เชื้อเพลิงต่างๆ ที่นำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น นับวันจะมีปริมาณน้อยลง และคงจะต้องหมดไปในอนาคต นอกจากนี้ ราคาของเชื้อเพลิงยังมีความผันผวนไปในแนวทางที่สูงขึ้นตามสถานการณ์ทางเศรษฐกิจและการเมือง อีกทั้งกระบวนการผลิตและใช้เชื้อเพลิงนั้นล้วนก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาวะแวดล้อม พลังงานทดแทน (Renewable Energy) เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ เป็นต้น จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาค่าการผลิตพลังงานในอนาคตและช่วยลดปัญหาด้านมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานในปัจจุบันได้

สำหรับงานทางด้านเกษตรกรรม ในปัจจุบันเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีการสื่อสาร โทรคมนาคมและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ มีความเจริญรุดหน้าไปมาก ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเป็นจำนวนมาก ที่พยายามนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในการเกษตร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิต ลดต้นทุนการผลิต เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้กับงานทางด้านเกษตร จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในแปลงเกษตรกรรม ซึ่งไม่สามารถจะใช้พลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงจากการไฟฟ้าเนื่องจากการไฟฟ้าไม่สามารถจะปักเสาไฟไปได้ทั่วประเทศ ปัญหาเกี่ยวกับการหาแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ทางการเกษตร ถือเป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อเกษตรกรโดยส่วนใหญ่ที่ต้องการใช้เทคโนโลยีกับแปลงเกษตรของตนเอง ไม่ว่าจะเป็นความต้องการกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ยังมีอีกหลายตัวอย่างด้วยกันที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าในแปลงเกษตร เช่น ชาวสวนยางพารา ที่จำเป็นต้องใช้เครื่องรีดยางไฟฟ้าต้องเสียค่าขนส่งยางจากสวนยางมายังที่บ้านของตนเอง เนื่องจากเครื่องรีดยางไฟฟ้าจำเป็นต้องตั้งอยู่ที่บ้านเพื่อใช้ไฟฟ้าจากรั้วเรือน ถ้าเราสามารถยกเครื่องรีดยางไฟฟ้าไปที่

สวนยางได้ โดยใช้พลังงานทดแทนผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในแปลงเกษตรกรรม ก็ สามารถลดต้นทุนในเรื่องการขนส่งเกี่ยวกับเรื่องนี้ไปได้ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่พลังงานทดแทนที่ นิยมใช้กันสำหรับงานในแปลงเกษตรกรรม คือพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงได้ในรูปที่ 1.1 เนื่องจากมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในประเทศไทยเนื่องด้วยพื้นที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมี แสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะขณะใช้งาน และสอดคล้องกับ นโยบายของประเทศในปัจจุบัน ที่มีการรณรงค์ให้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์กันมากขึ้น เนื่องจาก เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้ามีน้อยลงทุกที



รูปที่ 1.1 พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับแปลงเกษตรกรรม

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็น พลังงานไฟฟ้านั้นใช้หลักการของโฟโตเอฟเฟค (Photovoltaic Effect) โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลง พลังงานนี้เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) แต่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีข้อเสีย คือ ใช้ต้นทุนการ ผลิตและติดตั้งสูง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงาน ไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ และระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีใช้กันอยู่ตามท้องตลาดเป็นการดึง พลังงานแสงอาทิตย์มาใช้จริงตามที่โหลดต้องการ ซึ่งไม่สามารถดึงพลังงานสูงสุดที่จุดจ่ายกำลัง

สูงสุด (Maximum Power Point: MPP) มาใช้งานได้ เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าเท่ากับแรงดันของโหลด ซึ่งทำให้ใช้ประโยชน์จากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมการตามรอยกำลังงานสูงสุด (maximum power point tracking: MPPT) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการแปลงพลังงานทดแทน ดังกล่าว ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำหน้าที่ให้กำลังงานได้มากที่สุดแล้ว ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของ ระบบอีกด้วย ซึ่งหมายถึง ถ้าช่วงไหนมีแดดจัด ถ้าโหลดต้องการพลังงานน้อยเราสามารถเก็บ พลังงานส่วนที่เหลือไว้ที่แบตเตอรี่ได้เพื่อสำรองไฟไว้ใช้ตอนกลางคืน หรือตอนที่ไม่มีแดด และ การมีตัวควบคุมการตามรอยกำลังงานสูงสุดนี้ ยังช่วยให้การชาร์จแบตเตอรี่ได้เร็วกว่าปกติ ถ้าใน เวลานั้นมีแดดค่อนข้างจัด การควบคุมในลักษณะนี้ยังไม่พบเห็นในการใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์ ในปัจจุบัน จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการพัฒนาการควบคุมการใช้งาน พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับแปลงเกษตรกรรม โดยมีการควบคุมตามรอยกำลังงานสูงสุด เพื่อให้ได้ กำลังเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในระดับที่สูงที่สุด สอดคล้องกับสภาวะความเข้มแสง ณ ขณะนั้น ถ้ามีพลังงานมากเกินไปที่โหลดต้องการ ก็สามารถเก็บพลังงานไว้ที่แบตเตอรี่ได้ เพื่อใช้ ในยามจำเป็น ซึ่งถือเป็นการพยายามใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพให้มากที่สุด โดยองค์ความรู้ที่ ได้ในงานวิจัยจะถูกนำไปสร้างเป็นกล่องอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำไปติดตั้งในการใช้งานจริง และ สามารถใช้งานร่วมกับชุดแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กับงานทางด้าน เกษตรกรรม
- 1.2.3 เพื่อสร้างต้นแบบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในแปลง เกษตรกรรม
- 1.2.4 เพื่อสร้างองค์ความรู้ในการออกแบบตัวควบคุมการตามรอยกำลังงานสูงสุดกับพลังงาน แสงอาทิตย์ ที่สามารถนำไปใช้งานด้านเกษตรกรรมได้จริง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมการตามรอยกำลังสูงสุด จะอาศัยการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรมสำเร็จรูป Power System Blocksets ใน SIMULINK เพื่อให้เกิดความมั่นใจก่อนการสร้างจริง

1.3.2 การทดสอบตัวควบคุมการตามรอยกำลังสูงสุดจะอาศัยหลอดไฟทดแทนแสงอาทิตย์จริง เนื่องจากการใช้หลอดไฟเป็นแหล่งพลังงาน สามารถสร้างเงื่อนไขในการทดสอบตัวควบคุมได้หลากหลายตามที่เราต้องการ



บทที่ 2

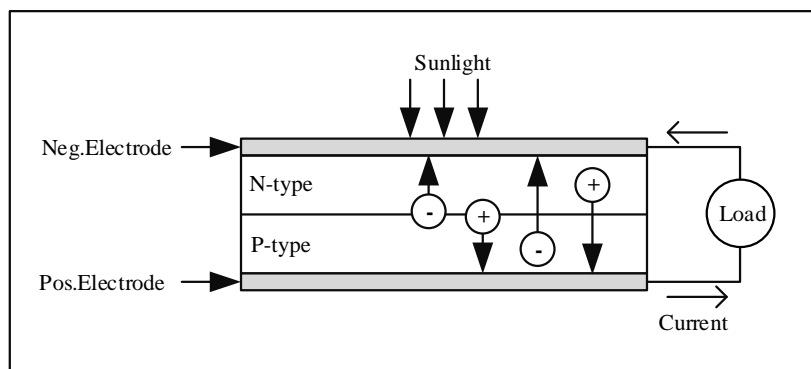
ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 บทนำ

ระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุดทั่วไป ประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เชื่อมต่อกับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง และมีเอาต์พุตของระบบคือ โหลด ในกรณีที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระจึงจำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานสำรองซึ่งทั่วไปใช้ แบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับโหลดในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ในบทนี้จะนำเสนอเนื้อหาเกี่ยวกับ หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ ลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึง รายละเอียดเกี่ยวกับวงจรแปลงผันแบบบัคค์ และแบตเตอรี่

2.2 หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

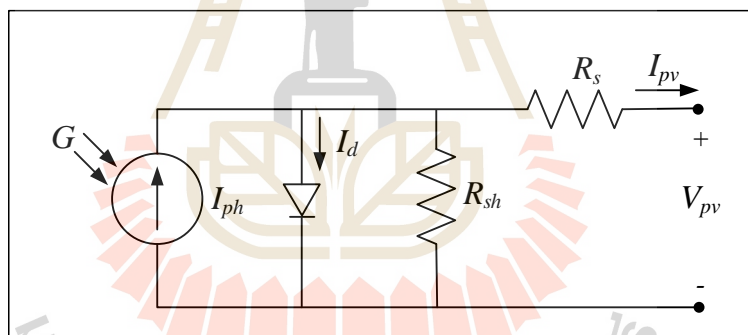
เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ จะประกอบด้วย สารกึ่งตัวนำชนิดพี สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และชั้นระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็น (P-N Junction) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง และไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC current) เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและประจุบวกขึ้น ซึ่งได้แก่ อิเล็กตรอน และ โฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก เมื่อนำโหลดมาต่อก็จะเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งแสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

2.3 ลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษาการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ จะเริ่มต้นจากวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบคงที่ (Photo current : I_{ph}) เกิดจากแสงอาทิตย์หรือแสงสว่าง ไปทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สร้างประจุพาหะอิสระให้ไหลผ่านโหลดที่ต่ออยู่ เป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มแสงที่ตกกระทบบนรอยต่อพีเอ็น มีไดโอดต่อขนานแหล่งจ่ายกระแสแบบคงที่ และค่าความต้านทานอนุกรมเกิดจากความต้านทานของซิลิกอนที่เรียงเป็นชั้น (R_{sh}) และความต้านทานของขั้วโลหะด้านหน้าและด้านหลังที่เป็นผลมาจากการต่อขั้วต่อภายนอก (R_s) ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (I_{pv}) แสดงได้ดังสมการดังต่อไปนี้ จากสมการแสดงถึงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอยู่ในรูปของฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียล (exponential equation)

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{n C V_t} \right) - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{R_{sh}} \quad (2-1)$$

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_I (T - T_{ref})] G \quad (2-2)$$

$$I_s = I_o \left[\frac{T}{T_{ref}} \right]^3 \exp \left[\left(\frac{T}{T_{ref}} - 1 \right) \frac{E_g}{n C V_t} \right] \quad (2-3)$$

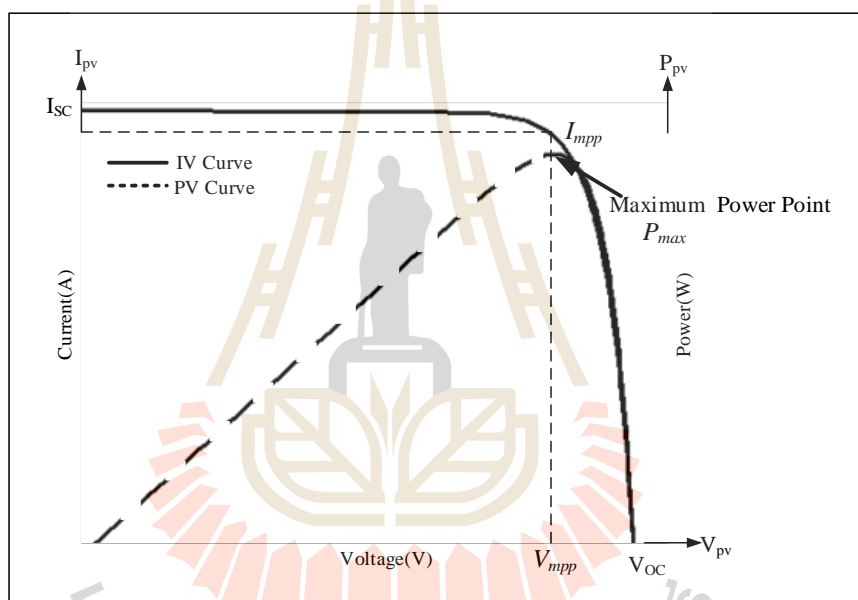
$$I_o = \frac{I_{sc}}{\exp \left(\frac{V_{oc}}{n C V_t} \right) - 1} \quad (2-4)$$

จากสมการที่ (2-1) (2-2) (2-3) และ (2-4) ความหมายของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เป็นดังนี้

- I_{ph} คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแสง (A)
- I_s คือ กระแสไบอัสต่อมตัวย้อนกลับของไดโอด (A)
- I_o คือ กระแสไบอัสต่อมตัวย้อนกลับที่สภาวะมาตรฐาน (A)
- I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์ที่ 25°C (A)
- V_{oc} คือ แรงดันเปิดวงจรของเซลล์ที่ 25°C (V)
- G คือ ความเข้มแสง (kW/m^2)
- T คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Kevin)
- T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์ที่สภาวะมาตรฐาน (Kevin)
- K_I คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสลัดวงจร มีค่าเท่ากับ 2.2×10^{-3} ($\text{A}/^\circ\text{C}$)
- q คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} (C)
- n คือ Ideal factor (เซลล์แบบซิลิกอน $n = 1.3$)
- k คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$ (J/Kevin)
- C คือ จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมใน 1 มอดูล
- R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์ (Ω)
- R_{sh} คือ ค่าความต้านทานขนานของเซลล์ (Ω)
- E_g คือ พลังงานระหว่างชั้นของสารกึ่งตัวนำ มีค่าเท่ากับ 1.12eV
- V_t คือ Thermal voltage = $\frac{kT}{q}$

2.3.1 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นสามารถแสดงได้โดยใช้กราฟคุณลักษณะกระแส - แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V curve) และกราฟคุณลักษณะกำลัง - แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (P-V Curve) ถ้าอุณหภูมิและปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่ สามารถสร้างกราฟลักษณะเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เริ่มจากวัดแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีการต่อโหลด (Open circuit voltage หรือ V_{oc}) จากนั้นให้เซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจ่ายกระแสจนถึงค่ากระแสสูงสุดในสภาวะลัดวงจร (Short circuit current หรือ I_{sc}) นำข้อมูลจากการทดสอบมาสร้างเป็นกราฟได้ดังกราฟในรูปที่ 2.3

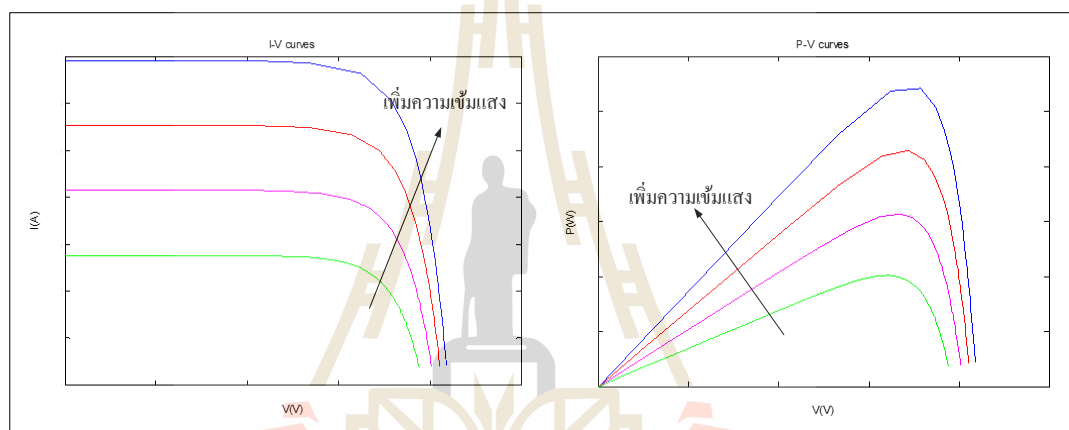


รูปที่ 2.3 กราฟคุณลักษณะของกระแส แรงดันและกำลังของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.3 กราฟลักษณะเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์มีความไม่เป็นเชิงเส้น โดยปกติค่าแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับโหลดจึงไม่สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ แต่ถ้าสามารถเลือกจุดทำงานให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{mpp}) ก็จะทำให้สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) มาใช้งานได้ โดยตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ 2 ตัวแปร คือ ปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.2 ผลกระทบของปริมาณความเข้มแสง

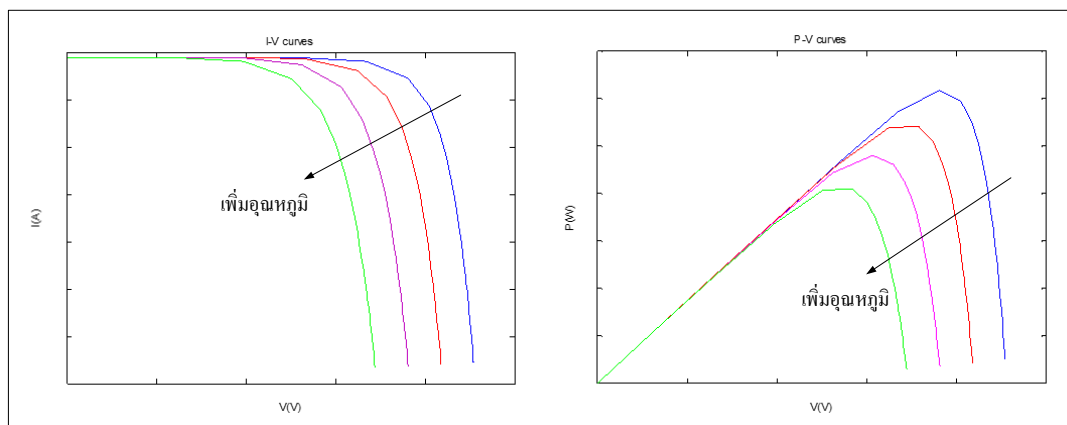
ค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแสง หรือ I_{ph} เป็นกระแสที่สร้างขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงในการเปลี่ยนรูปพลังงาน ซึ่งค่ากระแสที่สร้างขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง และอุณหภูมิ ดังสมการที่ (2-2) ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบจะส่งผลต่อกระแสที่จ่ายได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยกราฟลักษณะเฉพาะของกระแสแรงดันและกำลัง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 จากรูปจะเห็นว่า เมื่อความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้กระแส และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.4 กราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อระดับความเข้มแสงเปลี่ยนขณะอุณหภูมิคงที่

2.3.3 ผลกระทบของอุณหภูมิ

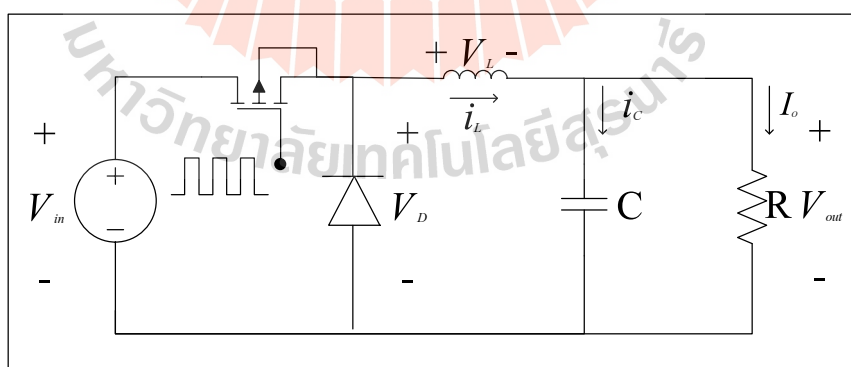
ถ้ากำหนดให้ความเข้มแสงในสมการที่ (2-2) มีค่าคงที่ ค่าอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแสงอาทิตย์ และจากสมการที่ (2-3) อุณหภูมิยังมีผลกระทบต่อกระแสไบอัสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด (Reverse saturation current of diodes หรือ I_s) โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีผลต่อแรงดันที่จ่ายออกมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถแสดงกราฟลักษณะเฉพาะของกระแสแรงดันและกำลัง ได้ดังรูปที่ 2.5 จากรูปจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง



รูปที่ 2.5 กราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนขณะที่ความเข้มแสงคงที่

2.4 วงจรแปลงผันแบบบัคค์

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงที่ใช้ในงานวิจัยจะเลือกใช้วงจรแปลงผันแบบบัคค์ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้มีค่าแรงดันมากกว่าแรงดันของแบตเตอรี่ ซึ่งวงจรแปลงผันแบบบัคค์มีหน้าที่ลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตให้มีค่าต่ำกว่าหรือมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต โดยโครงสร้างของวงจรแปลงผันแบบบัคค์จะประกอบด้วย สวิตช์ในงานวิจัยจะใช้มอสเฟต (Mosfet) ไดโอด ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ โดยวงจรแปลงผันแบบบัคค์แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรแปลงผันแบบบัคค์

จากวงจรในรูปที่ 2.6 พบว่าสามารถคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคค์ V_{out} (Muhammad H. Rashid) ได้จากสมการ (2-5)

$$V_{out} = dV_{in} \quad (2-5)$$

โดยที่ V_{in} คือ แรงดันอินพุตของวงจรแปลงผันแบบบัคค์

d คือ ค่าวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle) ของวงจรแปลงผันแบบบัคค์

งานวิจัยจะนำวงจรแปลงผันแบบบัคค์ไปควบคุมการทำงาน โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ เพื่อให้จุดทำงานของแรงดันอินพุตเข้าใกล้จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.5 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงาน และจ่ายพลังงานให้กับโหลดในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือในเวลากลางคืน แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์ หรือมากกว่าก็ได้ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้าสามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (recharge) ได้หลายครั้งและประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุและการจ่ายประจุ แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง และเสียหายได้ง่าย หากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอ หรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้ การบำรุงรักษา การประจุ และอุณหภูมิ เป็นต้น

แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณมากหรือน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย และสามารถใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่นี้ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% โดยแบตเตอรี่ไม่ได้รับความเสียหาย ซึ่งต่างจากแบตเตอรี่รถยนต์ที่ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ถ้าใช้ไฟฟ้ามักกว่า 20-30% ของพลังงานที่เก็บอยู่จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้

ความจุของแบตเตอรี่ในการประจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour หรือ Ah) พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah เท่ากับ 12V x 100Ah ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah เท่ากับว่า แบตเตอรี่จะสามารถจ่ายกระแส 1 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือ แบตเตอรี่จ่ายกระแส 10 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง หรือ ถ้าแบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์อย่าง

ต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทั้งหมดนี้จ่าย กระแสเท่ากับ 100 Ah เป็นต้น จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสต่างกันได้ ดังนั้น การจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึงอัตราการจ่ายกระแสด้วย มักกำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่กำหนดขนาดของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในการจัดเก็บพลังงาน อัตราการจ่ายประจุสูงสุด อัตราการประจุสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดที่จะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน

การออกแบบแบตเตอรี่สามารถคำนวณ ขนาดกระแสต่อชั่วโมง (Ah) ของแบตเตอรี่ได้จากสมการที่ (2-6)

$$Ah = \frac{Demandload}{V_{battery} \times DOD \times Batteryloss} \quad (2-6)$$

โดยที่	<i>Demandload</i>	คือ ความต้องการในการใช้โหลดต่อชั่วโมง (Wh)
	<i>DOD</i>	คือ Deep of discharge หรือ ค่าความลึกของการคายประจุโดยแบตเตอรี่แต่ละยี่ห้อไม่เท่ากัน อยู่ระหว่าง 45%-60%
	<i>Batteryloss</i>	คือ ค่าสูญเสียในแบตเตอรี่ โดยปกติแล้วแบตเตอรี่จะทำงานด้วยเซฟตี้แฟกเตอร์ (Safety Factor) ที่มีไว้เพื่อป้องกันการชาร์จมากเกินไป (over charge) และการคายประจุมากเกินไป (over discharge)

โดยในงานวิจัยจะเลือกใช้แบตเตอรี่ ขนาด 12V และจ่ายโหลดที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 40 วัตต์ต่อชั่วโมง ค่าความลึกของการคายประจุ 60% และค่าสูญเสียในแบตเตอรี่ 85% ดังนั้นสามารถคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ได้ดังนี้

$$Ah = \frac{40Wh}{12V \times 0.6 \times 0.85} = 6.536$$

คำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ 6.536 Ah ดังนั้น ควรเลือกแบตเตอรี่ที่มีขนาดมากกว่า 6.536 Ah โดยงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V 7Ah

2.4 สรุป

การอธิบายเนื้อหาในบทนี้ เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ และลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการทำความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวมีความสำคัญมาก สำหรับการหาแนวทางในการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ และเนื้อหาในบทนี้ยังได้กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับวงจรแปลงผันแบบบัคค์ และเบตเตอร์ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบที่สำคัญเพื่อนำไปสู่การศึกษาและสร้างระบบควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุด ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร



บทที่ 3

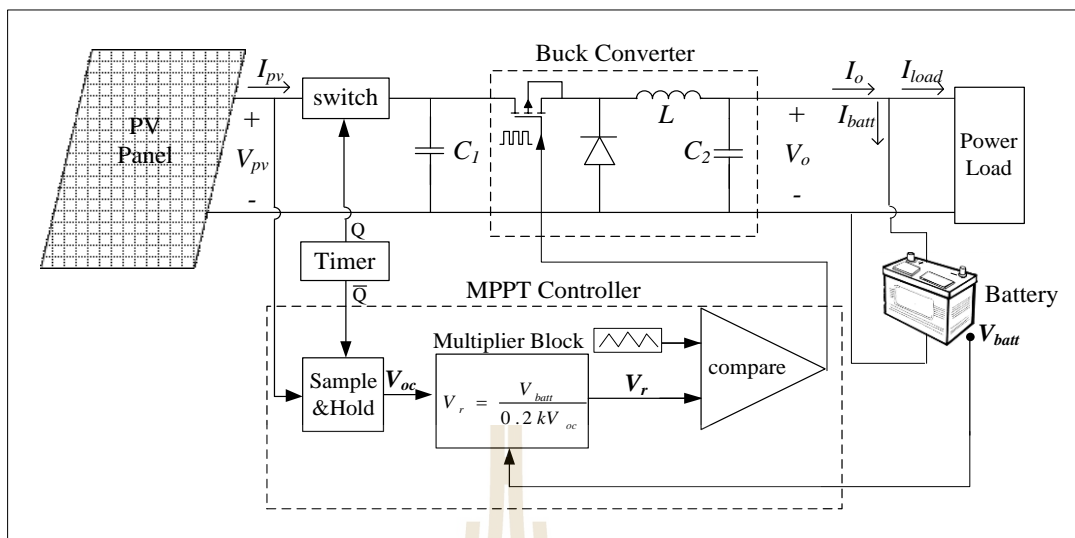
การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้จะดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการตามรอยกำลังงานสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ด้วยเหตุผลนี้จึงได้ทำการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตามรอยกำลังงานสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ จากปริทัศน์วรรณกรรมของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระมีหลายวิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำเสนอการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร ซึ่งมีการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์แอนะล็อกทำให้วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน สามารถสร้างจริงได้ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย โดยเนื้อหาในรายงานวิจัยจะอธิบายถึงหลักการทำงานของวิธี VOC อย่างละเอียด รวมไปถึงการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ และผลการจำลองสถานการณ์ของระบบที่มีการตามรอยจุดกำลัง เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการตามรอยจุดกำลัง

3.2 ระบบที่พิจารณา

ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร (Open-Circuit Voltage) โดยในรายงานวิจัยจะเรียกวิธีนี้ว่า VOC นำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับวงจรแปลงผันแบบบัทช์เพื่อหาจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อาศัยวิธี VOC แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธี VOC

จากรูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบที่พิจารณา ประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ เชื่อมต่อกับระบบตามรอยจุดกำลังสูงสุดโดยใช้วิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร นำมาประยุกต์ใช้กับวงจรแปลงผันแบบบัลค์เพื่อหาจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ และเนื่องจากเป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระจึงจำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานสำรอง ซึ่งในที่นี้ก็คือแบตเตอรี่

หลักการทํางานของวิธี VOC จะใช้หลักการที่ว่าแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด จะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงดันขณะเปิดวงจร โดยกำหนดให้แรงดันที่จุดกำลังสูงสุดเท่ากับ k เท่าของแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) ดังสมการที่ (3-1) ซึ่งจากรูปที่ 3.1 ตัวควบคุมจะทํางานเป็นคาบเวลาโดยอาศัยวงจรตั้งเวลา (Timer) กำหนดช่วงเวลาทํางาน โทลด์จะถูกตัดออกชั่วขณะหนึ่ง เพื่อทํางานวัดแรงดันขณะเปิดวงจร และใช้วงจรสุ่มค่าและคงค่าสัญญาณ (Sample and Hold) ในการสุ่มค่าแรงดันมาคงค่าไว้ในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อนำไปหาแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด

$$V_{mpp} = kV_{oc} \quad (3-1)$$

เมื่อ V_{mpp} คือ แรงดันที่จุดกำลังสูงสุด (V)
 V_{oc} คือ แรงดันเปิดวงจร (V)

k คือ ค่าอัตราส่วนคงที่ โดยทั่วไปถ้าใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน ความเข้มแสง 1000 W/m^2 และ อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ค่า k ในสมการที่ (1) จะมีค่าอยู่ในช่วง $0.71 - 0.78$ (Esrarn et al., 2007)

จากรูปที่ 3.1 วงจรแปลงผันแบบบักจะถูกรับควบคุมการทำงานด้วยค่าวัฏจักรหน้าที่ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องคำนวณหาค่าวัฏจักรหน้าที่ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณฟันเลื่อยแอมพลิจูด 5 โวลต์ และแรงดันอ้างอิง (reference voltage : V_r) ดังนั้นค่าวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle: d) ของวงจรแปลงผันแบบบัก หาได้จากสมการที่ (3-2)

$$d = 0.2V_r \quad (3-2)$$

โดยทั่วไปแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบักจากสมการ $V_o = dV_{in}$ เนื่องจากแรงดันอินพุตของวงจรแปลงผันแบบบัก คือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น $V_o = dV_{pv}$ ทำการแทนค่า d จากสมการที่ (3-2) จะได้

$$V_o = 0.2V_r V_{pv} \quad (3-3)$$

เมื่อต้องการให้แรงดันอินพุตของระบบมีค่าเท่ากับค่าแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด ($V_{pv} = V_{mpp} = kV_{OC}$) และเอาต์พุตของระบบคือแบตเตอรี่ ดังนั้นแรงดันเอาต์พุต $V_o = V_{batt}$ จากสมการที่ (3-3) จะได้

$$V_{batt} = 0.2V_r kV_{OC} \quad (3-4)$$

จากสมการที่ (3-4) จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$V_r = \frac{V_{batt}}{0.2kV_{OC}} \quad (3-5)$$

สมการที่ (3-5) จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าแรงดันอ้างอิง V_r เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อยความถี่ 10kHz จะได้ค่าวัฏจักรหน้าที่ d สัญญาณที่ได้นำไปขับสวิตช์ในวงจร

แปลงผันแบบบักก์ ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งค่าดังกล่าวจะทำให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ค่า V_{mpp} ทำให้สามารถดึงกำลังสูงสุดออกมาได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จำเป็นต้องมีการอ่านค่า V_{OC} เป็นระยะ ๆ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าระบบสามารถดึงจุดกำลังได้สูงสุด สำหรับทุก ๆ ความเข้มแสง เนื่องจากในแต่ละความเข้มแสงค่า V_{OC} จะมีค่าไม่เท่ากัน นอกจากนี้งานวิจัยในอดีต (Ahmad, 2010) การคำนวณหาค่า V_r จะกำหนดให้ค่า V_{batt} มีค่าคงที่ ทำให้เมื่อค่า V_{batt} มีค่าเปลี่ยนแปลงค่า V_r ที่คำนวณได้ไม่มีความเหมาะสมในช่วงเวลานั้น ดังนั้นในงานวิจัย จึงได้ทำการวัดค่า V_{batt} ผ่านตัวตรวจจับแรงดัน เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า V_r ให้มีความเหมาะสมมากที่สุดและปรับตามจุดการทำงานที่ค่าต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และงานวิจัยในอดีตยังใช้ค่า k เป็นค่าคงที่ตามสภาวะมาตรฐาน โดยในงานวิจัยนี้ค่า k ที่สภาวะมาตรฐาน จะใช้เฉพาะการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.80 แต่สำหรับชุดทดสอบจริงในทางปฏิบัติค่า k จะได้จากการทดสอบ ซึ่งจะอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.2 ในบทที่ 5 ต่อไป

3.3 การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์

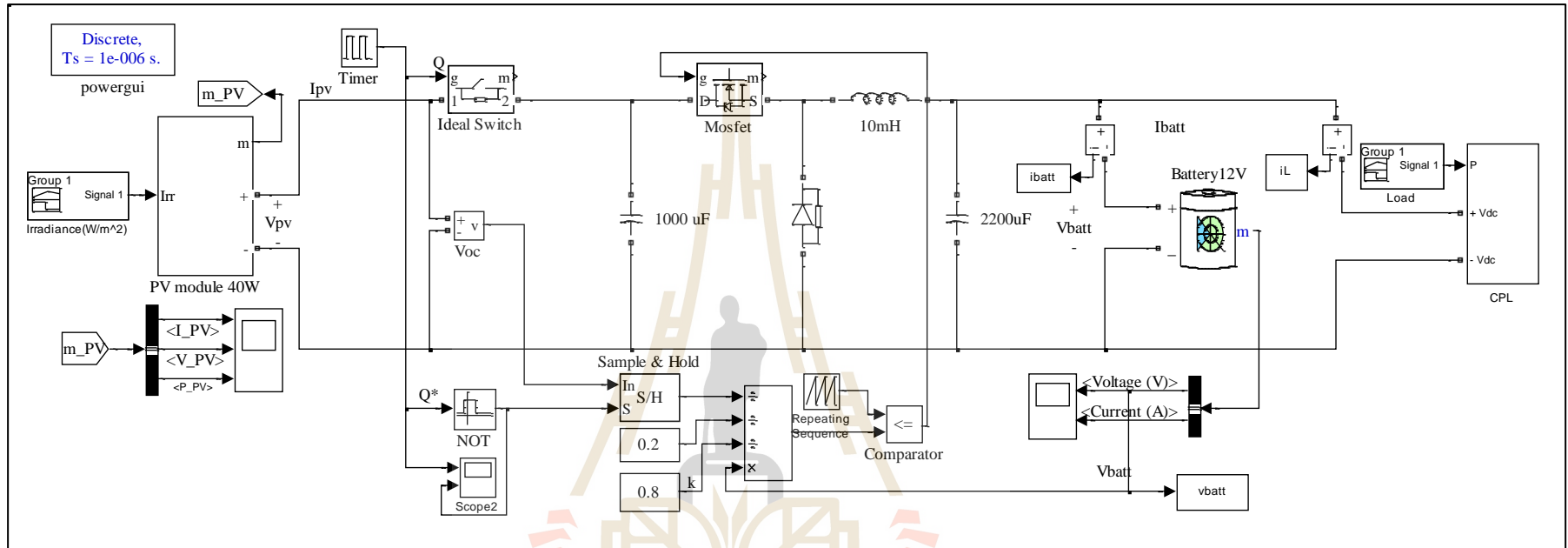
เพื่อยืนยันว่าวิธี VOC ที่ได้นำเสนอในงานวิจัย สามารถดึงกำลังสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะนำเสนอการจำลองสถานการณ์ของระบบในรูปที่ 3.1 โดยอาศัยพารามิเตอร์ของระบบแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และการจำลองสถานการณ์ของระบบจะอาศัยโปรแกรม MATLAB แสดงได้ดังรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองสถานการณ์ระบบตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธี VOC

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Panel)	
พิจารณาที่สภาวะมาตรฐาน ความเข้มแสง 1000W/m^2 และ อุณหภูมิ 25°C	
V_{OC}	43.125 V
I_{SC}	1.1 A
I_{mpp}	1.033 A
V_{mpp}	38.73 V
P_{max}	40 W

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองสถานการณ์ระบบตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธี VOC (ต่อ)

วงจรแปลงผันแบบบักกิ้ง (Buck Converter)	
f_{sw}	10 kHz
V_{pv}	38.73 V
V_{batt}	12 V
C_1	1000 μ F
C_2	2200 μ F
L	10 mH
แบตเตอรี่	
V_{batt}	12 V
ค่าสถานะประจุแบตเตอรี่ (SOC)	100 เปอร์เซ็นต์

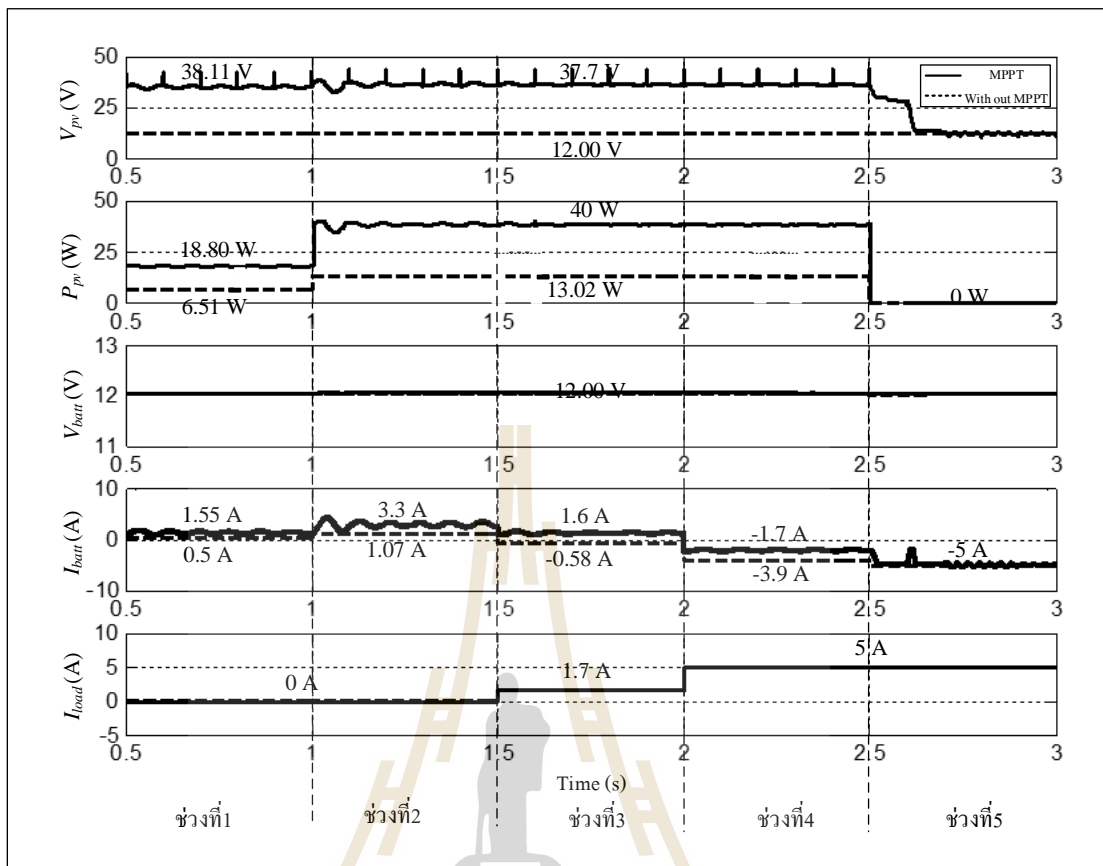


รูปที่ 3.2 การจำลองสถานการณ์ระบบตามรอยจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธี VOC ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SIMULINK ใน MATLAB

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การจำลองสถานการณ์ของระบบดังรูปที่ 3.2 ประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับวงจรแปลงผันแบบบักก์ และเอาต์พุตคือแบตเตอรี่ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สร้างขึ้นจากสมการของเซลล์แสงอาทิตย์ดังสมการที่ (2-1) จากนั้นทำการป้อนค่าความเข้มแสงในหน่วย W/m^2 และอุณหภูมิในหน่วย Kelvin โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ $25^{\circ}C$ หรือ 298.15 Kelvin มีค่าคงที่ทุกความเข้มแสง สำหรับวงจรแปลงผันแบบบักก์ค่าวัฏจักรหน้าที่ ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณพื้นเลื้อยแอมพลิจูด 5 V ความถี่ 10kHz เปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิง V_r ดังสมการที่ (5) ซึ่งจากสมการดังกล่าวจะต้องทำการวัดค่า V_{OC} และค่า V_{batt} เพื่อป้อนให้กับ V_r โดยการวัดค่า V_{OC} จะต้องอาศัยการทำงานของสวิตช์เพื่อใช้ในการเปิดวงจร สวิตช์เปิดวงจรจะทำงานตรงข้ามกับวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ โดยใช้ NOT GATE ในการกลับสัญญาณ เมื่อสวิตช์ทำงานโหลดจะถูกตัดออกทุก ๆ เป็นเวลา 99ms และจะเปิดวงจรเป็นเวลา 1ms เพื่อทำการวัดและสุ่มค่า V_{OC} ในขณะนั้นวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณจะทำการสุ่มค่า V_{OC} และจะคงค่าไว้เป็นเวลา 100ms ทำในลักษณะนี้ซ้ำ ๆ เพื่อนำไปคำนวณหาแรงดันที่จุดกำลังสูงสุดในสถานะความเข้มแสงต่าง ๆ สำหรับเอาต์พุตของระบบซึ่งก็คือแบตเตอรี่ ในการจำลองสถานการณ์จะกำหนดให้ค่าสถานะประจุแบตเตอรี่ (SOC) มีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการจำลองสถานการณ์จะทำการวัดค่า V_{pv} , P_{pv} , V_{batt} , I_{batt} และ I_{load} ผลการจำลองสถานการณ์การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC แสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยการจำลองสถานการณ์แบ่งออกเป็น 5 ช่วง ดังนี้

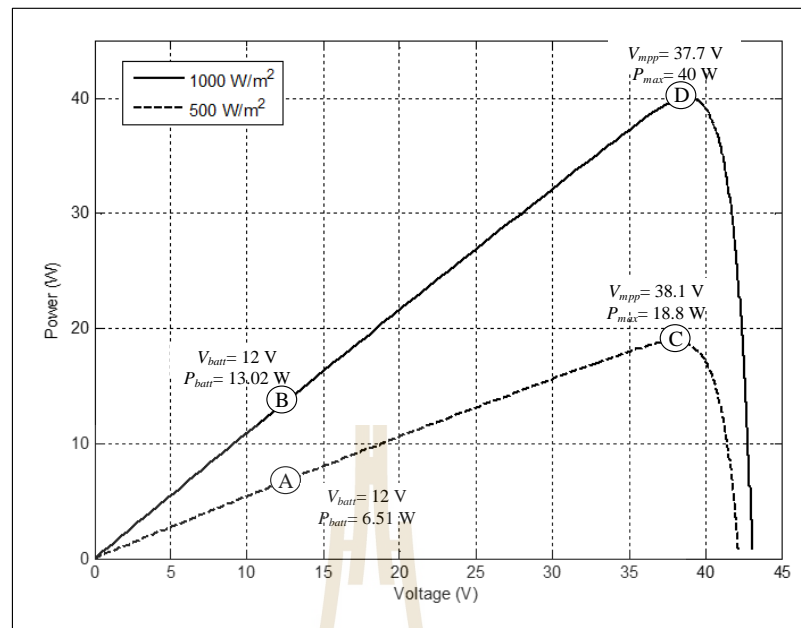
- ช่วงที่ 1 : เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ $500 W/m^2$ และไม่มีภาระจ่ายโหลด
- ช่วงที่ 2 : เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ $1000 W/m^2$ และไม่มีภาระจ่ายโหลด
- ช่วงที่ 3 : ภาระจ่ายโหลดกำลังไฟฟ้า (Power Load) 20 W ที่ความเข้มแสงเท่ากับ $1000 W/m^2$
- ช่วงที่ 4 : ภาระจ่ายโหลดกำลังไฟฟ้า (Power Load) 60 W ที่ความเข้มแสงเท่ากับ $1000 W/m^2$
- ช่วงที่ 5 : เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ $0 W/m^2$ (ไม่มีแสงอาทิตย์) และภาระจ่ายโหลดกำลังไฟฟ้า (Power Load) 60W



รูปที่ 3.3 ผลการจำลองสถานการณ์การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC

ช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2

จากรูปที่ 3.3 ผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่า ระบบที่ไม่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดแสดงด้วยกราฟเส้นประ (without MPPT) แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ V_{pv} จะมีค่าเท่ากับแรงดันของเอาต์พุตซึ่งก็คือแบตเตอรี่ 12V โดยเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 500 W/m^2 กำลังไฟฟ้า ($P_{pv} = I_{pv} V_{pv}$) $P_{pv} = 6.51 \text{ W}$ แสดงได้จุด A ในรูปที่ 3.4 และเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 1000 W/m^2 $P_{pv} = 13.02 \text{ W}$ แสดงได้จุด B ในรูปที่ 3.4 จากรูปที่ 3.3 ระบบที่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุด (MPPT) แสดงด้วยกราฟเส้นทึบ V_{pv} จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด โดยเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 500 W/m^2 $V_{pv} = 38.1 \text{ V}$ และ $P_{pv} = 18.8 \text{ W}$ แสดงได้จุด C ในรูปที่ 3.4 และเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 1000 W/m^2 $V_{pv} = 37.7 \text{ V}$ และ $P_{pv} = 40 \text{ W}$ แสดงได้จุด D ในรูปที่ 3.4 และจากรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มแสงเท่ากับ 500 W/m^2 และ 1000 W/m^2 ระบบที่มีการตามรอยจุดกำลังด้วยวิธี VOC สามารถดึงกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ได้



รูปที่ 3.4 กราฟลักษณะเฉพาะของแรงดัน และจุดกำลังที่ความเข้มแสง 500 W/m² และ 1000 W/m²

ช่วงที่ 3

จากรูปที่ 3.3 เมื่อทำการจ่ายโหลดกำลังไฟฟ้า (Power Load) 20 W จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่มีค่า 1.6 A ซึ่งมีค่าลดลง เนื่องจากกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสได้ 3.3 A จะแบ่งกระแสจ่ายให้โหลด 1.7 A

ช่วงที่ 4

จากรูปที่ 3.3 เมื่อทำการจ่ายโหลดกำลังไฟฟ้า 60 W ซึ่งโหลดต้องการกระแส 5 A แต่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เพียง 40 W หรือ 3.3 A ไม่เพียงพอต่อการจ่ายโหลด ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จึงมีค่าติดลบเท่ากับ -1.7 A ซึ่งหมายถึงแบตเตอรี่ช่วยจ่ายกระแสให้โหลด

ช่วงที่ 5

จากรูปที่ 3.3 เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 0 W/m² หรือไม่มีแสงอาทิตย์ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ คือ 12V แต่โหลดต้องการกำลังไฟฟ้า 60W ทำให้กระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่มีค่าติดลบมากกว่าช่วงที่ 4 เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ หรือกระแสมีค่า 0 A ดังนั้นจึงมีเพียงแต่แบตเตอรี่จ่ายกระแสให้โหลด -5 A

ผลการจำลองสถานการณ์ในรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่า ระบบที่มีการตามรอยจุดกำลัง (เส้นทึบ) สามารถดึงกำลังสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้ ณ ความเข้มแสงค่าต่าง ๆ ถ้าความเข้มแสงมีค่ามาก กำลังที่จ่ายออกมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะมีค่ามาก ถ้าในสภาวะดังกล่าวไม่มีโหลด พลังงานทั้งหมดจะทำการเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ โดยกระแสที่ไหลเข้าแบตเตอรี่ จะมีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีการตามรอยจุดกำลัง (เส้นประ) ซึ่งหมายถึง ระบบสามารถอัดประจุให้แบตเตอรี่ได้เร็วขึ้น สำหรับกรณีที่มีการจ่ายโหลด ผลการจำลองสถานการณ์ในรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าพลังงานที่โหลดต้องการ พลังงานส่วนที่เหลือจะถูกเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ แต่ถ้าพลังงานที่โหลดต้องการมีค่ามากกว่าพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ แบตเตอรี่จะช่วยจ่ายโหลดทันที หรือแม้กระทั่งกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่จะช่วยจ่ายโหลดแทนเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีแต่พลังงานสำรองของระบบมาใช้จ่ายโหลดทั้งหมด จากผลการจำลองสถานการณ์ แสดงให้เห็นว่า ระบบที่มีการตามรอยจุดกำลังมีประโยชน์และมีความสำคัญเป็นอย่างมาก สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.4 สรุป

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC โดยได้อธิบายหลักการทำงานที่ว่าแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด จะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงดันขณะเปิดวงจร จากนั้นได้ทำการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SIMULINK ใน MATLAB พบว่าระบบที่มีการตามรอยจุดกำลังสามารถดึงจุดกำลังจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการตามรอยจุดกำลัง และเพื่อยืนยันผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์และแสดงให้เห็นว่าวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยสามารถสร้างใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ จึงมีความจำเป็นในการสร้างชุดทดสอบดังจะอธิบายรายละเอียดในบทถัดไป

บทที่ 4

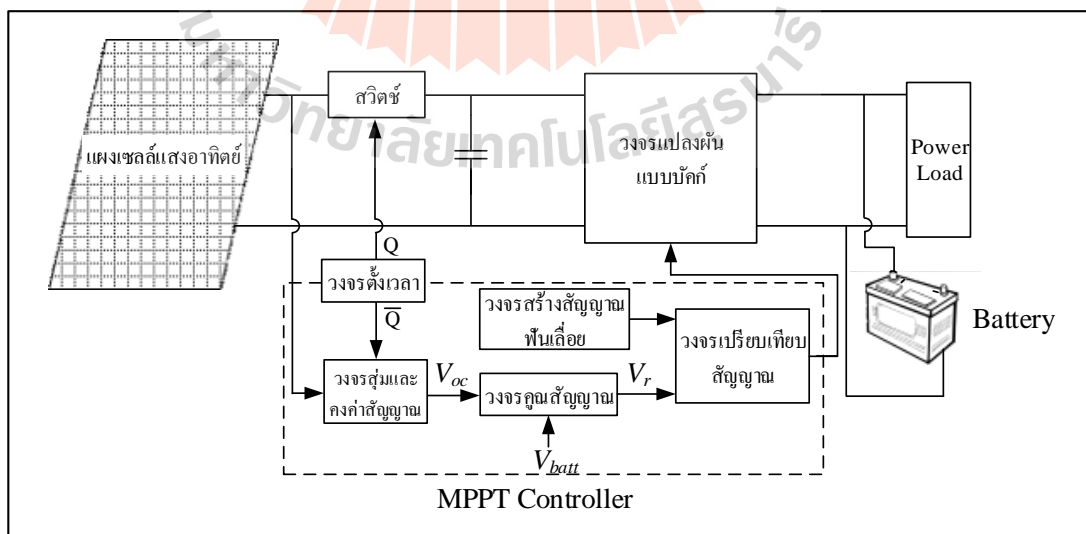
การสร้างชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุด ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร

4.1 บทนำ

การจำลองสถานการณ์การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมที่นำเสนอในงานวิจัย เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มี การตามรอยจุดกำลัง ระบบมีความสามารถในการถ่ายโอนกำลังจากเซลล์แสงอาทิตย์สู่แบตเตอรี่และโหลดได้สูงสุด เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์และแสดงให้เห็นว่าวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยสามารถสร้างใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ จึงมีความจำเป็นในการสร้างชุดทดสอบ โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างชุดทดสอบของวิธี VOC และการออกแบบและการทดสอบวงจรต่าง ๆ

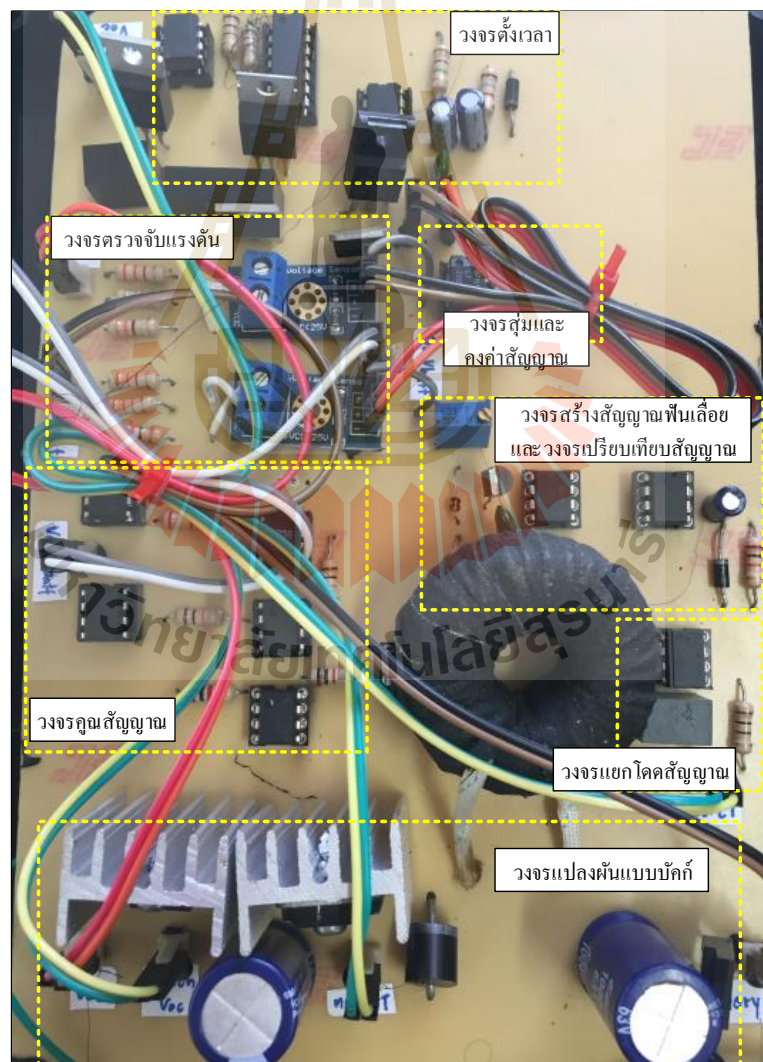
4.2 ชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC

โครงสร้างของชุดทดสอบวิธี VOC แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 โดยจะใช้อุปกรณ์แอนะล็อกในการสร้างชุดทดสอบ



รูปที่ 4.1 โครงสร้างชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC

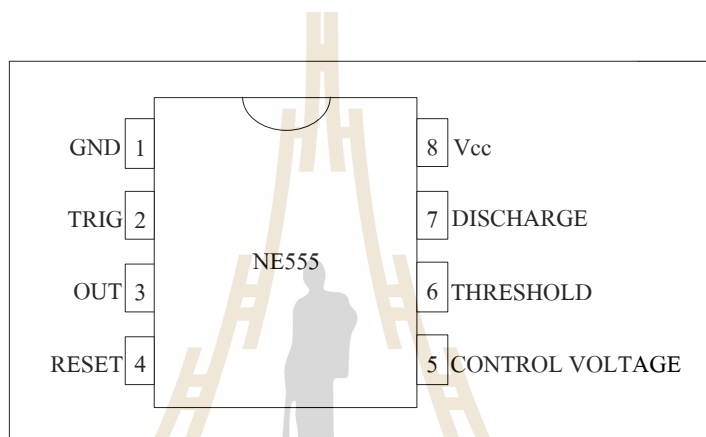
โครงสร้างชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC ประกอบด้วย วงจรตั้งเวลา กำหนดช่วงการทำงาน โหลดจะถูกตัดออกชั่วขณะหนึ่ง เพื่อทำการวัดแรงดันขณะเปิดวงจรและใช้ วงจรสุ่มค่าและคงค่าสัญญาณ ในการสุ่มค่าแรงดัน V_{OC} มาคงค่าไว้ในช่วงเวลาที่กำหนด ทำการวัดแรงดัน V_{OC} และ V_{batt} ผ่านตัวตรวจจับแรงดัน จากนั้นป้อนให้กับวงจรคูณสัญญาณจะได้ค่า V_r นำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณพื้นฐานโดยใช้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ จะได้สัญญาณพัลส์ผ่าน วงจรแยกโคตสัญญาณเพื่อแยกกราวด์ นำสัญญาณพัลส์ไปขับสวิตช์ของวงจรแปลงผันแบบบักก์ เพื่อให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ค่า V_{mpp} ทำให้สามารถดึงกำลังสูงสุดออกมาใช้งานได้ ภาพรวมชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC ที่ใช้งานจริงแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 และอธิบายการทำงาน การออกแบบและการทดสอบวงจรต่าง ๆ ในชุดทดสอบไว้ในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.2 ภาพรวมชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC ที่ใช้งานจริง

4.2.1 วงจรตั้งเวลา

ไอซีเบอร์ 555 เป็นไอซีที่นิยมใช้ในการนำไปสร้างสัญญาณรูปคลื่นแบบต่างๆ เช่น สัญญาณสี่เหลี่ยม สัญญาณพัลส์ สัญญาณลาดเอียง และวงจรตั้งเวลา ไอซีเบอร์ 555 เป็นอุปกรณ์วงจรรวมที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ อยู่ภายใน และมีส่วนที่ต้องต่อกับวงจรภายนอกเพื่อควบคุมการทำงาน และใช้งานเป็นลักษณะต่าง ๆ ไอซีเบอร์ 555 มีความสะดวกต่อการออกแบบและง่ายต่อการสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ต่าง ๆ อีกทั้งสามารถเข้าใจการทำงานได้ง่าย ดังนั้นในงานวิจัยจะใช้ไอซีเบอร์ 555 ในการสร้างวงจรตั้งเวลา ไอซีเบอร์ 555 แสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ไอซีเบอร์ 555

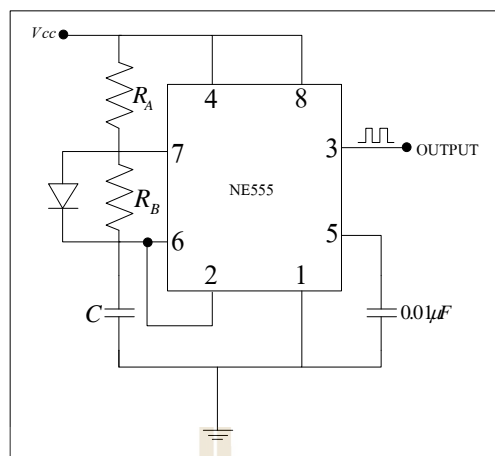
ไอซีเบอร์ 555 มีโหมดการทำงานทั้งหมด 3 โหมด ดังนี้

โหมดที่ 1 โมนอสเตเบิล (Monostable) การทำงานจะเป็นแบบที่สร้างสัญญาณพัลส์ขึ้นมา 1 ลูก หลังจากมีการทริก (กระตุ้น) ให้วงจรเกิดสัญญาณ มีความกว้างที่สามารถกำหนดได้ด้วยค่า RC

โหมดที่ 2 อะสเตเบิล (Astable) การทำงานจะเป็นแบบที่สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ที่สามารถกำหนดได้ตามความต้องการ ด้วยค่าคาปาซิเตอร์ C และค่าความต้านทาน R_A และ R_B

โหมดที่ 3 ไบสเตเบิล (Bistable) การทำงานจะเป็นแบบที่จะเปลี่ยนสถานะจาก High ไปเป็นสถานะ Low ได้ และจะยังคงอยู่ที่สถานะนั้นตลอดจนกว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่เข้ามาทริก ที่เรียกว่า ฟลิปฟล็อป (Flip-Flop)

ในงานวิจัยจึงเลือกใช้ไอซีเบอร์ 555 ในโหมดอะสเตเบิลมาสร้างเป็นวงจรตั้งเวลา ซึ่งแสดงการต่อวงจรใช้งานในโหมดอะสเตเบิลได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรอะอสเตเบิลิต

การออกแบบวงจรวงจระอสเตเบิลิตสามารถออกแบบได้ดังสมการ ดังนี้

$$T_{on} = 0.693(R_A + R_B)C \quad (4-1)$$

$$T_{off} = 0.693R_B C \quad (4-2)$$

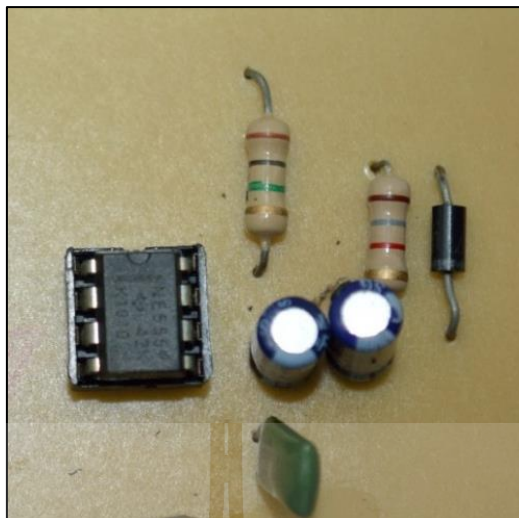
$$f = \frac{1}{0.693(R_A + 2R_B)C} \quad (4-3)$$

โดยที่ T_{on} คือ ระยะเวลา ON (S;วินาที)

T_{off} คือ ระยะเวลา OFF (S;วินาที)

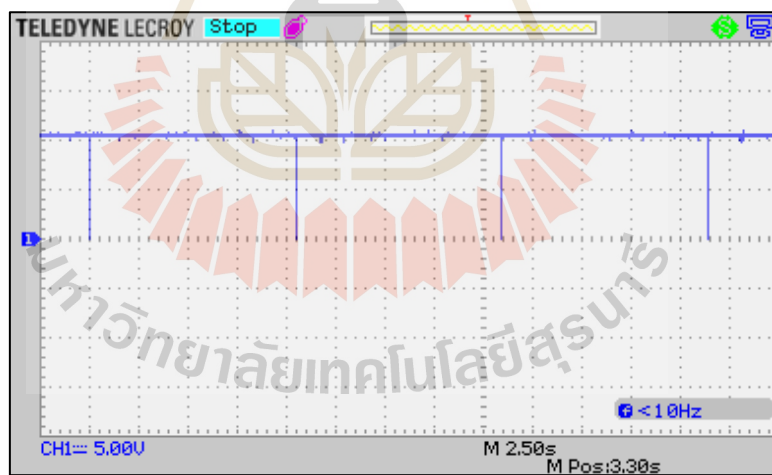
f คือ ความถี่ของสัญญาณ (Hz)

การออกแบบวงจรตั้งเวลาที่ใช้นงานวิจัยกำหนดให้มีค่า $T_{on} = 11s$ และ $T_{off} = 18ms$ ดังนั้นการคำนวณหาค่าตัวต้านทานจะพิจารณาจากสมการที่ (4-1) และ (4-2) โดยการออกแบบจะกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุในวงจรมีค่าเท่ากับ $C = 14.7\mu F$ ดังนั้นเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ของวงจรตามที่ได้กำหนดไว้ในเบื้องต้นลงในสมการดังกล่าว จะได้ค่าตัวต้านทาน $R_A = 96.4k\Omega$ และ $R_B = 1.77k\Omega$ โดยในการสร้างวงจรใช้งานจริงผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ ดังนี้ $C = 14.7\mu F$ $R_A = 1M\Omega$ และ $R_B = 1.8k\Omega$ ซึ่งสามารถแสดงวงจรตั้งเวลาที่นำมาใช้งานจริงดังรูปที่ 4.5

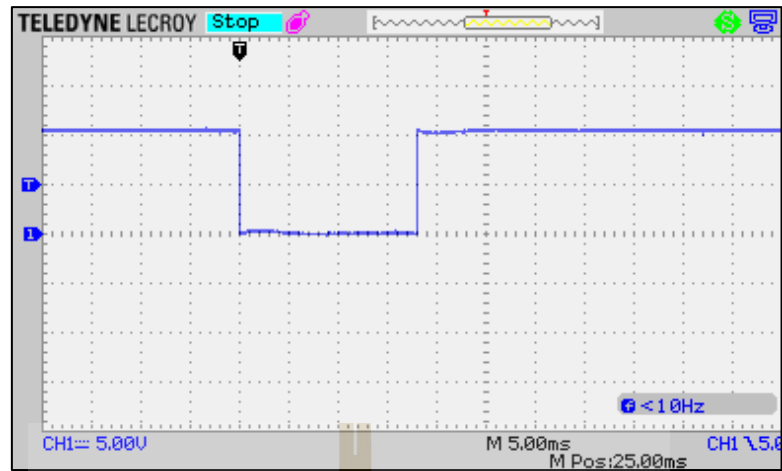


รูปที่ 4.5 วงจรตั้งเวลาที่ใช้งานจริง

การทดสอบวงจรตั้งเวลาในรูปที่ 4.5 ดำเนินการทดสอบโดยทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตั้งเวลา ซึ่งสามารถแสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตั้งเวลาได้ดังรูปที่ 4.6 ดังนี้



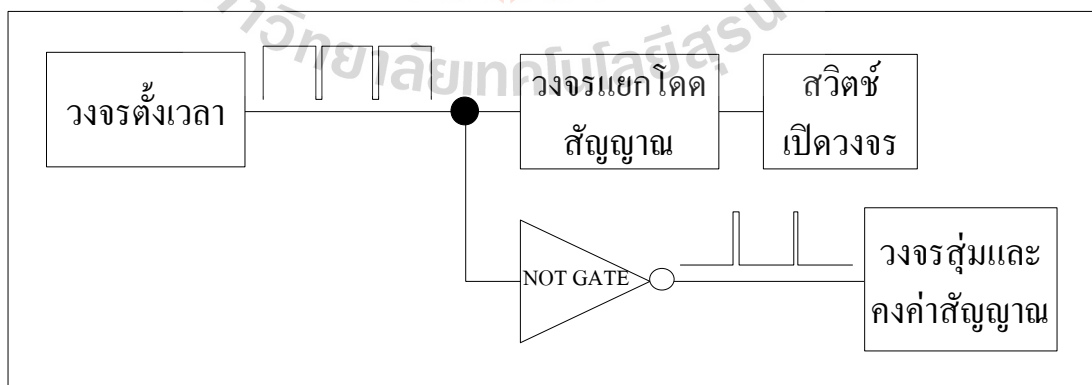
(ก)



(ข)

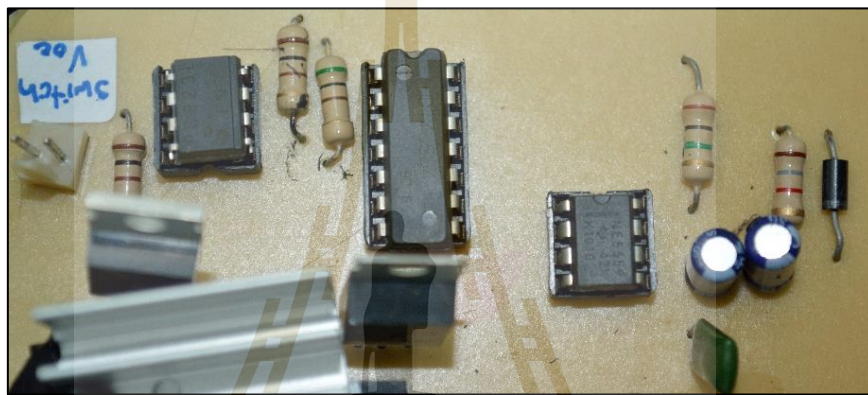
รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรตั้งเวลา

ผลการทดสอบวงจรตั้งเวลาในรูปที่ 4.6 (ก) พบว่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตั้งเวลามีขนาด $T_{on} = 11\text{s}$ ซึ่ง T_{off} ในรูปที่ 4.6 (ก) ไม่ชัดเจนจึงทำการขยายรูปสัญญาณจะได้ดังรูปที่ 4.6 (ข) จะเห็นว่า $T_{off} = 18\text{ms}$ ซึ่งเป็นไปตามที่ได้อธิบายไว้ในเบื้องต้น โดยสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตั้งเวลาจะนำไปป้อนให้กับสวิทช์สำหรับเปิดวงจร และวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ ดังรูปที่ 4.7 การนำสัญญาณไปป้อนให้กับสวิทช์นั้นจะต้องผ่านวงจรแยกโคดสัญญาณก่อนนำไปขับสวิทช์ ส่วนสัญญาณที่ป้อนให้กับวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณจะต้องผ่าน NOT GATE เพื่อกลับสัญญาณจาก ลอจิก “High” เป็น “Low” และลอจิก “Low” เป็น “High” โดยใช้ไอซี เบอร์ 7404



รูปที่ 4.7 การนำวงจรตั้งเวลาไปใช้งานร่วมกับวงจรอื่น ๆ

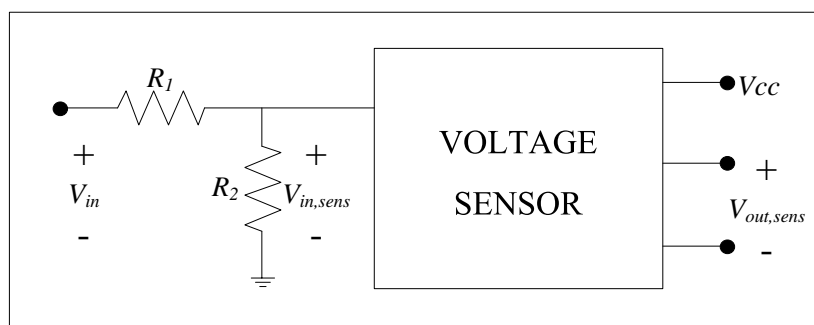
จากรูปที่ 4.7 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรตั้งเวลาจะนำไปป้อนให้กับสวิตช์เปิดวงจรและวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ โดยสวิตช์เปิดวงจรจะทำงานตรงข้ามกับวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ โดยใช้ NOT GATE ในการกลับสัญญาณ เมื่อสวิตช์เปิดวงจรทำงานหรือสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตั้งเวลาเป็นลอจิก “Low” โหลดจะถูกตัดออกเป็นเวลา 18ms เพื่อทำการวัดค่า V_{oc} ในขณะที่นั้นวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณจะทำการสุ่มค่า V_{oc} หรือสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตั้งเวลาเป็นลอจิก “High” และจะคงค่าเป็นเวลา 11s ซึ่งวงจรนี้จะทำงานในลักษณะนี้ซ้ำ ๆ จากวงจรในรูปที่ 11 นำวงจรตั้งเวลาไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับวงจรอื่น ๆ มาสร้างใช้งานจริงแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 วงจรตั้งเวลา ไปประยุกต์ใช้งานจริงร่วมกับวงจรอื่น ๆ

4.2.2 วงจรตรวจจับแรงดัน

วงจรตรวจจับแรงดันในงานวิจัย จะเลือกใช้ Arduino Standard Voltage Sensor Module พิกัด 0 - 24 V ทำหน้าที่วัดแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะเปิดวงจร (V_{oc}) และแรงดันแบตเตอรี่ (V_{batt}) ซึ่งมีโครงสร้างของวงจรตรวจจับแรงดันดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 โครงสร้างของวงจรตรวจจับแรงดัน

จากโครงสร้างของวงจรตรวจจับแรงดันในรูปแบบที่ 4.9 เนื่องจากตัวตรวจจับแรงดันที่เลือกใช้มีค่าพิคก คือ 0 - 24 V แต่ค่าแรงดันสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีความเท่ากับ 43 โวลต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับวงจรตรวจจับแรงดัน ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าแรงดันของวงจรแบ่งแรงดันได้ตามสมการที่ (4-4)

$$V_{in,sens} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (4-4)$$

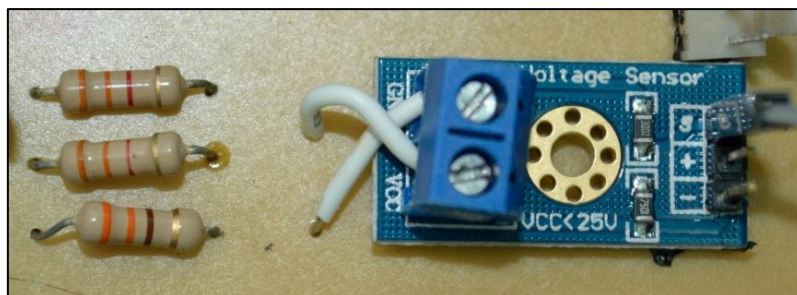
เมื่อ $V_{in,sens}$ คือ แรงดันอินพุตของตัวตรวจจับแรงดัน (V)

V_{in} คือ แรงดันที่ต้องการวัด (V)

ในงานวิจัย ผู้วิจัยเลือกใช้ค่า $R_1 = 3.3k\Omega$ $R_2 = 3.6k\Omega$ และใช้ตัวตรวจจับแรงดันจำนวน 2 ตัว ได้แก่ ตัวตรวจจับแรงดันเปิดวงจร และตัวตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่ และได้ดำเนินการทดสอบหาค่าอัตราส่วนลดทอนของตัวตรวจจับแรงดันเปิดวงจรและแรงดันแบตเตอรี่ โดยการทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันเปิดวงจรมัน ด้านอินพุตของตัวตรวจจับแรงดันจะใช้แหล่งจ่ายปรับค่าได้และทำการปรับค่าแรงดันค่าต่าง ๆ จากนั้นวัดค่าแรงดันอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับแรงดัน สำหรับการทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่ จะดำเนินการทดสอบเช่นเดียวกันกับการทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันเปิดวงจร โดยวงจรตรวจจับแรงดันเปิดวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 และวงจรตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่แสดงได้ดังรูปที่ 4.11 ผลการทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันเปิดวงจรแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และผลการทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่แสดงได้ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.10 วงจรตรวจจับแรงดันเปิดวงจร



รูปที่ 4.11 วงจรตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่

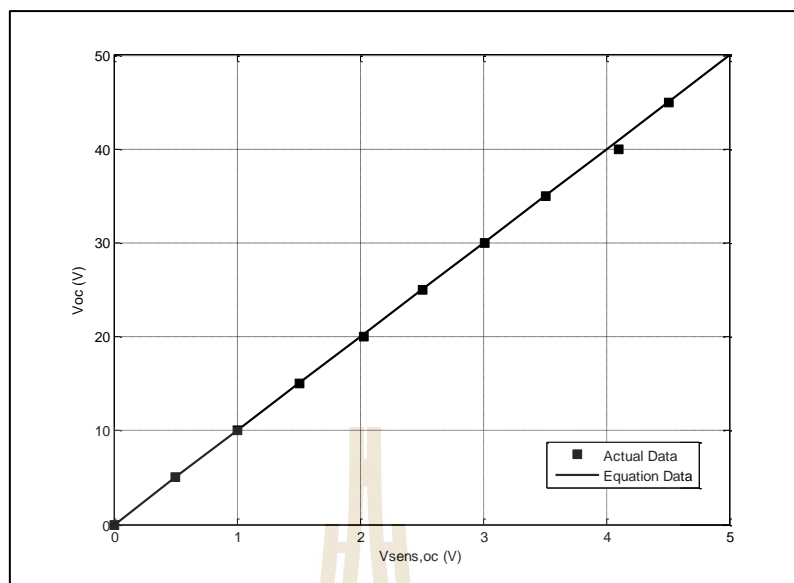
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันเปิดวงจร

V_{oc} (V)	$V_{sens,oc}$ (V)
0.00	0.001
5.00	0.502
10.00	1.001
15.00	1.510
20.00	2.030
25.00	2.510
30.00	3.010
35.00	3.510
40.00	4.010
45.00	4.511
50.00	5.000

เมื่อ V_{oc} คือ แรงดันเปิดวงจร (V)

$V_{sens,oc}$ คือ แรงดันที่วัดได้จากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า (V)

จากตารางที่ 4.1 นำผลการทดสอบวงจรมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่วัดได้จากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า และแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะเปิดวงจร ได้ดังรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่ากราฟมีความเป็นเชิงเส้น และอัตราส่วนของแรงดันอินพุต (แรงดันเปิดวงจร) ต่อแรงดันเอาต์พุต (แรงดันของตัวตรวจจับแรงดัน) คือ 10:1



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่วัดได้จากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า และแรงดันเปิดวงจร

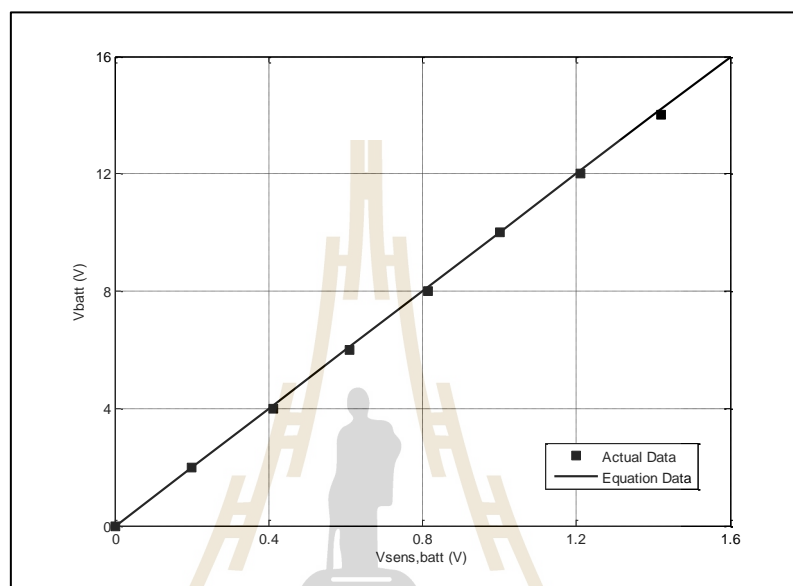
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่

V_{batt} (V)	$V_{sens,batt}$ (V)
0.00	0.001
2.00	0.199
4.00	0.412
6.00	0.610
8.00	0.813
10.00	1.00
12.00	1.21
14.00	1.42
16.00	1.61

เมื่อ V_{batt} คือ แรงดันแบตเตอรี่ (V)

$V_{sens,batt}$ คือ แรงดันที่วัดได้จากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า (V)

จากตารางที่ 4.2 นำผลการทดสอบวงจรมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่วัดได้จากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า และแรงดันของแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่ากราฟมีความเป็นเชิงเส้น และอัตราส่วนของแรงดันอินพุต (แรงดันแบตเตอรี่) ต่อแรงดันเอาต์พุต (แรงดันของตัวตรวจจับแรงดัน) คือ 10:1



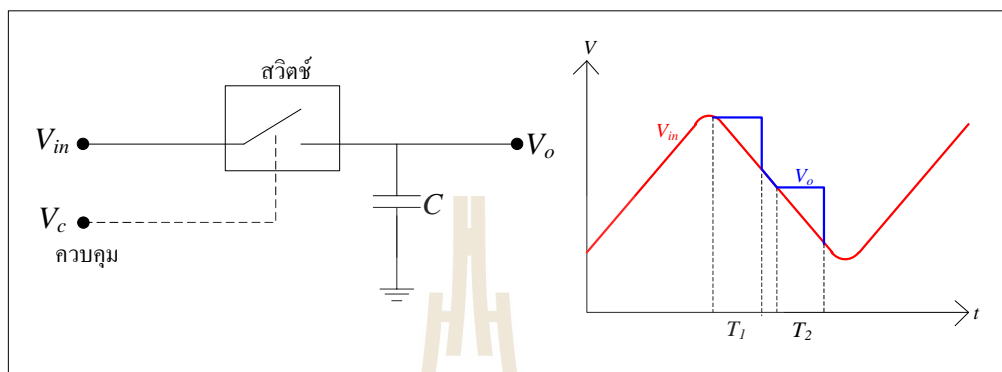
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่วัดได้จากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า และแรงดันแบตเตอรี่

จากการทดสอบหาค่าอัตราส่วนลดทอนของวงจรตรวจจับแรงดัน จะได้ค่าแรงดันเปิดวงจรที่วัดได้จากวงจรตรวจจับแรงดันซึ่งจะนำแรงดันเปิดวงจร ไปป้อนให้วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ ส่วนค่าแรงดันแบตเตอรี่ ที่วัดได้จากวงจรตรวจจับแรงดันจะนำแรงดันแบตเตอรี่ไปป้อนให้วงจรคูณสัญญาณ

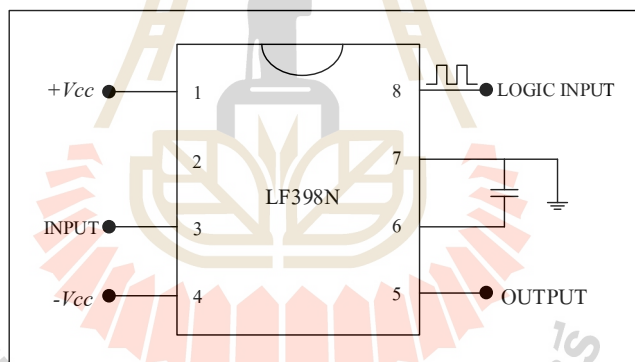
4.2.3 วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ

วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ ทำหน้าที่สุ่มสัญญาณอินพุตและนำสัญญาณที่สุ่มได้นั้นมาเก็บไว้ในช่วงเวลาหนึ่ง หรือเรียกว่าการคงค่าสัญญาณโดยใช้การเก็บประจุแรงดันนั้นไว้ในตัวเก็บประจุ วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณจะทำการสุ่มสัญญาณเป็นระยะ ๆ คงที่โดยอาศัยการกำหนดเวลาในการสุ่มและการคงค่าด้วยการป้อนสัญญาณพัลส์ที่ตัวควบคุม (V_c) ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งสัญญาณพัลส์จะไปทริกสวิทช์ เมื่อสวิทช์ปิดวงจรจะทำหน้าที่สุ่มสัญญาณ ณ เวลานั้น และเมื่อสวิทช์

เปิดวงจรจะทำหน้าที่กักค่าสัญญาณไว้โดยเก็บประจุแรงดันไว้ในตัวเก็บประจุ วงจรจะทำการสุ่มและคงค่าสัญญาณเป็นระยะ ๆ ตามสัญญาณพัลส์ ในงานวิจัยใช้ไอซีเบอร์ LF398 ดังรูปที่ 4.15 ในการสุ่มและคงค่าสัญญาณ



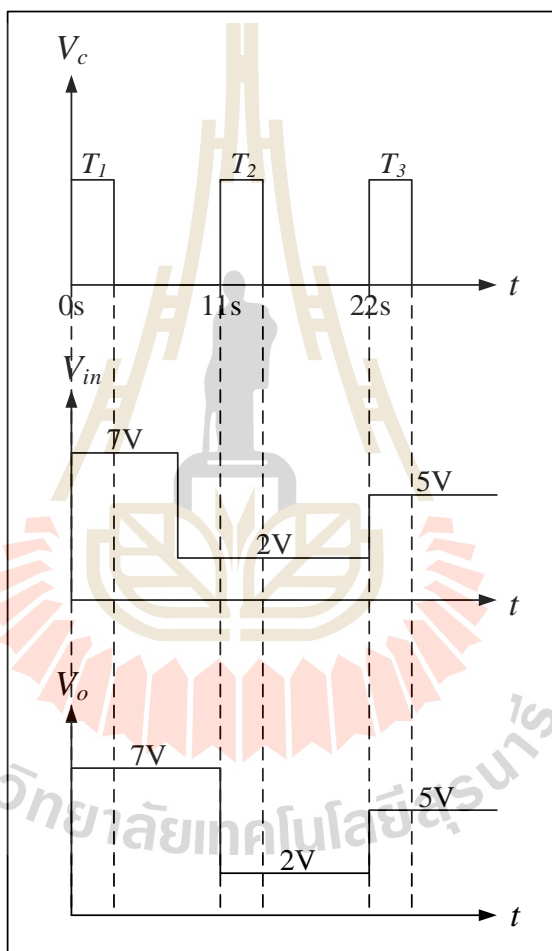
รูปที่ 4.14 โครงสร้างและการทำงานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ



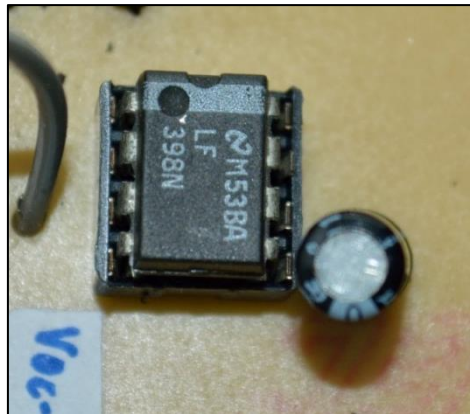
รูปที่ 4.15 ไอซีเบอร์ LF398

การทำงานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณจะอาศัยวงจรตั้งเวลาในการกำหนดช่วงเวลาทำงาน ซึ่งจะป้อนสัญญาณพัลส์จากวงจรตั้งเวลาให้กับขา 8 ของไอซีดังรูปที่ 4.15 ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยได้ดังรูปที่ 4.16 จากรูปพบว่าเมื่อสัญญาณพัลส์ที่ตัวควบคุม V_c ที่เวลา T_1 เป็นลอจิก “High” วงจรจะทำการสุ่มค่า ซึ่งค่าแรงดันอินพุต V_{in} ของไอซีที่เวลา T_1 มีค่าเท่ากับ 7 V ดังนั้นค่าแรงดันเอาต์พุต V_o ของไอซีจะมีค่าเท่ากับ 7 V และมีการคงค่าแรงดันไว้เป็นเวลา 11 วินาทีโดยใช้การเก็บประจุแรงดันไว้ในตัวเก็บประจุ และเมื่อ V_c ที่เวลา T_2 เป็นลอจิก “High” อีกครั้งวงจรก็จะทำการสุ่มค่าแรงดันใหม่ ซึ่ง V_{in} ที่เวลา T_2

มีค่าเท่ากับ 2 V ดังนั้น V_o จะมีค่าเท่ากับ 2 V และมีการคงค่าแรงดันไว้จนถึง 22 วินาที จากนั้น V_c ที่เวลา T_3 เป็นลอจิก “High” วงจรก็จะทำการสุ่มค่า ซึ่ง V_{in} ที่เวลา T_3 มีค่าเท่ากับ 5 V ดังนั้น V_o จะมีค่าเท่ากับ 5 V โดยการสุ่มและคงค่าแรงดันนั้นจะขึ้นอยู่กับสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับไอซี การทำงานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณจะทำงานตรงข้ามกับสวิตช์เปิดวงจร เนื่องจากในขณะที่สวิตช์ทำการเปิดวงจร วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณจะทำการวัดแรงดันขณะเปิดวงจรไว้ ซึ่งสามารถแสดงวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณที่นำมาใช้งานจริงดังรูปที่ 4.17

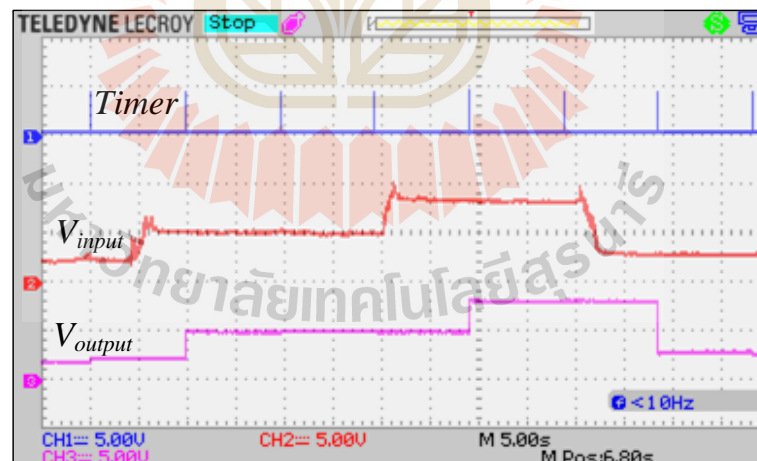


รูปที่ 4.16 การทำงานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 4.17 วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ

การทดสอบวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณในรูปที่ 4.17 ดำเนินการทดสอบ โดยการปรับระดับของแรงดันอินพุต และทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ โดยช่องสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณจากวงจรตั้งเวลา ช่องสัญญาณที่ 2 คือ แรงดันอินพุต และช่องสัญญาณที่ 3 คือ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณดังรูปที่ 4.18 ดังนี้



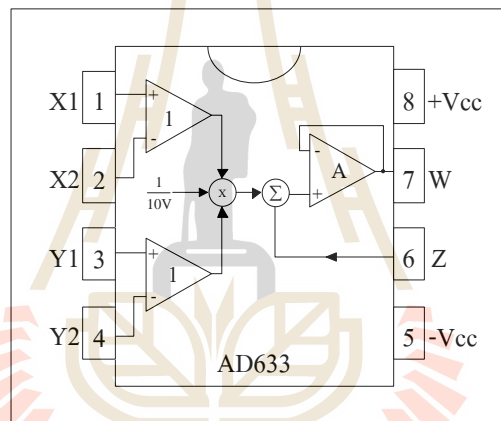
รูปที่ 4.18 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ

วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณในงานวิจัยนี้มีอินพุตและเอาต์พุตของวงจรคือค่าแรงดันเปิดวงจร จากผลการทดสอบสุ่มและคงค่าสัญญาณในรูปที่ 22 พบว่าเมื่อสัญญาณพัลส์เป็นลอจิก “High” วงจรจะทำการสุ่มค่าแรงดันอินพุต เพื่อป้อนให้กับไอซี LF398 และไอซีจะคงค่าแรงดันไว้เป็นเวลา

11 วินาที ซึ่งเป็นไปตามที่ได้อธิบายไว้ในเบื้องต้น โดยเอาต์พุตของวงจรจะถูกนำไปป้อนให้กับวงจรตรวจจับแรงดันเปิดวงจร เพื่อนำไปใช้คำนวณหาค่าแรงดันอ้างอิง V_r ตามสมการที่ (3-5)

4.2.4 วงจรคูณสัญญาณ

จากสมการที่ (3-5) คือ $V_r = \frac{V_{batt}}{0.2kV_{oc}}$ ซึ่งเป็นสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าแรงดันอ้างอิง V_r จากสมการจะเห็นได้ว่าการคูณและหารค่า k , V_{oc} และ V_{batt} ดังนั้นการสร้างชุดทดสอบจึงจำเป็นต้องใช้วงจรคูณสัญญาณและหารสัญญาณ (ในงานวิจัยจะเรียกว่าวงจรคูณสัญญาณ) โดยจะประยุกต์ใช้ไอซีเบอร์ AD633 มาสร้างวงจรคูณสัญญาณ ซึ่งโครงสร้างของไอซีเบอร์ AD633 แสดงได้ดังรูปที่ 4.19 ดังนี้



รูปที่ 4.19 โครงสร้างของไอซี AD633

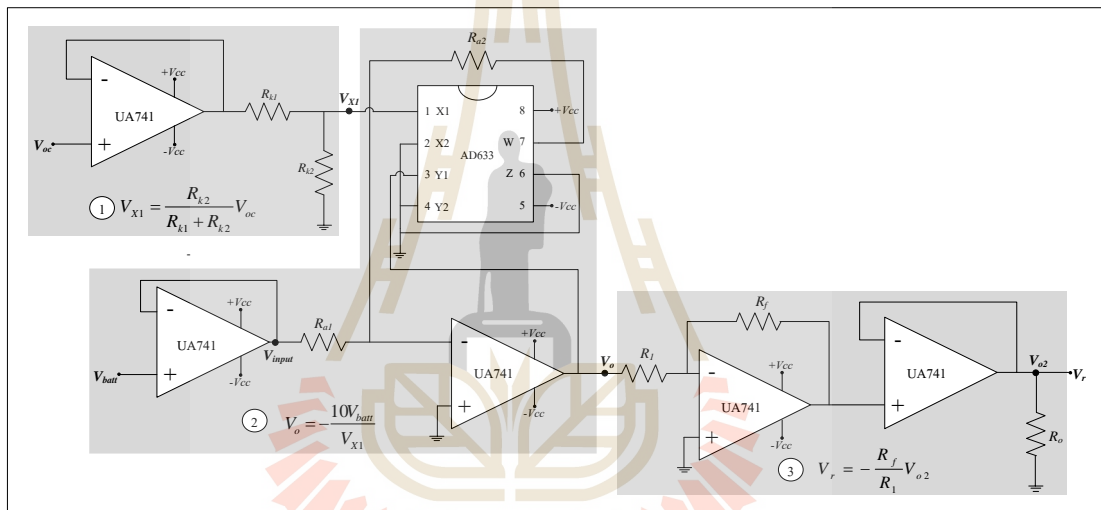
การใช้งานไอซี AD633 มีการคำนวณตามสมการที่ (4-5) ซึ่งสามารถใช้ในการคำนวณบวก ลบ คูณ และหาร ค่าสัญญาณต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10} + Z \quad (4-5)$$

ในงานวิจัยไม่ใช้การบวก และลบสัญญาณ จึงกำหนดให้ขา X_2 , Y_2 และ Z ของไอซี AD633 มีค่าแรงดันมีค่าเท่ากับ 0 V โดยการต่อเข้ากับกราวด์ ดังนั้นแทนค่า $X_2 = Y_2 = Z = 0$ ลงในสมการที่ (4-5) จะได้ดังสมการที่ (4-6)

$$W = \frac{X_1 Y_1}{10} \quad (4-6)$$

จากสมการที่ (4-6) พบว่ามีการหารสัญญาณระหว่าง ค่า V_{batt} และ kV_{oc} ดังนั้นจากสมการที่ (4-6) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า V_r ในสมการที่ (3-5) จะได้ $X_1 = kV_{oc}$, $W = V_{batt}$ และ $Y_1 = V_r$ จากการพิจารณาดังกล่าวจะได้ลักษณะของวงจร โครงสร้างวงจรคุณสมบัติสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 4.20 โดยประยุกต์ใช้ไอซี AD633 ไอซี UA741 และวงจรบัพเฟอร์หรือวงจรกันชนซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ 1 มาต่อใช้งานร่วมกัน โดยสามารถแบ่งการทำงานของวงจรต่าง ๆ ออกเป็น 3 ส่วนแสดงดังหมายเลขในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 โครงสร้างวงจรคุณสมบัติสัญญาณโดยใช้ไอซี AD633 และไอซี UA741

จากรูปที่ 4.20 พิจารณาส่วนหมายเลข 2 ค่ากระแสที่ไหลผ่านไอซี AD633 โดยอาศัยคุณสมบัติการป้อนเข้าทางอินพุตของออปแอมป์ จะได้ค่ากระแสดังสมการที่ (4-7)

$$I_{R_{a1}} = I_{R_{a2}} \quad (4-7)$$

สามารถคำนวณหาค่าของกระแสได้ดังสมการที่ (4-8) ดังนี้

$$I_{R_{a1}} = I_{R_{a2}} \cong \frac{V_{input}}{R_{a1}} \quad (4-8)$$

โดยวงจรคุณสมบัติสัญญาณ ในงานวิจัย จะกำหนดให้ $R_{a1} = R_{a2} = 10k\Omega$ ดังนั้นจะทำให้ค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่ขา W ของไอซี AD633 มีค่าแรงดันเอาต์พุต (V_w) ดังสมการที่ (4-9)

$$V_w = -V_{input} \quad (4-9)$$

จากสมการที่ (4-6) แทนค่าลงในสมการที่ (4-10) จะได้

$$V_w = -V_{input} = \frac{V_{x1}V_{y1}}{10} \quad (4-10)$$

จากวงจรในรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่า $V_{y1} = V_o$ แทนค่าลงในสมการที่ (4-10) และทำการจัดรูปสมการให้เป็นสมการของวงจรหารสัญญาณจะได้ดังสมการที่ (4-11) ดังนี้

$$-V_{input} = \frac{(V_{x1})(V_o)}{10}$$

$$V_o = -\frac{10V_{input}}{V_{x1}} \quad (4-11)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (4-11) จะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรหารสัญญาณ ซึ่งจากรูปที่ 4.20 ในส่วนหมายเลข 1 จะเห็นได้ว่า

$$V_{x1} = \frac{R_{k2}}{R_{k1} + R_{k2}} V_{oc} \quad (4-12)$$

ในงานวิจัยจะกำหนดค่า k หรือค่าอัตราส่วนคงที่ในสมการที่ (3-1) สามารถหาได้ดังสมการที่ (4-13)

$$k = \frac{R_{k2}}{R_{k1} + R_{k2}} \quad (4-13)$$

ดังนั้นแทนค่า k ลงในสมการที่ (4-12) จะได้

$$V_{X1} = kV_{oc} \quad (4-13)$$

แทนค่า V_{X1} จากสมการที่ (4-13) และกำหนดให้ $V_{input} = V_{batt}$ แทนค่าลงในสมการที่ (4-11) จะได้

$$V_o = -\frac{10V_{batt}}{kV_{oc}} \quad (4-14)$$

จากรูปที่ 4.20 ในส่วนหมายเลข 3 จะเห็นได้ว่าใช้วงจรออปแอมป์แบบอินเวอร์ตติ้ง ซึ่งแรงดันเอาต์พุตมีค่าดังสมการที่ (4-15)

$$V_{o2} = -\frac{R_f}{R_1} V_o \quad (4-15)$$

โดยวงจรวงจรรออปแอมป์แบบอินเวอร์ตติ้ง ในงานวิจัย จะกำหนดให้ $R_f = 1k\Omega$ และ $R_1 = 2k\Omega$ ดังนั้นจะทำให้ค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$V_{o2} = -\frac{1k\Omega}{2k\Omega} V_o = -0.5V_o \quad (4-16)$$

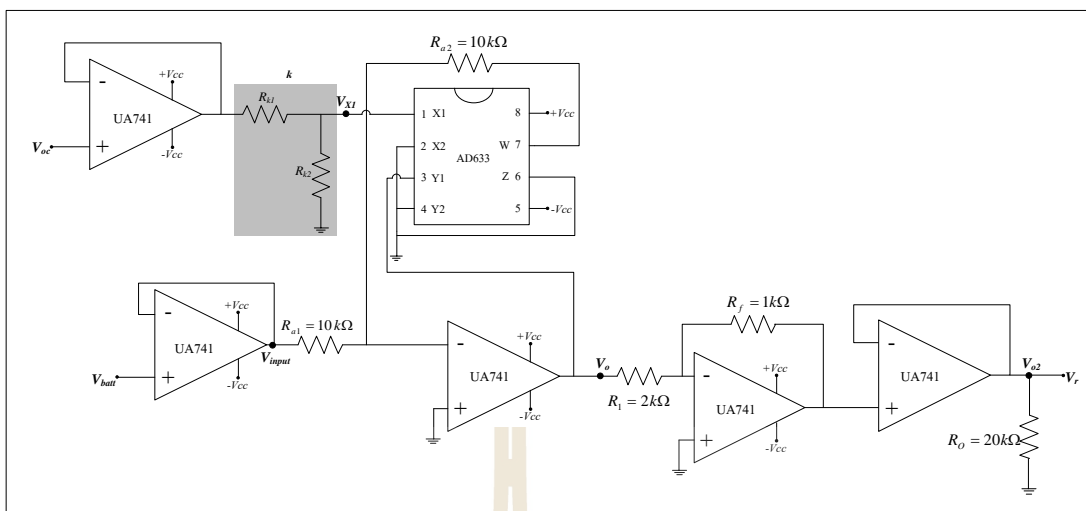
จากนั้นแทนค่า V_o จากสมการที่ (4-14) ลงในสมการที่ (4-16) จะได้

$$V_r = V_{o2} = -0.5 \times -\frac{10V_{batt}}{kV_{oc}} \quad (4-17)$$

ดังนั้นจะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรคุณสัญญาณ (V_r) ดังสมการที่ (4-18) ดังนี้

$$V_r = \frac{V_{batt}}{0.2kV_{oc}} \quad (4-18)$$

ซึ่งสามารถแสดงวงจรคุณสัญญาณที่ได้จากการออกแบบพร้อมระบุค่าพารามิเตอร์ ดังรูปที่ 4.21 และวงจรคุณสัญญาณที่สร้างใช้งานจริงดังรูปที่ 4.22

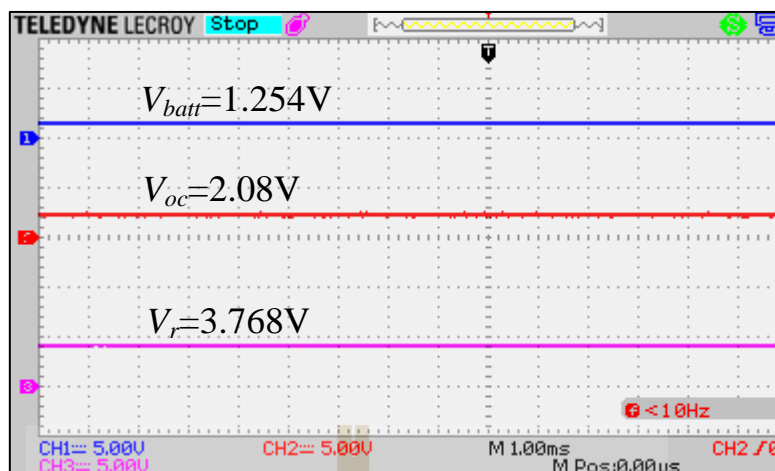


รูปที่ 4.21 วงจรคุณสมบัติที่ได้จากการออกแบบ

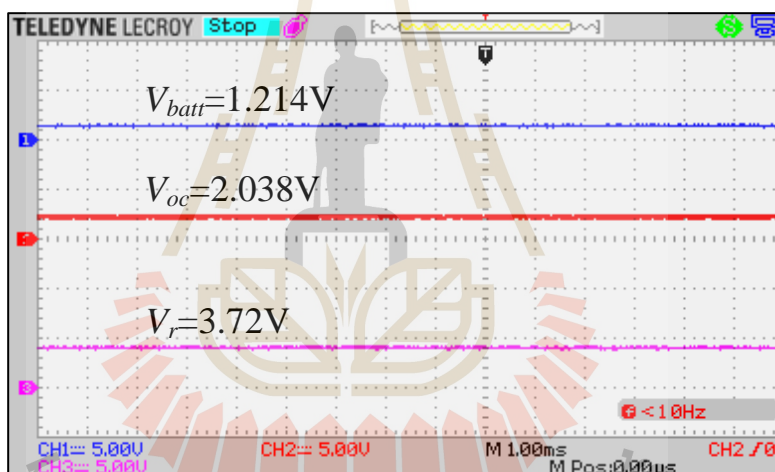


รูปที่ 4.22 วงจรและการทำงานที่ใช้จริง

การทดสอบวงจรคุณสมบัติในรูปที่ 4.22 ได้ดำเนินการทดสอบโดยเลือกใช้ค่าตัวต้านทานตามที่ออกแบบไว้ข้างต้น และกำหนดให้ค่า $k = 0.80$ จากนั้นทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรคุณสมบัติ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าแรงดันอินพุต โดยรูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรคุณสมบัติเมื่อ $V_{batt} = 1.254V$ และ $V_{oc} = 2.08V$ และรูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรคุณสมบัติเมื่อ $V_{batt} = 1.214V$ และ $V_{oc} = 2.038V$



รูปที่ 4.23 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรคูณสัญญาณเมื่อ $V_{batt} = 1.254V$ และ $V_{oc} = 2.08V$



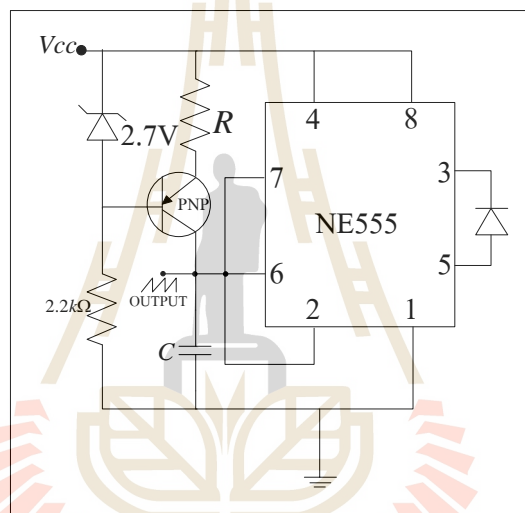
รูปที่ 4.24 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรคูณสัญญาณเมื่อ $V_{batt} = 1.214V$ และ $V_{oc} = 2.038V$

จากรูปที่ 4.23 เมื่อ $k = 0.8$, $V_{batt} = 1.254V$ และ $V_{oc} = 2.08V$ พบว่าสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรคูณสัญญาณ $V_r = 3.768V$ โดยค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้นั้นเป็นไปตามสมการที่ (4-18) คือ $V_r = \frac{V_{batt}}{0.2kV_{oc}} = \frac{1.254}{0.2 \times 0.8 \times 2.08} = 3.768$ และรูปที่ 4.24 เมื่อ $k = 0.8$, $V_{batt} = 1.214V$ และ $V_{oc} = 2.038V$ จะได้ $V_r = 3.72V$ ซึ่งถ้าคำนวณตามสมการที่ (4-18) จะได้ค่า $V_r = 3.723$ จากผลการทดสอบวงจรคูณสัญญาณจะเห็นว่าค่าสัญญาณเอาต์พุตเป็นไปตามที่ได้อธิบายไว้ในเบื้องต้น

4.2.5 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณในหัวข้อนี้จะประกอบไปด้วยการสร้างวงจรสัญญาณฟันเลื่อยและการสร้างวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ โดยในงานวิจัยจะนำค่าแรงดันอ้างอิง V_r ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อยโดยใช้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ จะได้สัญญาณพัลส์เพื่อนำไปขับสวิทช์ของวงจรแปลงผันแบบบักคี่

วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย (sawtooth) เป็นสัญญาณที่นำมาเพื่อเป็นสัญญาณที่ใช้ในการเปรียบเทียบ โดยสามารถสร้างได้จากไอซีเบอร์ NE555 ซึ่งจะมีโครงสร้างของวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย

จากวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยในรูปที่ 4.25 ใช้ไอซีเบอร์ 555 นำมาสร้างเป็นวงจรในโหมดสแตเบิล ดังที่อธิบายไปในหัวข้อที่ 4.2.1 ประยุกต์ใช้งานไอซี 555 กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ ทรานซิสเตอร์ ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด และตัวต้านทาน การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยในรูปที่ 4.26 สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4-19)

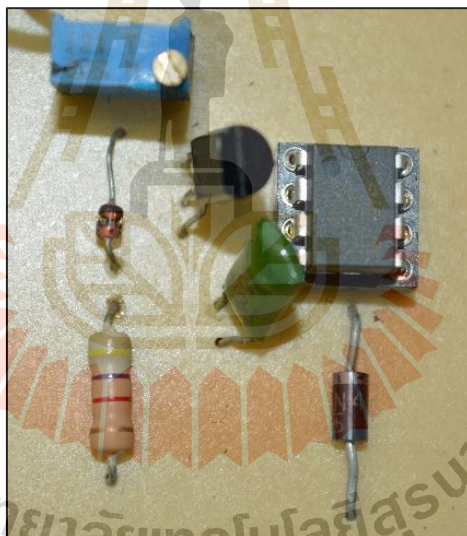
$$f = \frac{(V_{cc} - 2.7)}{R \times C \times V_{pp}} \quad (4-19)$$

เมื่อ V_{cc} คือ แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของวงจร (V)

V_{pp} คือ ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต (V)

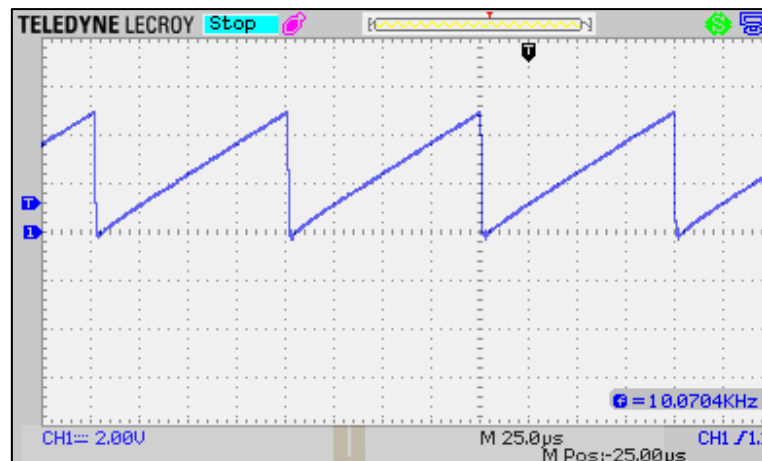
- f คือ ค่าความถี่ในการออกแบบ (Hz)
 C คือ ตัวเก็บประจุ (F)
 R คือ ตัวต้านทาน (Ω)

การออกแบบสัญญาณพื่นเลื่อยที่ใช้ในงานวิจัยกำหนดให้มีค่าความถี่ของสัญญาณเท่ากับ 10kHz ไฟเลี้ยงของวงจร (V_{cc}) เท่ากับ 8V ดังนั้น ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณพื่นเลื่อย (V_{pp}) มีค่าเท่ากับ 5V และการออกแบบจะกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุในวงจรมีค่าเท่ากับ $0.01\ \mu\text{F}$ ดังนั้น การคำนวณหาค่าตัวต้านทานจะพิจารณาจากสมการที่ (4-19) ดังนั้นเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ของวงจรตามที่ได้กำหนดไว้ในเบื้องต้นลงในสมการดังกล่าว จะได้ค่าตัวต้านทาน $R = 9.9\text{k}\Omega$ โดยในวงจรใช้งานจริงจะใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งสามารถแสดงวงจรสร้างสัญญาณพื่นเลื่อยที่นำมาใช้งานจริงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 วงจรสร้างสัญญาณพื่นเลื่อยที่ใช้งานจริง

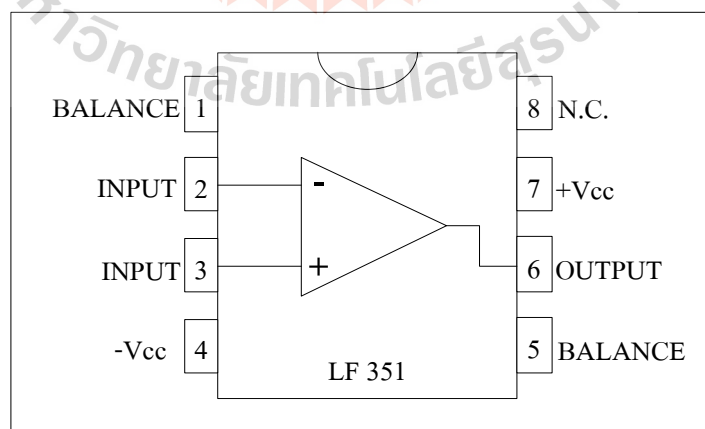
การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณพื่นเลื่อยในรูปที่ 4.26 ได้ดำเนินการทดสอบโดยการจ่ายไฟเลี้ยงของวงจรเท่ากับ 8V ตามที่ออกแบบไว้ และทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณพื่นเลื่อย ซึ่งสามารถแสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณพื่นเลื่อยได้ดังรูปที่ 4.27
 ดังนี้



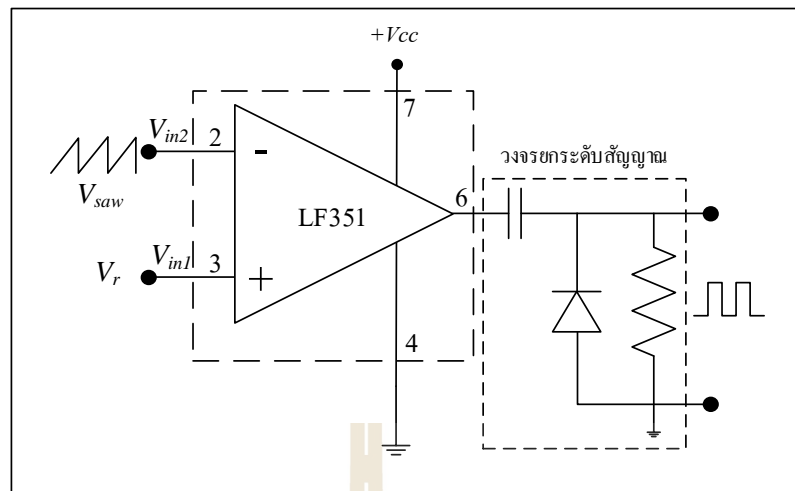
รูปที่ 4.27 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย

จากผลการทดสอบวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยในรูปที่ 4.27 พบว่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมีขนาดของแอมพลิจูดเท่ากับ 5 V และมีค่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ 10kHz ซึ่งเป็นไปตามที่ได้อธิบายไว้ในเบื้องต้น

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณเป็นวงจรที่ใช้ในการตรวจสอบสัญญาณแรงดันของอินพุตหนึ่งเทียบกับสัญญาณแรงดันของอีกอินพุตหนึ่ง โดยสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะตามความแตกต่างของสัญญาณอินพุต ในงานวิจัยจะใช้ไอซีเบอร์ LF351 ดังรูปที่ 4.28 เป็นอุปกรณ์ในการเปรียบเทียบสัญญาณ โดยมีโครงสร้างของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.28 ไอซีเบอร์ LF351



รูปที่ 4.29 โครงสร้างของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

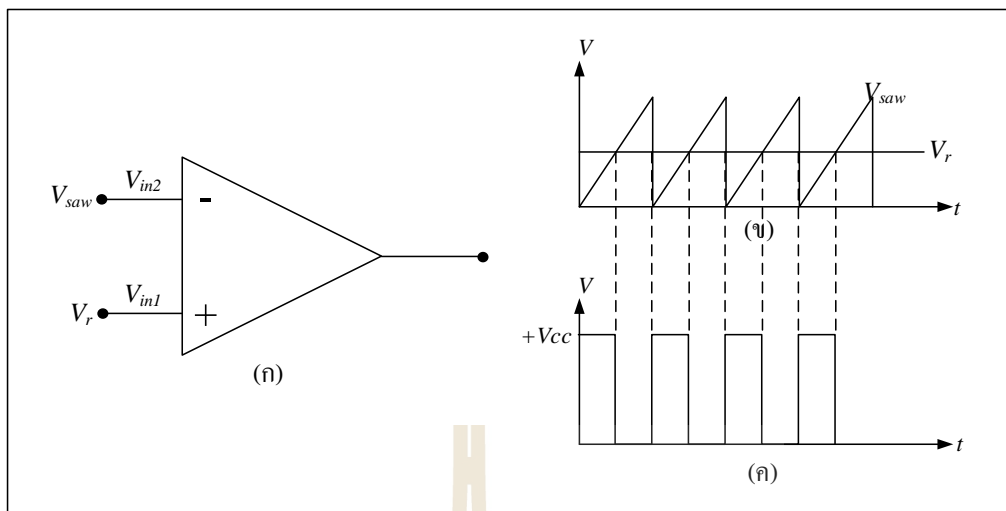
จากรูปที่ 4.29 สามารถหาค่าแรงดันเอาต์พุตได้ตามสมการที่ (4-20)

$$V_{out} = (V_{in1} - V_{in2}) \quad (4-20)$$

โดยที่ V_{in1} คือ แรงดันอินพุตที่ 1
 V_{in2} คือ แรงดันอินพุตที่ 2
 V_{out} คือ แรงดันเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (4-2) พบว่า ถ้า V_{in1} มีค่ามากกว่า V_{in2} ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเป็นบวก และถ้า V_{in1} มีค่าน้อยกว่า V_{in2} ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์ โดยทางปฏิบัติแล้วค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะถูกจำกัดด้วยไฟเลี้ยงของออปแอมป์ (V_{cc}) ซึ่งจะพบว่าค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณมีสถานะการทำงาน 2 สถานะ คือ สถานะที่ 1 $V_{out} = +V_{cc}$ เมื่อ $V_{in1} > V_{in2}$ และ สถานะที่ 2 $V_{out} = 0$ เมื่อ $V_{in1} < V_{in2}$

จากการทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณตามที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น กำหนดให้ V_r เป็นสัญญาณที่ใช้ในการอ้างอิง (reference signal) ในส่วนของสัญญาณสามเหลี่ยม V_{saw} เป็นสัญญาณพาหะ (carrier signal) โดยให้แรงดันอ้างอิงจ่ายเข้าที่ขานอนอินเวอร์ต (+) และสัญญาณพาหะจ่ายเข้าที่ขานินเวอร์ต (-) ของออปแอมป์ ซึ่งมีลักษณะของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณดังรูปที่ 4.30 (ก) และมีลักษณะการเปรียบเทียบกันของสัญญาณดังรูปที่ 4.30 (ข) ซึ่งทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณดังรูปที่ 4.30 (ค) ดังนี้



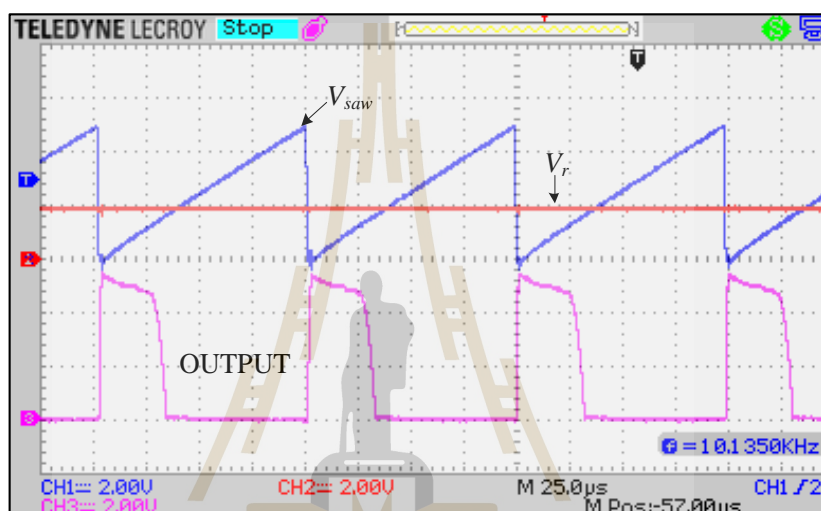
รูปที่ 4.30 การทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

จากรูปที่ 34 (ข) จะเห็นได้ว่าถ้า V_r มีค่ามากกว่า V_{saw} ส่งผลให้ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณในรูปที่ 34 (ค) จะมีค่าเป็นบวกหรือ $V_{out} = +V_{cc}$ และรูปที่ 34 (ข) ถ้า V_r มีค่าน้อยกว่า V_{saw} ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณในรูปที่ 34 (ค) จะมีค่าเป็นศูนย์หรือ $V_{out} = 0$ โดยวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่นำมาสร้างใช้งานจริงในงานวิจัย แสดงได้ดังรูปที่ 4.31

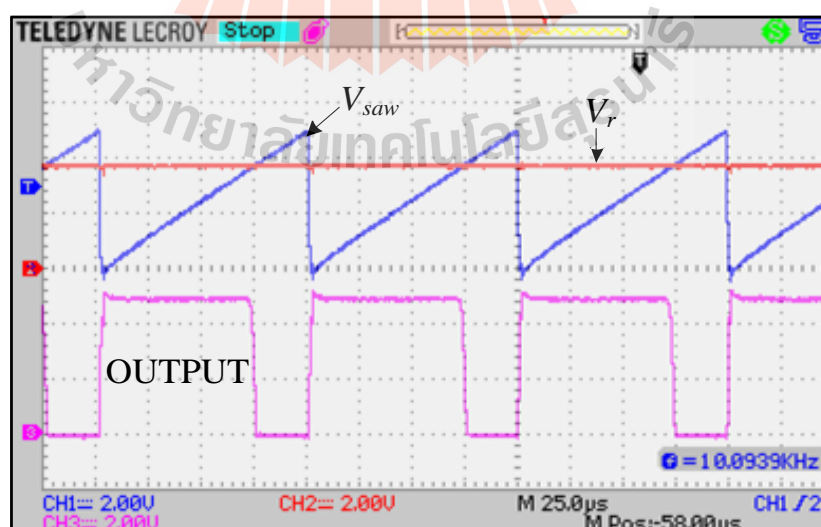


รูปที่ 4.31 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้งานจริง

การทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจะใช้วงจรตามรูปที่ 4.31 ทำการทดสอบโดยการจ่ายแรงดันอ้างอิง (V_r) และสัญญาณฟันเลื่อย (V_{saw}) ดำเนินการทดสอบโดยการปรับระดับของแรงดันอ้างอิง และทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ โดยช่องสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณฟันเลื่อย ช่องสัญญาณที่ 2 คือ แรงดันอ้างอิง และช่องสัญญาณที่ 3 คือ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอ้างอิง ได้ดังรูปที่ 4.32 และรูปที่ 4.33 ดังนี้



รูปที่ 4.32 ผลการทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ กรณีที่ 1

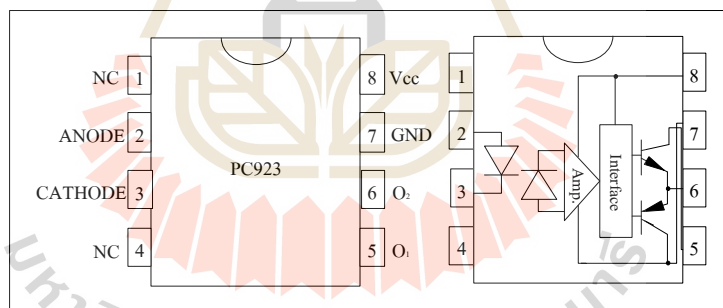


รูปที่ 4.33 ผลการทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ กรณีที่ 2

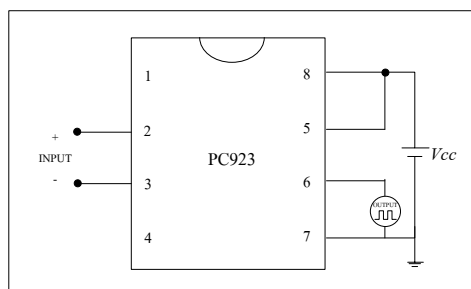
จากผลการทดสอบการทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ในรูปที่ 4.32 และรูปที่ 4.33 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอ้างอิง พบว่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้ เป็นไปตามที่ได้มีการอธิบายการทำงานไว้ในเบื้องต้น ซึ่งเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจะนำไปขับสวิทช์ของวงจรบัคค์โดยก่อนนำไปขับสวิทช์จะต้องผ่านวงจรแยกโคคสัญญาณ ดังอธิบายในหัวข้อต่อไป

4.2.6 วงจรแยกโคคสัญญาณ

วงจรแยกโคคสัญญาณเป็นวงจรที่ใช้สำหรับแยกกราวด์ของสัญญาณใด ๆ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับอุปกรณ์ โดยวงจรแยกโคคสัญญาณจะใช้ในการแยกกราวด์ระหว่างวงจรแปลงผันแบบบัคค์และวงจรจุดชนวนเกทเพื่อป้องกันการลัดวงจรจากวงจรแปลงผันแบบบัคค์เข้าสู่วงจรจุดชนวนเกท ซึ่งในงานวิจัยใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงหรือที่เรียกว่า ออปโตคัปปลิง (opto-coupling) ซึ่งอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานคือ ไอซี PC923 ยี่ห้อ SHARP และมีโครงสร้างของวงจรที่ใช้งานดังรูปที่ 4.34 และการต่อวงจรไอซี PC923 เพื่อนำไปใช้งานจริงแสดงได้ดังรูปที่ 4.35

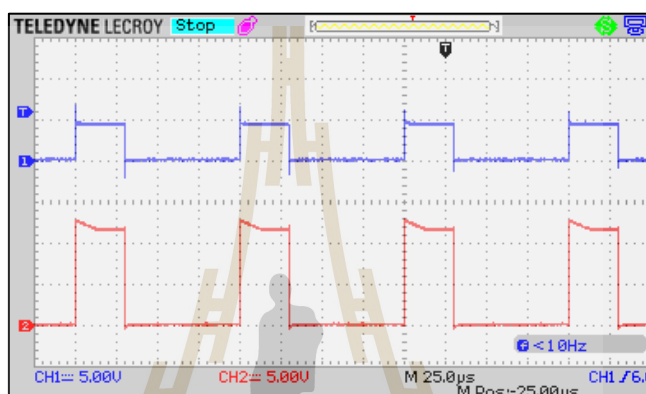


รูปที่ 4.34 โครงสร้างของไอซี PC923

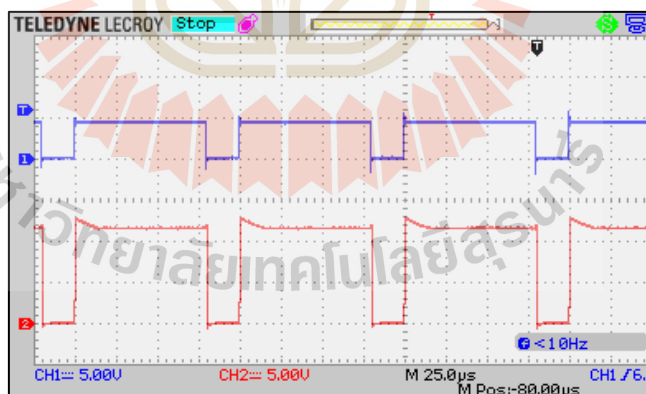


รูปที่ 4.35 การต่อวงจรไอซี PC 923 เพื่อนำไปใช้งานจริง

การทดสอบวงจรแยกโคคสัญญาณ ดำเนินการทดสอบโดยการจ่ายไฟเลี้ยงของวงจรเท่ากับ 12 V ซึ่งจะทดสอบการจ่ายสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณพัลส์ และวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร ทำการทดสอบ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 สัญญาณอินพุตรูปพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณเท่ากับ 30 % และกรณีที่ 2 สัญญาณอินพุตรูปพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณเท่ากับ 80 % สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.36 และรูปที่ 4.37 ตามลำดับ โดยช่องสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณอินพุตของวงจรแยกโคคสัญญาณ ช่องสัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแยกโคคสัญญาณ



รูปที่ 4.36 ผลการทดสอบวงจรแยกโคคสัญญาณกรณีที่ 1 ความกว้างพัลส์ 30 %



รูปที่ 4.37 ผลการทดสอบวงจรแยกโคคสัญญาณกรณีที่ 2 ความกว้างพัลส์ 80 %

จากผลการทดสอบวงจรแยกโคคสัญญาณในรูปที่ 4.36 และ 4.37 จะเห็นได้ว่าเอาต์พุตของวงจรมีสัญญาณพัลส์ที่เหมือนกับค่าสัญญาณอินพุต ซึ่งในงานวิจัยจะใช้ในการแยกกราวด์ระหว่างวงจรแปลงผันแบบบักค์และวงจรจุดชนวนเกทเพื่อป้องกันการลัดวงจรจากวงจรแปลงผันแบบบักค์เข้าสู่วงจรจุดชนวนเกท

4.2.7 วงจรแปลงผันแบบบัคค์

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในวงจรแปลงผันแบบบัคค์ (อธิบายวงจรแปลงผันแบบบัคค์ในหัวข้อ 2.4) โดยวงจรดังกล่าวจะประกอบด้วย สวิตช์ในงานวิจัย จะใช้ MOSFET ไดโอด ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ โดยการออกแบบอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจร จะต้องคำนึงถึงพิกัดของแรงดันและกระแส เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในวงจร

ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในวงจรแปลงผันแบบบัคค์ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ ผ่าน หรือวงจรกรองแบบ LC เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้คงที่ การเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมจะช่วยให้ค่าแรงดันพลิว (ripple voltage) และค่ากระแสพลิว (ripple current) อยู่ในระดับที่เหมาะสมและยอมรับได้ สามารถออกแบบค่าตัวเก็บประจุได้ดังสมการที่ (4-21) และออกแบบตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการที่ (4-22) (Muhammad H. Rashid) ดังนี้

$$C = \frac{(1-d)V_{out}}{8Lf_s^2 \Delta V_{out}} \quad (4-21)$$

$$L = \frac{V_{out}(V_{in} - V_{out})}{f_s V_{in} \Delta I_L} \quad (4-22)$$

สำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของวงจรแปลงผันแบบบัคค์คือค่าแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V_{pv}) และเอาต์พุตคือค่าแรงดันของแบตเตอรี่ (V_{batt}) โดยมีเงื่อนไขสำหรับการออกแบบของวงจรแปลงผันแบบบัคค์ ดังนี้

$$V_{in} = V_{pv, \max} = 43V$$

$$V_{out} = V_{batt} = 0 - 13.8V$$

$$V_{out, \max} = 13.8V$$

$$I_{o, \max} = 5A$$

$$\Delta V_{out} < 1mV$$

$$\Delta I_L < 0.07A$$

$$f_s = 10kHz$$

จากเงื่อนไขดังกล่าวการออกแบบมีรายละเอียดดังนี้ สำหรับการออกแบบค่าความเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุ ต้องคำนึงถึงแรงดันพลีวของแรงดันตกคร่อมโหลด และค่ากระแสพลีวของกระแสที่ไหลผ่านโหลด โดยพิจารณาจากสมการที่ (4-21) และ (4-22) ดังนั้นจะสามารถออกแบบได้ดังนี้

$$L = \frac{13.8(43-13.8)}{10 \times 10^3 \times 43 \times 0.07} = 13.89mH$$

ดังนั้น จึงเลือกใช้ค่าความเหนี่ยวนำเท่ากับ $15.00mH$

จากสมการที่ (2-5) $V_{out} = dV_{in}$ ถ้า $V_{in} = 43V$ และ $V_{out} = V_{out,max} = 13.8V$ จะได้ $d = 0.32$ แทนค่าเพื่อหาค่าตัวเก็บประจุ

$$C = \frac{(1-0.32)13.8}{8 \times 15 \times 10^{-3} \times (10 \times 10^3)^2 \times 1 \times 10^{-3}} = 782\mu F$$

ดังนั้น จึงเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ $1000\mu F$

ดังนั้น พิกัดอุปกรณ์ของวงจรแปลงผันแบบบักกิ้งในงานวิจัย แสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พิกัดอุปกรณ์ของวงจรแปลงผันแบบบักกิ้ง

อุปกรณ์	พิกัด	รายละเอียด
1. มอสเฟต (MOSFET)	60 V, 50 A	N-Channel MOSFET เบอร์ F50N06
2. ไดโอด	6 A	Diode เบอร์ 6A6
3. ตัวเหนี่ยวนำ $15mH$	60 V, 5 A	DC Choke
ตัวเก็บประจุ $1000\mu F$	60 V	Electrolytic Capacitor
5. ไดโอด	60 V, 5A	Feedback Diode

สามารถแสดงวงจรแปลงผันแบบบักกิ้งที่นำมาสร้างใช้งานจริงได้ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 วงจรแปลงผันแบบบัคค์ที่ใช้งานจริง

4.3 สรุป

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง โครงสร้างชุดทดสอบของวิธี VOC โดยจะใช้อุปกรณ์แอนะล็อกในการสร้างชุดทดสอบ รวมไปถึงการออกแบบและการทดสอบวงจร วงจรตั้งเวลา วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ วงจรคูณสัญญาณ วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ วงจรแยกโคตสัญญาณ และวงจรแปลงผันแบบบัคค์ ซึ่งในบทถัดไปจะกล่าวถึงผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจรที่สร้างขึ้นจากวงจรต่าง ๆ ดังอธิบายไว้ในบทที่ 4

บทที่ 5

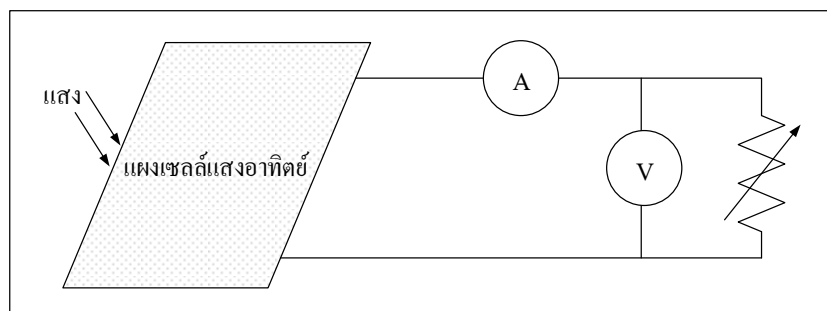
ผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุด ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร

5.1 บทนำ

ชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร เป็นการพึ่งพากำหนดค่า k ที่เหมาะสมเพียงค่าเดียว ดังนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องดำเนินการทดสอบหาค่าเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งาน โดยเนื้อหาในบทนี้จะแสดง การทดสอบค่าอัตราส่วนคงที่ และผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร

5.2 การทดสอบค่าอัตราส่วนคงที่

จากที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 ค่าอัตราส่วนคงที่หรือค่า k ในสมการที่ (3-5) โดยทั่วไปถ้าใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน ความเข้มแสง 1000 W/m^2 และ อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ค่า k จะมีค่าอยู่ในช่วง $0.71 - 0.78$ ซึ่งถ้านำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริงในทางปฏิบัติ จะพบว่าความเข้มแสงและอุณหภูมิ ไม่ใช่ค่าในสภาวะมาตรฐาน ดังนั้นเพื่อให้การตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องหาค่า k เฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย จึงดำเนินการทดสอบหากราฟลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงได้ดังรูปที่ 5.1 โดยใช้แสงอาทิตย์เทียมในห้องปฏิบัติการดังรูปที่ 5.2

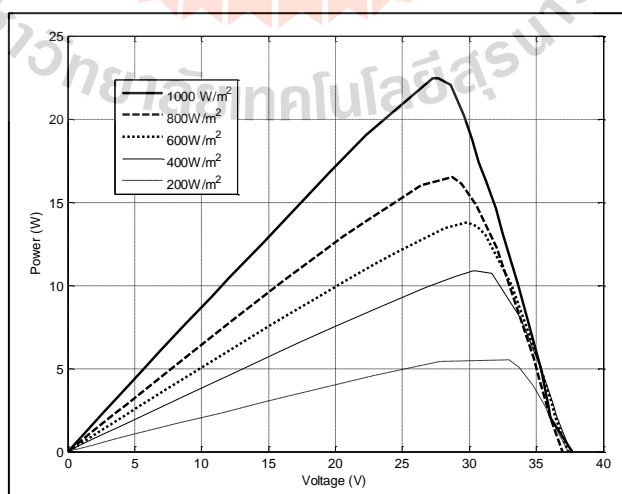


รูปที่ 5.1 การทดสอบหากราฟลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 5.2 แสงอาทิตย์เทียมในห้องปฏิบัติการ

จากรูปที่ 5.1 ดำเนินการทดสอบ โดยให้ความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่ ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เริ่มจากวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ที่ไม่มีการต่อโหลด จากนั้นให้เซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจ่ายกระแสโดยการปรับค่าความต้านทานค่ามากจนถึงค่าน้อย จนเกิดค่ากระแสสูงสุดในสภาวะลัดวงจร นำข้อมูลจากการทดสอบมาสร้างเป็นกราฟลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 5.3 สำหรับการเปลี่ยนค่าความเข้มแสงแสงที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถทำได้ด้วยการปรับค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดันหนึ่งเฟสแบบปรับค่าได้ โดยค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีผลต่อความเข้มแสงของหลอดไฟหรือมีผลต่อความเข้มแสงของแสงอาทิตย์เทียมในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 5.3 กราฟลักษณะเฉพาะของแรงดัน และกำลัง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์

จากกราฟรูปที่ 5.3 เป็นกราฟลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ (ค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 3.1 ในบทที่ 3) จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 อุณหภูมิ $39.5 \text{ }^\circ\text{C}$ กำลังสูงสุดมีค่าเท่ากับ 22.46 วัตต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ ข้อมูลจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่ากำลังสูงสุดจะต้องมีค่าเท่ากับ 40 วัตต์ (ที่สภาวะมาตรฐาน ความเข้มแสง 1000 W/m^2 และ อุณหภูมิ 25°C) แต่เนื่องจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยแสงอาทิตย์เทียม ผู้วิจัยจะสนใจเฉพาะความเข้มแสงเท่านั้น และไม่สนใจอุณหภูมิและความร้อนที่เกิดจาก หลอดไฟ ดังนั้นจึงส่งผลให้อุณหภูมิของแผงมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิในสภาวะมาตรฐาน ทำให้การ ทดสอบด้วยแสงอาทิตย์เทียมในห้องปฏิบัติการไม่ได้อยู่ภายใต้สภาวะมาตรฐาน ส่งผลให้กราฟ ลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 40 วัตต์เป็นไปดังกราฟในรูปที่ 5.3 โดยการหาค่า k เฉพาะ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัยจะใช้ผลการทดสอบในรูปที่ 5.3 ซึ่งผู้วิจัยจะหาค่า k ที่ เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียวที่ครอบคลุมทุก ๆ สภาวะความเข้มแสง ซึ่งจะดำเนินการทดสอบชุด ทดสอบวิธี VOC ในรูปที่ 4.2 ในบทที่ 4 โดยการเปลี่ยนแปลงค่า k ตั้งแต่ 0.70 – 0.85 ซึ่งค่า k ในชุด ทดสอบจริงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยการเปลี่ยนค่า R_{k1} และ R_{k2} ของวงจรคุณสมบัติตามดัง สมการที่ (4-13) จากนั้นดูผลการทดสอบและค่า P_{pv} จากการเปลี่ยนค่า k ผลทดสอบการตามรอย จุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า k แสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า k

k	ความเข้มแสง(W/m^2)	V_{pv} (V)	I_{pv} (A)	P_{pv} (W)
0.70	200	22.9	0.199	557
	600	22.88	0.492	11.25
	1000	19.54	0.861	16.82
0.75	200	27.78	0.195	5.417
	600	25	0.487	11.93
	1000	22.29	0.853	19.01
0.80	200	27.64	0.253	6.993
	600	27.81	0.548	15.240
	1000	28.32	0.756	21.409
0.85	200	33.2	0.162	5.378
	600	33.12	0.303	10.03
	1000	30.23	0.621	18.77

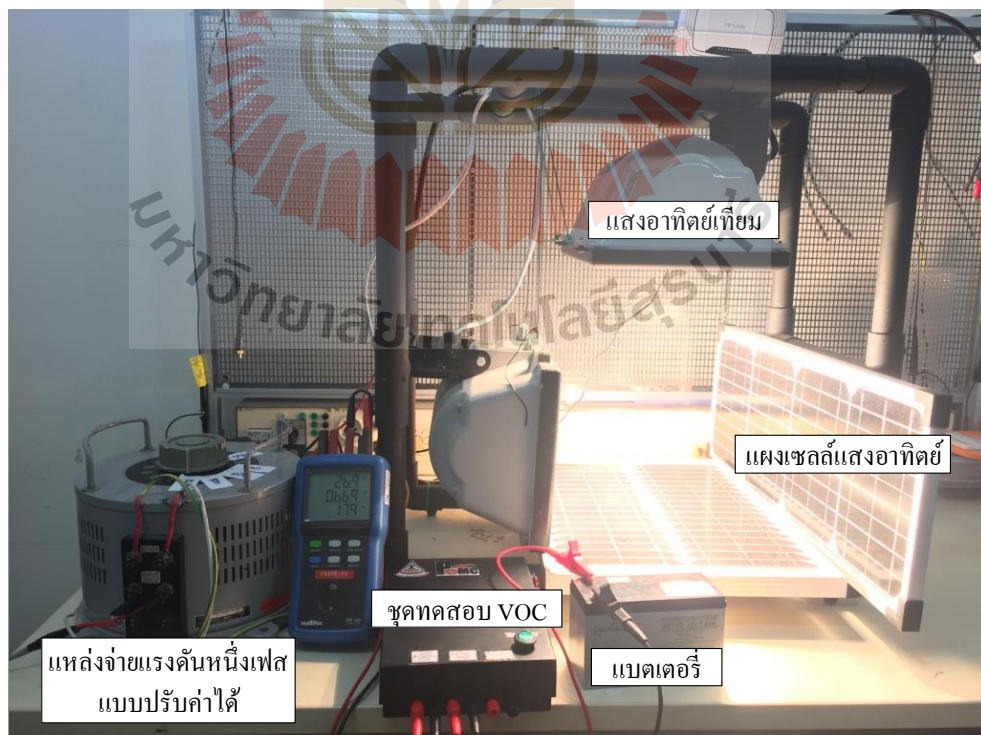
จากตารางที่ 5.1 ผลทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า k จะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบผลทดสอบพบว่าที่ค่า $k = 0.8$ จะทำให้ค่า P_{pv} มีค่ามากที่สุดที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่ทำการทดสอบ โดยเมื่อความเข้มแสง 200 W/m^2 P_{pv} มีค่าเท่ากับ 6.993 W เมื่อความเข้มแสง 600 W/m^2 P_{pv} มีค่าเท่ากับ 15.240 W และเมื่อความเข้มแสง 1000 W/m^2 P_{pv} มีค่าเท่ากับ 21.409 W ดังนั้นในงานวิจัยจะเลือกใช้ค่า $k = 0.8$ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียว ที่สามารถตามรอยจุดกำลังสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้ในทุก ๆ สภาวะความเข้มแสง

5.3 ผลการทดสอบชุดทดสอบ VOC

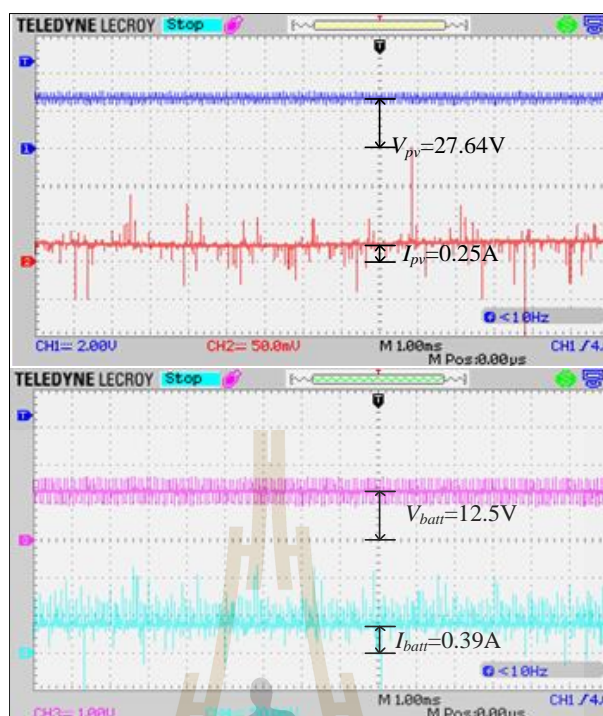
การทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC ดำเนินการทดสอบโดยใช้แสงอาทิตย์เทียมที่สร้างขึ้นดังรูปที่ 5.2 โดยทำการปรับความเข้มแสง สามารถทำได้ด้วยการปรับค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดันหนึ่งเฟสแบบปรับค่าได้ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีผลต่อความเข้มแสงของหลอดไฟหรือมีผลต่อความเข้มแสงของแสงอาทิตย์เทียมในห้องปฏิบัติการ จากนั้นส่องแสงอาทิตย์เทียมให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสง (lux meter) ดังรูปที่ 5.4 โดยสามารถวัดค่าความเข้มแสงได้ในหน่วยของ lux ซึ่ง 100 lux มีค่าเท่ากับ 1 W/m^2 เช่น ถ้าวัดค่าความเข้มแสงได้ 100000 lux ดังนั้นความเข้มแสงในหน่วย W/m^2 มีค่าเท่ากับ 1000 W/m^2 เป็นต้น การทดสอบชุดทดสอบอินพุตของชุดทดสอบคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนเอาต์พุตของชุดทดสอบคือแบตเตอรี่ โดยการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC แสดงได้ดังรูปที่ 5.5 (คู่มือการใช้งานชุดชาร์จเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการตามรอยกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจรแสดงในภาคผนวก ก.) และผลการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 5.6 ถึงรูปที่ 5.10 โดยช่องสัญญาณที่ 1, 2 คือ สัญญาณแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามลำดับ และช่องสัญญาณที่ 3, 4 คือ สัญญาณแรงดันและกระแสของแบตเตอรี่ ตามลำดับ โดยรูปที่ 5.6 ถึงรูปที่ 5.10 เป็นรูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 200 W/m^2 400 W/m^2 600 W/m^2 800 W/m^2 และ 1000 W/m^2 ตามลำดับ และผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC แสดงได้ดังตารางที่ 5.2



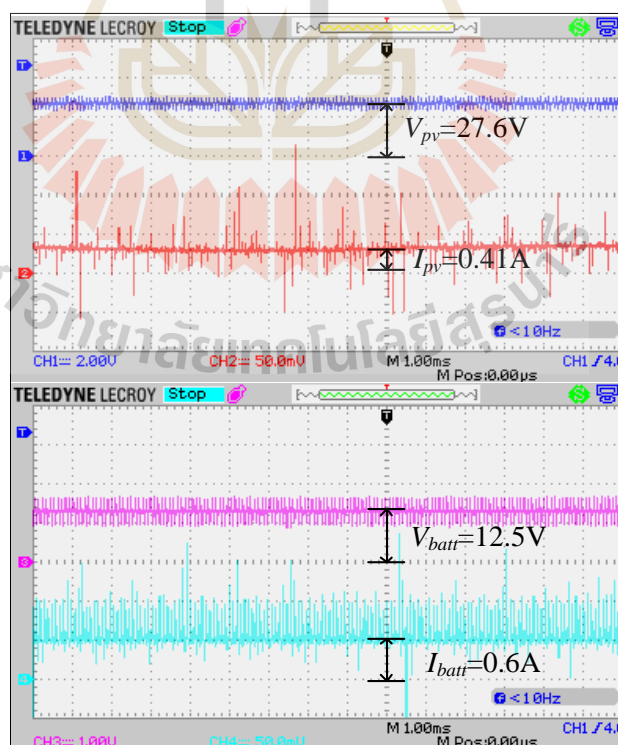
รูปที่ 5.4 เครื่องมือวัดความเข้มแสง หรือ lux meter



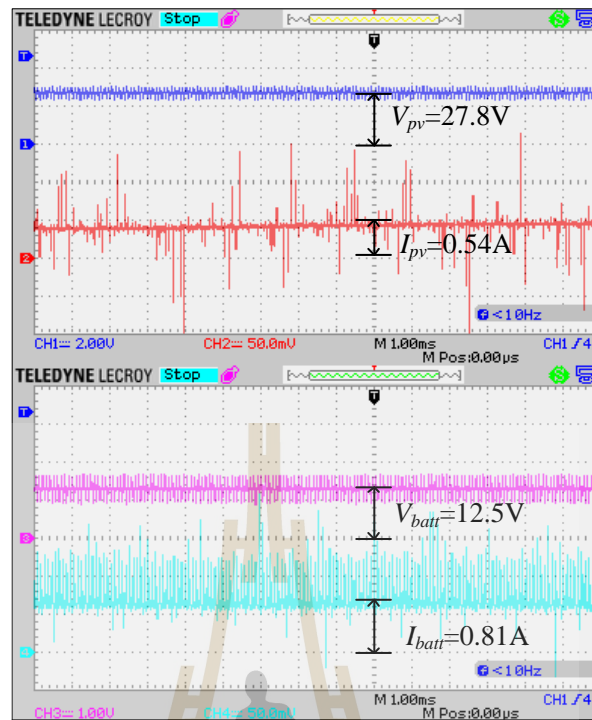
รูปที่ 5.5 ชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC



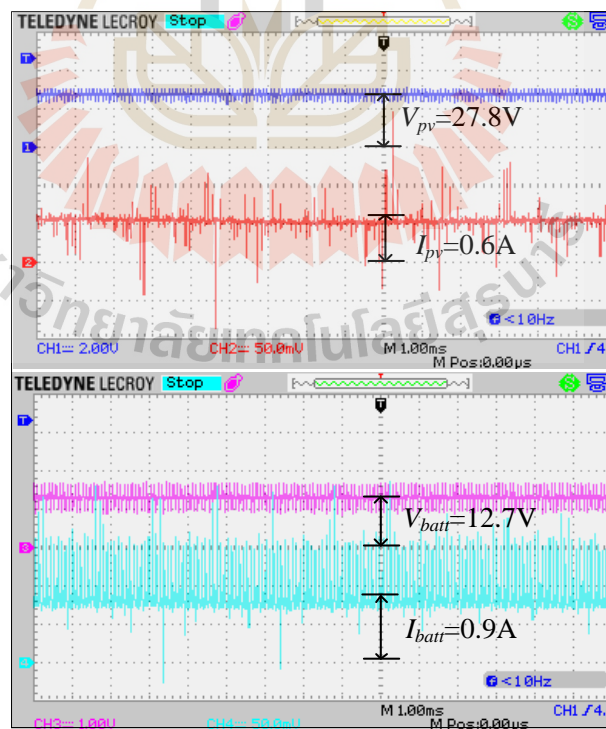
รูปที่ 5.6 รูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 200 W/m^2 อุณหภูมิ 36.5°C



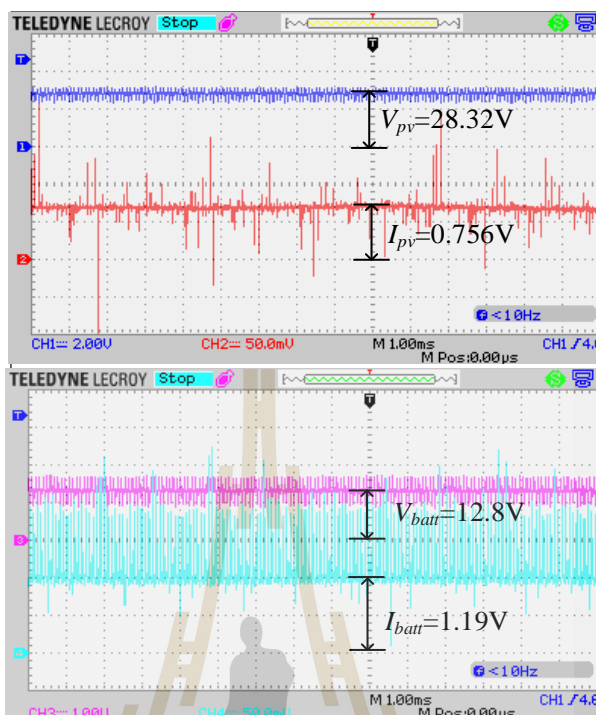
รูปที่ 5.7 รูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 400 W/m^2 อุณหภูมิ 36.7°C



รูปที่ 5.8 รูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 600 W/m^2 อุณหภูมิ 38°C



รูปที่ 5.9 รูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 800 W/m^2 อุณหภูมิ 38.5°C



รูปที่ 5.10 รูปสัญญาณแรงดันและกระแส เมื่อความเข้มแสง 1000 W/m^2 อุณหภูมิ 39.5°C

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC

ความเข้มแสง(W/m^2)	V_{pv} (V)	I_{pv} (A)	P_{pv} (W)	V_{batt} (V)	I_{batt} (A)	P_{batt} (W)
200	27.64	0.253	6.993	12.5	0.39	845
400	27.65	0.414	11.447	12.54	0.639	8.013
600	27.81	0.548	15.240	12.55	0.818	10.266
800	27.83	0.664	18.479	12.7	0.915	11.621
1000	28.32	0.756	21.409	12.85	1.195	15.356

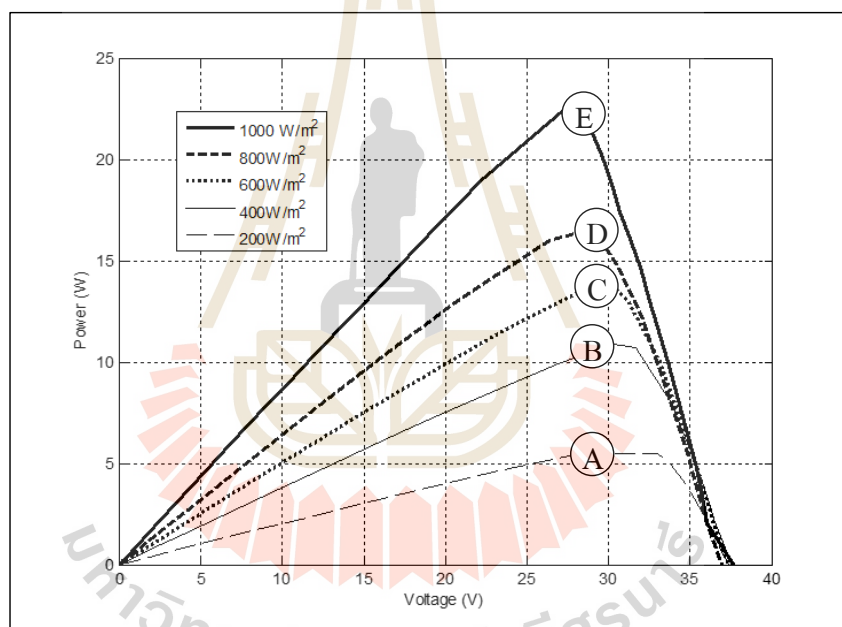
จากผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC ในตารางที่ 5.2 และรูปสัญญาณแรงดันและกระแสในรูปที่ 5.6 ถึงรูปที่ 5.10 นำมาสร้างเป็นแผนภาพการดึงกำลังสูงสุดที่สภาวะความเข้มแสงต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 5.3 ดังนี้

ตารางที่ 5.3 แผนภาพผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC

ความเข้มแสง (W/m ²)	แผนภาพ
200	
400	
600	
800	
1000	

จากผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC หรือ MPPT VOC ในตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า ด้านอินพุตของชุดทดสอบคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งค่า V_{pv} มีค่าใกล้เคียงแรงดันที่จุดกำลังสูงสุด และค่า P_{pv} มีค่าใกล้เคียงกำลังที่จุดกำลังสูงสุด โดยเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 200 W/m² $V_{pv} = 27.64V$, $P_{pv} = 6.993W$ แสดงได้ดังจุด A ในรูปที่ 5.11 และเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 400 W/m² $V_{pv} = 27.65V$, $P_{pv} = 11.447W$ แสดงได้ดังจุด B ในรูปที่ 5.11 และเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 600 W/m² $V_{pv} = 27.81V$, $P_{pv} = 15.24W$ แสดงได้ดังจุด C ในรูปที่

5.11 และเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 800 W/m^2 $V_{pv} = 27.83 \text{ V}$, $P_{pv} = 18.479 \text{ W}$ แสดงได้จุด D ในรูปที่ 5.11 และเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 1000 W/m^2 $V_{pv} = 28.32 \text{ V}$, $P_{pv} = 21.40 \text{ W}$ แสดงได้จุด E ในรูปที่ 5.11 ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันและกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงจุดกำลังสูงสุด เนื่องจากค่าอัตราส่วนคงที่ k จากที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.2 ซึ่งค่า $k = 0.8$ ทำให้ชุดทดสอบไม่สามารถถึงกำลังที่จุดกำลังสูงสุด ที่ครอบคลุมในทุกสภาวะความเข้มแสงได้ ส่วนด้านเอาต์พุตของชุดทดสอบคือแบตเตอรี่ ซึ่งค่า V_{batt} จะมีค่าใกล้เคียงแรงดันแบตเตอรี่เท่ากับ 12 V และเมื่อค่ากระแสที่ประจุลงแบตเตอรี่มีค่าสูงจะทำให้แรงดันแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ $200, 400, 600, 800$ และ 1000 W/m^2 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ P_{batt} จะมีค่าเท่ากับ $873, 8.013, 10.266, 11.621$ และ 15.356 W ตามลำดับ

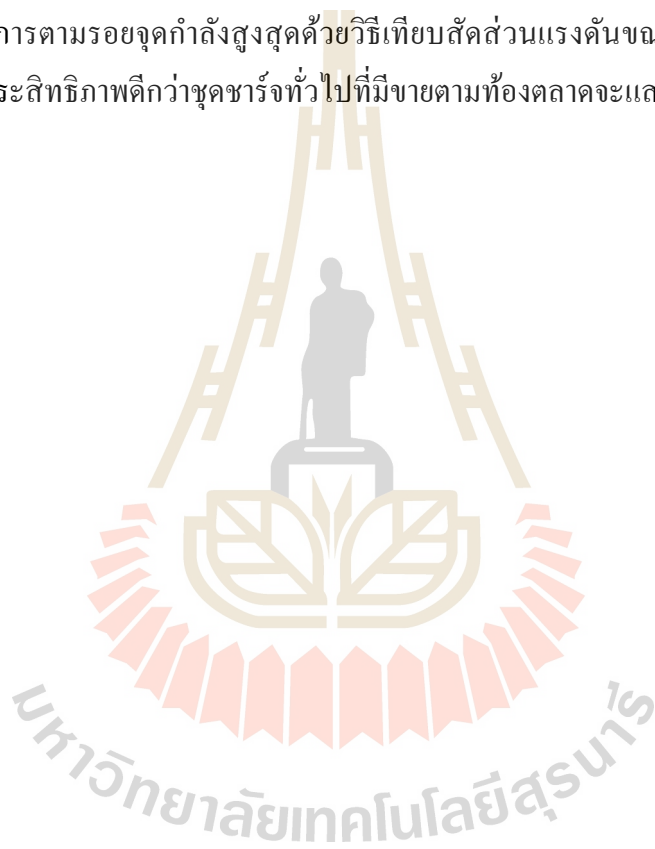


รูปที่ 5.11 กราฟลักษณะเฉพาะของแรงดัน และกำลัง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์

จากแผนภาพการดึงกำลังสูงสุดที่สภาวะความเข้มแสงต่าง ๆ ดังตารางที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่า ชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC ที่สร้างขึ้นสามารถดึงกำลังสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้ ณ ความเข้มแสงค่าต่าง ๆ ซึ่งถ้าความเข้มแสงมีค่ามาก กำลังที่จ่ายออกมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะมีค่ามาก ดังนั้นชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC ที่นำเสนอในงานวิจัยสามารถตามรอยจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

5.4 สรุป

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง การทดสอบค่าอัตราส่วนคงที่และผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC ที่สร้างขึ้นสามารถดึงกำลังสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้ ณ ความเข้มแสงค่าต่าง ๆ ซึ่งถ้าความเข้มแสงมีค่ามาก กำลังที่จ่ายออกมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะมีค่ามาก ดังนั้นชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี VOC ที่นำเสนอในรายงานวิจัยนี้สามารถตามรอยจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ และเพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบที่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจรที่นำเสนอในรายงานวิจัยมีประสิทธิภาพดีกว่าชุดชาร์จ์ทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดจะแสดงผลการเปรียบเทียบได้ในบทที่ 6



บทที่ 6

การเปรียบเทียบผลการทดสอบชุดทดสอบ

6.1 บทนำ

การทดสอบชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจรที่นำเสนอในบทที่ 5 สามารถตามรอยจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ และเพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบที่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจรที่นำเสนอในรายงานวิจัยมีประสิทธิภาพดีกว่าชุดชาร์จทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาด ในบทนี้จึงจะแสดงผล การเปรียบเทียบผลการตามรอยจุดกำลังสูงสุดของชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร โดยจะเรียกว่า MPPT VOC เปรียบเทียบกับชุดชาร์จทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดที่ไม่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุด (Commercial charger without MPPT) โดยจะเรียกว่า Com. without MPPT และชุดชาร์จทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดที่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุด (MPPT Commercial charger) จะเรียกว่า MPPT Com. นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ถึงเศรษฐศาสตร์ของชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดที่สร้างขึ้น

6.2 ผลการทดสอบชุดทดสอบ

ชุดทดสอบ MPPT VOC แสดงได้ดังรูปที่ 6.1 และชุดชาร์จ Com. without MPPT แสดงได้ดังรูปที่ 6.2 และชุดชาร์จ MPPT Com. แสดงได้ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งในหัวข้อนี้นำเสนอการเปรียบเทียบผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดของวิธี MPPT VOC เปรียบเทียบกับ Com. without MPPT และ MPPT Com. การทดสอบจะใช้แสงอาทิตย์เทียม และทำการปรับความเข้มแสงค่าต่าง ๆ โดยอินพุตของชุดทดสอบคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนเอาต์พุตของชุดทดสอบคือแบตเตอรี่



รูปที่ 6.1 ชุดชาร์จ MPPT VOC



รูปที่ 6.2 ชุดชาร์จ Com. without MPPT



รูปที่ 6.3 ชุดชาร์จ MPPT Com.

ผลการทดสอบชุดทดสอบ MPPT VOC แสดงได้ดังตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบชุดชาร์จ Com. without MPPT แสดงได้ดังตารางที่ 6.2 และผลการทดสอบชุดชาร์จ MPPT Com. แสดงได้ดังตารางที่ 6.3 และแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 6.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีต่าง ๆ ในตารางที่ 6.4 สามารถนำมาสร้างเป็นแผนภาพการดึงกำลังงานของวิธีต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบชุดทดสอบ MPPT VOC

ความเข้มแสง(W/m^2)	V_{pv} (V)	I_{pv} (A)	P_{pv} (W)	V_{batt} (V)	I_{batt} (A)	P_{batt} (W)
200	27.64	0.253	6.993	12.5	0.39	4.845
400	27.65	0.414	11.447	12.54	0.639	8.013
600	27.81	0.548	15.240	12.55	0.818	10.266
800	27.83	0.664	18.479	12.7	0.915	11.621
1000	28.32	0.756	21.409	12.85	1.195	15.356

ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบชุดชาร์จ Com. without MPPT

ความเข้มแสง(W/m^2)	V_{pv} (V)	I_{pv} (A)	P_{pv} (W)	V_{batt} (V)	I_{batt} (A)	P_{batt} (W)
200	12.87	0.096	1.24	12.35	0.096	1.19
400	13.55	0.261	3.54	12.44	0.261	3.25
600	14.47	0.521	7.54	12.52	0.521	6.52
800	17.54	0.751	13.17	12.6	0.751	9.46
1000	18.49	0.875	16.18	12.66	0.875	11.08

ตารางที่ 6.3 ผลการทดสอบชุดชาร์จทั่ว MPPT Com.

ความเข้มแสง(W/m^2)	V_{pv} (V)	I_{pv} (A)	P_{pv} (W)	V_{batt} (V)	I_{batt} (A)	P_{batt} (W)
200	13.10	0.34	4.44	12.10	0.29	3.50
400	13.40	0.55	7.38	12.10	0.52	6.23
600	13.20	0.77	10.12	12.10	0.73	8.83
800	12.90	0.95	12.19	12.10	0.90	10.85
1000	12.80	1.01	12.93	12.10	0.95	11.54



ตารางที่ 6.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีต่าง ๆ

ความเข้มแสง(W/m ²)	MPPT VOC						Com. without MPPT						MPPT Com.					
	V_{pv} (V)	I_{pv} (A)	P_{pv} (W)	V_{batt} (V)	I_{batt} (A)	P_{batt} (W)	V_{pv} (V)	I_{pv} (A)	P_{pv} (W)	V_{batt} (V)	I_{batt} (A)	P_{batt} (W)	V_{pv} (V)	I_{pv} (A)	P_{pv} (W)	V_{batt} (V)	I_{batt} (A)	P_{batt} (W)
200	27.64	0.253	6.993	12.5	0.39	4.845	12.87	0.096	1.24	12.35	0.096	1.19	13.10	0.34	4.44	12.10	0.29	3.50
400	27.65	0.414	11.447	12.54	0.639	8.013	13.55	0.261	3.54	12.44	0.261	3.25	13.40	0.55	7.38	12.10	0.52	6.23
600	27.81	0.548	15.240	12.55	0.818	10.266	14.47	0.521	7.54	12.52	0.521	6.52	13.20	0.77	10.12	12.10	0.73	8.83
800	27.83	0.664	18.479	12.7	0.915	11.621	17.54	0.751	13.17	12.6	0.751	9.46	12.90	0.95	12.19	12.10	0.90	10.85
1000	28.32	0.756	21.409	12.85	1.195	15.356	18.49	0.875	16.18	12.66	0.875	11.08	12.80	1.01	12.93	12.10	0.95	11.54

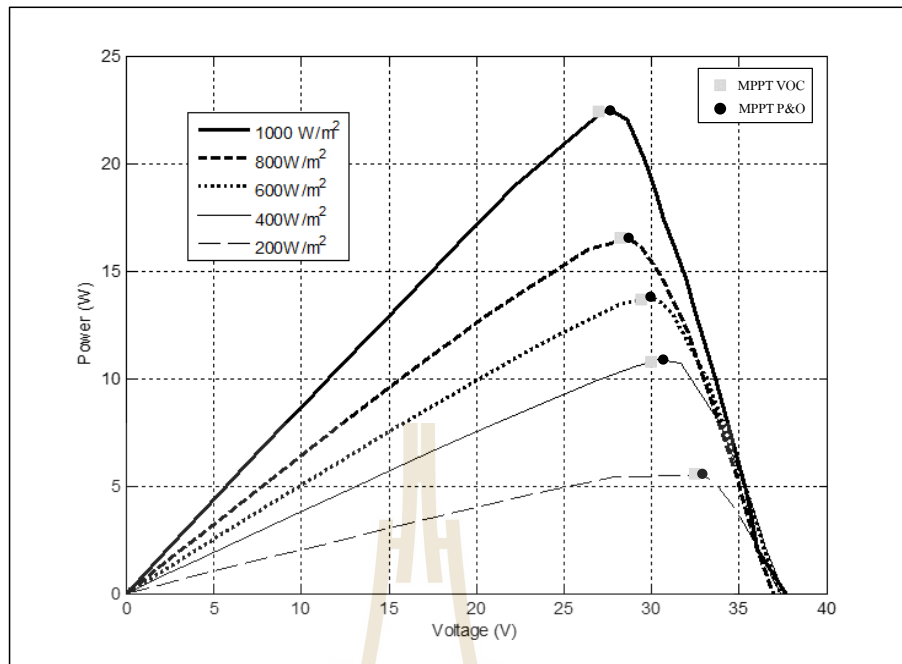


ตารางที่ 6.5 แผนภาพการติดตั้งกำลังงานของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ

ความเข้มแสง (W/m ²)	MPPT VOC	Com. without MPPT	MPPT Com.
200			
400			
600			
800			
1000			

จากผลการทดสอบชุดทดสอบของวิธีต่าง ๆ ในตารางที่ 6.5 จะเห็นได้ว่า ด้านอินพุตของชุดทดสอบคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเอาต์พุตของชุดทดสอบคือแบตเตอรี่ ซึ่งผลการทดสอบชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี MPPT VOC เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 200, 400, 600, 800 และ 1000 W/m² ด้านอินพุตของชุดทดสอบแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ V_{pv} จะมีค่าเท่ากับ 27.64, 27.65, 27.81, 27.83 และ 28.54 V ตามลำดับ และกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ P_{pv} จะมีค่าเท่ากับ 6.993, 11.447, 15.24, 18.479 และ 21.40 W ตามลำดับ ส่วนด้านเอาต์พุตของชุดทดสอบ แรงดันจะมีค่าใกล้เคียงแรงดันของแบตเตอรี่ 12 V โดยเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 200, 400, 600, 800 และ 1000 W/m² กำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ P_{batt} จะมีค่าเท่ากับ 4.873, 8.013, 10.266, 11.621 และ 15.356 W ตามลำดับ และผลการทดสอบชุดทดสอบชุดชาร์จ Com. without MPPT เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 200, 400, 600, 800 และ 1000 W/m² ด้านอินพุตของชุดชาร์จแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ V_{pv} จะมีค่าเท่ากับ 12.87, 13.55, 14.47, 17.54 และ 18.49 V ตามลำดับ และกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ P_{pv} จะมีค่าเท่ากับ 1.24, 3.54, 7.54, 13.17 และ 16.18 W ตามลำดับ ส่วนด้านเอาต์พุตของชุดชาร์จ แรงดันจะมีค่าใกล้เคียงแรงดันของแบตเตอรี่คือ 12 V โดยเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 200, 400, 600, 800 และ 1000 W/m² กำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ P_{batt} จะมีค่าเท่ากับ 1.19, 3.25, 6.52, 9.46 และ 11.08 W ตามลำดับ และผลการทดสอบชุดทดสอบชุดชาร์จ MPPT Com. เมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 200, 400, 600, 800 และ 1000 W/m² ด้านอินพุตของชุดชาร์จแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ V_{pv} จะมีค่าเท่ากับ 13.10, 13.40, 13.20, 12.90 และ 12.80 V ตามลำดับ และกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ P_{pv} จะมีค่าเท่ากับ 4.44, 7.38, 10.12, 12.19 และ 12.93 W ตามลำดับ ส่วนด้านเอาต์พุตของชุดชาร์จ แรงดันจะมีค่าเท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่คือ 12.10 V โดยเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 200, 400, 600, 800 และ 1000 W/m² กำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ P_{batt} จะมีค่าเท่ากับ 3.50, 6.23, 8.83, 10.85 และ 11.54 W ตามลำดับ

จากผลการทดสอบชุดทดสอบของวิธีต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ V_{pv} และกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ P_{pv} ของชุดทดสอบวิธี MPPT VOC จะมีค่าใกล้เคียงจุดกำลังสูงสุดของกราฟลักษณะเฉพาะของแรงดัน และกำลัง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 40 วัตต์ ดังในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 กราฟลักษณะเฉพาะของแรงดัน และกำลัง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์

จากผลการทดสอบสามารถเรียงลำดับชุดทดสอบที่สามารถดึงค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากมากไปน้อยได้แก่ MPPT VOC, MPPT Com. และ Com. without MPPT ตามลำดับ และสามารถเรียงลำดับชุดทดสอบที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่จากมากไปน้อยได้แก่ MPPT VOC, MPPT Com. และ Com. without MPPT ตามลำดับ ดังนั้นชุดทดสอบวิธี MPPT VOC สามารถดึงค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ากำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ มีค่ามากกว่าชุดทดสอบอื่น ๆ อีกทั้งค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากชุดทดสอบยังมีค่าน้อยอีกด้วย แสดงให้เห็นว่าการตามรอยกำลังสูงสุดด้วยวิธี MPPT VOC ที่นำเสนอในงานวิจัยสามารถดึงกำลังไฟฟ้าได้ดีกว่าชุดชาร์จ Com. without MPPT และชุดชาร์จ MPPT Com.

6.3 การตามรอยกำลังของแสงอาทิตย์จริงด้วยชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ

ในงานวิจัยนี้จะแสดงการเปรียบเทียบการตามรอยกำลังของแสงอาทิตย์จริงด้วยชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ซึ่งได้ดำเนินการทดสอบโดยการวัดค่าจากแสงอาทิตย์จริงในช่วงเวลา 6.00 นาฬิกา จนถึงเวลา 19.00 นาฬิกา โดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสง ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งค่าความเข้มแสงที่วัดได้จะมีค่าในหน่วยของ lux (100 lux มีค่าเท่ากับ $1 W/m^2$) จากนั้นนำความเข้มแสงที่วัดได้จากแสงอาทิตย์จริงมาทดสอบหาการตามรอยกำลังของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ในเวลา 1 วัน โดยทำการปรับความเข้มแสง

ของแสงอาทิตย์เทียมให้มีค่าความเข้มแสงเท่ากับค่าที่วัดได้จากแสงอาทิตย์จริงซึ่งสามารถทำได้ด้วยการปรับค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดันหนึ่งเฟสแบบปรับค่าได้ การทดสอบดังกล่าวอินพุตของชุดทดสอบคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ ส่วนเอาต์พุตของชุดทดสอบคือแบตเตอรี่ โดยสถานที่ทำการวัดค่าจากแสงอาทิตย์จริงคือ คาดฟ้าศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 แสดงได้ดังรูปที่ 6.5 และผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 6.6

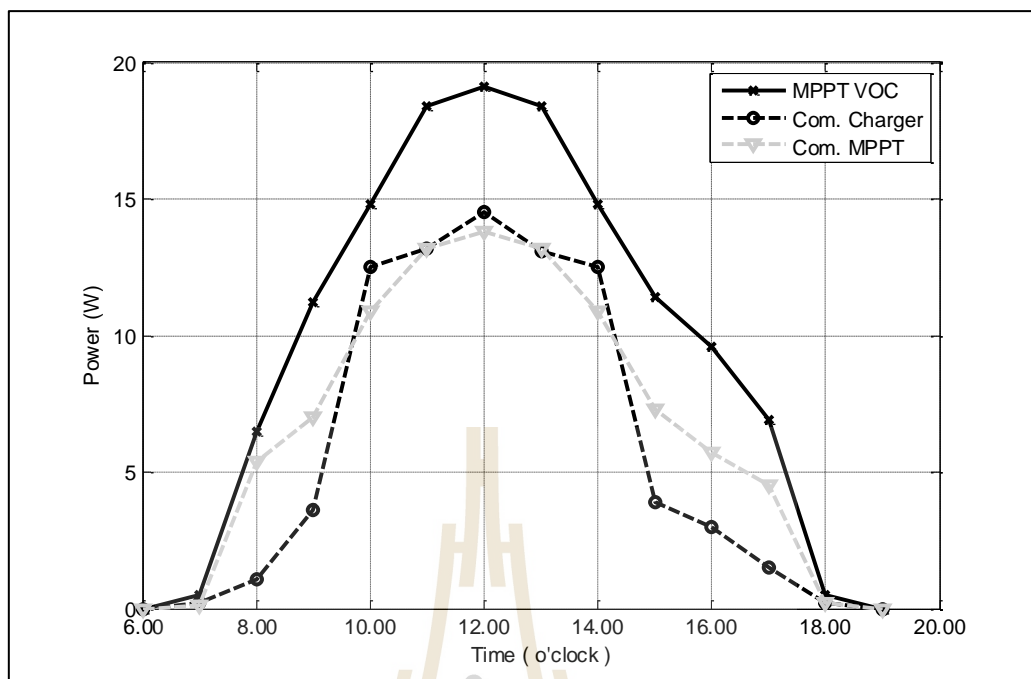


รูปที่ 6.5 คาดฟ้าศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3

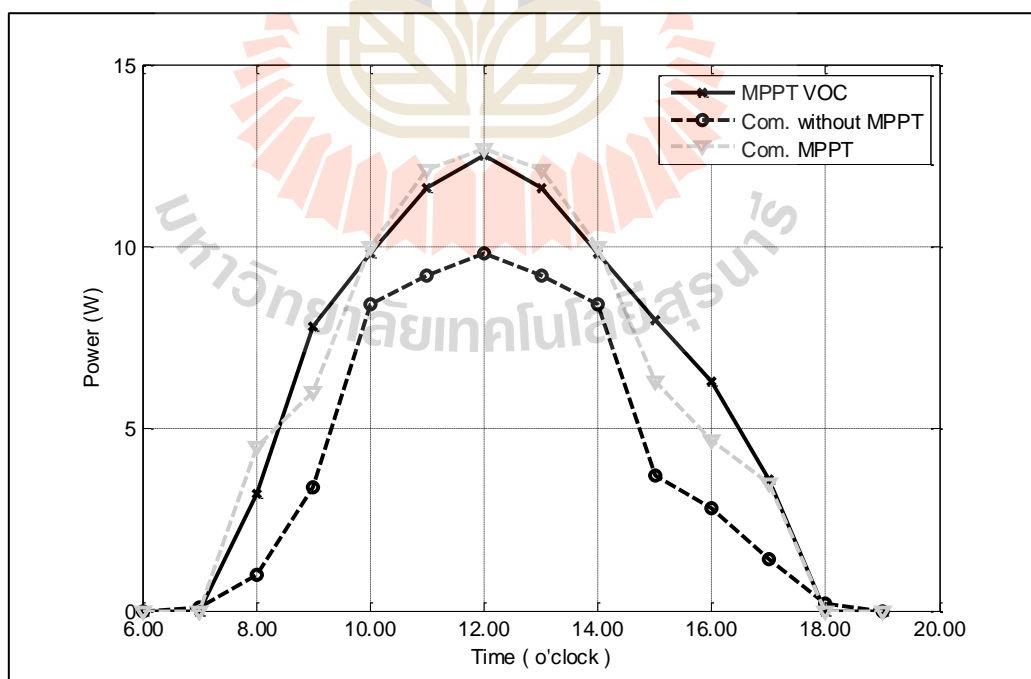
ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบการตามรอยกำลังของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ในเวลา 1 วัน

เวลา (นาฬิกา)	ความเข้มแสง		กำลังไฟฟ้าของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์(วัตต์)			กำลังไฟฟ้าที่ลงประจุแบตเตอรี่ (วัตต์)		
	lux	W/m ²	VOC	com.without MPPT	MPPT com.	VOC	com.without MPPT	MPPT com.
6:00 AM	25	0.25	0	0	0	0	0	0
7:00 AM	4826	48.26	0.5	0.2	0.1	0	0.1	0
8:00 AM	16920	169.2	6.5	1.1	5.4	3.2	1	4.5
9:00 AM	42680	426.8	11.2	3.6	7	7.8	3.4	6
10:00 AM	67000	670	14.8	12.5	10.9	9.8	8.4	10
11:00 AM	79000	790	18.4	13.2	13.2	11.6	9.2	12.1
12:00 PM	86500	865	19.1	14.5	13.8	12.5	9.8	12.7
1:00 PM	78600	786	18.4	13.1	13.2	11.6	9.2	12.1
2:00 PM	66100	661	14.8	12.5	10.9	9.8	8.4	10
3:00 PM	46320	463.2	11.4	3.9	7.3	8	3.7	6.3
4:00 PM	30440	304.4	9.6	3	5.7	6.3	2.8	4.7
5:00 PM	22000	220	6.9	1.5	4.5	3.6	1.4	3.5
6:00 PM	5430	54.3	0.5	0.2	0.2	0	0.2	0
7:00 PM	1070	10.7	0	0	0	0	0	0

จากผลการทดสอบในตารางที่ 6.6 นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ในเวลา 1 วันแสดงได้ดังรูปที่ 6.6 และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่ากำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ในเวลา 1 วันแสดงได้ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ในเวลา 1 วัน



รูปที่ 6.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่ากำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่
ของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ในเวลา 1 วัน

จากรูปที่ 6.6 นำมาวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าพลังงานได้จากพื้นที่ใต้กราฟแบบประมาณ พบว่าชุดทดสอบ MPPT VOC $E_{pv} = 132.1Whr/day$ ชุดทดสอบ Com. without MPPT $E_{pv} = 78.3Whr/day$ และชุดทดสอบ MPPT Com. $E_{pv} = 91.9Whr/day$ และจากรูปที่ 6.7 นำมาวิเคราะห์หาพลังงานที่ประจุลงแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าพลังงานได้จากพื้นที่ใต้กราฟแบบประมาณ พบว่าชุดทดสอบ MPPT VOC $E_{batt} = 84.4Whr/day$ ชุดทดสอบ Com. without MPPT $E_{batt} = 55.9Whr/day$ และชุดทดสอบ MPPT Com. $E_{batt} = 81.9Whr/day$ โดยเมื่อพิจารณาเฉพาะกำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ในเวลา 1 วันจะสามารถเรียงลำดับชุดทดสอบที่ค่าพลังงานที่ประจุลงแบตเตอรี่จากมากไปน้อยได้แก่ MPPT VOC, MPPT Com. และ Com. without MPPT ตามลำดับ ดังนั้นชุดทดสอบ MPPT VOC สามารถดึงพลังงานได้มากกว่าชุดทดสอบอื่น ๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ประจุลงแบตเตอรี่ใน 1 วันระหว่างชุดทดสอบ MPPT VOC มีค่ามากกว่าชุดทดสอบ Com. MPPT เท่ากับ $28.5Whr/day$ หรือ 50.98 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบระหว่างชุดทดสอบ MPPT VOC มีค่ามากกว่าชุดทดสอบ MPPT Com. เท่ากับ $2.5Whr/day$ หรือ 3.05 เปอร์เซ็นต์

6.4 เศรษฐศาสตร์

การประเมินราคาชุดทดสอบมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อใช้หาจุดคุ้มทุนของชุดทดสอบที่สร้างขึ้น ซึ่งชุดทดสอบ MPPT VOC ที่ได้สร้างขึ้นในงานวิจัย ราคาชุดต้นแบบ 1400 บาท ส่วนชุดชาร์จ Com. without MPPT ราคา 1000 บาท และ MPPT Com. ราคา 3000 บาท ซึ่งเมื่อใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ และทำการพิจารณาชุดทดสอบ MPPT VOC เปรียบเทียบกับ Com. without MPPT พบว่าชุดทดสอบ MPPT VOC สามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้ $84.4Whr/day$ และชุดทดสอบ Com. without MPPT สามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้ $28.5Whr/day$ ถ้าติดตั้งชุดทดสอบ MPPT VOC จะสามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้มากกว่าชุดชาร์จ Com. without MPPT เท่ากับ $28.5Whr$ หรือ 50.98 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 1 วัน

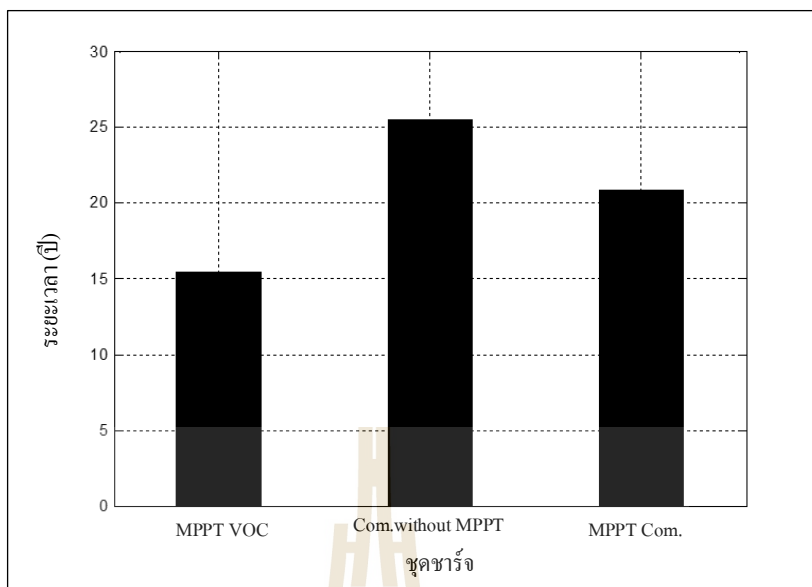
6.4.1 การประเมินราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระและจุดคุ้มทุนของแต่ละชุดชาร์จ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการประเมินราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ซึ่งในระบบดังกล่าวจะประกอบไปด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดชาร์จ และแบตเตอรี่ การเปรียบเทียบระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระจะเปรียบเทียบชุดชาร์จจำนวน 3 ชุดชาร์จ ได้แก่ ชุดชาร์จ MPPT VOC ชุดชาร์จ Com. without MPPT และชุดชาร์จ MPPT Com. ดำเนินการประเมิน

ราคาเพื่อหาจุดคุ้มทุนของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ การประเมินราคานี้จะพิจารณาให้พิกัดของชุดชาร์จมีค่าเท่ากับ 250 วัตต์ และขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 250 วัตต์ โดยราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 วัตต์ เท่ากับ 30 บาท และ แบตเตอรี่เลือกใช้ขนาด 40 Ah (โดยกำหนดให้ความต้องการในการใช้โหลดต่อชั่วโมงเท่ากับพิกัดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ คือ 250 วัตต์) โดยราคาของแบตเตอรี่ 1 Ah เท่ากับ 70 บาท จากนั้นหาราคารวม ได้แก่ ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ราคาชุดชาร์จและราคาแบตเตอรี่ นำมาเปรียบเทียบค่าพลังงานใน 1 วัน โดยเปรียบเทียบกับค่าจากแผงแสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ เช่นถ้าใช้แผงแสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ใน 1 วัน ชุดชาร์จ MPPT VOC สามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้ $84.4Whr/day$ แต่ ถ้าใช้แผงแสงอาทิตย์ขนาด 250 วัตต์ใน 1 วัน ชุดชาร์จ MPPT VOC สามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้ $527.5Whr/day$ เป็นต้น และราคาคุ้มทุน (บาท/day) คิดจาก 1 unit หรือ $1kWhr$ เท่ากับ 3.9361 บาท (อ้างอิงจากอัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย) ซึ่งการประเมินราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระและจุดคุ้มทุนของชุดชาร์จแต่ละชุด แสดงได้ดังตารางที่ 6.7 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดคุ้มทุน (ปี) ของชุดชาร์จแต่ละชุดแสดงได้ดังรูปที่ 6.8

ตารางที่ 6.7 การประเมินราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระและจุดคุ้มทุน
ของแต่ละชุดชาร์จ

ชุดชาร์จ	ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (บาท)	ราคาชุดชาร์จ (บาท)	ราคาแบตเตอรี่ (บาท)	ราคารวม	จำนวน Whr/day	ราคาคุ้มทุน (บาท/day)	จุดคุ้มทุน	
							วัน	ปี
MPPT VOC	7500	1400	2800	11700	527.5	2.08	5635.04	15ปี5เดือน
Com. without MPPT	7500	2500	2800	12800	349.375	1.38	9307.91	25ปี6เดือน
MPPT Com.	7500	5000	2800	15300	511.875	2.01	7593.84	20ปี9เดือน



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดคุ้มทุน (ปี) ของชุดชาร์จแต่ละชุด

จากการประเมินราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระและจุดคุ้มทุนของแต่ละชุดชาร์จในตารางที่ 6.7 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดคุ้มทุน (ปี) ของชุดชาร์จแต่ละชุดในรูปที่ 6.8 ถ้าทำการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดชาร์จ พิกัดเท่ากับ 250 วัตต์ และแบตเตอรี่ พบว่า ถ้าใช้ชุดชาร์จ MPPT VOC คุ้มทุนที่ระยะเวลา 15 ปี 5 เดือน ถ้าใช้ชุดชาร์จ Com. without MPPT คุ้มทุนที่ระยะเวลา 25 ปี 6 เดือน และถ้าใช้ชุดชาร์จ MPPT Com. คุ้มทุนที่ระยะเวลา 20 ปี 9 เดือน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดที่สร้างขึ้นด้วยวิธี VOC ในงานวิจัย สามารถคุ้มทุนเร็วกว่าชุดชาร์จที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด และสามารถเรียงลำดับจุดคุ้มทุนเป็นปีของชุดชาร์จจากน้อยไปมากได้แก่ MPPT VOC, MPPT Com. และ Com. without MPPT ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาชุดชาร์จ MPPT VOC จะเห็นได้ว่าสามารถคุ้มทุนเร็วกว่าชุดชาร์จอื่น ๆ ดังนั้นถ้าพิกัดชุดชาร์จมีค่าเพิ่มขึ้นจะสามารถคุ้มทุนได้เร็วขึ้น ซึ่งจะประเมินราคาหาจุดคุ้มทุนเมื่อพิกัดของชุดชาร์จมีค่าเพิ่มขึ้นได้ดังหัวข้อถัดไป

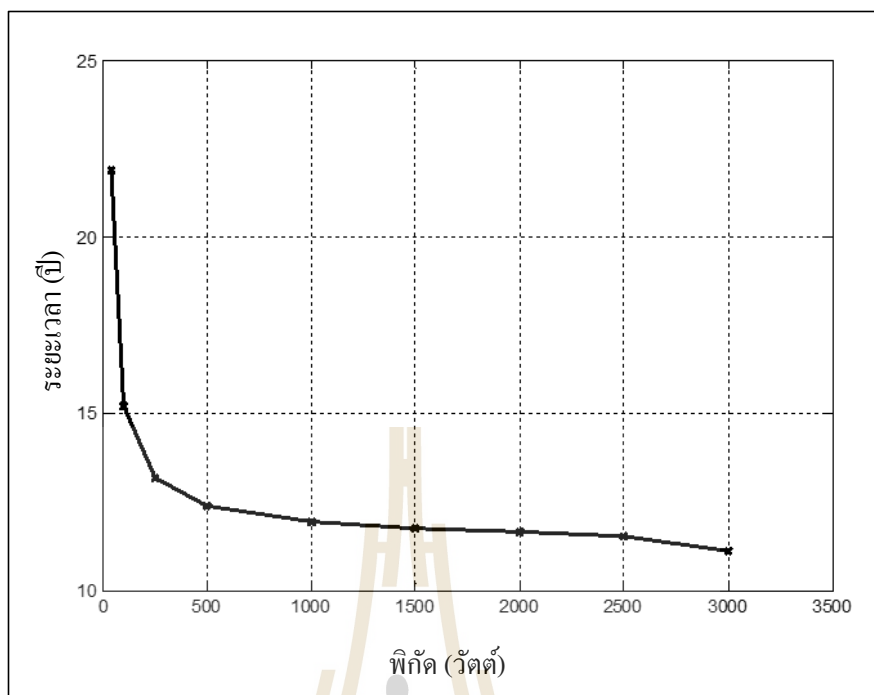
6.4.2 การประเมินราคาหาจุดคุ้มทุนของชุดชาร์จ MPPT VOC

จากการประเมินราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระและจุดคุ้มทุนของแต่ละชุดชาร์จที่พิกัด 250 วัตต์จะเห็นได้ว่าชุดชาร์จ MPPT VOC ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยฯ คุ้มทุนเร็วกว่าชุดชาร์จอื่น ๆ และถ้าทำการเพิ่มพิกัดของชุดชาร์จ MPPT VOC จะประเมินราคาหาจุดคุ้มทุนได้โดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบการตามรอยกำลังของแสงอาทิตย์จริงด้วยชุดทดสอบวิธี MPPT VOC ใน

หัวข้อ 7.1 เมื่อพิกัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์และพิกัดชุดชาร์จ MPPT VOC เท่ากับ 40 W พบว่าชุดทดสอบ MPPT VOC สามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้ $84.4Whr/day$ เมื่อเปลี่ยนพิกัดของชุดชาร์จจะสามารถคำนวณหาพลังงานได้จากการเปรียบเทียบกับพิกัดชุดชาร์จ 40 W เช่นถ้าใช้ชุดชาร์จ MPPT VOC ขนาด 40 วัตต์ใน 1 วัน สามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้ $84.4Whr/day$ แต่ถ้าใช้ชุดชาร์จ MPPT VOC ขนาด 250 วัตต์ใน 1 วัน สามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้ $527.5Whr/day$ เป็นต้น ซึ่งราคาคุ้มทุน (บาท/day) คิดจาก 1 unit หรือ $1kWhr$ เท่ากับ 3.9361 บาท และถ้าพิจารณาติดตั้งชุดชาร์จ MPPT VOC ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ซึ่งประกอบไปด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดชาร์จ MPPT VOC และแบตเตอรี่ เมื่อพิกัดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น และหาจุดคุ้มทุนเมื่อใช้ชุดชาร์จ MPPT VOC แสดงได้ดังตารางที่ 6.8 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดชุดชาร์จ และจุดคุ้มทุน (ปี) แสดงได้ดังรูปที่ 6.9

ตารางที่ 6.8 การประเมินราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระและจุดคุ้มทุนของชุดชาร์จ เมื่อพิกัดของชุดชาร์จ MPPT VOC มีค่าเพิ่มขึ้น

พิกัดชุดชาร์จ (W)	ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (บาท)	ราคาชุดชาร์จ (บาท)	ราคาแบตเตอรี่ (บาท)	ราคารวม	จำนวน Whr/day	ราคาคุ้มทุน (บาท/day)	จุดคุ้มทุน	
							วัน	ปี
40	1200	1400	490	3090	84.4	0.33	9301.43	25ปี5เดือน
100	3000	1400	1050	5450	211	0.83	6562.18	17ปี11เดือน
250	7500	1400	2800	11700	527.5	2.08	5635.04	15ปี5เดือน
500	15000	1550	5600	22150	1055	4.15	5334.03	14ปี7เดือน
1000	30000	1800	11200	43000	2110	8.31	5177.50	14ปี2เดือน
1500	45000	2000	16800	63800	3165	12.46	5121.31	14ปี3เดือน
2000	60000	2200	22400	84600	4220	16.61	5093.21	13ปี11เดือน
2500	75000	2400	28000	104000	5275	20.76	5008.93	13ปี8เดือน
3000	90000	2600	34300	123400	6330	24.92	4952.74	13ปี6เดือน



รูปที่ 6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ และจุดคุ้มทุน (ปี)

จากการประเมินราคาเมื่อพิกัดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น และหาจุดคุ้มทุนเมื่อใช้ชุดชาร์จ MPPT VOC จากรูปที่ 6.9 พบว่า เมื่อพิกัดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น ระยะเวลาคุ้มทุนจะเร็วขึ้น ดังนั้นถ้านำชุดชาร์จ MPPT VOC ไปใช้งานจริงกับโหลดที่พิกัดสูง ๆ จะมีความคุ้มทุนที่เร็วขึ้น

6.5 การประยุกต์ใช้งานชุดทดสอบ MPPT VOC ในแปลงเกษตรกรรม

การประยุกต์ใช้งานของชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจรที่ได้สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้นำไปประยุกต์ใช้งานกับเครื่องรีดขางพาราอัจฉริยะที่ใช้โซลาร์เซลล์ ซึ่งเครื่องรีดขางพาราอัจฉริยะดังกล่าวจะต้องใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อประจุลงแบตเตอรี่ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับเครื่องรีดขางพารา โดยการที่จะดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุลงแบตเตอรี่นั้นจะต้องใช้ชุดชาร์จสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งชุดชาร์จทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดจะไม่สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ณ ความเข้มแสงขณะนั้นมาประจุลงแบตเตอรี่ได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องใช้งานชุดชาร์จ MPPT VOC ที่สร้างขึ้นจากงานวิจัยนี้ เป็นตัวชาร์จให้กับแบตเตอรี่

ของเครื่องรีดยางพารา ซึ่งมีราคาถูก กำลังสูญเสียน้อย และมีประสิทธิภาพดีกว่าชุดซาร์จตาม
ท้องตลาด ซึ่งผู้วิจัยได้นำชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิด
วงจรที่ได้สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ไปติดตั้งใช้งานกับเครื่องรีดยางพาราอัจฉริยะที่ใช้โซลาร์เซลล์ 2
สถานที่ ได้แก่ หมู่บ้านศรีควนทอง ตำบลช้างซ้าย อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี และสวน
ยางพารา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี แสดงได้ดังรูปที่ 6.10 และ รูปที่ 6.11



รูปที่ 6.10 ชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจรติดตั้งใช้งาน
กับเครื่องรีดยางพาราอัจฉริยะที่ใช้โซลาร์เซลล์ ณ หมู่บ้านศรีควนทอง ตำบลช้างซ้าย
อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

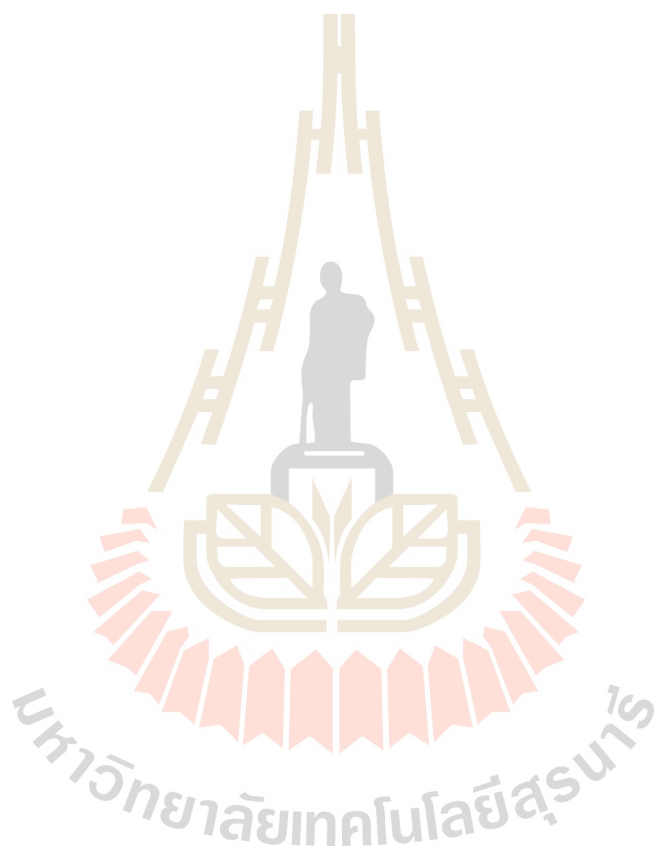


รูปที่ 6.11 ชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจรติดตั้งใช้งานกับเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ใช้โซลาร์เซลล์ ณ สวนยางพารา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6.6 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการเปรียบเทียบผลการทดสอบชุดทดสอบที่สร้างขึ้นของวิธี VOC เปรียบเทียบกับชุดชาร์จ์ทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดที่ไม่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสูงสุด และชุดชาร์จ์ทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดที่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุด จากผลการทดสอบพบว่าชุดทดสอบวิธี VOC สามารถดึงค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ากำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ ได้ดีกว่าชุดชาร์จ์ทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาด อีกทั้งในบทนี้ยังได้แสดงการทดสอบการตามรอยกำลังของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ ในเวลา 1 วัน สำหรับการใช้งานชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ กับแสงอาทิตย์จริง จากการเปรียบเทียบการตามรอยกำลังของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่า ถ้าติดตั้งชุดทดสอบในเวลา 1 วัน ชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังงานสูงสุดด้วยวิธี VOC จะสามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้มากกว่าชุดชาร์จ์ทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดเท่ากับ

28.5Whr หรือ 50.98 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้แสดงการประเมินราคาหาจุดคุ้มทุนของแต่ละชุด
ชาร์จ พบว่าชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดที่สร้างขึ้นด้วยวิธี VOC สามารถคุ้มทุนเร็วกว่าชุด
ชาร์จที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดอีกด้วย



บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

งานวิจัยนำเสนอการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร หรือวิธี VOC ซึ่งได้อธิบายถึงหลักการทำงานของวิธี VOC รวมไปถึงการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SIMULINK ใน MATLAB พบว่า ระบบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร สามารถดึงกำลังจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุด อีกทั้งยังได้อธิบายถึงโครงสร้างชุดทดสอบของวิธี VOC โดยสร้างขึ้นจากอุปกรณ์แอนะล็อก การออกแบบ การทดสอบวงจร และผลการทดสอบชุดทดสอบที่สร้างขึ้น โดยชุดทดสอบจะต้องอาศัยค่า k ที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียว และจะต้องมีการทดสอบหาค่าเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งาน ซึ่งผลการทดสอบชุดทดสอบ พบว่า ชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร สามารถสร้างใช้งานได้จริง และสามารถดึงพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้ ณ ความเข้มแสงค่าต่าง ๆ ประจุลงแบตเตอรี่ได้มากที่สุด ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุด

อีกทั้งในงานวิจัยได้นำเสนอการเปรียบเทียบผลการทดสอบชุดทดสอบที่สร้างขึ้นของวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร เปรียบเทียบกับชุดชาร์จทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดที่ไม่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดสูงสุด และชุดชาร์จทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดที่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุด จากผลการทดสอบพบว่าชุดทดสอบวิธีรบกวนและสังเกตุ สามารถดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ากำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ มีค่ามากกว่าชุดทดสอบอื่น ๆ และนอกจากนี้ได้แสดงการเปรียบเทียบการตามรอยกำลังของชุดทดสอบวิธีต่าง ๆ โดยใช้ความเข้มแสงจากแสงอาทิตย์จริง ในเวลา 1 วัน กับแสงอาทิตย์จริง พบว่าถ้าติดตั้งชุดทดสอบในเวลา 1 วัน ชุดทดสอบการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกตุ จะสามารถดึงพลังงานประจุลงแบตเตอรี่ได้มากกว่าชุดชาร์จทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดถึง 28.5Whr หรือ 50.98 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้นำชุดทดสอบตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร ติดตั้งใช้งานกับเครื่องรีดขางพาราอัจฉริยะที่ใช้โซลาร์เซลล์ ไปประยุกต์ใช้งานจริง ณ หมู่บ้านศรีควนทอง ตำบลช้างซ้าย อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี และสวนยางพารา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อีกด้วย

7.2 ข้อเสนอแนะ

การใช้งานอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรนั้น มักประสบปัญหาเกี่ยวกับการหาแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ถือเป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อเกษตรกรเป็นอย่างมาก แต่ถ้าเกษตรกรสามารถใช้พลังงานทดแทนผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในแปลงเกษตรกรรม ทำให้สามารถใช้งานอุปกรณ์ทางไฟฟ้าได้สะดวกขึ้น โดยส่วนใหญ่พลังงานทดแทนที่นิยมใช้กันสำหรับงานในแปลงเกษตรกรรม คือพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นถ้านำกล่องควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงสำหรับแปลงเกษตรกรรมที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ไปติดตั้งด้วยจะทำให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น



รายการอ้างอิง

K. H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, and M. Osakada, "Maximum photovoltaic power tracking : An algorithm for rapidly changing atmospheric condition," IEEE Proc. Gener. Transm., vol.142, no.1, pp.59-64.

V. Salas, E. Olias, A. Barrado, and A. Lazaro, "Review of maximum power point tracking algorithms for stand alone photovoltaic systems," Solar Matter, Solar Cells, vol. 90, no. 11, pp. 1555-1578, July 2006.

T. Eswam, and P. L. Chapma, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," IEEE Trans. Energy Conversion., vol.22, no.2, pp. pp.360-7,061995.

J. Ahmad, "A Fractional Open Circuit Voltage Based Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays," in Proc. IEEE 2nd International Conference on Software Tech. and Engineering (ICSTE), Oct 2010, vol.1 ,pp.247-250.

N. W. V. Eynde, S. Chowdhury, and S. P. Chowdhury, "Modeling and simulation of a stand-alone photovoltaic plant with MPPT feature and dedicated battery storage", in Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting, Minneapolis, MN, July 2010, pp.1-8.

M. S. Ngan, and C. W. Tan, "A study of maximum power point tracking algorithms for stand-alone Photovoltaic Systems," in Proc. IEEE Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC), Johor Bahru, Malaysia, April 2011, pp.22-27.

S. Sreekanth, and I. J. Raglend, "A comparative and analytical study of various incremental algorithms applied in solar cell," in Proc. IEEE International Conf. on Computing, Electronics and Electrical Tech. (ICCEET), Kumaracoil, March 2012, pp.452-456.

S. M. Ferdous, M. A. Mohammad, F. Nasrullah, A. M. Saleque and A. Z. Muttalib, "Design and Simulation of an Open Voltage Algorithm based Maximum Power Point Tracker for Battery Charging PV System," in Proc. IEEE 7th International Conference on Electrical & Computer Engineering (ICECE), Dhaka, Bangladesh, Dec 2012, pp.908 - 911.

S. K. Kollimalla and M. K. Mishra, "Adaptive perturb & observe MPPT algorithm for photovoltaic system," in Proc. IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI), Champaign, IL, Feb 2013, pp.42-47.

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งาน ชุดชาร์จเซลล์แสงอาทิตย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก. คู่มือการใช้งาน ชุดชาร์จเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการตามรอยกำลังสูงสุด
ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร (MPPT VOC Charger)



รูปที่ ก.1 กล่องชุดชาร์จเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการตามรอยกำลังงานสูงสุดด้วยวิธีเทียบสัดส่วนแรงดัน
ขณะเปิดวงจร

MPPT VOC Charger มีคุณสมบัติหลัก ดังนี้

1. ถูกควบคุมด้วยอัลกอริทึมการตามรอยกำลังสูงสุด ด้วยอุปกรณ์แอนะล็อก
2. มีไฟ LED แสดงสถานะการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์, แบตเตอรี่ และ โหลด
3. มีระบบป้องกัน over-charge ,over-discharge และ over-load

การแสดงสถานะการทำงานของ MPPT VOC Charger

1. สถานะของแผงโซลาร์เซลล์และการชาร์จแบตเตอรี่

ไฟ SUN จะติดสีแดงค้าง เมื่อมีแสงแดดและสามารถชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ได้

ไฟ SUN จะดับเมื่อไม่มีแสงแดดหรือมีการถอดสายของแผงโซลาร์เซลล์ออก กรณีนี้จะไม่
ไฟชาร์จเข้าแบตเตอรี่

2. สถานะของแบตเตอรี่

ไฟ BAT จะติดสีเขียวค้าง เมื่อมีการต่อสายไฟที่ช่อง Battery ของ MPPT VOC Charger

ไฟ BAT จะดับ เมื่อมีการถอดสายของแบตเตอรี่ออก

3. สถานะของโหลด

เมื่อกดสวิทช์ ON/OFF Load

ไฟ LOAD จะติดสีเขียวค้าง เมื่อ Load ทำงานปกติ

ไฟ LOAD จะดับ เมื่อ Load ถูกปิดการทำงาน

การเชื่อมต่อสายไฟเข้ากับ MPPT VOC Charger

1) ต่อสายไฟที่ช่อง Battery ของ MPPT VOC Charger จากนั้นให้ต่อสายไฟไปยังขั้วของแบตเตอรี่ ต้องต่อให้ถูกขั้ว ระวังอย่าต่อสลับขั้วเด็ดขาด ถ้าต่อสายถูกต้องจะมีไฟ BAT ติดขึ้นมา

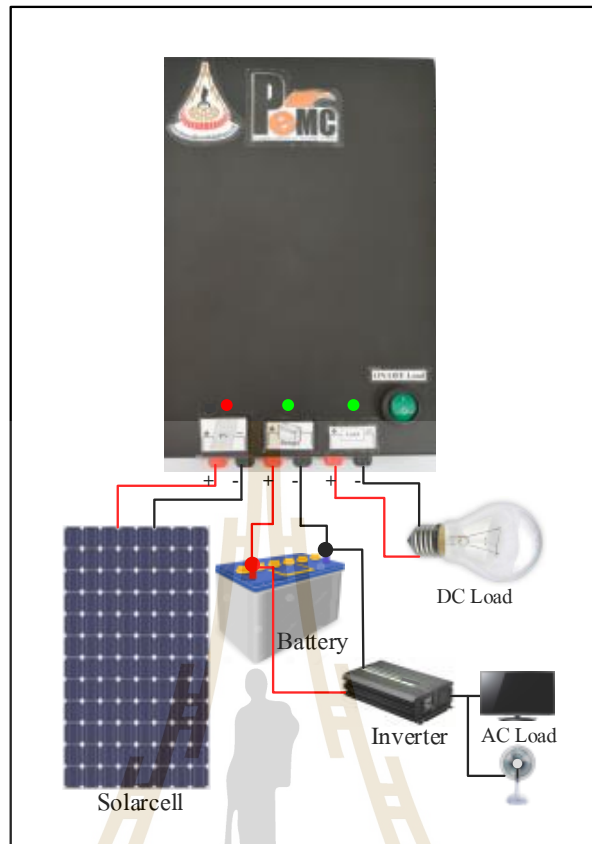
2) ต่อสายไฟที่ช่อง Solar Cell ของ MPPT VOC Charger จากนั้นให้ต่อสายไฟไปยังแผงโซลาร์เซลล์ ต้องต่อให้ถูกขั้ว ระวังอย่าต่อสลับขั้วเด็ดขาด ถ้าต่อสายถูกต้องและมีแสงแดด ไฟ SUN จะติดขึ้นมา

3) ต่อโหลด DC เช่น หลอดไฟ LED หรือ โหลดทางไฟฟ้าอื่นๆ ที่ช่อง Load ของ MPPT VOC Charger ต้องต่อให้ถูกขั้ว ระวังอย่าต่อสลับขั้วเด็ดขาด มิฉะนั้นจะทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเสียหายได้

หมายเหตุ ถ้าเป็นโหลด AC จะต้องใช้ Inverter ทำการแปลงไฟ DC เป็น AC หรือไฟบ้านก่อน โดยต่อสายแบตเตอรี่จากขั้วแบตเตอรี่ไปยังขั้วไฟฝั่ง DC ของ Inverter จากนั้นให้ต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆเข้ากับ Inverter ที่ช่องเสียบปลั๊กไฟหรือที่ช่อง AC Output

การเชื่อมต่อสายไฟของอุปกรณ์ระบบโซลาร์เซลล์เข้ากับ MPPT VOC Charger แสดงดังรูปที่

ก.2



รูปที่ ก.2 การเชื่อมต่อสายไฟของระบบ โซลาร์เซลล์เข้ากับ MPPT VOC Charger

ภาคผนวก ข

ตัวแยกกราวด์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



ตัวแยกกราวด์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หรือ dc/dc isolate มีหน้าที่แยกกราวด์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในด้านอินพุตและด้านเอาต์พุตออกจากกัน เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับอุปกรณ์ โดยในงานวิจัยจะให้อินพุตของตัวแยกกราวด์คือแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ และด้านเอาต์พุตของตัวแยกกราวด์จะเป็นแหล่งจ่ายให้แก่วงจรควบคุมการตามรอยจุดกำลังสูงสุด และวงจรแยกโคดสัญญาณ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับวงจรไฟฟ้า และป้องกันการลัดวงจรจากวงจรแปลงผันแบบบัตต์ก์เข้าสู่วงจรจุดชนวนเกท

ในงานวิจัยจะใช้ตัวแยกกราวด์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบคงค่าแรงดันเอาต์พุตแบบ Single Output และแบบ Multi Output โดยแรงดันอินพุตคือแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ และค่าแรงดันเอาต์พุตจะแล้วแต่เบอร์ของตัวแยกกราวด์ที่เลือกใช้งาน เช่น ถ้าตัวแยกกราวด์เบอร์ 1205 คือแรงดันอินพุต 12 โวลต์จะได้แรงดันเอาต์พุต 5 โวลต์ ถ้าตัวแยกกราวด์เบอร์ 1212 คือแรงดันอินพุต 12 โวลต์จะได้แรงดันเอาต์พุต 12 โวลต์ ถ้าตัวแยกกราวด์เบอร์ 1215 คือแรงดันอินพุต 12 โวลต์จะได้แรงดันเอาต์พุต 15 โวลต์ เป็นต้น นอกจากนี้ตัวแยกกราวด์แบบคงค่าแรงดันเอาต์พุตมีทั้งแบบ Single Output และแบบ Multi Output โดยถ้าเลือกใช้ตัวแยกกราวด์แบบ Single Output เช่น เบอร์ 1212 ค่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็น 12 และ 0 โวลต์ ถ้าเลือกใช้ตัวแยกกราวด์แบบ Single Output เบอร์ 1215 ค่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็น 15 และ 0 โวลต์ และถ้าเลือกใช้ตัวแยกกราวด์แบบ Multi Output เช่น เบอร์ 1212 ค่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็น +12, -12 และ 0 โวลต์ ถ้าเลือกใช้ตัวแยกกราวด์แบบ Multi Output เบอร์ 1215 ค่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็น +15, -15 และ 0 โวลต์ เป็นต้น สำหรับการเลือกใช้ตัวแยกกราวด์นั้นขึ้นอยู่กับการใช้งาน ค่าแรงดันอินพุต – เอาต์พุตที่ต้องการ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน ซึ่งตัวแยกกราวด์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแสดงได้ดังรูป ข.1



รูป ข.1 ตัวแยกกราวด์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หรือ dc/dc isolate