



การประยุกต์การใช้พลังงานแบบผสมผสานเพื่อบูรณาการกับภาคการเกษตรกรรม
Application of Hybrid Energy for Integration of the Agricultural

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
มนัส บุญเทียรทอง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การประยุกต์การใช้พลังงานแบบผสมผสานเพื่อบูรณาการกับภาคการเกษตรกรรม
ผู้วิจัย : รศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
ผศ.ดร.มนัส บุญเทียรทอง สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
พ.ศ. : 2564

บทคัดย่อ

การประยุกต์การใช้พลังงานแบบผสมผสานเพื่อบูรณาการกับภาคการเกษตรกรรม เป็นการนำเสนอในรูปแบบการนำพลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจ่ายแหล่งกำเนิดอื่น เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์หรือเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดและจำนวนแผงไม่เกิน 300 วัตต์ 4 แผง และระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ปั๊มน้ำ ขนาดไม่เกินพิกัด 1500 วัตต์ 220 โวลต์

ระบบการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวอาจจะเกิดปัญหาจากสภาพอากาศหรืออุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้า รวมถึงคุณภาพไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ และจะส่งผลให้ปั๊มน้ำไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ระบบจ่ายไฟจาก 2 แหล่งจ่าย โดยใช้อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์แบบไฮบริดจ์ทำการเลือกแหล่งจ่ายจาก โซลาร์เซลล์เป็นพลังงานหลักและแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายเป็นพลังงานสำรอง จึงเสนอโครงการวิจัยการประยุกต์ใช้ปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตรเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า

การสร้างการประยุกต์ใช้ปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร ครั้งนี้เมื่อนำมาใช้กับปั๊มน้ำโดยปกติจะสามารถช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้และยังสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปั๊มน้ำให้ปั๊มน้ำและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Title : Application of Hybrid Energy for Integration of the Agricultural
Researcher : Associate Professor Dr.Nattachote Rugthaicharoencheep,
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, RMUTP
Assistant Professor Dr. Manat Boonthienthong
Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering, RMUTP
Year : 2021

Abstract

The application of integrated energy use in the agriculture sector It is presented in the form of using renewable energy from solar energy to produce electricity to use in conjunction with other sources of electricity such as generators or electric power systems. Using solar panels or solar cells the size and number of panels does not exceed 300 watts, 4 panels and the electrical system of the electrical system. Supply electric power to the water pump size does not exceed the rating of 1500 watts, 220 volts.

Solar power supply systems alone may be affected by weather conditions or electrical power supplies. Including the quality of electricity obtained from solar energy and will result in the water pump not working efficiently. Therefore, the application of solar energy by using a power supply system from 2 sources by using a hybrid inverter device to select the power supply from the solar cell is the main power and the power supply from the memory system is the backup power. Therefore, a research project on the application of solar water pumps in a mixed system for agriculture is proposed to increase the efficiency of electric power distribution.

This application of solar water pump hybrid system for agriculture, when used with water pumps, can normally help to save electricity and can also use solar energy instead of using electricity to pump water. Let the water pump and can work efficiently.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การประยุกต์การใช้พลังงานแบบผสมผสานเพื่อบูรณาการกับภาคการเกษตรกรรม ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยในครั้งนี้ ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณาของท่าน

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 กรอบแนวคิด	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์	4
2.2 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.3 อินเวอร์เตอร์	12
2.4 เครื่องควบคุมการประจุ	29
2.5 แบตเตอรี่	30
2.6 ป้อนน้ำ	34
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน	
3.1 บทนำ	40
3.2 การออกแบบโครงสร้างโซล่าเซลล์	40
3.3 การออกแบบตู้คอนโทรลควบคุมการทำงาน	42
3.4 การออกแบบโครงสร้าง	49
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและทดสอบ	
4.1 ผลการทดลอง	51
4.2 ชุดทดลองการประยุกต์ใช้ป้อนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการทดสอบ	58
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ	58
5.3 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าในประเทศไทยไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ในปัจจุบันวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ไฟฟ้าก็ลดลงเรื่อยๆ เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ดังนั้นจึงได้มีการรณรงค์ให้มีการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ในปัจจุบันพลังงานทดแทนที่นำมาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าที่เห็นได้ชัดที่สุด คือ พลังงานจากลมและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในที่นี่จะกล่าว ถึงอุปกรณ์ที่ใช้แสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งมีชื่อเรียกว่าโซลาเซลล์ อุปกรณ์ชนิดนี้จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงาน จากแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าและในปัจจุบันได้มีการนำเอาโซลาเซลล์ มาใช้ประโยชน์ในการช่วยผลิตกระแสไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลาย

โซลาเซลล์หรือเซลล์แสงอาทิตย์นั้น เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง โดยสารกึ่งตัวนำ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเมื่อมีแสงมาตกกระทบบที่แผงโซลาเซลล์นั้นจะเกิดกระบวนการ ที่เรียกว่า “กระบวนการโฟโตโวลตาอิก” เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสิ่งที่เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิด กระบวนการผลิตไฟฟ้านี้ก็คือ ปริมาณแสง ความเข้มของแสง ความสม่ำเสมอของแสง ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จะใช้แผงเซลล์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นกระแสไฟฟ้าแล้วทำการประจุเขาไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อรอจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปมน้ำต่อไป โดยมีตัวควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และใช้กระแสไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ ปริมาณน้ำที่ไดในการสูบ แต่ละครั้งขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่มีใน แบตเตอรี่ ปริมาณกระแสไฟในแบตเตอรี่ จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณแสงแดดและกำลังวัตต์ (W) ของแผงโซลาเซลล์ ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่ไดในการสูบ แต่ละครั้งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของปมน้ำแต่ละรุ่นในระบบด้วย ซึ่งระบบการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพียงอย่างเดียวอาจจะเกิดปัญหาจากสภาพอากาศหรืออุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้า รวมถึงคุณภาพไฟฟ้าที่ไดจาก พลังงานแสงอาทิตย์ และจะส่งผลให้ปมน้ำไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเสนอการประยุกต์ ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า [1-2]

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร
- 1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานทดแทนเพื่อการเกษตร

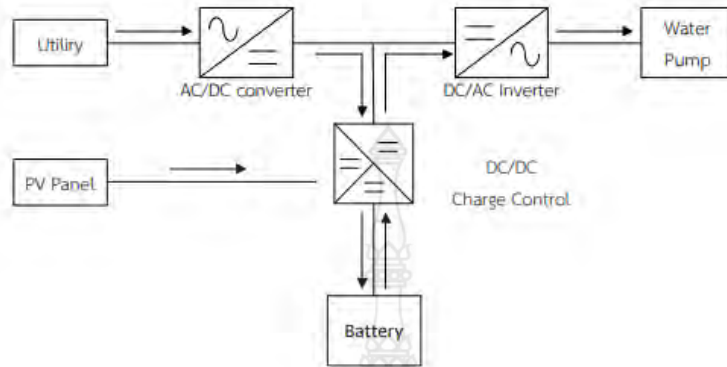
1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ออกแบบและติดตั้งปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร
- 1.3.2 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในใช้พลังงานทดแทนเพื่อการเกษตร
- 1.3.3 ขนาดพิกัดปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดไม่เกิน 1,500 วัตต์ 220 โวลต์
- 1.3.4 จำนวนแผงที่ติดตั้ง ขนาดและจำนวนแผงที่ติดตั้งไม่เกิน 300 วัตต์ และ 4 แผง

1.4 กรอบแนวคิด

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านแผงโซลาเซลล์ ประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่ โดยมี เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charge Controller) เป็นตัวควบคุมในเวลาที่ต้องการใช้งานภาระทางไฟฟ้า แบตเตอรี่ก็จะจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า โดยมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ หรือ อินเวอร์เตอร์ (Inverters) จ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

มีไม่เพียงพอดอภาระทางไฟฟ้าสวิตช์เลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Automatic Transfer Switch; ATS) จะทำการเลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้ามาแทนที่ และหากกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มีเพียงพอ สวิตช์เลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะทำการเลือกแหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่กลับคืน ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดการทำงานของพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ประยุกต์ใช้ป้อนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร
- 1.5.2 เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานทดแทนเพื่อการเกษตร

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีมากที่สุดบนพื้นโลก มาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และพื้นที่ที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่าโฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

1.6.2 อินเวอร์เตอร์

เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไฟฟ้ากระแสตรงที่จะนำมาทำการเปลี่ยนนั้นมาจากแบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือแผงโซลาร์เซลล์ก็ได้ การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับนิยมเรียกกันว่าอินเวอร์เตอร์ (Inverters) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลง หรือควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า และความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับได้

1.6.3 เครื่องควบคุมการประจุ

เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าที่แผงผลิตได้เก็บลงในแบตเตอรี่ และจ่ายไฟให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่แบบ PWM (Pulse Width

Modulation) หลักการทำงาน คือ ควบคุมความถี่ของคลื่นไฟฟ้าจากแอมป์โซลาเซลล์ในคงที่ ด้วยระบบดิจิทัล (Digital) เพื่อให้ประหยัดพลังงาน และสามารถควบคุมการประจุไฟเขาสู่แบตเตอรี่ได้เป็นอย่างดี ทำให้แบตเตอรี่ไม่เสื่อมเร็ว

1.7 คำสำคัญ

ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์, ระบบผสม, พลังงานทดแทน



บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

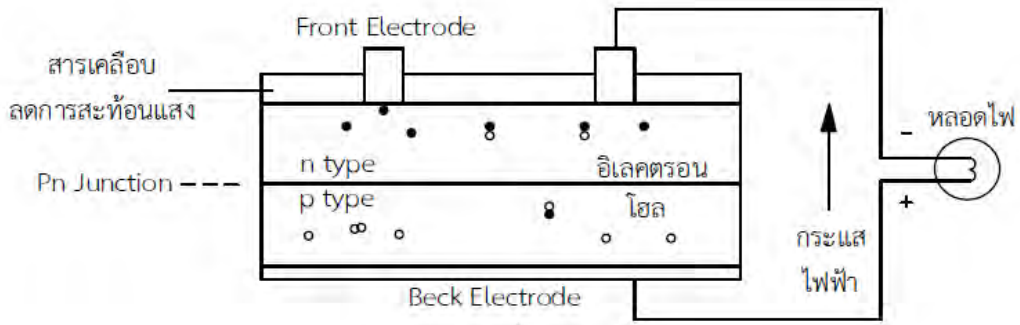
เซลล์แสงอาทิตย์ คือ เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน แกลเลียม อาร์เซไนต์ อินเดียม ฟอสไฟด์ แคดเมียม เทลลูไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนต์ เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์ จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ถ้าวางพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆ ให้กับสิ่งแวดล้อมในขณะใช้งาน และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้นทำให้สามารถทำงานได้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 [1-2]

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์มี 3 ขั้นตอน

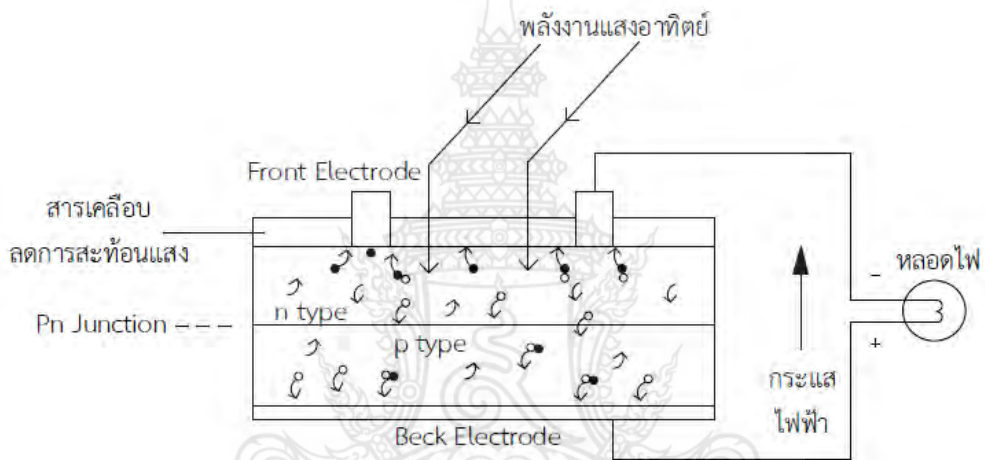
1. เซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด ดังแสดงในรูปที่ 2.2
2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ เซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3
3. เซลล์แสงอาทิตย์สร้างกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.4



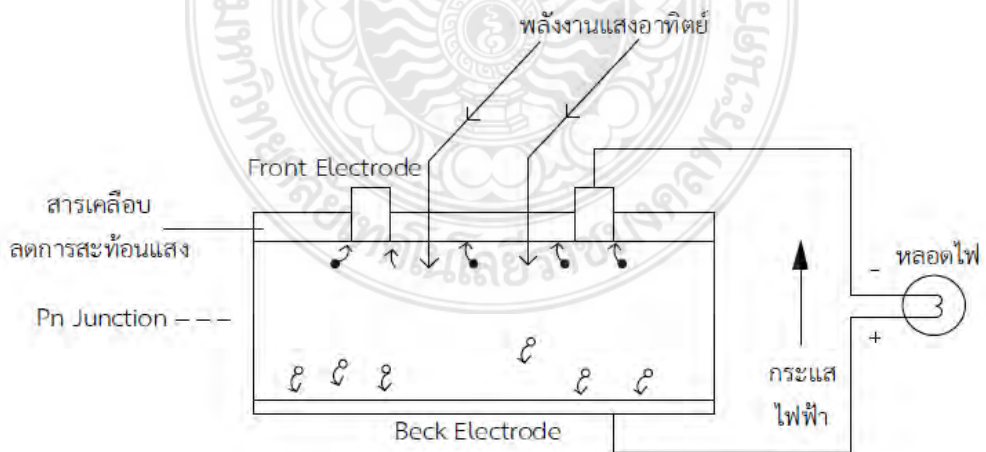
รูปที่ 2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่ถูกแสงอาทิตย์



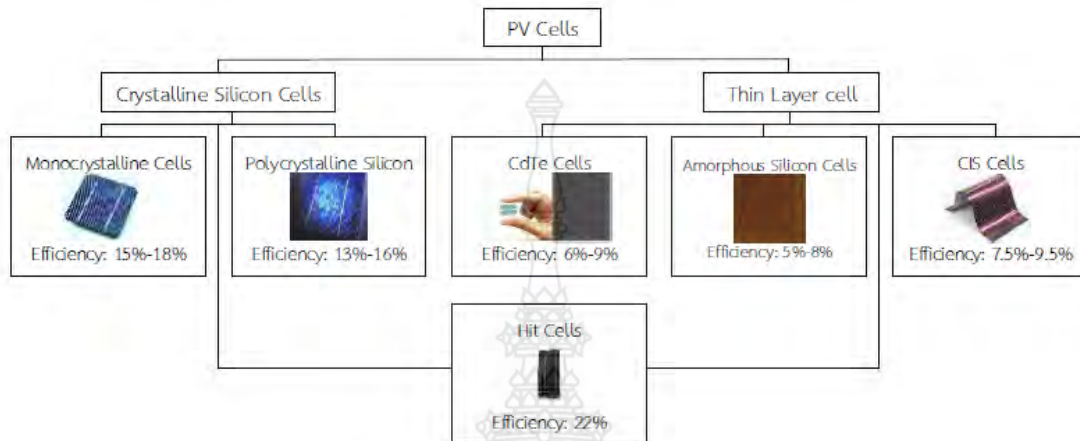
รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์สร้างกระแสไฟฟ้า

2.1.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ [3]

เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อแบ่งออกตามโครงสร้างแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผลึกซิลิคอน (Crystalline Silicon) และกลุ่มฟลอมบาง (Thin Layer Cells หรือ Thin Film Cells) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 กลุ่มผลึกซิลิคอน จะใช้สารทั้งตัวนำซิลิคอนเป็นวัสดุหลักในการผลิต แบ่งออกเป็นสองชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Cells) และชนิดหลายผลึก (Polycrystalline Cells) ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงและมีราคาสูงตามไปด้วย



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมแสดงการแบ่งชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับกลุ่มฟลอมบางนั้น จะมาจากสารกึ่งตัวนำเช่นกันแต่มีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดจะให้คุณสมบัติที่แตกต่างกัน วิธีการผลิตจะใช้เทคโนโลยีการฉีดยาถึงตัวนำบางชนิดลงไปบนกระจก หรือวัสดุอื่น ๆ ทำให้มีต้นทุนต่ำลง เช่น อะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Cells) หรือ คอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide (CIS) หรือแคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium Telluride (CdTe) สารกึ่งตัวนำเหล่านี้จะถูกฉีดยาเคลือบลงบนกระจก โดยมีความหนาเพียง 0.001 มิลลิเมตร (Millimeters) เท่านั้น ซึ่งเป็นชั้นที่บางมากจึงถูกเรียกวาชนิดฟลอมบาง เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำและมีราคาที่ถูกกว่า ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริด (Hybrid Cells (HIT) เป็นชนิดที่ใช้เทคโนโลยีของทั้งสองกลุ่มผสมผสานกันเพื่อผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่ก็มีราคาสูงที่สุดเช่นกัน

2.1.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystal) เซลล์ชนิดนี้ทำมาจากผลึกซิลิคอน แต่ละเซลล์จะมีรูปร่างแตกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบสี่เหลี่ยม แบบวงกลม และแบบกึ่งวงกลม ขนาดของเซลล์มี 3 ขนาด คือ 4 นิ้ว 5 นิ้ว และ 6 นิ้ว ความหนาแน่นของแผ่นเซลล์ 0.2 - 0.3 มิลลิเมตร สีนํ้าเงินเข้ม หรือสีเทาเข้ม มีประสิทธิภาพ 15 - 18 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

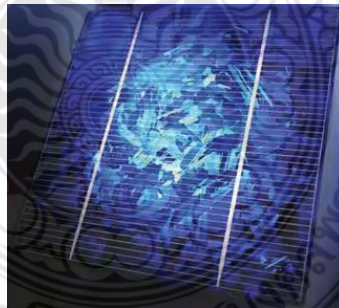


รูปที่ 2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตอลไลน์

(ที่มา: มา-แปง-ปิ่น, <https://www.energyreform-solar.com/th/content/126/5610032.html>)

2.1.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตอลไลน์

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แบบผลึกผสม (Polycrystalline Silicon) ทำจากซิลิคอนเซนกัน (แต่ไม่ได้ทำซิลิคอนทั้งแท่งมาตัดเป็นแผ่นบางๆ เหมือนชนิดโมโนคริสตอลไลน์) ทำได้โดยการสร้างผลึกผสมและเทลงในแบบหล่อทางสี่เหลี่ยม เมื่อผลึกเสร็จแล้ว จึงนำก้อนผลึกมาตัดเป็นแผ่นบางๆ มีความหนาประมาณ 0.24 - 0.3 มิลลิเมตร มีขนาด 6 - 8 นิ้ว ยังมีขนาดใหญ่ราคายิ่งถูกลง ประสิทธิภาพของเซลล์ชนิดโพลีคริสตอลไลน์ ระหว่าง 13- 16 เปอร์เซ็นต์ สีของผลึกผสมจะเป็นสีผสมกันระหว่างสีน้ำเงิน สีเงิน และสีเทา รูปร่างของเซลล์จะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตอลไลน์

(ที่มา: Energy Reform Solar, <https://www.energyreformsolar.com/th/content/126/5610032.html>)

2.1.1.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เซลล์แบบซิลิคอนอสัณฐาน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญชอบเรียกวาแบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Cells) มากกว่าครับ เซลล์ชนิดนี้จะต่างจากชนิดผลึกซิลิคอนและผลึกผสมเพราะไม่ได้ นำผลึกมาตัดออกเป็นแผ่นบาง ๆ แต่ใช้การสร้างแผ่นฟอสบางๆ ของซิลิคอนลงบนแผ่นกระจก แผ่นสแตนเลส หรือแผ่นพลาสติก ก็จะได้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ตามต้องการ เซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้มีข้อยกเว้นคือประสิทธิภาพต่ำ อยู่ระหว่าง 5 - 8 เปอร์เซ็นต์ ขนาดมาตรฐานสูงสุดไม่เกิน 0.79×2.44 ตารางเมตร ความหนาของแผ่นฐาน (กระจก, พลาสติก) 1 - 3

มิลลิเมตร ความหนาของฟลอมซิลิคอน 0.003 มิลลิเมตร (0.3 ไมโครเมตร) สีของเซลล์จะเป็นสีแดงเข้ม น้ำตาล หรือน้ำเงินอมม่วง [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.8

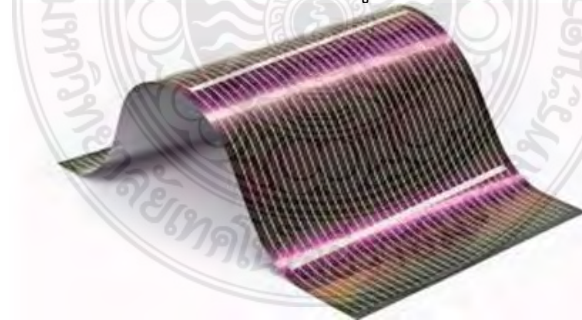


รูปที่ 2.8 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน
(ที่มา: บทความพิเศษ,

http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=2128&Itemid=14)

2.1.1.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์อินเดียม ไดเซเลไนต์

เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ในกลุ่มฟลอบาง (Thin film) เช่นเดียวกับกับแบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน เรียกกันว่าเซลล์แบบ CIS แต่ไม่ไดไซลิคอนเหมือนกับอะมอร์ฟัสซิลิคอน แต่ใช้คอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนต์ (CISX) แทน ทำให้มีราคาสูงกว่า และให้ประสิทธิภาพสูงกว่าด้วยเช่นกัน เซลล์แบบ CIS นี้มีประสิทธิภาพ 9 – 11 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากเป็นชนิดฟลอบาง ซึ่งนำไปเคลือบพลาสติก หรือวัสดุที่โค้งงอได้อีกด้วย ขนาดของเซลล์มาตรฐานสูงสุด 1.2×0.6 ตารางเมตร ความหนาวัสดุที่เป็นแผ่นฐาน 2 - 4 มิลลิเมตร และความหนาของชั้นฟลอม CIS ประมาณ 1 - 2 ไมโครเมตร จะมีสีเทาเข้มหรือสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

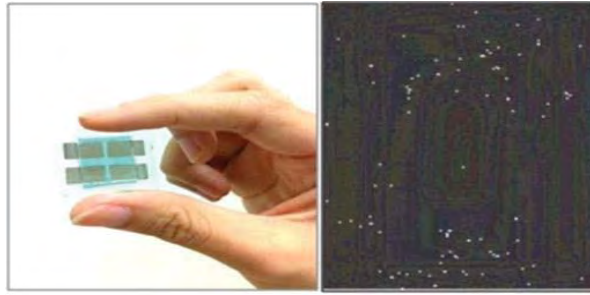


รูปที่ 2.9 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์อินเดียม ไดเซเลไนต์

(ที่มา: Solar Cell Energy Zone, ที่มา www.mysolarpower.org/ข้อดีข้อเสียของ-โซลาร์เซลล์)

2.1.1.5 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์

เซลล์ชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มฟลอบางเช่นกัน แต่ใช้สารกึ่งตัวนำผสมชื่อ แคดเมียมเทลลูไรด์ แผ่นซิลิคอน ทำให้มีราคาแพงกว่าอะมอร์ฟัสซิลิคอน และให้ประสิทธิภาพสูงประมาณ 7 - 8.5 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของเซลล์มาตรฐาน 1.2×0.6 ตารางเมตร ความหนาของฟลอมแคดเมียม เทลลูไรด์ ประมาณ 0.005 มิลลิเมตร จะมีสีเขียวเข้มถึงเกือบดำ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์
(ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, www.kmutt.ac.th/hyae/perovskite)

2.1.1.6 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดจ

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเซลล์ชนิดผสมผสานใช้เทคโนโลยีทางการผลิตผสานกันระหว่างแผ่นผลึกและแบบฟลอมบาง โดยใช้ผลิตซิลิคอนนำมาตัดเป็นแผ่นบางๆ เหมือนชนิดผลึกเดี่ยว และสร้างชั้นฟลอมบางของอะมอร์ฟัสซิลิคอนเคลือบทั้งด้านบนและกลางของแผ่นผลึก ทำให้ได้เซลล์ชนิดผสมผสานขึ้นมาและมีประสิทธิภาพสูงที่สุดประมาณ 18.5 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของเซลล์ชนิดนี้เป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้ง 4 ด้าน มีขนาด 10.4×10.4 ตารางเซนติเมตร และ 12.5×12.5 ตารางเซนติเมตร มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร จะมีสีน้ำเงินเข้มจนถึงดำดังรูป 1-18 เมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์มาประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module) จะมีกรอบโครงอะลูมิเนียม และปิดชั้นหน้าด้วยกระจกที่เคลือบสารป้องกันการสะท้อนของแสงอาทิตย์เพื่อให้นำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกในการขนย้ายและติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.11



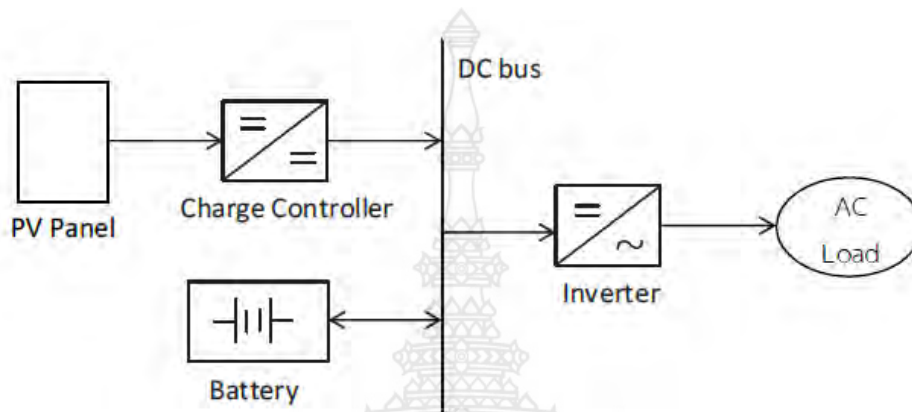
รูปที่ 2.11 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดจ
(ที่มา: Pan Renewable, www.panrenewable.com/15967588/เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดจ)

2.2 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบบออกเพน 3 แบบ คือ

2.2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจาก National Grid โดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา กล่าวคือ ช่วงเวลากลางวัน

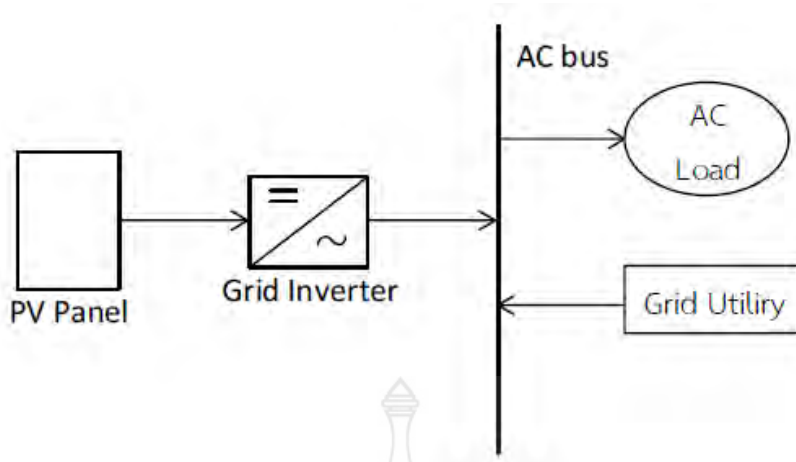
เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่าย ให้แก่ โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ใน แบตเตอรี่พร้อม ๆ กัน ส่วนในช่วงกลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้น พลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหลด จึงสามารถกล่าวได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้า ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวัน และกลางคืน อุปกรณ์ระบบที่สำคัญ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้า กระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Stand alone เป็นต้น [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ [5]

2.2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับระบบจำหน่าย

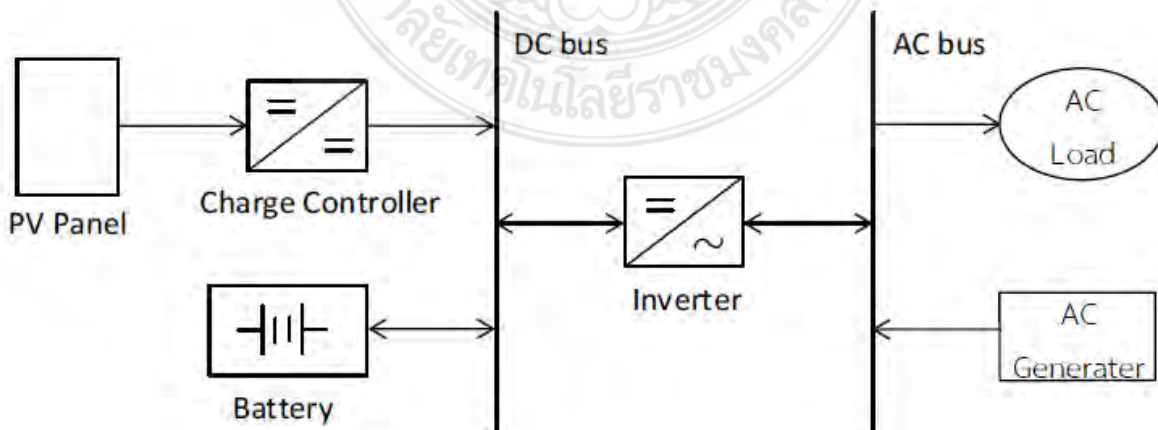
ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับระบบจำหน่าย เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National Grid โดยตรง มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ แสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้า กระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบ จำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึงอุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า Grid Connected เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับระบบจำหน่าย [5]

2.2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

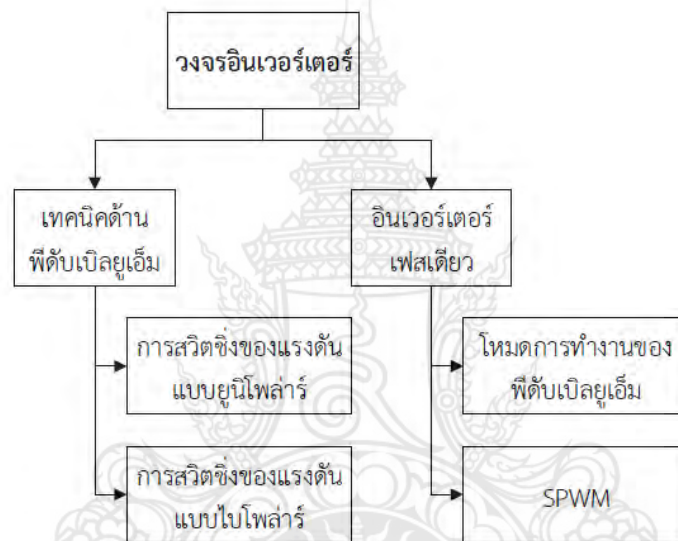
ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังงานน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเปนครณีเฉพาะ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล มีหลักการทำงานกล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้จะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ Multi-Function ทำงานร่วมกับไฟฟ้าจากพลังงานลมจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่อโหลดพร้อมทั้งทำงานประจุไฟฟ้าส่วนที่เกินไว้ในแบตเตอรี่ ในกรณีพลังงานลมต่ำไม่สามารถผลิตไฟฟ้าหรือเวลากลางคืนไม่มีไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่อโหลดและกรณีแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้ามามากจนถึงพิกัดที่ออกแบบไว้เครื่องยนต์ดีเซลจะทำงานโดยอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์สำรองพลังงาน กล่าวคือ จะจ่ายกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่โดยตรงและแบ่งจ่ายให้แก่อโหลดพร้อมกัน และหากโหลดมีมากเกินไประบบจะหยุดทำงานทันที และจะทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์หรือพลังงานลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ได้ปริมาณตามพิกัดที่ออกแบบไว้พร้อมทั้งขนาดโหลดอยู่ในพิกัดที่ชุดแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟได้ [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [5]

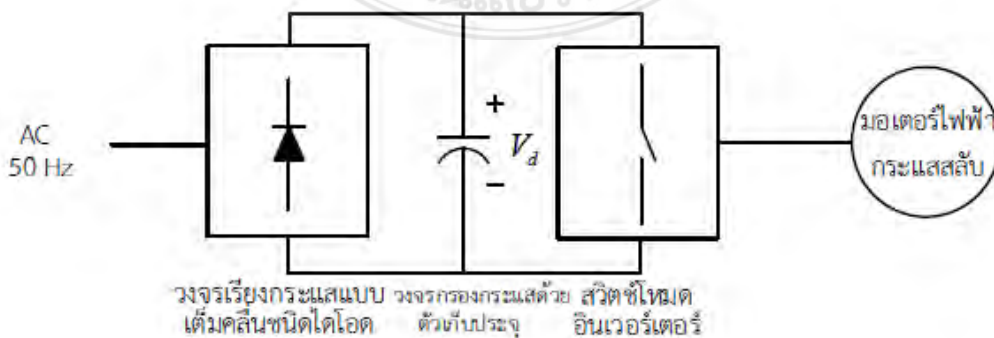
2.3 อินเวอร์เตอร์ [6]

ต้นกำลังทางไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมจะนิยมใช้แหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น อุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นหลัก ในยุคปัจจุบันการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าใหม่มีสมรรถนะสูง สามารถใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมให้ได้ความเร็วรอบแรงบิดตามความต้องการ และมีประสิทธิภาพสูง มีสภาพการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าทางเคียงอินเวอร์เตอร์จึงมีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น เมื่อแบ่งอินเวอร์เตอร์เป็นสองชนิดคือชนิดที่ใช่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Supplies) ซึ่งไม่มีการเคลื่อนที่ (Static) เช่น ระบบป้องกันกำลังไฟฟ้าขาดช่วง (Uninterruptible Power Supplies: UPS) ที่มีอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรหลักในการทำงาน เป็นต้น กับอีกประเภทหนึ่ง คือชนิดที่โหลดมีการหมุนหรือเคลื่อนที่ (Dynamic) เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ในบทนี้จึงจำเป็นต้องเลือกหัวข้อหลักของอินเวอร์เตอร์ที่จะศึกษาให้เหมาะสม โดยมีโครงสร้างที่แสดงถึงความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างการศึกษาด้านอินเวอร์เตอร์

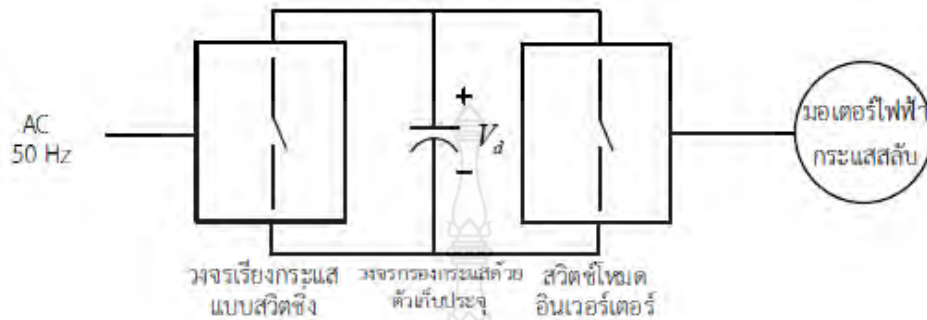
การแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ ไมว่าจะใช้ในการควบคุม มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรือระบบป้องกันกำลังไฟฟ้าขาดช่วงมีความต้องการคล้ายกัน คือ ต้องการให้แรงดันไฟฟ้านอกสามารถควบคุมได้ทั้งขนาดและความถี่อินเวอร์เตอร์ที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าใดด้านเดียว คือจากไฟฟ้ากระแสสลับของแหล่งจ่ายผ่านวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชนิดไดโอด และส่งต่อไปยังสวิตซ์โหมดอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านออกที่เป็นโหลดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังแสดงในรูปที่ 2.16



วงจรเรียงกระแสแบบ วงจรกรองกระแสด้วย สวิตซ์โหมดเต็มคลื่นชนิดไดโอด ตัวเก็บประจุ อินเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.16 สวิตซ์โหมดอินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

หากต้องการให้กำลังไฟฟ้าสามารถควบคุมให้ไหลไปและกลับระหว่างดานไฟฟ้ากระแสสลับได้ จำเป็นต้องมีการทำงานแบบสวิตช์โหมดเซนในรูปที่ 2.17 โดยการเปลี่ยนวงจรเรียงกระแสชนิด ไดโอดแบบสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์แทน

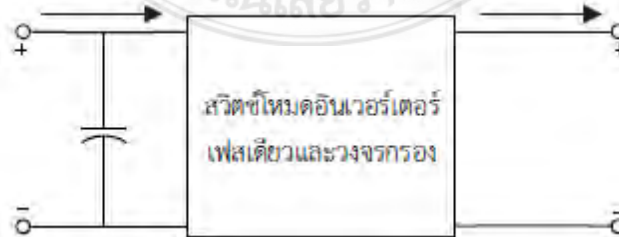


รูปที่ 2.17 สวิตช์โหมดอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหมดการควบคุมการไหล ของกำลังไฟฟ้า

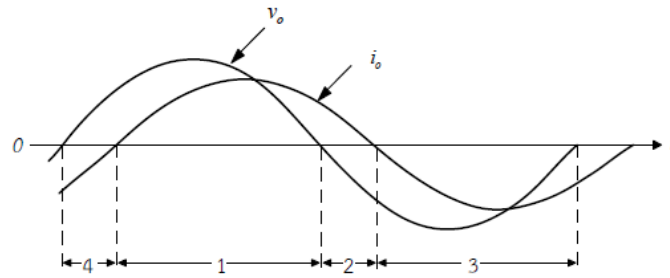
ในไดอะแกรมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ จะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มคือ อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter: VSI) กับอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter: CSI) อินเวอร์เตอร์ชนิดจ่ายแรงดัน มักจะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนักแต่ อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแสจะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง อินเวอร์เตอร์ชนิด แหล่งจ่ายแรงดันอาจจะแบ่งเป็นสองประเภท ที่นิยมนำไปใช้งานคือ อินเวอร์เตอร์แบบพีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse Width-Modulation Inverter: PWM Inverter) ส่วนอีกประเภทที่นิยมคืออินเวอร์เตอร์ แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square-Wave Inverter) ซึ่งมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือขนาด ฮาร์มอนิกอันดับต่ำๆ จะมีค่าสูง

2.3.1 แนวคิดพื้นฐานของสวิตช์โหมดอินเวอร์เตอร์

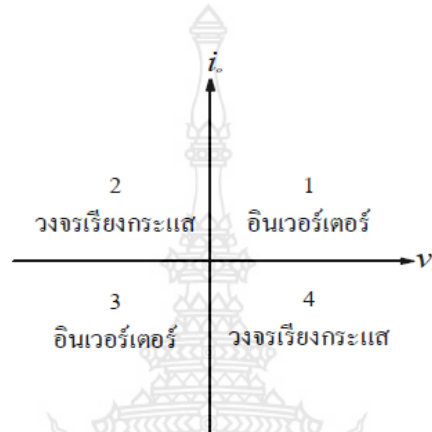
การแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับในรูป 2.18 (ก) สมมุติว่าแรงดันไฟฟ้าดานออกและกระแสไฟฟ้าดานออกผานวงจรองความถี่สูงออกไปเหลือเฉพาะความถี่ต่ำ ดังนั้นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จะเป็นรูปไซน์ กรณีที่แสดงในรูปที่ 2.18 (ก) โหลดจะเป็นคาความต้านทานและความเหนี่ยวนำ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจะล้าหลังแรงดันไฟฟ้า สำหรับในรูปที่ 2.18 (ข) กำลังไฟฟ้าดานออกจะพิจารณาเป็นผลคูณของแรงดันและกระแสไฟฟ้าดานออกดังนี้



(ก) แรงดันและกระแสด้านเข้าและด้านออก



(ข) รูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านและด้านออก



(ค) โหมดการทำงานใน 4 จตุภาค

รูปที่ 2.18 สวิตช์โหมดอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

โหมดที่ 1 โหมดอินเวอร์เตอร์

v_o เป็นบวก i_o เป็นบวก p_o เป็นบวก คือกำลังไฟฟ้าจะถูกส่งจากด้านไฟฟ้ากระแสตรง (V_d) ไปด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (v_o)

โหมดที่ 2 โหมดแรงกระแส

v_o เป็นลบ i_o เป็นบวก p_o เป็นลบ คือกำลังไฟฟ้าจะถูกส่งจากด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (v_o) ไปด้านไฟฟ้ากระแสตรง (V_d)

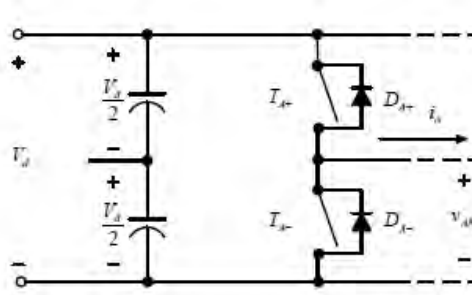
โหมดที่ 3 โหมดอินเวอร์เตอร์

v_o เป็นลบ i_o เป็นลบ p_o เป็นบวก คือกำลังไฟฟ้าจะถูกส่งจากด้านไฟฟ้ากระแสตรง (V_d) ไปด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (v_o)

โหมดที่ 4 โหมดเรียงกระแส

v_o เป็นบวก i_o เป็นลบ p_o เป็นลบ คือกำลังไฟฟ้าจะถูกส่งจากด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (v_o) ไปด้านไฟฟ้ากระแสตรง (V_d)

สรุปรูปแบบในการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ค) 4 โหมดในควอดแรนต์ (จตุภาค) เพื่อความเข้าใจการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ในรูปที่ 2.19 จะแสดงเพียงหนึ่งของวงจร อินเวอร์เตอร์ คือกึ่ง A หรือเฟส A ที่สมมติให้แรงดันไฟฟ้านาฬิกาเข็มมีค่าคงที่และกำหนดให้การสวิตช์ ทำงานเป็นแบบพีดีบีบีลยูเอ็ม



รูปที่ 2.19 สวิตชโหมคอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวที่หนึ่งกึ่ง

2.3.1.1 การสวิตชิ่งแบบพีดับเบิลยูเอ็ม

ในวงจรอินเวอร์เตอร์ต้องการจะสร้างแรงดันไฟฟ้าดำนออกเป้นรูปไซน์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ตามต้องการได้ โดยจะใช้สัญญาณควบคุมรูปไซน์ (Sinusoidal Control Signal) ตามความถี่ที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular Waveform) ดังในรูปที่ 2.20 (ก) ความถี่ของสวิตชิ่ง (f_s) จะเท่าความถี่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม ค่าย่อและความหมายที่สำคัญของสวิตชิ่งแบบพีดับเบิลยูเอ็ม มีดังต่อไปนี้

$v_{control}$	สัญญาณควบคุมรูปไซน์ที่ต้องการนำมาสร้างแรงดันไฟฟ้าและความถี่
ทางด้านออก	
v_{tri}	สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่เป็นตัวกำหนดความถี่สวิตชิ่ง
f_1	ความถี่หลักมูลทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์
f_s	ความถี่ของการสวิตชิ่งของอินเวอร์เตอร์
m_a	อัตราการมอดูเลตด้านแอมพลิจูด
m_f	อัตราการมอดูเลตด้านความถี่

ค่า m_a และ m_f จะนิยามจากสมการที่ (2.1 ก) และ (2.1 ข) ตามลำดับ

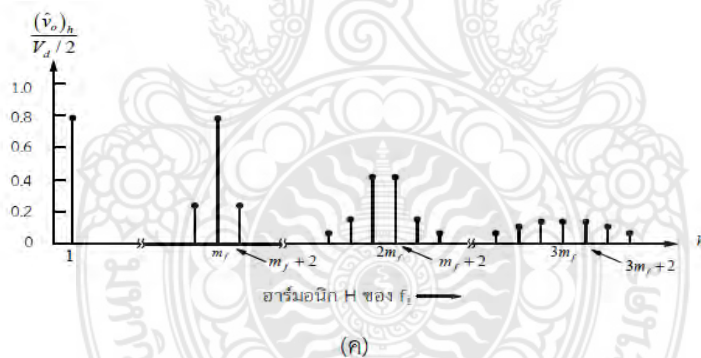
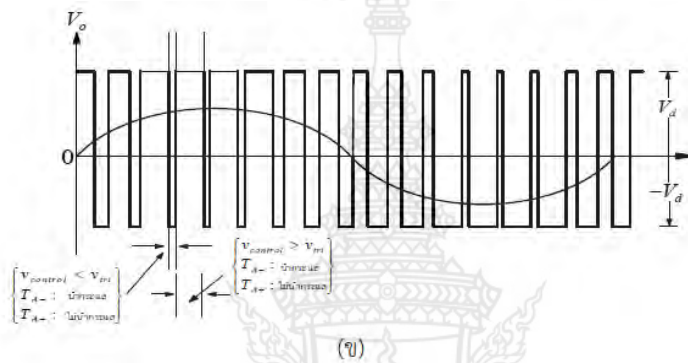
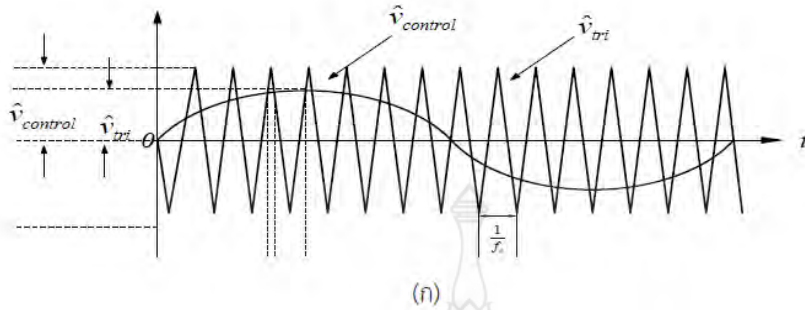
$$m_a = \frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}} \tag{2.1 ก}$$

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \tag{2.1 ข}$$

เมื่อ	$\hat{V}_{control}$	คือค่ายอดของสัญญาณควบคุมรูปไซน์
	\hat{V}_{tri}	คือค่ายอดสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

$$v_{control} > v_{tri}, T_{A+} \text{ จะนำกระแส } v_{Ao} = \frac{1}{2}V_d \quad (2.2)$$

$$v_{control} < v_{tri}, T_{A-} \text{ จะนำกระแส } v_{Ao} = -\frac{1}{2}V_d \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.20 การสร้างสัญญาณสวิตช์แบบพีดับเบิลยูเอ็ม การทำงานของสวิตช์ T_{A+} และ T_{A-} จะขึ้นอยู่กับ การเปรียบเทียบของ $v_{control}$ กับ v_{tri} โดยจะมีเงื่อนไขดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 และจะไม่ขึ้นกับทิศทางของกระแส รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างเมื่อกำหนดเงื่อนไขที่ $m_a = 0.8$ และ $m_f = 15$ ฮาร์มอนิกสเปกตรัม (Harmonic Spectrum) ของ v_{Ao} โดยเขียนกราฟเทียบกับค่าแกนนตั้ง $(\hat{V}_{Ao})_h / (V_d/2)$ แสดงในรูปที่ 2.20 (ค) จะมีส่วนสำคัญสามส่วนคือ

1. ค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูล (\hat{V}_{Ao})₁ = $m_a(V_d/2)$

$$V_{Ao} = \frac{v_{control}}{\hat{V}_{tri}} \cdot \frac{V_d}{2}, \quad v_{control} \leq \hat{V}_{tri} \quad (2.4)$$

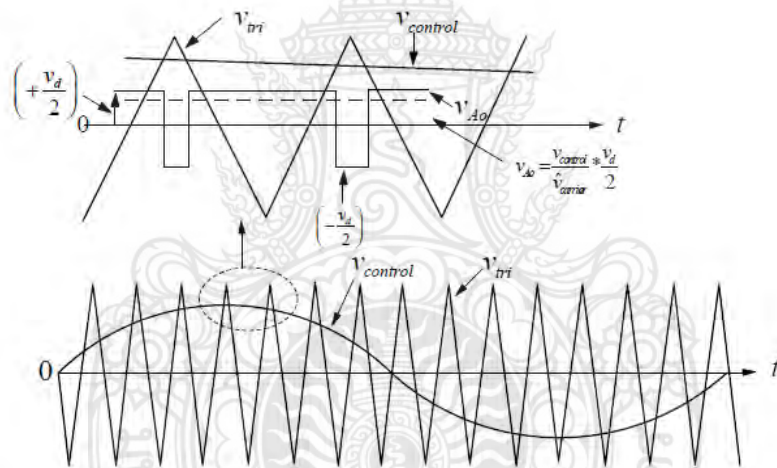
$$v_{control} = \hat{V}_{control} \sin(\omega_1 t), \quad v_{control} \leq \hat{V}_{tri}$$

$$(v_{Ao})_1 = \left(\frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}} \cdot \frac{V_d}{2} \right) \sin(\omega_1 t), \quad m_a \leq 1.0$$

$$(v_{Ao})_1 = m_a (V_d/2) \sin(\omega_1 t), \quad m_a \leq 1.0$$

$$(\hat{V}_{Ao})_1 = m_a \cdot (V_d/2), \quad m_a \leq 1.0 \quad (2.5)$$

สมการที่ (2.5) พิจารณาประกอบจากรูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลจะแปรผันเป็นเชิงเส้นกับค่า m_a ซึ่ง m_a จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1



รูปที่ 2.21 พัดเบิลยูเอ็มแบบไซน์ (Sinusoidal Pulse Width Modulation: SPWM)

2. ค่าไซด์แบนด์ฮาร์โมนิก (Sideband Harmonic) จะเกิดขึ้นรอบ ๆ $1m_f$, $2m_f$, $3m_f$, ดังแสดงในสมการที่ (2.6) และ (2.7)

$$\frac{V_d}{2} = (jm_f \pm k)f_1 \quad (2.6)$$

$$h = j(m_f) \pm k \quad (2.7)$$

เมื่อ $h = 1$ คือความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency)

ถ้าค่า j เป็นเลขคี่ ค่าฮาร์โมนิกจะเท่ากับค่า k ที่เป็นเลขคู่

ถ้าค่า j เป็นเลขคู่ ค่าฮาร์โมนิกจะเท่ากับค่า k ที่เป็นเลขคี่

เช่น ตัวอย่างไซด์แบนด์ฮาร์โมนิกในรูปที่ 2.20 (ค) และแสดงค่าฮาร์โมนิก $(\hat{V}_{Ao})_h/(V_d/2)$ ในตารางที่ 2.1 ซึ่งมีข้อสังเกตว่าค่า $(\hat{V}_{Ao})_h/(V_d/2)$ จะเป็นฟังก์ชันกับ m_a

3. ค่า m_f ฮาร์โมนิกควรจะเป็นเลขคี่ เพราะถ้ากำหนดให้ค่า m_f เป็นเลขคี่ก็จะทำให้เกิดการสมมาตรเลขคี่ ซึ่งแสดงได้จากสมการ $f(-t) = -f(t)$ ผลที่ได้คือจะมีเพียงฮาร์โมนิกเลขคี่เท่านั้นที่ยังปรากฏอยู่ใน v_{Ao} ส่วนฮาร์โมนิกเลขคู่จะหักล้างกัน โดยที่ช่วง $m_f > 21$ จะถือว่า m_f มีค่ามากโดยที่ขนาดของฮาร์โมนิกย่อย (sub-harmonics) จะมีค่าน้อยก็ต่อเมื่อเทียบกับค่า m_f

$$\frac{V_d}{2} < (\hat{V}_{Ao})_1 f < \frac{4}{\pi_1} \frac{V_d}{2} \quad (2.8)$$

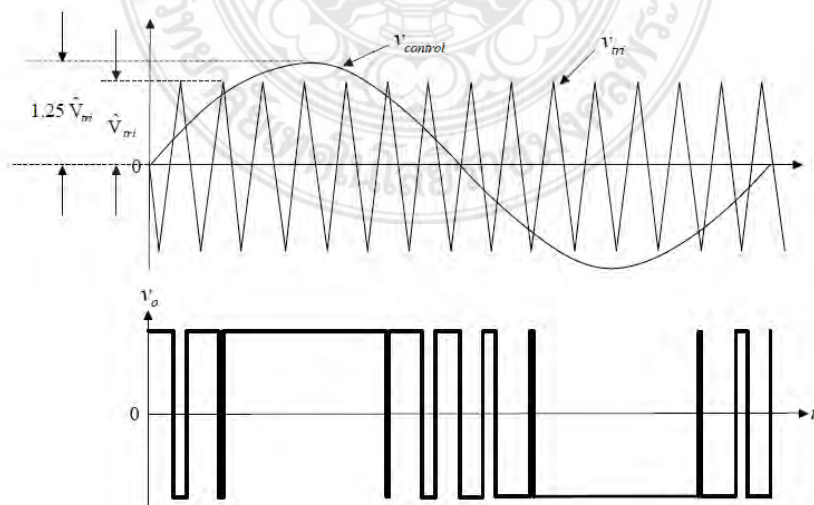
จากสมการที่ (2.8) ค่า $(\hat{V}_{Ao})_1$ จะอยู่ระหว่างค่าที่ทำงานในโหมดเชิงเส้นและโหมดรูปคลื่นสี่เหลี่ยม กรณีโหมดสี่เหลี่ยมจะเกิดจากการที่ $m_a \gg 1$ และต้องมีค่ามากพอ การที่จะบอกว่ามากพอเท่าใดจะขึ้นอยู่กับค่า m_f ด้วย หาก m_f มีค่ามากกว่า m_a ก็จะต้องมีค่ามากไปด้วยที่จะทำให้ $v_{control}$ ไม่ตัดยอดของปลายสามเหลี่ยมของสัญญาณอ้างอิงเลย ผลการเปรียบเทียบก็จะได้แรงดันเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

ตารางที่ 2.1 ฮาร์มอนิก $(\hat{V}_{Ao})_h / (V_d/2)$

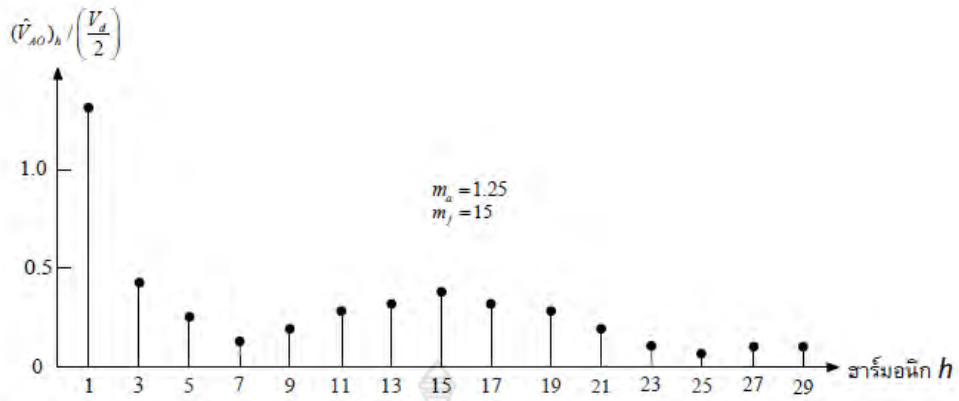
h	m_a				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1 องค์ประกอบ ความถี่หลักมูล	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
m_f	1.242	1.150	1.006	0.818	0.601
$m_f \pm 2$	0.016	0.061	0.131	0.220	0.318
$m_f \pm 4$					0.018
$2m_f \pm 1$	0.190	0.326	0.370	0.314	0.181
$2m_f \pm 3$		0.024	0.071	0.139	0.212
$2m_f \pm 5$				0.013	0.033
$3m_f$	0.335	0.123	0.083	0.171	0.113
$3m_f \pm 2$	0.044	0.139	0.203	0.176	0.062
$3m_f \pm 4$		0.012	0.047	0.104	0.157
$3m_f \pm 6$				0.016	0.440
$4m_f \pm z$	0.163	0.157	0.008	0.105	0.068
$4m_f \pm 3$	0.012	0.070	0.132	0.115	0.009
$4m_f \pm 5$			0.034	0.084	0.119
$4m_f \pm 7$				0.017	0.050

หมายเหตุ: $(\hat{V}_{Ao})_h / (V_d/2) [= (\hat{V}_{AN})_h / (\frac{1}{2}V_d)]$ เป็นฟังก์ชันของ m_a

อย่างไรก็ตามข้อเสียของกรณีโอเวอร์มอดูเลชันก็คือทำให้เกิดฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ ที่อยู่ใกล้กับฮาร์มอนิกอันดับที่หนึ่งหรือความถี่หลักมูล เช่นฮาร์มอนิกอันดับที่ 3, 5, 7 เป็นต้น เช่น ในรูปที่ 2.23 ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดผลเสียมากกว่านำไปใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปขับมอเตอร์เหนี่ยวนำเพราะฮาร์มอนิกอันดับที่ 3, 5, 7 จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและทำให้เกิดความเร็วหลายความเร็วในเวลาเดียวกันทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนไม่สม่ำเสมอ อาจมีผลเสียต่อสมรรถนะของมอเตอร์ได้

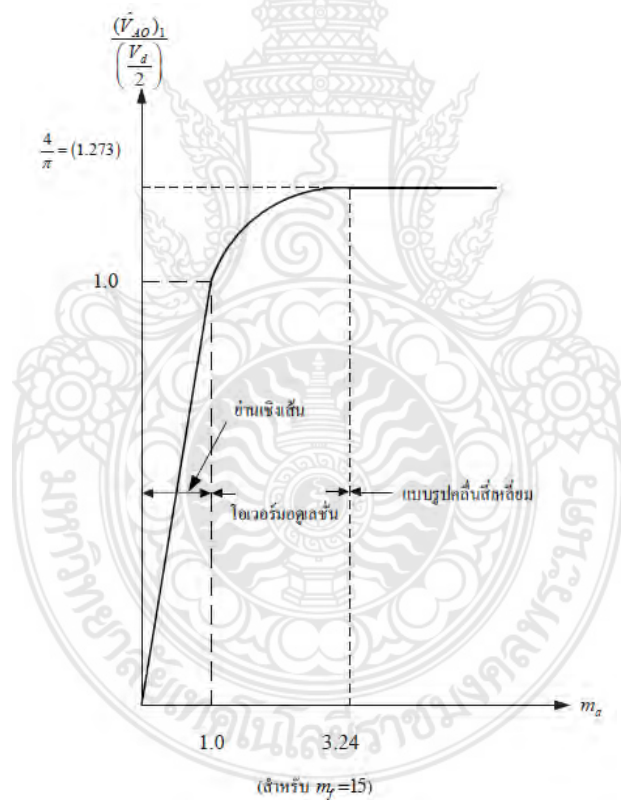


รูปที่ 2.22 รูปคลื่นพีดีบีเบิลยูเอ็มแบบโอเวอร์มอดูเลชัน



รูปที่ 2.23 สเปกตร้าของรูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็มแบบโอเวอร์มอดูเลชั่น เมื่อ $m_a = 1.25$, $m_f = 15$

ผลเสียที่จะเกิด เช่นในรูปที่ 2.23 คือ เกิดฮาร์มอนิกที่ใกล้ ๆ กับความถี่หลักมูลหรือฮาร์มอนิกอันดับที่หนึ่ง และเกิดฮาร์มอนิกรอบ ๆ ความถี่ fs



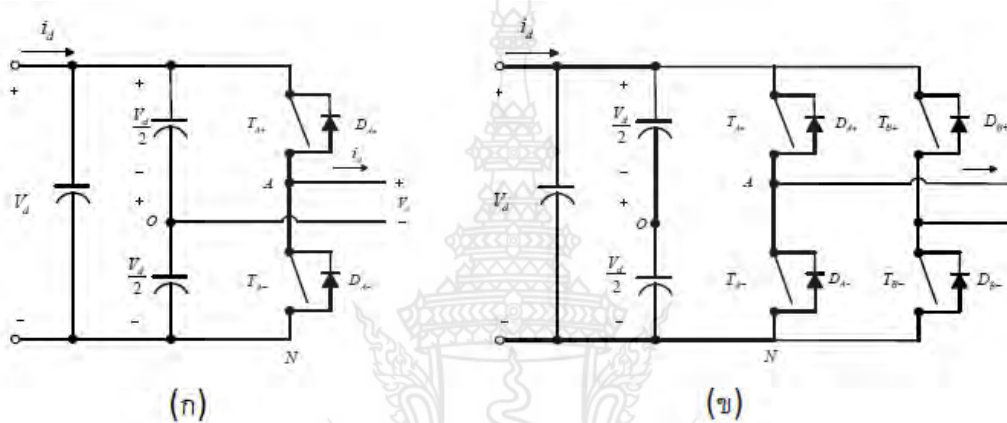
รูปที่ 2.24 การควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าทางดำนออกของอินเวอร์เตอร์พีดับเบิลยูเอ็มโดยการปรับค่า m_a

2.3.2 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวจะแบ่งออกเป็นสองชนิดคือ แบบไฮบริดจ (Half Bridge) และแบบฟลูบิจ (Full Bridge) ในแบบฮาลบริดจ จะมีตัวเก็บประจุสองตัวต่อลำดับกันอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

และหากกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุสองค่ามีค่าเท่ากัน จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากันคือ $V_d / 2$ จุดกึ่งกลางแรงดันไฟฟ้า (จุด ในรูปที่ 2.25 (ก) จะมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับบัสลบ (N) ดังแสดงในรูปที่ 2.25 (ก) ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์เฟสเดียวจะประกอบไปด้วยสองกึ่ง คือกึ่ง A และกึ่ง B ในรูปที่ 2.25 (ข)

โดยแบบฟลูบริดจ์จะมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าฮาลบริดจ์สองเท่าจึงเหมาะที่จะเลือกใช้เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าโหลดสูงขึ้น เงื่อนไขสำหรับที่อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฮาลบริดจ์และแบบฟลูบริดจ์ คือการทำงานของ สวิตซ์ + และ - ต้องไม่ทำงานพร้อมกันในทุกช่วงเวลา มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการลัดวงจรระหว่าง บัสบวกกับบัสลบ ในอุดมคติเวลาการสวิตซ์ของ T_{A+} และ T_{A-} ตรงข้ามกัน แต่ในทางปฏิบัติ จะต้องการช่วงเวลาที่ไม่สวิตซ์ทั้งคู่ไม่นำกระแส ซึ่งจะเรียกว่าเดดไทม์ (Deadtime) จะอยู่ในช่วงเวลา ก่อนจะเปลี่ยนสถานะการสวิตซ์ จากนำกระแสเป็นไม่นำกระแสหรือจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส [9]



รูปที่ 2.25 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฮาลบริดจ์และแบบฟลูบริดจ์

2.3.2.1 การสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าไบโพลาร์

การสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์ (Bipolar Voltage Switching) คือการควบคุมให้สวิตซ์แบบบริดจ์ทำงานพร้อมกันเป็นคู่ เช่น ในรูปที่ 2.25 (ข) การทำงานของ T_{A+} และ T_{B-} จะถูกควบคุมให้ทำงานพร้อมกันในแต่ละช่วงเวลา อีกคู่หนึ่งคือการทำงานของสวิตซ์ T_{A-} และ T_{B+} ดังนั้นแรงดันไฟฟ้านอกของกึ่ง A จะเท่ากับ

$$v_{Ao} = \frac{1}{2} V_d \text{ เมื่อ } v_{\text{control}} > v_{tri}, \quad \text{สวิตซ์ } T_{A+} \text{ และ } T_{B-} \text{ จะนำกระแส} \quad (2.9)$$

$$v_{Ao} = -\frac{1}{2} V_d \text{ เมื่อ } v_{\text{control}} < v_{tri}, \quad \text{สวิตซ์ } T_{A-} \text{ และ } T_{B+} \text{ จะนำกระแส} \quad (2.10)$$

เมื่อคิดจากหนึ่งกิ่งของอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ แรงดันไฟฟาดานออกของกิ่ง B จะเท่ากับคาบของแรงดันไฟฟาดานออกของกิ่ง A คือ $v = v_A$ ดังนั้นแรงดันไฟฟาดานออก ของอินเวอร์เตอร์หรือแรงดันไฟฟ้าระหว่างกิ่ง A กับกิ่ง B คือ

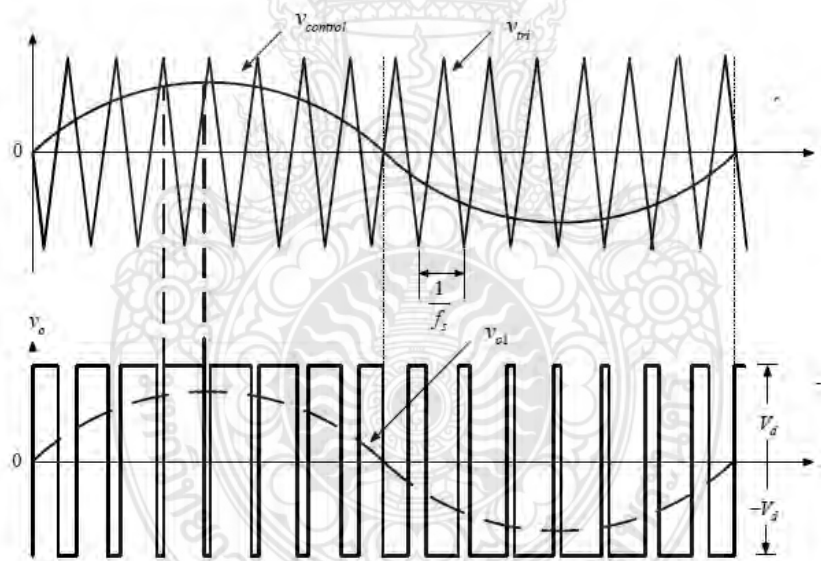
$$v_o = v_{Ao} - v_{Bo} = 2v_{Ao}$$

$$\hat{V}_{o1} = m_{Bo} V_d \quad \text{เมื่อ } m_a \leq 1.0 \quad (2.11)$$

$$V_d < \hat{V}_{o1} < \frac{4}{\pi} V_d \quad \text{เมื่อ } m_a > 1.0 \quad (2.12)$$

หรืออาจจะสรุปได้ว่าแรงดันไฟฟายอดดานออกจะเท่ากับสมการที่ (2.11) เมื่อ m_a อยู่ในย่านเชิงเส้นและแรงดันไฟฟายอดดานออกจะเท่ากับสมการที่ (2.12) เมื่อ m_a อยู่ในชวงโอเวอร์มอดูเลชั่น

โดยที่แรงดันไฟฟ้า ดานออกจะสวิตชอยู่ระหว่าง $+V_d$ กับ $-V_d$ ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ส่วนไซด์แบนฮาร์มอนิกจะเกิดขึ้นรอบ ๆ m_f , $2m_f$, $3m_f$, ... เช่น หากความถี่สวิตชิ่งเท่ากับ 20 kHz ไซด์แบนฮาร์มอนิกจะเกิดขึ้น 20 kHz, 40 kHz และ 60 kHz ดังที่ได้อธิบายในสมการที่ (2.7)



รูปที่ 2.26 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฮาลบริดจและแบบฟลูบริดจ

สิ่งที่ระบุว่าเป็นการสวิตชิ่งแบบไปโพลาร์ คือ

1. มีการสวิตชของแรงดันระหว่างสาย v_o หรือ v_{ab} ระหว่างขั้วหรือบัสบวกกับลบ
2. ความถี่ของพัลส์ที่ไหลตจะเท่ากับความถี่ของ v_{tri}
3. จะเกิดความถี่ จากสเปคตราคือ เริ่มตันที่รอบๆ f_s และ จำนวนของ f_s

2.3.2.1 การสวิตชิ่งแรงดันไฟฟ้าไปโพลาร์

ขอแตกต่างระหว่างการสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์กับแบบยูนิโพลาร์ (Unipolar Voltage switching) ก็คือ ในแบบยูนิโพลาร์การควบคุมสวิตชิ่งในกึ่ง A กับกึ่ง B จะแยกสัญญาณควบคุมออกจากกัน คือสวิตชิ่งในกึ่ง A จะควบคุมจากสัญญาณ v เทียบกับสัญญาณ

รูปสามเหลี่ยม v_{tri} ขณะที่สวิตชิ่ง B จะถูกควบคุมจากสัญญาณ v เทียบกับสัญญาณรูปสามเหลี่ยม v_{tri} การสวิตชิ่งจะมีเงื่อนไขดังนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เมื่อ $v_{control} > v_{tri}$: สวิตซ์ T_{A+} จะนำกระแส $v_{AN} = V_d$

เมื่อ $v_{control} < v_{tri}$: สวิตซ์ T_{A-} จะนำกระแส $v_{AN} = 0$

เมื่อ $-(v_{control}) > v_{tri}$: สวิตซ์ T_{B+} จะนำกระแส $v_{BN} = V_d$

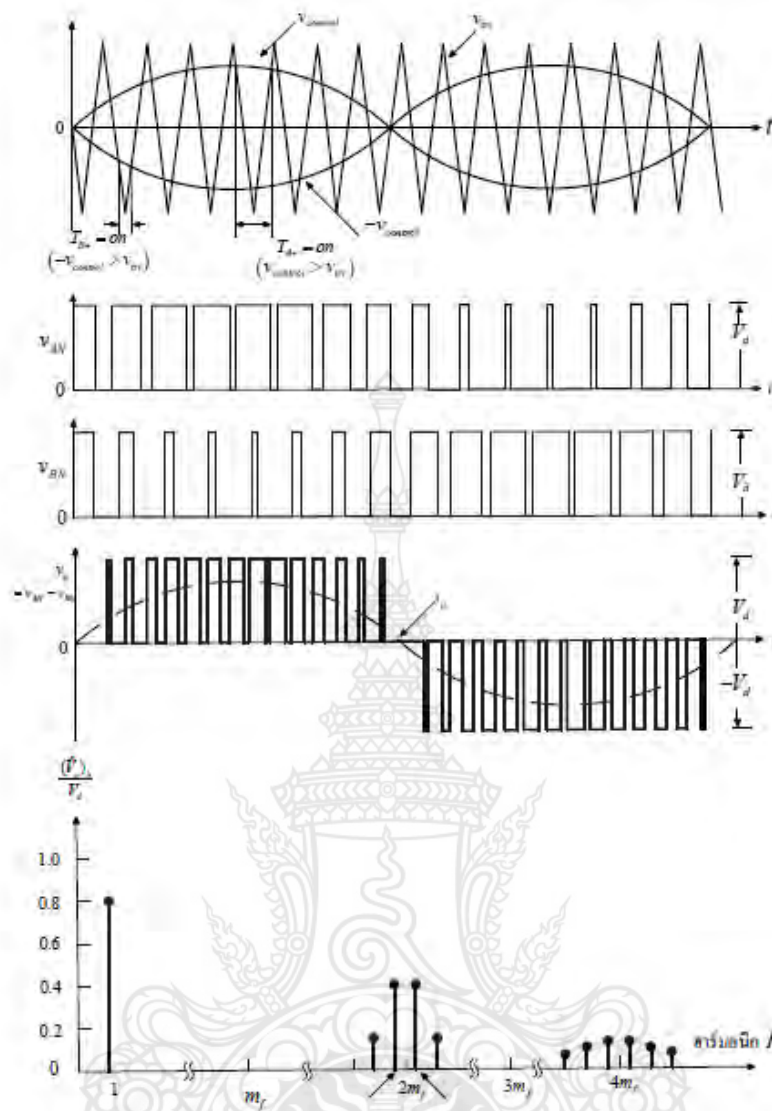
เมื่อ $-(v_{control}) < v_{tri}$: สวิตซ์ T_{B-} จะนำกระแส $v_{BN} = 0$

ตารางที่ 2.2 เงื่อนไขการสวิตชิ่ง แรงดันเฟสและแรงดันไฟฟ้านำออกของอินเวอร์เตอร์แบบยูนิโพลาร์

เงื่อนไข	สวิตซ์นำกระแส	สวิตซ์นำกระแส	v_A	v	v_o
1	+	+	V_d		V_d
2	-	-		V_d	V_d
3	+	+	V_d	V_d	
4	-	-			

จากตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนสถานะของแรงดันระหว่างสาย v หรือ v_a จะเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันอยู่ระหว่างศูนย์ไปยังบวกหรือศูนย์ไปยังลบ จึงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันจากการสวิตชิ่งสูง เช่นกรณีไบโพลาร์

จุดเด่นของยูนิโพลาร์ คือ การเกิดความถี่ด้านออกจะมีความถี่เป็นสองเท่าของความถี่ สวิตชิ่งของแต่ละเฟส เช่น ความถี่สวิตชิ่งของอุปกรณ์เป็น 10 kHz หากเป็นการทำงาน งานแบบยูนิโพลาร์ ค่าแรงดันออกจะประกอบไปด้วยสัญญาณพีคเบิกลูเอม ที่มีความถี่หลักมูลและ ความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่าของแบบไบโพลาร์ ที่ 20 kHz สอดคล้องกับสเปคตราของรูปที่ 2.27 โดยเกิดความถี่ขึ้นรอบข้าง ผลของความถี่ที่ไหลตเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ทำให้การออกแบบวงจร ความถี่ เล็ก ง่ายและประหยัด แสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.27 การสวิตชิ่งแรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์ เงื่อนไขในการสร้างแรงดันเฟสและแรงดันไฟฟาด้านออก ตกร่วมโพลต v

ผลที่ได้จากเงื่อนไขการทำงานในตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.27 คือแรงดันไฟฟาด้านออกมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดันไฟฟาคาบไปยังศูนย์และศูนย์ไปยังบวกในครึ่งคาบ ส่วนอีกครึ่งคาบจะมีแรงดันไฟฟาด้านออกเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดันไฟฟาคาบไปยังศูนย์และจากศูนย์ไปยังลบ ซึ่งจากลักษณะการทำงานดังกล่าวจึงเรียกรูปการสวิตชิ่งนี้ว่ายูนิโพลาร์ ส่วนขนาดของแรงดันไฟฟาด้านออกจะเท่ากับแบบไบโพลาร์ และเมื่อเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของการสวิตชิ่ง ทั้งสองแบบ จะได้ตามตารางที่ 2.3

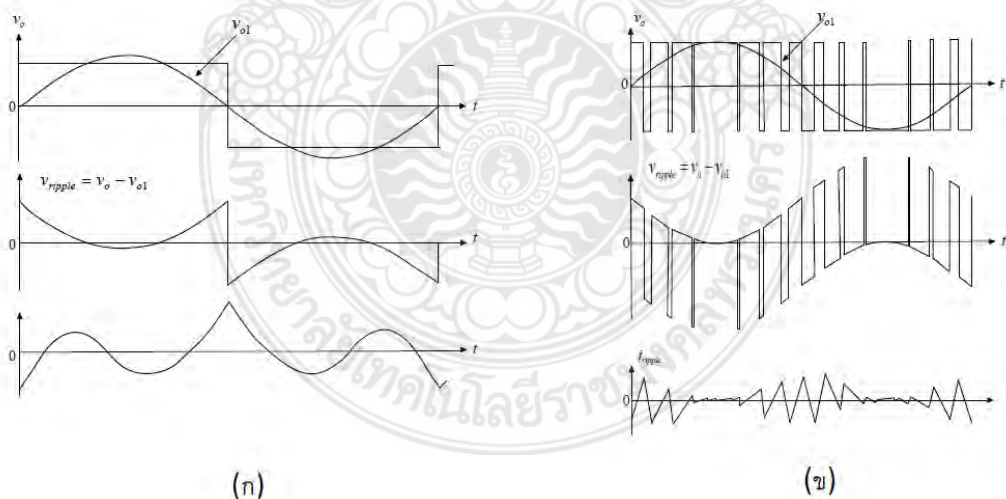
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสียของการสวิตชิ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์กับยูนิโพลาร์ประเด็นไบโพลาร์ ยูนิโพลาร์

ประเด็น	ไบโพลาร์	ยูนิโพลาร์
แรงดันไฟฟ้าด้านออก (\hat{V}_{o1}) $m_a \leq 1.0$	$\hat{V}_{o1} = m_a V_d$	$\hat{V}_{o1} = m_a V_d$
แรงดันไฟฟ้าด้านออก (\hat{V}_{o1}) $m_a > 1.0$	$V_d < \hat{V}_{o1} < \frac{4}{\pi} V_d$	$V_d < \hat{V}_{o1} < \frac{4}{\pi} V_d$
แรงดันไฟฟ้าด้านออก (v_o)	$V_d \leftrightarrow V_d$	$V_d \leftrightarrow 0$ $-V_d \leftrightarrow 0$
โซ่แบนด์พาสฮาร์มอนิก	$m_f, 2m_f, 3m_f, \dots$	$2m_f, 4m_f, 6m_f, \dots$
การกรองความถี่สูง	ดี	ดีมาก
การควบคุม	ง่าย	ซับซ้อน

ข้อเปรียบเทียบของสองเทคนิค คือ จะแตกต่างกันที่แรงดันด้านออก ที่มีระดับการเปลี่ยนแปลงของยูนิโพลาร์จะมีแรงดัน ศูนย์ไปบวกหรือศูนย์ไปลบและมีไซด์แบนด์ที่ $m_f, 2m_f, 3m_f, \dots$ ลำดับ ยูนิโพลาร์ที่มีความถี่สวิตซ์ซึ่งสูงกว่าทำให้การกรองความถี่ทำได้ง่ายขึ้นเล็กน้อยและประหยัด

2.3.2.3 การระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้านอกของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

ค่าแรงดันระลอกคลื่นของแรงดันและกระแสไฟฟ้านอกของอินเวอร์เตอร์ที่มีการสวิตซ์ซึ่งแบบลูกคลื่นสี่เหลี่ยมกับแบบไบโพลาร์ โดยนิยามของการระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าคือแรงดันไฟฟ้านอกลดด้วยแรงดันไฟฟ้านอกความถี่หลักมูลเช่นในรูปที่ 2.28 จะสังเกตเห็นได้ ว่าการระลอกคลื่นของกระแสไฟฟ้านอกของการสวิตซ์ซึ่งแบบลูกคลื่นสี่เหลี่ยมจะมีความมากกว่าแบบไบโพลาร์ ซึ่งความต้องการในการออกแบบหรือประยุกต์ใช้งานต้องการการระลอกคลื่นที่ค่าน้อยที่สุด [9]



รูปที่ 2.28 ค่าแรงดันระลอกคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้านอกของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว (ก) การสวิตซ์ซึ่งแบบลูกคลื่นสี่เหลี่ยม (ข) การสวิตซ์ซึ่งแบบไบโพลาร์

2.3.2.4 อินเวอร์เตอร์แบบพุช - พูล

วงจรพุช-พูลอินเวอร์เตอร์ (Push - Pull Inverter) ในรูปที่ 2.29 ต้องการ หมอแปลงแบบมีแท็ปกลางตามปฐมภูมิ โดยสมมติให้กระแสไฟฟ้านอก ไหลอย่างต่อเนื่องและ เมื่อสวิตซ์ T1 นำกระแส และ สวิตซ์ T2 ต้องไม่นำกระแส สวิตซ์ T1 จะนำกระแสขณะ เป็นบวก และ 1 จะนำกระแสขณะ เป็นลบซึ่งหากไม่พิจารณาทิศทางของกระแส ไตแรงดันไฟฟ้านอก $v = d/$ เมื่อ เป็นอัตราส่วนจำนวนรอบตามปฐมภูมิต่อรอบทุติยภูมิของ

หม้อแปลง ในทำนองเดียวกันเมื่อสวิตช์ T2 นำกระแส ซึ่งสวิตช์ T1 ต้องไม่นำกระแส จะได้แรงดันไฟฟ้าดำนอก $v = d/$

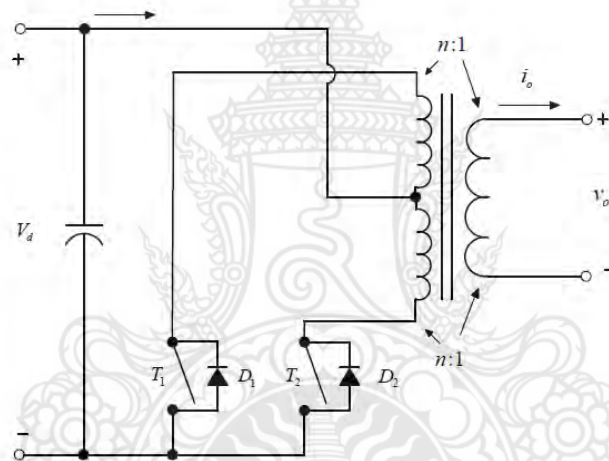
วงจรพุก - พูลอินเวอร์เตอร์สามารถสวิตช์ซึ่งในแบบพีดับเบิลยูเอ็ม หรือรูปคลื่นสี่เหลี่ยมสำหรับแรงดันไฟฟ้าดำนอกจะสามารถควบคุมได้จากสมการที่ (2.13)

$$\hat{V}_{o1} = m_a \frac{V_d}{n} \text{ เมื่อ } m_a \leq 1.0 \quad (2.13)$$

$$\frac{V_d}{n} < \hat{V}_{o1} < \frac{4V_d}{\pi n} \text{ เมื่อ } m_a > 1.0 \quad (2.14)$$

สวิตช์จะต้องการทนแรงดันไฟฟ้ายอดและกระแสไฟฟ้าตามพิกัดที่คำนวณได้จากสมการ (2.15)

$$V_T = 2V_d \text{ และ } I_T = i_{o,peak}/n \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.29 วงจรพุก-พูลอินเวอร์เตอร์

ข้อดีสามประการหลักของวงจรพุก - พูลอินเวอร์เตอร์คือ

1. ในการนำกระแสแต่ละครั้งจะมีสวิตช์เพียงตัวเดียวเท่านั้นที่นำกระแสจึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานที่ระดับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าต่ำ ๆ เช่น วงจรประจุแบตเตอรี่ เพื่อลดแรงดันตกคร่อมสวิตช์ให้น้อยที่สุดหรือหมายถึงลดการสูญเสียจากการตามกระแสผ่านสวิตช์ที่เรียกว่าการสูญเสียจากนำกระแส (Conduction Loss)

2. สวิตช์ทั้งสองตัวจะมีกราวด์รวมกัน (Common Ground) เช่นขอเสียของวงจรพุก - พูลอินเวอร์เตอร์คือ ยากที่จะหลีกเลี่ยงการอิมิตัวเนื่องจากไฟฟ้ากระแสตรงในหม้อแปลงของวงจรพุก - พูลอินเวอร์เตอร์

3. มีการแยกกำลังไฟระหว่างดำนแหล่งจ่ายดำนโหลดออกจากกันวงจรพุก - พูลอินเวอร์เตอร์มีขอควรระวังคือ กระแสไฟฟาดำนอกจะทำให้ วงจรควบคุมไม่ซบซอนโดย จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ที่ความถี่หลักมูล ดังนั้นเพื่อมีสวิตช์ เกิดขึ้น กระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนจากครึ่งขดแรกไปยังครึ่งขดหลังของขดปฐมภูมิ ซึ่งจะออกแบบให้ หม้อแปลงมีการเชื่อมต่อ (Coupling) ของเส้นแรงแม่เหล็กอย่างดีที่ขดปฐมภูมิทั้งสองขดเพื่อที่จะลดคาความเหนี่ยวนำรั่วพลังงานดังกล่าวก็จะกระจายไปยังสวิตช์หรือวงจรสับเบอที่ไซป้องกันสวิตช์ และพลังงานรั่วดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับวงจรคอนเวอร์เตอร์ หรืออินเวอร์เตอร์ทุกวงจรที่ไซหม้อแปลง ในการแยกกำลังไฟระหว่าง

दानแหล่งจ่ายกับदानโหลดออกจากกัน โดยการบังคับให้กระแสของ แต่ละ ขดลวดลงเป็นศูนย์ ทุกๆ การสวิตซ์ซึ่งมีความสำคัญมากในการออกแบบคอนเวอร์เตอร์และ อินเวอร์เตอร์

2.3.3.5 การใช้ประโยชน์ของการสวิตซ์ในอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

มีการใช้สวิตซ์อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวที่มีโหมดการทำงานหลายชนิด จึงได้เปรียบเทียบกันทำงานของอินเวอร์เตอร์แต่ละแบบโดยสมมติให้วงจรเป็นแบบอุดมคติ และกระแสไฟฟาดานออกเป็นรูปไซน์ เมื่อมีอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์หาได้จากกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกพิกัดของสวิตซ์ โดยแรงดันไฟฟ้าซึ่งอยู่ในรูปผลคูณของคาบอดของแรงดันกระแสไฟฟ้า

$$SUR = \frac{V_d I_{o,max}}{q V_T I_T} \quad (2.16)$$

เมื่อ	SUR	มาจากคำว่า คือ อัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์
	$MSUR$	คือ อัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์สูงสุด
	V_T และ I_T	คือ ค่าพิกัดของสวิตซ์ในรูปแบบแรงดันไฟฟ้ายอดและกระแสไฟฟ้า
ยอดตามลำดับ		
	$V_d I_{o,max}$	คือ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดัน - กระแสไฟฟ้าด้านออกที่
ความถี่หลักมูล		
	$I_{o,max}$	คือ ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ใช้กำลังพิกัดแรงดันของ
สวิตซ์		
	q	คือ จำนวนสวิตซ์ที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์

ตารางเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์ในอินเวอร์เตอร์แบบต่างๆ ที่สวิตซ์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ไดสรูปในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 อัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์ในอินเวอร์เตอร์

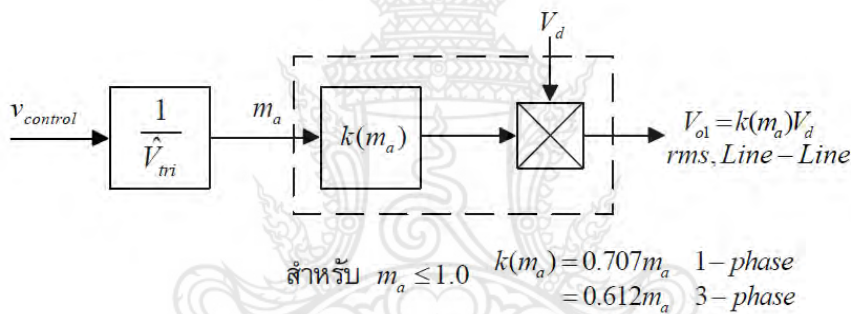
อินเวอร์เตอร์	V_T	I_T	$I_{o,max}$	q	$MSUR$
ฮาร์ฟบริดจ์	$V_{d,max}$	$\sqrt{2} I_{o,max}$	$\frac{4}{\pi\sqrt{2}} \frac{V_{d,max}}{2}$	2	$\frac{1}{2\pi} = 0.16$
ฟูลบริดจ์	$V_{d,max}$	$\sqrt{2} I_{o,max}$	$\frac{4}{\pi\sqrt{2}} \frac{V_{d,max}}{n}$	4	$\frac{1}{2\pi} = 0.16$
พุก-พุก	$2V_{d,max}$	$\sqrt{2} \frac{I_{o,max}}{n}$	$\frac{4}{\pi\sqrt{2}} \frac{V_{d,max}}{n}$	2	$\frac{1}{2\pi} = 0.16$

ในทางปฏิบัติค่าอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์สูงสุดจะมีค่าน้อยกว่า 0.16 ทั้งนี้เพราะต้องออกแบบใหม่ค่าความปลอดภัยโดยให้ทำงานไม่ถึงค่าสูงสุดและพิกัดกระแสไฟฟ้าของสวิตซ์

สำหรับในกรณีที่กำลังไฟฟ้าปรากฏด้านออกมีค่าต่ำกว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านออกมาก สำหรับการ สวิตซ์แบบพีดับเบิลยูเอ็มกรณีมอดูเลตเชิงเส้น จะมีค่าน้อยกว่าแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยมด้วยตัวประกอบ $\frac{1}{4}$ m_a

$$SUR = \frac{V_d I_{o,max}}{q V_T I_T} \quad (2.16)$$

เมื่อ m_a . ดังนั้นจะเห็นว่า ค่าอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์สูงสุดของการสวิตซ์แบบแบบพีดับเบิลยูเอ็มกรณีมอดูเลตเชิงเส้น จะเท่ากับ 0.125 เมื่อ $m_a = .$ จะมีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์สูงสุดแบบที่ถูกคลื่นเป็นสี่เหลี่ยมซึ่งเท่ากับ 0.1 ขอสังเกต: ในตารางที่ 2.4 วงจรพุก - พูล จะต้องออกแบบใหม่พิกัดของอุปกรณ์เป็นสองเท่าเมื่อ เปรียบเทียบในพิกัดกำลังเท่ากัน ดังนั้นวงจรพุก-พูล จึงไม่นิยมในประเทศที่ต้องการแรงดันสูงแมว แบบฟลูบริดจ จะไดกำลังเป็นสองเท่าของแบบฮาลฟบริดจ แต่ต้องใช้อุปกรณ์สวิตซ์เป็นสองเท่าเช่นกันจึงได้อัตราการใช้ประโยชน์ของสวิตซ์สูงสุดทั้งแบบฟลูบริดจและแบบฮาลฟบริดจมีค่าเท่ากัน สรุปขนาดแรงดันด้านออกอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว



รูปที่ 2.30 ขนาดแรงดันด้านออกอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

1. ขนาดแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์งานเชิงเส้นดังรูปข้างบนกรณีเฟสเดียว $1, rms, L-L = .77 m_a \times d$ ยกตัวอย่างกรณีแหล่งจ่ายแรงดัน 100 โวลต จะได้ $m_a = .$ จะได้ $1, rms, L-L = 63.33$ โวลต
2. ขนาดแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์งานรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดังรูปข้างบน กรณีเฟสเดียว $1, rms, L-L = . \times d$ ยกตัวอย่างกรณีแหล่งจ่ายแรงดัน 100 โวลตจะได้ $1, rms, L-L =$ โวลต ขอควรระวังในกรณีถูกคลื่นสี่เหลี่ยมตองไม่นำ m_a มาคูณด้วย

2.4 เครื่องควบคุมการประจุ [7]

เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller หรือ Charge Regulator) มีหน้าที่คือ ประจุไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่จนเต็ม และควบคุมไม่ให้ประจุไฟฟ้ามกเกินด้วย การเบี่ยงเบนไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่เมื่อมีการประจุจนเต็ม ถ้าไม่มีเครื่องประจุ แผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจประจุไฟฟาลงในแบตเตอรี่มากเกินไป (Overcharge) จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการสูญเสียอย่างรวดเร็ว ร้อนขึ้นและเกิดความเสียหายได้

ปัจจุบันนี้การผลิตเครื่องควบคุมการบรรจุมักรวมฟังก์ชันพิเศษ ๆ เข้าไว้มากมาย เพื่อให้ การใช้งานมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งอื้อประโยชน์ต่อการใช้งานอย่างยิ่งเช่น Low Voltage Disconnect (LVD) ช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับแบตเตอรี่และอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยจะมี สวิตซ์อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่อเชื่อม หากแรงดันของ

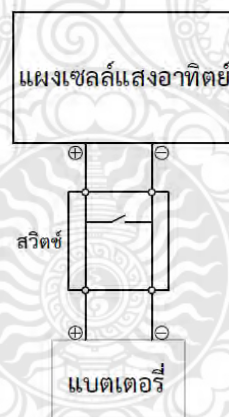
แบตเตอรี่ต่ำลงในระดับที่เป็นอันตรายต่อ แบตเตอรี่ , Maximum Power Point Tracking (MPPT) เป็นกระบวนการทำให้เครื่องควบคุมบรรจุ ดึงพลังงานจนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุดเพื่อบรรจุลงแบตเตอรี่โดยไม่คำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าของ แบตเตอรี่รวมถึง Battery Temperature Compensation (BTC) จะปรับตัวอัตราการบรรจุ แบตเตอรี่ตามอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ซึ่งเหมาะสมและจำเป็นอย่างยิ่งต่อประเทศที่สภาพอากาศ หนาวเย็น ฯลฯ

2.4.1 การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ

หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุคือ มีวงจรสำหรับตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งทำงานเป็นสวิทซ์ที่เบี่ยงเบนไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เมื่อบรรจุจนเต็มวิธีเบี่ยงเบนการไหลของไฟฟ้าไปยัง แบตเตอรี่ใช้การลัดวงจรหรือเปิดวงจรโดยมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เกิดความเสียหาย เครื่องควบคุมการบรรจุ จะตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่เพื่อกำหนดสถานะการประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็ม แรงดันจะสูงขึ้นตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์เครื่องควบคุมการประจุจะตัดการประจุไฟฟ้าเมื่อแรงดันสูงสุด 14.4 โวลต์ และประจุไฟฟ้าใหม่อีกครั้งอาจจะเกิดแรงดันลดลงหรือ 13.4 โวลต์

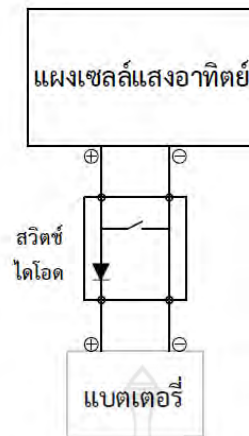
2.4.2 ชนิดของเครื่องควบคุมการประจุ

เครื่องควบคุมการประจุถูกจำแนกออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ เครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม และเครื่องควบคุมการบรรจุแบบขนานหรือเครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม (Series Charge Controller) เป็นการต่อเครื่อง ควบคุมการประจุกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม ทำหน้าที่เป็นสวิทซ์ตัดการไหลของไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังแบตเตอรี่เมื่อประจุไฟฟ้าเต็ม หรือเป็นการเปิดวงจรระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่เมื่อประจุแบตเตอรี่เต็ม สวิทซ์ควบคุมใช้สวิทซ์แม่เหล็กที่เรียกว่า รีเลย์ (Relay) หรือ สวิทซ์ซิงทรานซิสเตอร์ (Switching Transistor) ดังแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 เครื่องควบคุมประจุแบบอนุกรม

เครื่องควบคุมการประจุแบบขนาน (Shunt Charge Controller) เป็นการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับสายไฟขาออกแบบขนาน จะทำการเชื่อมวงจรกับสายไฟของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ ไม่มีไฟฟ้าไหลจากแผงไปยัง แบตเตอรี่เมื่อประจุไฟฟ้าเต็ม แม้วาแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ได้รับ ความเสียหายจากการลัดวงจร แต่แบตเตอรี่จะได้รับความเสียหาย จึงต้องมีไดโอด (Diode) เพื่อป้องกันการลัดวงจรทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่สวิทซ์ควบคุมใช้สวิทซ์สารกึ่งตัวนำ [9] ดังแสดงใน รูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 เครื่องควบคุมประจุแบบขนาน

เครื่องควบคุมการประจุทั้งสองชนิดนี้มีการควบคุมสวิตชได้ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบ On-Off ที่จะทำหน้าที่เป็นสวิตชเปิดและปิดธรรมดา ๆ เท่านั้นและแบบ PWM (Pulse Width Modulation) ที่ช่วยในการประจุแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพสูงและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งการควบคุมสวิตชแบบ PWM มีข้อดีมากกว่าการควบคุมสวิตชแบบ On-Off สวมมากแล้วเครื่อง ควบคุมบรรจุและเครื่องควบคุมการจ่ายประจุจะรวมอยู่ภายในเครื่องเดียวกัน เทียบว่าเครื่องควบคุมประจุมีฟังก์ชันการทำงานของเครื่องควบคุมการจ่ายประจุรวมอยู่ด้วยและเรามีข้อสังเกตที่จะบอกได้ว่าเครื่องควบคุมเป็นแบบใด โดยดูจากการต่อวงจรดังนี้ ถ้ามีการต่อจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังเครื่องควบคุมแสดงว่าเครื่องควบคุมนั้นมีเครื่องควบคุมการบรรจุรวมอยู่ด้วย ถ้ามีการต่อไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าแสดงว่าเครื่องควบคุมนั้นมีเครื่องควบคุมการจ่ายประจุรวมอยู่ด้วยและเครื่องควบคุมทั้งหมดต้องต่อไปยังแบตเตอรี่ [9]

2.5 แบตเตอรี่

2.5.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานรูปแบบหนึ่งใช้การกักเก็บพลังงานในรูปของพลังงานเคมี โดยแบ่งแบตเตอรี่ออกเป็น 2 ประเภทคือ แบตเตอรี่ปฐมภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่ไม่สามารถกักเก็บพลังงานซ้ำได้ และแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถกักเก็บพลังงานซ้ำได้ แบตเตอรี่มีหลากหลายชนิดจึงมีการแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก จากลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ คือ แบตเตอรี่ธรรมดาและแบตเตอรี่ที่มีการไหลของสวนเก็บพลังงาน [8]

2.5.1.1 แบตเตอรี่ธรรมดา

เป็นแบตเตอรี่ที่ไม่มีการไหลของสวนเก็บพลังงานจะเหมือนกับแบตเตอรี่ที่มีใช้กันทั่วไป โดยจะใช้เซลล์เคมีในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมีแล้วจะถูกกักเก็บไว้ และทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าเมื่อต้องการใช้พลังงาน แบตเตอรี่ธรรมดาประกอบด้วย

ตะกั่ว (Lead acid batteries)

นิกเกิล (Nickel-electrode batteries)

ลิเทียมไอออน (Lithium-ion batteries)

โซเดียม-ซัลเฟอร์ (Sodium-sulfur batteries; NaS)

โซเดียม-นิกเกิลคลอไรด์ (Sodium nickel chloride batteries; ZEBRA)

ลิเทียม-ซัลเฟอร์ (Lithium-sulfur batteries)

โลหะ-อากาศ (Metal-air batteries)

2.5.1.2 แบตเตอรี่ที่มีการไหลของสวณเก็บพลังงาน (Flow Battery) [8]

แบตเตอรี่ที่มีการไหลของสวณเก็บพลังงานเป็นเทคโนโลยีการเก็บพลังงานที่เก็บพลังงานในรูปของพลังงานเคมีและใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมีเช่นเดียวกับแบตเตอรี่ทั่วไป แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีการไหลของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นสวณที่เก็บพลังงานผ่านเซลล์ไฟฟ้าเคมี ประกอบไปด้วย สังกะสี-โบรมีน (Zinc-bromine flow batteries) โพลีซัลไฟด์-โบรไมด์ (Polysulfide-bromide flow batteries) วานาเดียม (Vanadium Redox flow batteries)

2.5.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ [10]

โดยทั่วไปแบตเตอรี่สามารถจำแนกได้โดยคุณสมบัติมีหลายองค์ประกอบ ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมี แรงดัน ขนาด พลังงานจำเพาะหรือความจุของแบตเตอรี่ สถานะของประจุ (State-Of-Charge; SOC) เป็นต้น

2.5.2.1 คุณสมบัติทางเคมี

วัสดุทางเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่มีหลายชนิด ได้แก่ ตะกั่ว นิกเกิล และลิเทียมซึ่งความแตกต่างของวัสดุทำให้คุณสมบัติทางเคมีมีความแตกต่างกันไปรวมถึงการอัดประจุและคายประจุก็แตกต่างกันด้วยแรงดันแรงดันในที่นี้หมายถึงแรงดันที่ขึ้นของแบตเตอรี่ (Terminal Battery Voltage) ซึ่งค่าแรงดันนี้จะแปรตามวัสดุทางเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่และจำนวนของเซลล์แบตเตอรี่ที่นำมาต่ออนุกรมกัน โดยแรงดันที่ชั่วขณะเปิดวงจรจะมีค่าสูงกว่าแรงดันที่ระบุ (Nominal Battery Voltage) เล็กน้อย สวณแรงดันที่ชั่วขณะต่อโหลดหรืออัดประจุ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสถานะการใช้งาน ณ ขณะนั้น

ความจุ ความจุของแบตเตอรี่ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณประจุที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ ก่อนที่แบตเตอรี่จะปล่อยประจุเต็มที่ หน่วย SI ของความจุแบตเตอรี่คือคูลอมบ (C) แต่หน่วยทั่วไปของความจุแบตเตอรี่คือแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) เมื่อกำหนดให้แบตเตอรี่มีความจุ 20 Ah แสดงว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสคงที่ 20 A ได้ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง จ่ายกระแสคงที่ 2 A ภายใน 10 ชั่วโมงหรือจ่ายกระแสคงที่ 1 A ภายใน 20 ชั่วโมง

2.5.2.4 พลังงานจำเพาะและความหนาแน่นพลังงาน

พลังงานจำเพาะ (Specific Energy) หมายถึงความสามารถในการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ต่อหน่วยน้ำหนักของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (Wh/kg) สวณความหนาแน่นของพลังงาน (Specific Energy) หมายถึง ความสามารถในการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ต่อหน่วยปริมาตรของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร (Wh/l) แบตเตอรี่ที่มีพลังงานจำเพาะหรือความหนาแน่นพลังงานสูงจะใช้ระยะเวลานานในการคายประจุจนหมด ดังนั้นพลังงานจำเพาะหรือความหนาแน่นพลังงานจึงมีความหมายเปรียบเสมือนความจุของแบตเตอรี่

2.5.2.5 กำลังจำเพาะ

กำลังจำเพาะ (Specific power) หมายถึงความสามารถในการจ่ายโหลด หรือปริมาณไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ ซึ่งแสดงว่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ กล่าวคือหากกำลังจำเพาะสูง ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่าน้อย แต่ในทางตรงกันข้าม หากกำลังจำเพาะต่ำ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่ามากด้วย

2.5.2.6 ซี-เรต (C-rate)

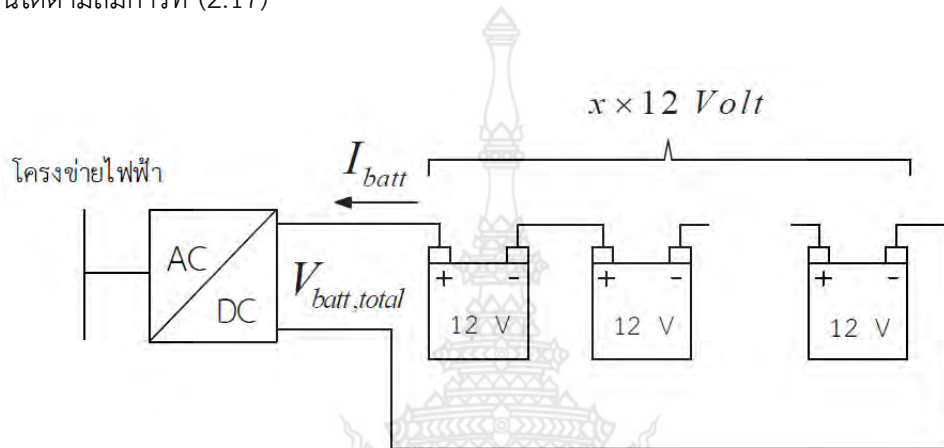
ซี-เรต เป็นค่าที่บอกอัตราสวณระหว่างกระแสคายประจุเทียบกับขนาดความจุของแบตเตอรี่ ตัวอย่างเช่น การคายประจุที่ 1C คือ แบตเตอรี่จ่ายกระแสคายประจุในปริมาณที่เท่ากับค่าพิคัดความจุของแบตเตอรี่ได้นานติดต่อกันได้ 1 ชั่วโมงจนประจุหมด หรือการคายประจุที่ 0.5C คือ แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสลดลงครึ่งหนึ่งเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจนประจุหมด เป็นต้น ในขณะที่ถ้าเป็นการอัดประจุแล้ว 1C จะหมายถึง แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุเต็มได้ภายใน 1 ชั่วโมง และ 0.5C หมายถึง การอัดประจุจนเต็มจะต้องใช้เวลา 2 ชั่วโมง เป็นต้น [10]

2.5.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่

การต่อชุดแบตเตอรี่ หมายถึง การต่อแบตเตอรี่ในการใช้งานเพื่อให้ได้แรงดันและความจุของแบตเตอรี่ตามที่ต้องการ การต่อชุดแบตเตอรี่นั้นสามารถทำได้ 3 วิธีด้วยกัน [7] ได้แก่

2.5.3.1 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรม

การต่อชุดแบตเตอรี่แบบนี้ เป็นการต่อเพื่อเพิ่มแรงดันให้เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งาน โดยที่ความจุของแบตเตอรี่จะมีค่าเท่าเดิม การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรมนี้ ขั้วบวกของแบตเตอรี่แต่ละตัวจะเชื่อมกับขั้วลบของแบตเตอรี่ตัวต่อไป ซึ่งขนาดแรงดันที่ได้จะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันของแบตเตอรี่ทุกตัวที่นำมาต่อ ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 2.33 ถ้าแบตเตอรี่แต่ละตัวมีแรงดันขนาด 12 โวลต์ และนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมตัวจะสามารถคำนวณแรงดันได้ตามสมการที่ (2.17)

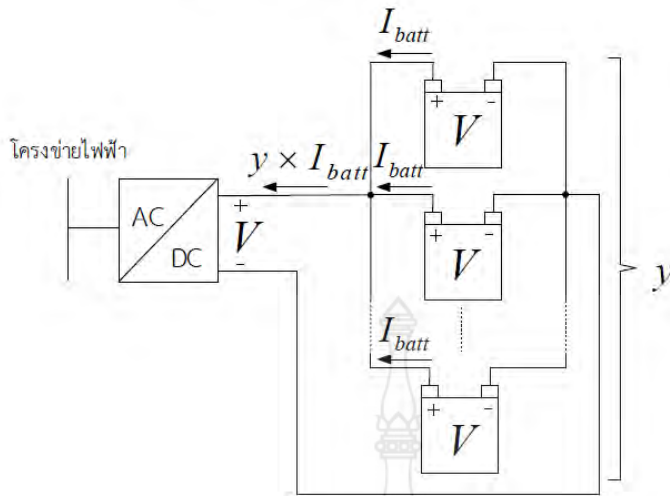


รูปที่ 2.33 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรม

2.5.3.2 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนาน

การต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนานเป็นการต่อแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มความจุของชุดแบตเตอรี่ให้เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งานหรือเพิ่มระยะเวลาที่ต้องการสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งาน โดยที่แรงดันยังมีขนาดเท่าเดิม การต่อชุดแบตเตอรี่แบบนี้ขั้วบวกของแบตเตอรี่แต่ละตัวจะต่อขนานกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ตัวถัดไป และขั้วลบของแบตเตอรี่แต่ละตัวก็จะต่อขนานกับขั้วลบของแบตเตอรี่ตัวถัดไป ความจุของชุดแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความจุของแบตเตอรี่แต่ละตัวที่นำมาต่อ ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 2.34 ถ้าแบตเตอรี่แต่ละตัวมีขนาดความจุ 100 แอมแปร์-ชั่วโมง และนำแบตเตอรี่มาต่อขนานกันตัว จะคำนวณความจุแบตเตอรี่รวมกันได้ตามสมการที่ (2.18)

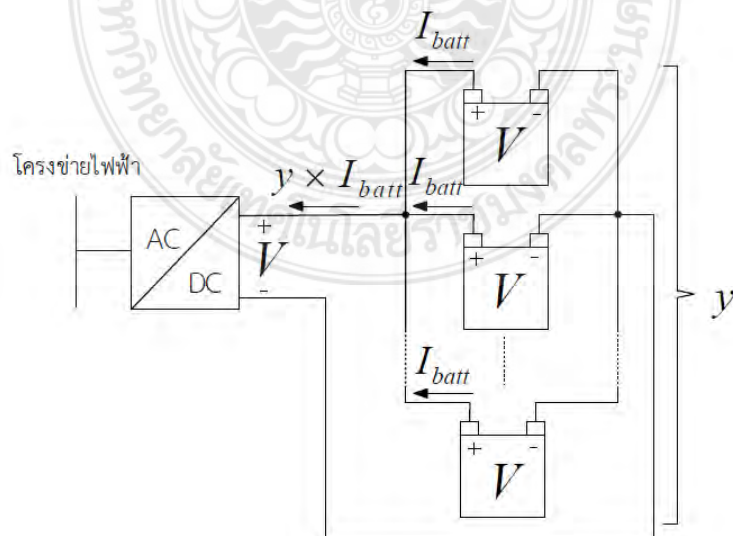
$$C_{batt,total} = y \times 100 \quad (2.18)$$



รูปที่ 2.34 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนาน

2.5.3.3 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบผสม

การต่อชุดแบตเตอรี่แบบผสมเป็นการต่อเพื่อเพิ่มแรงดันและความจุของชุดแบตเตอรี่ให้เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น การต่อชุดแบตเตอรี่แบบต่อนุกรมจะต้องมีแรงดันรวมไม่เกินพิกัดของเครื่องควบคุมการประจุ และควรจะมีการต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนานไม่ใหญ่กระแสรวมเกินพิกัดของเครื่องควบคุมการอัดประจุ เป็นต้น การต่อชุดแบตเตอรี่แบบผสมนี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.35 โดยแรงดันรวมของชุดแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันของแบตเตอรี่ทุกตัวที่นำมาต่อนุกรม และความจุแอมแปร์-ชั่วโมงของชุดแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความจุของแบตเตอรี่แต่ละตัวที่นำมาต่อขนาน [10]



รูปที่ 2.35 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบผสม

2.6 ปมน้ำ [11]

ปมน้ำ ทำหน้าที่สูบน้ำขึ้นจากบอบาตาล โดยปมน้ำจะติดตั้งอยู่ภายในบอบาตาล น้ำจะถูกพามาตามท่อเขาสุระระบบสำหรับไฟฟ้าที่จะจ่ายให้แก่มอเตอร์ของปมน้ำนั้นจะจ่ายผ่านสายไฟฟ้าที่ต่อจากตู้ควบคุมไปจนถึงตัวมอเตอร์ที่ติดตั้งในบอบาตาล ปมน้ำบาดาลเป็นปมน้ำแบบจุ่มใต้น้ำ (Submersible pump) ซึ่งเป็นปมน้ำชนิดเดียวกับที่เรารู้จักกันทั่วไปว่าปมไดโว่ แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่าปมน้ำชนิดจุ่มใต้น้ำ (Submersible Pumps) หรือที่เรียกทับศัพท์กันว่า “ปมซัมเมอร์ส” มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนเรือนปม และส่วนมอเตอร์ ส่วนเรือนปมจะมีใบพัดจำนวน หลายใบบรรจุอยู่ พร้อมทั้งมีแกนใบพัดโผล่ออกมาเพื่อเชื่อมต่อเชื่อมกับส่วนมอเตอร์ เมื่อน้ำถูกสูบเข้ามาในเรือนปมใบพัดแต่ละใบจะผลิตแรงดันเพื่อส่งน้ำออกไป ยิ่งมีจำนวนใบพัดมากเท่าไรก็จะยิ่งส่งน้ำได้สูงขึ้นเท่านั้น ดังนั้น ปมซัมเมอร์สขนาดแรงมาเดียวกัน (เช่น 1 แรงมา) อาจสูบน้ำได้ปริมาณ และความสูงไม่เท่ากัน ปกติปมซัมเมอร์สที่มีขนาดแรงมาสูงเช่น 0.5 - 5 แรงมา มักจะนิยมใช้ใบพัดที่ทำมาจากพลาสติก ซึ่งทำให้ใบพัดและเรือนปมเสียหายได้ง่ายหากทำการสูบโดยไม่มีน้ำ เนื่องจากใบพัดจะถูกหมุนอย่างน้อย 2800 รอบต่อนาที ทำให้อุณหภูมิภายในเรือนปมสูงมาก และเป็นผลให้พลาสติกที่ใบทำใบพัดละลาย นอกจากนี้อาจทำให้มอเตอร์เสียหายอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ปมน้ำบางยี่ห้อใช้ “สแตนเลส” เป็นวัสดุทำใบพัด ซึ่งทำให้ลดความเสียหายจากการถูกความร้อนและการเสียดสีจากทรายในน้ำได้มอเตอร์ของปมซัมเมอร์ส ส่วนใหญ่ที่นำเข้ามาใช้ในประเทศไทยมีแหล่งผลิตมาจากยุโรปและ อเมริกา ขอแตกต่างที่เห็นได้ชัด คือ กลองสตาร์ทและการกินกระแสไฟที่ภาระสูงสุด (Full load current) มอเตอร์ของปมน้ำบางยี่ห้ออาจผลิตขึ้นใช้เฉพาะของตนเอง แต่ทั้งหมดจะอยู่ในมาตรฐาน เดียวกันและเปลี่ยนแทนกันได้ (ถึงแม้บางครั้งอาจต้องดัดแปลงบางส่วนบาง)

2.6.1 ลักษณะทั่วไปของปมน้ำ [12]

ปมน้ำใช้สุตรของเหลวจากจุดที่มีเฮดความกดดันต่ำ (Low Pressure Head) โดยส่งออกไปตามระบบทอด้วยเฮดความกดดันที่สูงกว่าเดิม (High Pressure Head) โดยธรรมชาติแล้วของไหลที่อยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก จะไหลจากจุดที่มีเฮดความกดดันสูงกว่าไปยังจุดที่มีเฮดความกดดันต่ำ เช่น การไหลของน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ เป็นต้น แต่การที่จะให้ของไหลไหลจากจุดที่มีเฮดความกดดันต่ำกว่าไปยังจุดที่มีเฮดความกดดันสูงกว่า จะต้องให้ปมน้ำป้อนพลังงานกลให้แก่ของไหลนั้นๆ เพื่อให้ของไหลมีพลังงานในการเคลื่อนที่โดยสามารถชนะความต้านทานในการเคลื่อนที่ไต่ดั่งนั้นปมจึงต้องมีด้านดูด (Suction) และด้านปล่อย (Delivery) เมื่อปมรับพลังงานจากเครื่องต้นกำลัง เช่น เครื่องยนต์ และมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ก็จะถ่ายทอดพลังงานกลไปสู่ของไหลทำให้ของไหลเคลื่อนที่ไปยังจุดที่ต้องการ โดยออกทางด้านปล่อยอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลาที่ใช้งาน

2.6.2 คุณสมบัติของการของไหล

1. ปริมาณจำเพาะ (Specific Volume): ต่อหนึ่งหน่วยต่อ 1 หน่วยน้ำหนักของสารมีหน่วยเป็น m^3 / k .
2. ความหนาแน่น (Density, ρ): มวลสารต่อ 1 หน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็น k / m^3 .
3. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity): อัตราส่วนของมวลของสารต่อมวลของน้ำที่มี ปริมาณเท่ากัน ไม่มีหน่วยเป็นตัวเลขที่แสดงว่าสารชนิดหนึ่งมีน้ำหนักเบากว่าหรือน้ำหนักกว่าน้ำเป็น กี่เท่า น้ำจะมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 และปรอทจะมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 13.65 เป็นต้น
4. น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight, γ): หนักหนักต่อ 1 หน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็น N/m^3 .
5. ความหนืด (Viscosity) : คุณสมบัติของไหลที่เนื่องมาจากการเกาะกันระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน (Cohesive) แลวก่อให้เกิดความต้านทานการไหล ความหนืดมี 2 แบบคือ Dynamic Viscosity $\mu = k / m \cdot sec$ และ Kinetic Viscosity $\nu = \mu / \rho$
6. ความดันไอ (Vapor Pressure) ความดันไอของเหลวคือ ความดันที่เกิดจากโมเลกุลในรูปไออิ่มตัว (Saturated) เหนือผิวหน้าของของเหลวที่อุณหภูมิที่กำหนดเมื่อความดันไอของเหลวมีค่า เท่ากับความกดดัน

บรรยากาศของเหลวนั้นจะเดือด ความดันไอที่อุณหภูมิหนึ่งก็คือความดันสมบูรณ์ (Absolute Pressure) ซึ่งจะทำให้ของเหลวเดือดที่อุณหภูมินั้น

คุณสมบัติข้อนี้มีความสำคัญมากต่อการทำงานของปั๊ม ทางด้านดูด (Suction-Side) โดยเฉพาะถ้าของเหลวที่ต้องการสูบมีอุณหภูมิสูงหรือเป็นของเหลวที่ระเหยง่าย เพราะถ้าความดันของของเหลวในปั๊มนั้นลดลงถึงแรงดันไอแล้วจะทำให้ของเหลวเดือดกลายเป็นไอ ทำให้อัตราการสูบของปั๊มลดลง หรือไม่มีของเหลวไหลเข้าสู่อุปกรณ์ จึงต้องกำหนดให้ความดันในปั๊มสูงกว่าความดันไอของเหลวอยู่ตลอดเวลา

ความดัน (Pressure)

1. ความดันของบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อ 1 หน่วยพื้นที่บนผิวโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 แสดงค่าความดันต่างๆ

ความดันของบรรยากาศที่มีค่าศูนย์อย่างแท้จริง หรือไม่มีความดันเลยซึ่งเกิดขึ้นได้โดยการดูดอากาศออกหมดจนเป็นสูญญากาศที่แท้จริง ซึ่งเราเรียกว่าความดันศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute Zero Pressure) ค่าความดันใดๆ ที่วัดจากความดันพื้นฐานนี้เรียกว่า ความดันศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute Pressure, Pabs.) รวมทั้งความกดดันของบรรยากาศซึ่งมีค่า ประมาณ $.32 \text{ /m.}^2$ หรือ 4.7 b/ .2 ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลวัดจากบารอมิเตอร์

ความดันบรรยากาศ	ระบบอังกฤษ	ระบบเมตริก	ระบบ SI
ความดัน	4.7 b/ .2	$.33 \text{ /cm.}^2$	$.3 \text{ bar}$ หรือ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
ความดันของปรอท	2.2 .	76 mm.	76 mm.
ความสูงของน้ำ	3 . ft.	$.33 \text{ m.}$	$.33 \text{ m.}$

2.6.4 เฮด (Head)

1. เฮดความดัน (Pressure Head,) ค่าความดันนอกจะบอกเป็นแรงดันหน่วยพื้นที่แล้วถ้าเป็นความดันของเหลวก็มักนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลว ที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวซึ่งรองรับแท่งเหลวนั้น ความดันวิ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน $= P/\gamma = P/(\rho \cdot g)$ (2.19)

2. เสดความเร็ว (Velocity Head, s) ของเหลวที่ไหลในท่อนหรือทางน้ำเปิดด้วย ความเร็วใดๆจะมีพลังงานจลนอยู่ (Kinetic Energy) พลังงานส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเสดคือ $= \frac{v^2}{2g}$ (2.19) เสดความเร็ว ก็คือความสูงที่ของเหลวตกลงด้วยแรงตึงคูดของโลก จนได้ความเร็ว เท่ากับความเร็วในการไหลของของเหลวนั้น

3. เสดสถิต (Static Head, s) การทำงานของปั๊มโดยทั่วไป ของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงาน เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง ซึ่งอยู่สูงกว่า ความดันซึ่งคิดเป็นแทงความสูงของ ของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของปั๊มทั้งทางดานคูดและดานจ่ายในขณะความเร็วของการไหลผานระบบเป็นศูนย์เรียกวา เสดสถิต ดังแสดงในรูปที่ 2.37



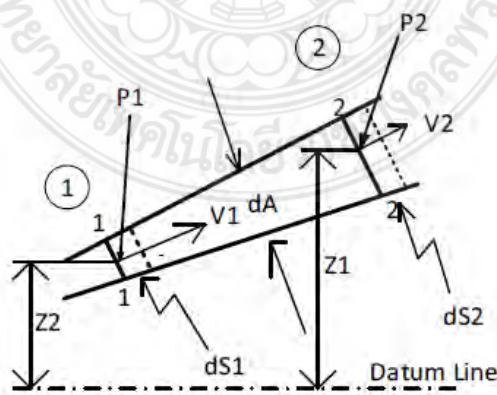
รูปที่ 2.37 แสดงเสดสถิตย

4. เสดความผด (Friction Head, f) ขณะทีของเหลวไหลผานระบบทอบริเวณดานทอคูดและดานทอจ่ายพลังงานหรือเสดในการไหลสวนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความผดระหวางของเหลวกับผนังทอและสวนประกอบทอต่างๆ ซึ่งรวมเรียกวาเสดความผด

5. เสดรวมของปั๊ม (Total Dynamic Head or Total Discharge Head, TD) เปนพลังงานทั้งหมดทีบอกในรูปของเสดปั๊ม ทีจะต้องเพิ่มใหแกของเหลวเพื่อใหของเหลวนั้นไหลผาน ระบบทอด้วยอัตราทีกำหนดเสดรวมของปั๊ม = เสดสถิตยรวม + เสดความผด โดยทีเสดสถิตยจะมีคางที ขึ้นอยูกับการติดตั้งของระบบปั๊มสวนเสดความผดจะแปรผันตามอัตราการไหลของของไหลนั้น

2.6.5 การประยุกต์กฎของพลังงานเพื่อไขกับปั๊ม

กฎของพลังงาน : หนางานจะไมมีการเกิดขึ้นหรือสูญหายไป แต่สามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งเปนอีกรูปหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 หลักการของกฎพลังงาน

งานเข้า + พลังงานเนื่องจากการไหลเข้า + พลังงานจลน์เข้า + พลังงานศักย์เข้า
เท่ากับ

$$\text{งานออก} + \text{พลังงานเนื่องจากการไหลออก} + \text{พลังงานจลน์ออก} + \text{พลังงานศักย์ออก}$$

$$W_{in} + P_1V_1 + KE_1 + PE_1 = W_{out} + P_2V_2 + KE_2 + PE_2 \quad (2.20)$$

แต่ $W_{out} - W_{in} = W_{net}$
ดังนั้น

$$\frac{WP_1}{\gamma} + \frac{WV^2}{2g} + WZ_1 = \frac{WP_2}{\gamma} + \frac{WP_2^2}{2g} + WZ_2 \quad (2.21)$$

กรณีงานไม่มีงานเปลี่ยนแปลง จะได้

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (2.22)$$

กรณีคิดต่อหน่วยน้ำหนักจะได้

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + W_2 \Rightarrow \text{Bernoulli's Equation} \quad (2.23)$$

สรุป สมการ Bernoulli ของกลศาสตร์ของไหล กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (เมื่อระบบกระทำกระบวนการทาง วัฏจักร รวมทางความร้อน เท่ากับผลรวมของงาน = W) สำหรับระบบที่มีการไหลสม่ำเสมอ คือสิ่งเดียวกัน แต่ในกลศาสตร์ของไหลถือว่าอุณหภูมิคงที่ คือพลังงานในแง่ของพลังงานอื่นที่ไม่ใช่พลังงานความร้อน จาก Bernoulli's Equation ค่า W_{net} ของสมการเป็นไปได้ทั้ง เฮดของปัมและเฮดการ สูญเสียต่างๆ จะได้กฎของพลังงานปัมดังนี้

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + E_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (2.24)$$

when $E_p = \text{Pump Mechanical Energy}$

2.6.6 กำลังงานที่ต้องการและประสิทธิภาพของปัม

กำลังงาน หมายถึง อัตราการทำงานในหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยกำลังงานที่นิยมใช้คือแรงมา (Horse Power,) $1 = 745.4 \text{ watts} = 745.7 \text{ N-m/sec} = 550 \text{ ft-lb/sec}$ กำลังงานที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับปัม มี 2 อย่างคือ

1. แรงมาทางทฤษฎี (Theoretical Horsepower) หรือ water Horsepower, W เป็นจำนวนแรงมาที่ ปัมจะต้องให้แกของเหลวเพื่อไหลของเหลวไหลผ่านระบบด้วยอัตราที่กำหนด

$$WHP = \frac{Q \cdot \gamma \cdot TDH}{\eta \cdot 550} \quad (2.25)$$

เมื่อ WHP = water Horsepower (Hp)
 γ = Specific Weight ($\frac{lb}{ft^3}$)
 Q = Pumping Rate ($ft^3/sec.$)
 TDH = Total Dynamic Head (ft)
 η = Pump Efficiency

2. แรงมาของตบก้ำล้ง (Brake Horsepower, Bh) เปนก้ำล้งที่มอเตอรหรือเครืองยนต ตบก้ำล้งไซใน การข้บเคลือนปมเพื่อห้ปมเพิ่มพลังงนให้แกของเหลวเทกกับแรงมำทงทฤษฎี

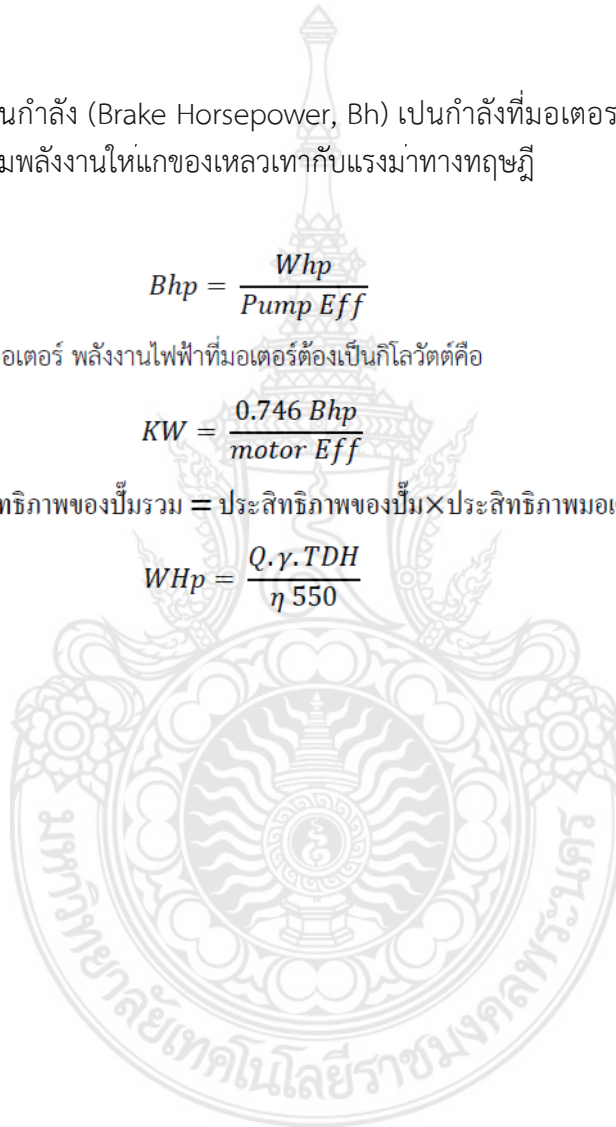
$$Bhp = \frac{Whp}{Pump\ Eff} \quad (2.26)$$

กรณีตบก้ำล้งเป็นมอเตอร พลังงนไฟฟ้ำที่มอเตอรต้องเป็นกิโลวัตต์คือ

$$KW = \frac{0.746\ Bhp}{motor\ Eff} \quad (2.27)$$

ประสิทธิภาพของปั้มรวม = ประสิทธิภาพของปั้ม × ประสิทธิภาพมอเตอร

$$WHP = \frac{Q \cdot \gamma \cdot TDH}{\eta \cdot 550} \quad (2.28)$$



2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 Hybrid Photovoltaic-Fuel Cell Power Plant [13]

ปัจจุบันในหลาย ๆ ประเทศการเพิ่มกำลังการผลิตเกิดขึ้นในหน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่าอุตสาหกรรมไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generation) ในบทความนี้ได้นำเสนอประสบการณ์จากการใช้ประโยชน์จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานแนวคิดของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับเซลล์เชื้อเพลิงวิธีการล่าสุดนี้ช่วยให้สามารถใช้แหล่งพลังงานหลักได้อย่างเหมาะสมและเพิ่มระดับความเชื่อถือได้ผู้เขียนได้ทำงานเป็นเวลาหลายปีในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระปัญหาหลักในการติดตั้งดังกล่าวคือวิธีการรับประกันแหล่งจ่ายไฟตลอดทั้งปีโดยไม่หยุดชะงัก สภาพอากาศในโปแลนด์ใหญ่หยุดพักในช่วงฤดูหนาวและฤดูใบไม้ร่วง

กระดาษแสดงขอเสนอของโรงไฟฟ้าแห่งใหม่ที่มีเซลล์เชื้อเพลิงและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อไม่มีพลังงานอาทิตย์จะถูกผลิตโดยเซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากระบบจะทำงานค่อนข้างไกลจากศูนย์บริการจึงต้องทำงานในหนานที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยไม่ต้องเติมน้ำมันอธิบายขั้นตอนวิธีการสรุปผลการใช้พลังงานและการควบคุมเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและระบบควบคุม

2.7.2 Modelling and simulation of power system of battery, solar and fuel cell powered Hybrid Electric Vehicle [14]

เพื่อตอบสนองความต้องการใช้เชื้อเพลิงที่ไม่มีวันสิ้นสุดของยานพาหนะ Hybrid Vehicle ได้รับการแนะนำในการวิจัยโดยทั่วไปแล้วรถไฮบริดคือการรวมกันของภายในเครื่องยนต์เผาไหม้ (ICE) และระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าประสิทธิภาพของรถสวนใหญ่ขึ้นอยู่กับความถูกต้องและประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าของระบบส่งกำลังของรถยนต์ งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ระบบไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดซึ่งใช้พลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิงแบตเตอรี่และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีการเตรียมและแบบจำลอง Simulink ประสบความสำเร็จ ระบบมอเตอร์แบบซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวรในรูปแบบ Simulink ผลการจำลองเช่น ความเร็วของโรเตอร์แรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าแรงดันกระแสตรงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC-DC แรงดันไฟฟ้าสถานะการณขารจประสิทธิภาพของเครื่องขารจตะแกรงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแรงบิดเชิงกลได้รับการกล่าวถึงและเปรียบเทียบกับวิธีการที่ทันสมัยรวมถึงงานวิจัยนี้ยังได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบจัดเก็บพลังงานด้วยการอ้างอิงซึ่งมักใช้ในระบบไฟฟ้าของ HEV

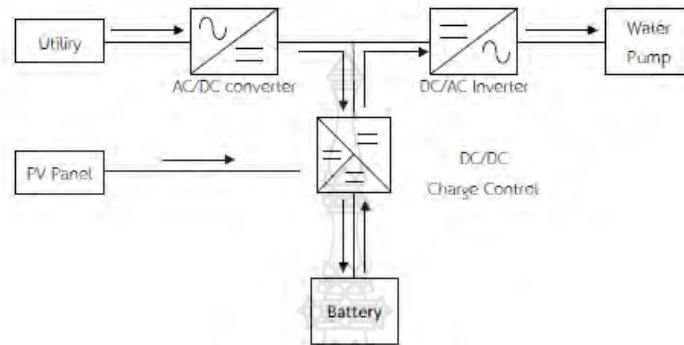
2.7.3 Control Algorithm of Renewable Energy Power Plant Supplied by Fuel Cell/Solar Cell/ Supercapacitor Power Source [15]

มีการเสนอโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำพลังงานหมุนเวียนซึ่งได้รับการสนับสนุนจากแหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) และเซลล์เชื้อเพลิง (FC) ด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูล Supercapacitor และเหมาะสำหรับการใช้งานแบบกระจาย PV ถูกใช้เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าหลัก FC ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้พลังงานเพียงอย่างเดียว (Power state) จาก PV และ Supercapacitor ทำหน้าที่เป็นแหล่งเสริมในการจัดหาพลังงานที่ขาดไม่ได้ (ชั่วคราวและคงที่) จาก PV และ FC การใช้วิธีการเชิงเส้นจากสมมติความแบน เราเสนอแนวทางต่างๆ ในการปรับแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพเสถียรภาพและความทนทานในระบบไฟฟ้าแบบผสมผสาน เป็นงานวิจัยที่สำคัญของงานวิจัยชิ้นนี้ ต้นแบบโรงไฟฟ้าขนาดเล็กที่ศึกษาประกอบด้วยระบบ PEMFC (1.2 กิโลวัตต์) อารเรย์ PV (0.8 kW) และโมดูล Supercapacitor (100 F) ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัลกอริธึมการควบคุมที่ยืดหยุ่นระหว่างรอบการไหล

บทที่ 3 การออกแบบ

3.1 บทนำ

การออกแบบโครงสร้างปัมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตรมีส่วนประกอบสำคัญดังแสดงในรูปที่ 3.1



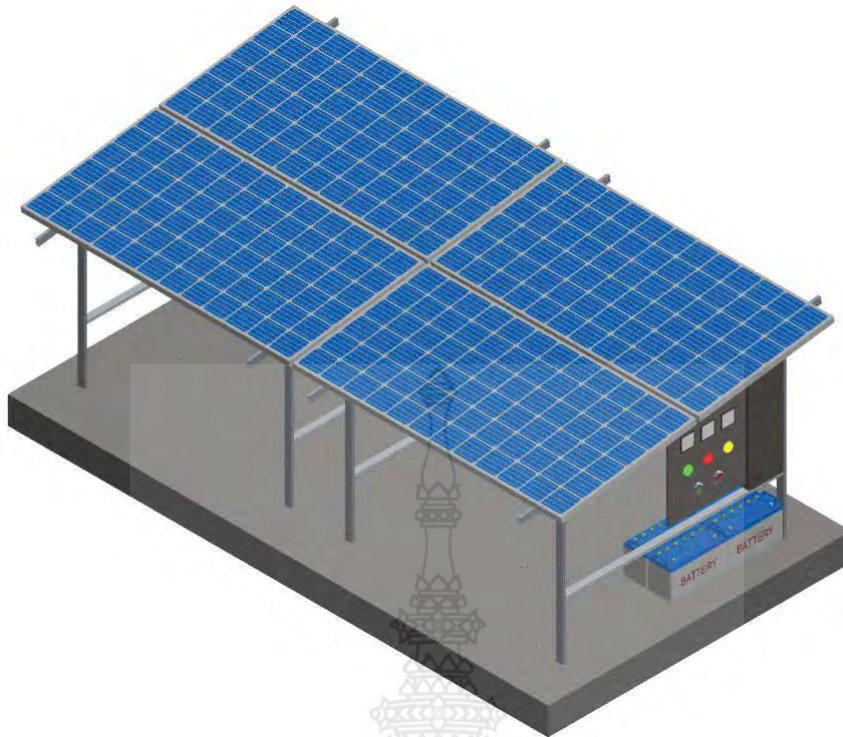
รูปที่ 3.1 ภาพผังไดอะแกรม ปัมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร

3.2 การออกแบบโครงสร้างโซลาร์เซลล์

ในการออกแบบโครงสร้างของแผงโซลาร์เซลล์ในปริญญานิพนธ์นี้ทางผู้จัดทำโครงการจะทำการออกแบบโครงสร้างในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้ในการรับแสงอาทิตย์เพื่อนำมาเก็บเป็นพลังงานทดแทนตัวอย่างแผงโซลาร์เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ในการทำงานของระบบไฟฟ้าของโครงงานปัมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร โดยจะใช้แผงโซลาร์เซลล์ทั้งหมดจำนวน 4 แผงแต่ละแผงมีขนาด 99x195x4 เซนติเมตร โดยจะทำการออกแบบโครงสร้างในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้ สแตนเลส แบบแทงนำมาตัดและเชื่อมเขาด้วยกัน โดยใช้นอตทำการยึดติดทั้ง 4 ด้าน หลังจากนั้นจึงทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลงบนโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 แผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 3.3 การออกแบบโครงสร้างฐานการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

การคำนวณหาขนาดของแผงโซลาร์เซลล์

ปั๊มซับเมอร์ส 1500 วัตต์ เปิดใช้งาน 4 ชั่วโมงต่อวัน = $1500 \times 4 = 6000$ วัตต์ ต่อ ชั่วโมง

สูตร ขนาดแผงโซลาร์เซลล์ = กำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในแต่ละวัน / ชั่วโมงแดด
(ประมาณ 6 ชั่วโมงต่อวัน)

$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดแผงโซลาร์เซลล์} &= 6000/6 \\
 &= 1000 \text{ วัตต์} \\
 \text{จำนวนแผง ถ้าใช้แผง 300วัตต์} &= 1000/300 \\
 &= 3.333
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้องใช้จำนวน 4 แผง

การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ (BATTERY)

สูตร ขนาดแบตเตอรี่ = กำลังไฟฟ้าที่ Load ต้องการ x ระยะเวลาที่ต้องการใช้งาน / แรงดันไฟฟ้า
ของแบตเตอรี่ x ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ x ประสิทธิภาพของ Inverter โดย

$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดแบตเตอรี่} &= 6000 / 12 \times 0.8 \times 0.85 \\
 &= 735.29 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้องใช้แบตเตอรี่ขนาดประมาณ 12 V 200 Ah ใช้ แบตเตอรี่ 4 ก้อน

3.3 การออกแบบตู้คอนโทรลควบคุมการทำงาน

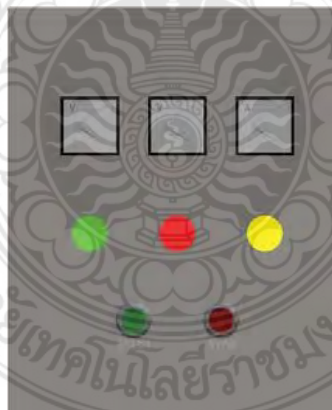
การออกแบบตู้คอนโทรลโดยมีขนาดความสูง 730 มิลลิเมตร ความกว้าง 630 มิลลิเมตร ความลึก 250 มิลลิเมตร โดยใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบการทำงานของปมน้ำทั้งหมดรวมไปถึงการเก็บไฟฟ้าและการจ่ายไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้และการเปิด-ปิดการทำงานต่างๆ โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงการออกแบบตู้คอนโทรล

3.2.1 ส่วนที่1 การออกแบบตู้คอนโทรลส่วนด้านหน้า

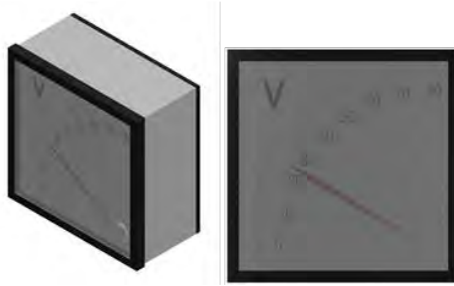
ในการออกแบบตู้คอนโทรลส่วนด้านหน้าของตู้จะเป็นส่วนที่ประกอบไปด้วย โวลตมิเตอร์แอมป์มิเตอร์ หลอดไฟแสดงสถานะ (Pilot Lamp) และสวิตช์ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ใช้ในการดูสถานะการทำงานของปมน้ำและเป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมเปิด-ปิดการทำงานของปมน้ำด้วยแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การออกแบบตู้คอนโทรลส่วนด้านหน้า

1. โวลตมิเตอร์

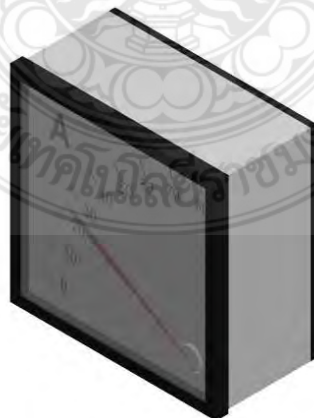
แบบโวลตมิเตอร์มีขนาด ความสูง 96 มิลลิเมตร ความกว้าง 96 มิลลิเมตร ความลึก 43 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว เพื่อเป็นตัวช่วยในการวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการเก็บพลังงานไฟฟ้าโซลาเซลล์ และระบบการทำงานของกระแสไฟฟ้าภายในเครื่องปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตรโดย วิธีใช้ ต้องต่อขนานกับวงจรเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความตักยในวงจรไฟฟ้า ค่าที่วัดได้มีหน่วย โวลต (V) โวลตมิเตอร์ จะสามารถช่วยในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในตัวเครื่องได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โวลต์มิเตอร์

2. แอมป์มิเตอร์

แบบแอมป์มิเตอร์ที่มีขนาดความสูง 96 มิลลิเมตร ความกว้าง 96 มิลลิเมตร ความลึก 43 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัวเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า (Current : I) เมื่อมีการนำไปใช้งานในวงจรไฟฟ้า จะต้องต่อแบบอนุกรม (Series Connection) กับวงจร หรือ อนุกรมกับโหลด (Load) เสมอถ้าหากมีการนำไปต่อขนาน (Parallel Connection) จะทำให้เกิดความเสียหายกับเครื่องวัดได้ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างภายในของแอมมิเตอร์นั้นถูกออกแบบมาให้มีความต้านทานที่ต่ำ (Low Resistance) เมื่อถูกต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าจะต้องไม่มีผลกระทบต่อวงจรแอมมิเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดกระแสไฟตรงนั้น นิยมเรียกกันว่า ดีซี แอมมิเตอร์ (DC Ammeter) เครื่องวัดชนิดนี้จะอาศัยหลักการทำงานของเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่ (PMMC) ดังนั้น การบายเบนของเข็มที่ชี้จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงหรือแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ (Moving coil) แต่เนื่องจากเป็นเครื่องวัดแบบ PMMC มีข้อจำกัด คือ สามารถที่จะรับกระแสได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นในทางปฏิบัติจึงใช้วิธีในการแบ่งกระแสให้ไหลผ่านความต้านทานชั้นที่ (Shunt Resistance) ที่นำมาต่อขนานกัน ซึ่งมีวิธีคำนวณได้โดยใช้สูตรกฎของโอห์ม (Ohm's Law) สำหรับการเรียกชื่อแอมป์มิเตอร์นั้น โดยทั่วไปแล้วจะเรียกตามความสามารถของการวัด เช่น มิลลิแอมป์มิเตอร์ (Milliammeter) ใช้วัดกระแสเป็นมิลลิแอมป์ หรือไมโครแอมป์มิเตอร์ (Microammeter) ใช้วัดกระแสที่มีค่าเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แอมป์มิเตอร์

3. สวิตช์

แบบสวิตช์จะใช้สวิตช์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว ในการติดตั้งสวิตช์ในโครงการนี้ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบโดยใช้สวิตช์ 2 สีสีแดงกับสีเขียวโดยทำการติดตั้งสวิตช์สีแดงแสดงการทำงานการปิดการทำงานทั้งหมดของเครื่องปมน้ำและให้สวิตช์สีเขียวสำหรับแสดงการเปิดการทำงานของเครื่องปมน้ำได้ตามระบบการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 สวิตช์

4. หลอดไฟแสดงสถานะ (Pilot Lamp)

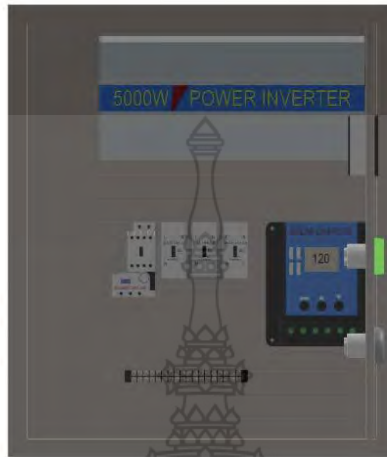
แบบหลอดไฟแสดงสถานะ (Pilot Lamp) ผู้จัดทำได้ใช้หลอดไฟแสดงสถานะ (Pilot Lamp) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร จำนวน 3 ตัว โดยโครงการนี้นั้นผู้จัดทำได้ทำการออกแบบให้दानหน้าของตู้คอนโทรลต้องมีการแสดงสถานะเป็นสัญญาณ บงบอกการทำงานเครื่องจักรโดยจะทำการติดตั้งไว้ที่ด้านหน้าของตู้คอนโทรลโดยจะให้มีการแสดงสัญญาณไฟแฉ่งแฉ่งทั้งหมด 3 สี ดังนี้คือ สีเขียว : ไซแสดงว่าเครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ สีแดง : ไซแสดงว่าเครื่องจักรหยุดทำงานและ สีเหลืองหรือส้ม : ไซแสดงการแจ้งเตือนการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 หลอดไฟแสดงสถานะ

3.2.1 ส่วนที่2 การออกแบบตู้คอนโทรลสวนदानใน

ในการออกแบบตู้คอนโทรลสวนदानในของตู้จะเป็นส่วนที่ประกอบไปด้วย Inverter Charger เบรกเกอร์ แม็กเนติกและโอเวอร์โหลด ซึ่งการติดตั้งและเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในตู้โดยรวมจะมีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานเก็บพลังงานไฟฟ้าและทำการแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงโซลาร์เซลล์ ควบคุมกระแสไฟฟ้าได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การออกแบบสวนประกอบภายในตู้คอนโทรล

1. อินเวอร์เตอร์

แบบอินเวอร์เตอร์ ในโครงการนี้ผู้จัดทำได้นำ อินเวอร์เตอร์ ขนาดความสูง200 มิลลิเมตร ความกว้าง 430 มิลลิเมตร ความลึก 180 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว มาใช้ในการแปลงกระแสไฟฟ้าโดยจะทำการแปลงไฟกระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันและความถี่คงที่ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจร อินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) วงจรทั้งสองนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และผ่านพลังงานของ อินเวอร์เตอร์ โดยแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับมีรูปคลื่นชายน แต่เอาทพุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปชายน นอกจากนั้นยังมีชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) และวงอินเวอร์เตอร์(Inverter Circuit) ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของ 3-Phase Induction Motor ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 อินเวอร์เตอร์

การคำนวณหาขนาดอินเวอร์เตอร์ (INVERTER) การเลือกใช้ Inverter สวมอีกตัวแปรก็คือค่า วัตตรวมของ Load ปมขับเมอร์ส 1500 วัตต์ ดังนั้น ควรใช้ Inverter ขนาด 2000 วัตต์

2. การออกแบบคอนโทรลชาร์จการออกแบบคอนโทรลชาร์จในโครงการนี้ผู้จัดทำได้นำคอนโทรลชาร์จที่มีขนาดความสูง 200 มิลลิเมตร ความกว้าง 140 มิลลิเมตร ความลึก 32 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว มาใช้ในการเก็บกระแสไฟที่ได้จากพลังงานทดแทนจากแผงโซลาเซลล์และนอกจากนี้ยังนำมาใช้ในการช่วยควบคุมการตัดการจ่ายกระแสไฟเพื่อไปประจุแบตเตอรี่เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ในระดับที่สูงตามที่ใดกำหนดไว้เหมือนกัน เพื่อป้องกันการ Over Charge ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายและเสื่อมอายุก่อนวัยอันควร นอกจากนี้ยังช่วยไม่ให้ไฟจากแบตเตอรี่ย้อนขึ้นไปยังตัวแผงโซลาเซลล์ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวแผงโซลาเซลล์อีกด้วย และอีกข้อหนึ่งก็คือเป็นตัวสวิตช์อัตโนมัติที่ใช้จ่ายไฟให้โหลดเวลาที่ไม่มีแสงมากกระทบแผงโซลาเซลล์ โดยจะมีการตั้งค่าใหม่แรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่เท่ากับ 14.3 โวลต์สำหรับระบบ 12 โวลต์ เมื่อแบตเตอรี่ชาร์จจนเต็ม ถาปล่อยแบตเตอรี่ทิ้งไว้แรงดันของแบตเตอรี่จะลดลง ดังนั้นเครื่องควบคุมการชาร์จจะชาร์จรักษาระดับแรงดันในแบตเตอรี่ให้คงที่อยู่เสมอ (Float Voltage) มีค่า 13.7 โวลต์ สำหรับระบบ 12 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



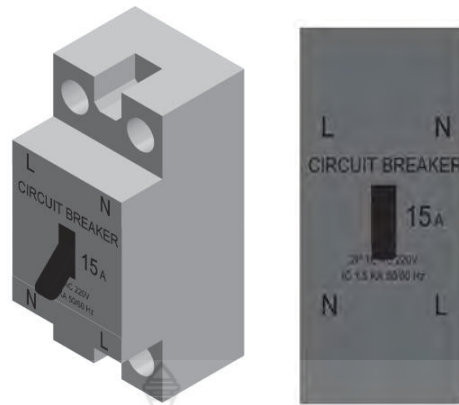
รูปที่ 3.12 คอนโทรลชาร์จ

การคำนวณหาขนาดของเครื่องควบคุมการชาร์จ (Charge Controller) สำหรับเครื่องควบคุมการชาร์จนั้น ส่วนมากเราจะคำนวณหาคาแอมป์ (A) ที่สามารถควบคุม อุปกรณ์ในสูตร $W = V \times A$ หรือ $I = W / V$ กรณีที่เป็นแผงโซลาเซลล์ 12V

$$\begin{aligned} I &= 300/12 \\ &= 25 \text{ A} \end{aligned}$$

3. เบรกเกอร์ 16 AT

เบรกเกอร์ในโครงการนี้ผู้จัดทำได้นำเบรกเกอร์ที่มีขนาด ความสูง 90 มิลลิเมตร ความกว้าง 4 มิลลิเมตร ความลึก 70 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว มาใช้เป็นตัวสวิตช์ไฟฟ้าอัตโนมัติที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันวงจรไฟฟ้าจากความเสียหายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าสวนเกิน หรือไฟฟ้าลัดวงจร เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดไฟไหม้หรือเกิดความเสียหายกับเครื่องปมน้ำ โดยการเบรกเกอร์จะเป็นตัวทำหน้าที่ในการตัดกระแสไฟฟ้าหลังจากตรวจพบความผิดปกติในวงจรไฟฟ้าซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันกระแสเกินหรือลัดวงจร เช่นเดียวกับฟิวส แต่จะแตกต่างกันตรงที่เมื่อตัดวงจรแล้วสามารถที่จะปิดหรือต่อวงจรได้ทันทีหลังจากแก้ปัญหาแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.13



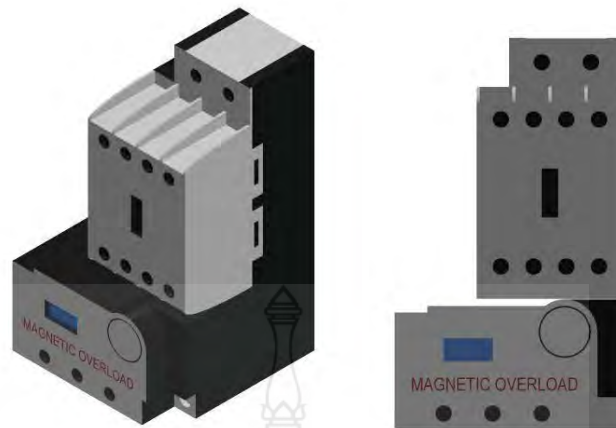
รูปที่ 3.13 เบรกเกอร์

4. แม็กเนติก

แม็กเนติกสำหรับโครงงานนี้ผู้จัดทำได้นำแม็กเนติกมาที่มีขนาด ความสูง 95 มิลลิเมตร ความกว้าง 45 มิลลิเมตร ความลึก 91 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว ใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิทซ์ ที่จะใช้เป็นตัวตัดต่อวงจรไฟฟ้า เพื่อการเปิด-ปิด ของหน้าสัมผัส (Contact) ทำงานโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้าช่วยในการเปิด-ปิดเครื่องปั้มน้ำ เช่น เปิด-ปิด การทำงานของวงจรควบคุมระบบการทำงานของเครื่องปั้มน้ำ โดยแม็กเนติกคอนนั้น จะมีสว่นประกอบหลักที่สำคัญต่อการทำงาน ไดแก แกนเหล็ก (Core) ,ขดลวด (Coil) ,หน้าสัมผัส (Contact) และสปริง (Spring) หลักการทำงานของแม็กเนติก คอนแทคเตอร์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กที่อยู่ขากลางของแกนเหล็ก ขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กที่แรงสนามแม่เหล็กขณะแรงสปริงดึงให้แกนเหล็กชุดที่เคลื่อนที่ (Stationary Core) เคลื่อนที่ลงมาในสภาวะนี้ (ON) คอนแทคทั้งสองชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงานคือ คอนแทคปกติปิดจะเปิดวงจรจุดสัมผัสออก และคอนแทคปกติเปิดจะต่อวงจรของจุดสัมผัส เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเขาไปยังขดลวด สนามแม่เหล็กคอนแทคทั้งสองชุดจะกลับไปสู่สภาวะเดิม

5. โอเวอร์โหลต รีเลย์

โอเวอร์โหลต รีเลย์ ผู้จัดทำโครงงานได้นำโอเวอร์โหลต รีเลย์ ที่มีขนาด ความสูง 78 มิลลิเมตร ความกว้าง 45 มิลลิเมตร ความลึก 82 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว สำหรับช่วยในการตัดวงจรเพื่อจ่ายกระแสไปให้โหลต สวมมากใช้เป็นตัวเปิด-ปิดแหล่งจ่ายไฟไปที่ปั้ม ซึ่งจะใช้คู่กับแม็กเนติก คอนแทคเตอร์ และช่วยป้องกันไม่ได้เกิดกระแสเนื่องจากภาระกระแสเกินนั้นมีอยู่บ่อยครั้งสว่นใหญ่มาจากการใช้งานเครื่องปั้มน้ำเกินพิกัดจนทำให้มอเตอร์เกิดความรอนสูง ส่งผลให้ตัวมอเตอร์เกิดความเสียหายได้ ทั้งฟวสหรือเบรกเกอร์ในการสตาร์ทมอเตอร์แบบ DOL นั้น จะมีกระแสเริ่มเดินสูงมาก ดังนั้นการเลือกใช้ฟวสหรือเบรกเกอร์จึงต้องมีพิกัดกระแสที่สูงขึ้น เพื่อไว้ป้องกันการปลดวงจรจากการเริ่มเดินมอเตอร์ และหากมอเตอร์ทำงานเกินขนาดจะทำให้เกิดความรอนสะสมเพิ่มสูงขึ้นแต่ทั้งฟวสหรือเบรกเกอร์จะไม่สามารถป้องกันในสว่นนี้ได้ ทำให้ต้องติดตั้งโอเวอร์โหลตรีเลย์เพิ่มเติมเพื่อทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์ในกรณีที่มีการใช้โหลตเกินได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แม็กเนติกและโอเวอร์โหลดรีเลย์

6. ปมซึมเมอร์ส

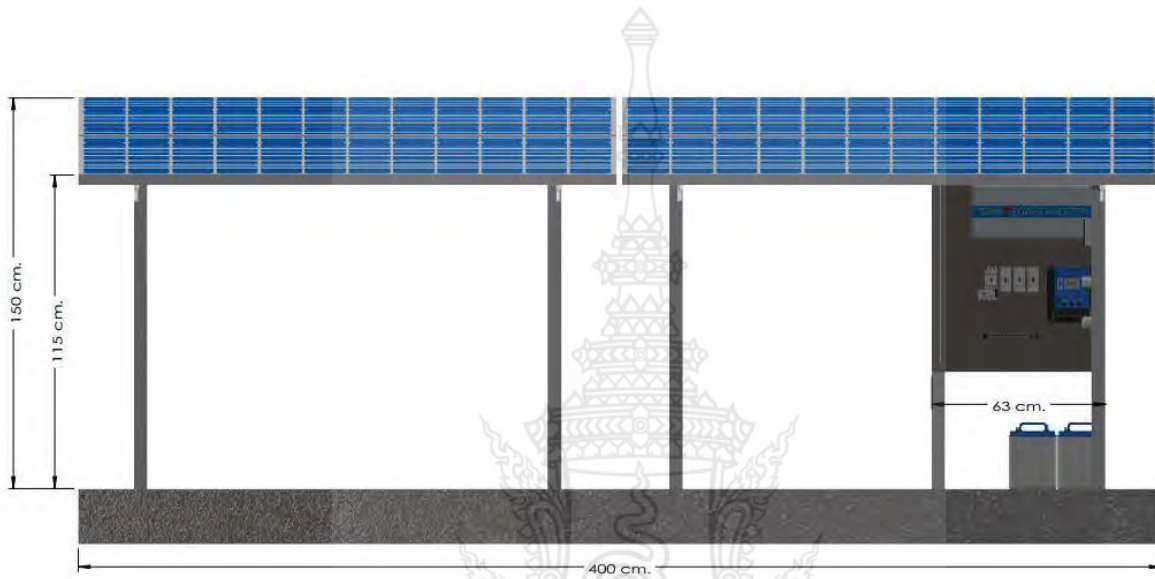
ในการออกแบบโครงการการประยุกต์ใช้ปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร ผู้จัดทำโครงการได้นำปั๊มซึมเมอร์ส ที่มีปั๊มซับเมอร์ส 1500 วัตต์ เปิดใช้งาน 4 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 1 ตัว ทำการติดตั้งปั๊มและเชื่อมต่อปั๊มเข้ากับแผงควบคุมการทำงานเพื่อให้ปั๊มซึมเมอร์สสามารถทำงานได้และที่จะมาใช้ รดน้ำในการเกษตรได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.15



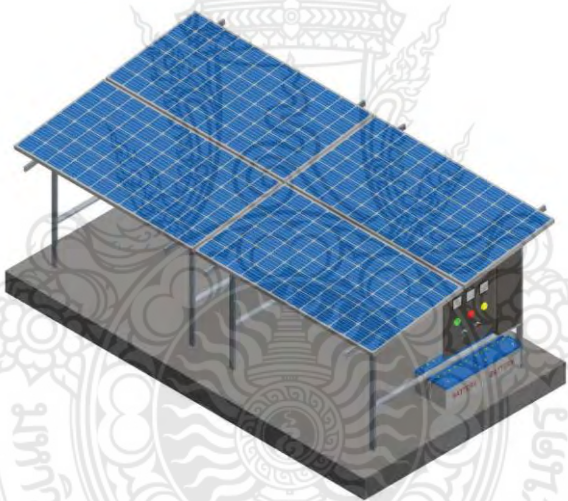
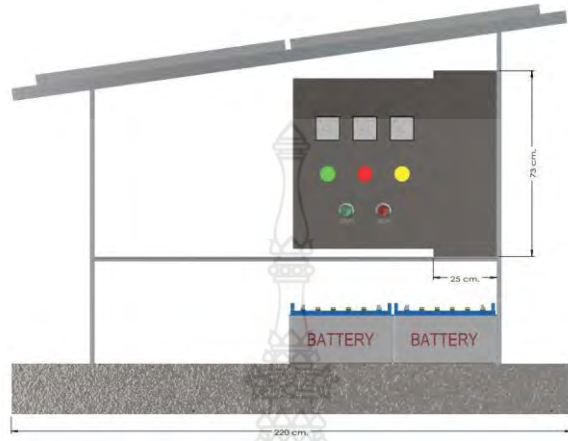
รูปที่ 3.15 ปั๊มซึมเมอร์ส

3.4 การออกแบบโครงสร้าง

1. การออกแบบโครงสร้างदानหนา ดังแสดงในรูปที่ 3.16
2. การออกแบบโครงสร้างดานข้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.17
3. การออกแบบโครงสร้างดานบน ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.16 การออกแบบโครงสร้างดานหนา



รูปที่ 3.17 การออกแบบโครงสร้างदानขาง

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและทดสอบ

ขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์นี้ เป็นการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของการทำงาน ของการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร บนพื้นฐานของ กระบวนการผลิตทางดานวิศวกรรม ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการที่ตั้งไว้หรือไม่

4.1 ผลการทดลอง

ในการทดลองการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตรทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการปมน้ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างระบบเดิมกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้เก็บผลการทดลองดังนี้

1. การคำนวณค่าไฟจากการรับไฟจากระบบไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 4.1
2. การทดสอบประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร (อัตราปกติ) ดังแสดงในตารางที่ 4.2
3. การคำนวณค่าไฟจากการรับไฟจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร ดังแสดงในตารางที่ 4.3
4. การทดสอบประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร (อัตราปกติ)
5. รายการอุปกรณ์และค่าใช้จ่าย ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 การคำนวณค่าไฟจากการรับไฟจากระบบไฟฟ้า

โหนดไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ชั่วโมง/วัน	วัน/เดือน	กำลังไฟฟ้าใช้งาน (วัตต์)	เปอร์เซ็นต์
ปมน้ำ	1	1500	4	30	180000	100%
พลังงานไฟฟ้า (Unit หรือ kW-Hour)						180.00

ตารางที่ 4.2 การทดสอบประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร (อัตราปกติ)

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า	180.00	หน่วย/เดือน	
การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft)	-11.6	สตางค์/หน่วย	
ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน			
1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า			
หน่วยที่ 1-100	3.0382	303.82	บาท
เกินกว่า 100 หน่วยไป	3.0382	243.056	บาท
รวม		546.876	บาท
1.2 ค่าบริการ		8.19	บาท
รวมค่าไฟฟ้าฐาน		555.066	บาท
ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)			
จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า Ft	-0.116	-20.88	บาท
ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%			
(ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า Ft) x 7%	0.07	37.39302	บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า		571.579	บาท

จากตารางที่ 4.1-4.2 เป็นการใช้งานปมน้ำจากระบบไฟฟ้าการคำนวณค่าไฟ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน 18000 วัตต์ จำนวน 4 ชั่วโมง 30วัน โดยจะใช้พลังงานทั้งหมด 180 kW-Hour ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 180.00 หน่วย/เดือน โดยสามารถนำมาคำนวณเป็นเงินค่าไฟฟ้า 571.579 บาท

ตารางที่ 4.3 การคำนวณค่าไฟจากการรับไฟจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร

โหลดไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ชั่วโมง/วัน	วัน/เดือน	กำลังไฟฟ้าใช้งาน (วัตต์)	เปอร์เซ็นต์
ปมน้ำ	1	1500	4	30	18000	10%
พลังงานไฟฟ้า (Unit หรือ kW-Hour)						18.00

ตารางที่ 4.4 การทดสอบประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร (อัตราปกติ)

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า	18.00	หน่วย/เดือน	
การปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft)	-11.6	สตางค์/หน่วย	
ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน			
1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า			
หน่วยที่ 1-100	3.0382	54.6876	บาท
เกินกว่า 100 หน่วยเป็นต้นไป	3.0382	0	บาท
รวม		54.6876	บาท
1.2 ค่าบริการ		8.19	บาท
รวมค่าไฟฟ้าฐาน		62.8776	บาท
ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)			
จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า Ft	-0.116	0	บาท
ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%			
(ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า Ft) x 7%	0.07	4.2557	บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า		65.0448	บาท

จากตารางที่ 4.3-4.4 เป็นการใช้งานปมน้ำจากระบบไฟฟ้าการคำนวณค่าไฟจากการรับไฟจากระบบ กำหนด 10% กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน 18000 วัตต์ จำนวน 4 ชั่วโมง 30วัน โดยจะใช้พลังงานทั้งหมด 18 kW-Hour ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 18 หน่วย/เดือน โดยสามารถนำมาคำนวณเป็นเงินค่าไฟฟ้า 65.04487 บาท

ระบบโซลาเซลล์ แบบมีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายไฟให้ปมน้ำ 1500 แอมแปร์ 1PH 220V 1 เครื่อง เปิดวันละ 4 ชม. มีรายการอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายดังนี้

ตารางที่ 4.5 รายการอุปกรณ์และค่าใช้จ่าย

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาของต่อหน่วย (บาท)	ราคา (บาท)
1	แผงโซลาเซลล์โพลีคริสตัลไลน์ 320W	4	6,800	27,000

2	เครื่องควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ pwm 40A 12V	1	2,790	2,790
3	แบตเตอรี่โซลาเซลล์แบบเติมน้ำกรด แบตเตอรี่ Niko N200 12 โวลต์ 200 แอมป์	2	5,850	23,400
4	อินเวอร์เตอร์ PSW ชนิดชดลวด 2000W 12V	1	20,000	20,000
5	แอมป์มิเตอร์	1	180	180
6	โวลท์มิเตอร์	1	180	180
7	ค่าติดตั้ง พรอมโครงสร้างรองรับแผงบน หลังคา และอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งอื่นๆ (ไม่รวมชิ้นวางแบตเตอรี่ และโครงสร้างหลังคา)	1	7,000	7,000
รวม				80,550

การคิดงบประมาณหาทุนต้องใช้ที่

1. ในการลงทุนในครั้งนี้ใช้งบประมาณ 80,550 บาท
2. แบตเตอรี่มีอายุใช้งาน 5 ปี แบตเตอรี่จะเปลี่ยน ในปีที่ 5 แบตเตอรี่ต้องเปลี่ยน 3 รอบ ใช้งบไป 70,200 บาท
3. แผงโซลาเซลล์ มีอายุใช้งาน 20-25 ปี

ดังนั้น นำงบประมาณการลงทุนทั้งหมดบวกกับการเปลี่ยนแบตเตอรี่ในปีที่ 5 จะได้อ $80,550 + 70,200 = 150,750$ บาท ในระบบเดิมรายจ่ายต่อ 1 ปี การคำนวณค่าไฟจากการรับไฟจากระบบไฟฟ้าใช้เงินไป 571 บาท ต่อเดือน $\times 12$ เดือน = 6,852 บาท แล้วคิดระยะเวลาคืนทุน นำงบประมาณทั้งหมดหารกับรายจ่ายต่อ 1 ปี $150,750 / 6,852 = 22$ ปี

4.2 ชุดทดลองการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร

ชุดทดลองการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร ทำขึ้นมาเพื่อได้ทำการสาธิตในการทำงานและเก็บค่าเพื่อเพื่อหาประสิทธิภาพของการทำงานระหว่างโซลาเซลล์และการไฟฟ้า โดยมี ATS เป็นตัวตัดต่อวงจรทั้งสอง ดังแสดงรูปดังนี้

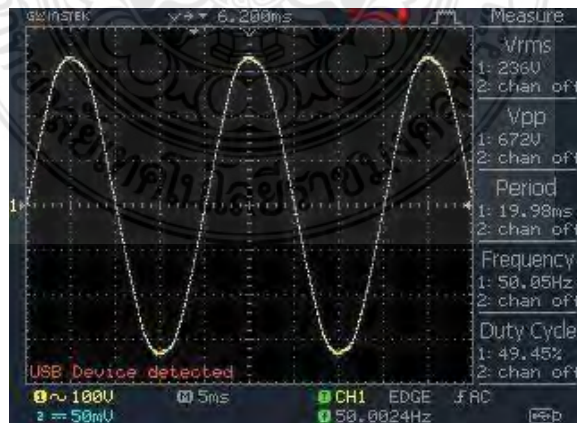
1. ชุดทดลองการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1
2. สัญญาณรูปคลื่นอินเวอร์เตอร์โดยใช้ออสซิลอสโคปวัด ดังแสดงในรูปที่ 4.2
3. สัญญาณรูปคลื่นการไฟฟ้าโดยใช้ออสซิลอสโคปวัด ดังแสดงในรูปที่ 4.3
4. วัดค่าความสว่างของหลอดไฟ 100 วัตต์ จำนวน 2 หลอด จากการไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.4
5. วัดค่าความสว่างของหลอดไฟ 100 วัตต์ จำนวน 2 หลอด จากโซลาเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5
6. ค่าความสว่างของหลอดไฟ 100 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ดังแสดงในตาราง 4.6
7. การทดสอบช่วงเวลาที ATS ทำงานจากแรงดันโซลาเซลล์เปลี่ยนเป็นแรงดันการไฟฟ้าโดยใช้นาฬิกาจับเวลา ดังแสดงในตาราง 4.7



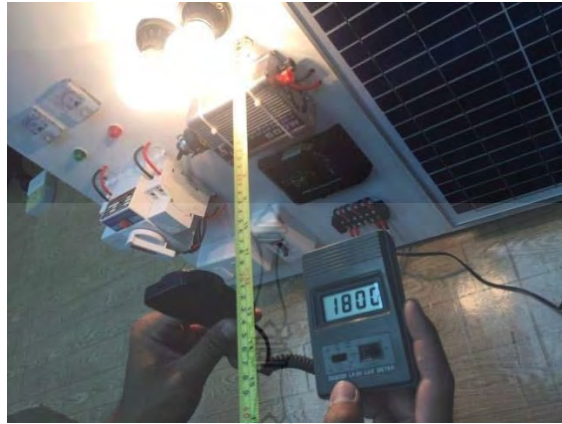
รูปที่ 4.1 ชุดทดลองการประยุกต์ใช้ปมนำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร



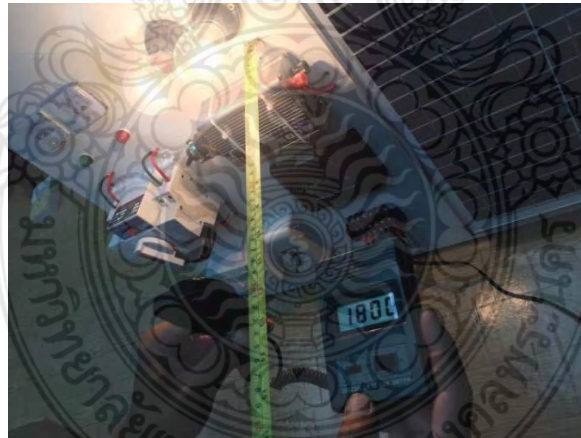
รูปที่ 4.2 สัญญาณรูปคลื่นอินเวอร์เตอร์โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัด



รูปที่ 4.3 สัญญาณรูปคลื่นการไฟฟ้าโดยใช้ออสซิลโลสโคปวัด



รูปที่ 4.4 วัดค่าความสว่างของหลอดไฟ 100 วัตต์ จำนวน 2 หลอด จากการไฟฟ้า



รูปที่ 4.5 วัดค่าความสว่างของหลอดไฟ 100 วัตต์ จำนวน 2 หลอด จากโซลาเซลล์

ตาราง 4.6 ค่าความสว่างของหลอดไฟ 100 วัตต์ จำนวน 2 หลอด

รายการ	การไฟฟ้า			โซล่าเซลล์		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ความสว่าง (LUX)	1800	1810	1800	1800	1804	1812

จากตาราง 4.5 เป็นการวัดความสว่าง (LUX) โดยมีแหล่งจากโซล่าเซลล์และแหล่งจ่ายการไฟฟ้า การทดลองจากโซล่าเซลล์ค่าที่วัดได้คิดเป็นค่าเฉลี่ยความสว่างได้ 1806 LUX การทดลองจากการไฟฟ้า ค่าที่วัดได้คิดเป็นค่าเฉลี่ยความสว่างได้ 1804 LUX การวัดความสว่างทั้งสองแหล่งจ่ายจะเห็นได้ว่าไม่มีผลกระทบต่อหลอด

ตาราง 4.7 การทดสอบช่วงเวลาที่ใช้ ATS ทำงานจากแรงดันโซล่าเซลล์เปลี่ยนเป็นแรงดันการไฟฟ้าโดย ใช้นาฬิกาจับเวลา

รายการ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
เวลา (วินาที)	1	1	1

จากตารางที่ 4.6 เป็นการดำเนินงานของ ATS เมื่อแรงดันโซล่าเซลล์ถูกตัดจากวงจร ทำให้ ATS เลือกแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้าที่เวลา 1 วินาที



บทที่ 5 สรุปผลและขอเสนอแนะ

ในการดำเนินการสร้างการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร จะเป็นการสร้างเพื่อเปรียบเทียบ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแล้ว จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก จากการออกแบบและการสร้างการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร ยังพบว่าจะได้ประสิทธิภาพที่ดีแล้วยังช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและสามารถนำพลังงานทดแทนมาใช้ในการทำงานของเครื่องปมทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น วัตถุประสงค์ของโครงการสิ่งที่มีความสำคัญในการดำเนินโครงการนี้คือ การวางแผนการทำงานซึ่งเป็นการเตรียมการหรือกำหนดแนวทางในการทำงานล่วงหน้าแล้วลงมือปฏิบัติหรือดำเนินงานตามแผนจนสิ้นสุด จนเครื่องสามารถประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร วัตถุประสงค์ที่ต้องการทำให้คณะผู้วิจัยได้รับความรู้ ทักษะและประสบการณ์ในการดำเนินโครงการ ทั้งในสวนทฤษฎีที่นำความรู้ทางด้านวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

5.1 สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร พบว่า การใช้งานปมน้ำจากระบบไฟฟ้า การคำนวณค่าไฟจากระบบไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน 1,500 วัตต์ จำนวน 4 ชั่วโมง 30 วัน โดยจะใช้พลังงานทั้งหมด 180 kW-Hour ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 180.00 หน่วย/เดือน โดยสามารถนำมาคำนวณเป็นเงินค่าไฟฟ้า 571.579 บาท ซึ่ง เมื่อทำการทดสอบด้วยการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์แทนการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานโดยใช้ งานปมน้ำจากระบบไฟฟ้าการคำนวณ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน 1,800 วัตต์ จำนวน 4 ชั่วโมง 30 วัน โดยจะใช้พลังงานทั้งหมด 18 kW-Hour ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 18 หน่วย/เดือน โดยสามารถนำมาคำนวณเป็นเงินค่าไฟฟ้า 65.0448 บาท สามารถสรุปได้ว่า การสร้างการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร ครั้งนี้เมื่อนำมาใช้กับปมน้ำโดยปกติจะสามารถช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้และยังสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปมน้ำให้ปมน้ำและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพงบประมาณที่ใช้ในโครงการนี้ใช้เวลาคืนทุน 22 ปี

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

5.2.1 ได้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตร

5.2.2 ลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าต่อเดือนไหลต่น้อยลงเมื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แทนพลังงานไฟฟ้า

5.2.3 ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อการเกษตร

5.2.4 มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

5.3 ขอเสนอแนะ

จากการศึกษาการสร้างการประยุกต์ใช้ปมน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบผสมเพื่อการเกษตรจะสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์และการปรับปรุงแก้ไขให้อุปกรณ์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไปตามขอบเขตที่วางไว้ก็ตาม แต่ก็มีบางส่วนที่ผู้ศึกษามีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

5.3.1 ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ใหม่มากขึ้นเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามกำหนดการไม่เกิดความล่าช้าในการทำงาน

5.3.2 ควรมีการเก็บไฟฟ้าสำหรับการใช้งานให้เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้สามารถงานเครื่องได้นานขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. A. Thankappan, and et. al., “Pico-hydel hybrid power generation system with an open well energy storage,” IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 11, no. 3, pp.740-749, 2017.
- [2] M. F. Mohd Azam, and et. al., “Hybrid water pump system for hilly agricultural site,” 7th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), pp.109-114, 2016.
- [3] นภัทร วจินเทพินทร์. (2553). “การติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยตนเอง.” (ครั้งที่ 1). บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. “คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนชุดที่ 2 (พลังงานแสงอาทิตย์).” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.dede\(EECON-34\).go.th/article_attach/h_solar.pdf](http://www.dede(EECON-34).go.th/article_attach/h_solar.pdf)
- [5] กันต์ ปานประยูร. (2560). “การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์แผงเซลล์แสงอาทิตย์.” โครงการระบบบ้านพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนชนบท. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [6] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. (2555). “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.” พิมพ์ครั้งที่ 12. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง.
- [7] บริษัท ไตรเทพ อินดัสทรี จำกัด. (2561). “หลักการการทำงานของเครื่องควบคุมชาร์จ Charger controller.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.ลดค่าไฟฟ้า.com/14507796/-หลักการการทำงานของเครื่องควบคุมชาร์จ-charger-controller>
- [8] พัชพล อ้นจุกฉุน. (2559). “การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบผลิตไฟฟ้าโดยคำนึงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดและการผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] ฉัตรตฤณ ทองแสง. (2555). “การหาขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาถึงการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและความถี่.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] Battery University. (2561). “Learn About Batteries.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://batteryuniversity.com/learn/>

- [11] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). “คู่มือการบริหารจัดการและการบำรุงรักษาระบบประปาชนบท.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://202.129.59.73/tn/submersible%20pumps.files/submersible%20pumps.htm>
- [12] อนุตร จำลองกุล. 2541. “ปั๊ม พัดลม เครื่องอัด และระบบจ่าย.” พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.
- [13] Jozef Paska ; Piotr Biczal. “Hybrid Photovoltaic-Fuel Cell Power Plant”. IEEE Russia Power Tech. pp.1 - 5. 2005.
- [14] Muhammad Sifatul Alam Chowdhury. and et. Al. “Modelling and simulation of power system of battery,solar and fuel cell powered Hybrid Electric Vehicle”. 3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT). pp.1-6. 2016.
- [15] P. Thounthong. and et. Al. “Control Algorithm of Renewable Energy Power Plant Supplied by Fuel Cell/Solar Cell/Supercapacitor Power Source”. International Power Electronics Conference - ECCE ASIA. pp. 1155 – 1162. 2010.
- [16] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2526. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ



คณะผู้วิจัย



รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักษ์ไทยเจริญชีพ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

การศึกษา

ปร.ด. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คอ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์

งานวิจัยที่สนใจ

การวางแผนและปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลัง ผลกระทบของการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับสามัญวิศวกร สาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง
ใบอนุญาตผู้ตรวจสอบอาคาร

สมาชิกสมาคมวิชาชีพ

- สมาคมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า (แห่งประเทศไทย)
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) สามัญสมาชิก ตลอดชีพ
- Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association of Thailand (ECTI Thailand)
- Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)
- The Institution of Engineering and Technology (IET)
- International Association of Computer Science and Information Technology (IACSIT)

คณะผู้วิจัย



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัส บุญเที่ยรทอง
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail: manat.b@rmutp.ac.th

การศึกษา

ปร.ด.(เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
คอ.ม.(เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วศ.บ.(วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์)	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

งานวิจัยที่สนใจ

เรื่อง Service Restoration of Distribution System with Distributed Generation for Reliability Worth

เรื่อง การวิเคราะห์ผลกระทบของตำแหน่งฟลอตต์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

เรื่อง Technique for Voltage Control in Distribution System

เรื่อง Transmission Expansion Planning with Economic Dispatch and N-1 Constraints

เรื่อง ความเครียดสนามไฟฟ้าของโพรงภายในเนื่อฉนวนสายเคเบิลไฟฟ้าแรงสูง 11 kV

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- การจัดการด้านอนุรักษ์พลังงาน
- การตรวจสอบความปลอดภัยในอาคารควบคุม