ฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับแผงโซล่าร์เซลล์สำหรับตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด
โดยใช้การควบคุมแบบสัดส่วน, ปริพันธ์ และอนุพันธ์
FLYBACK INVERTER CONNECTED TO SOLAR CELLS FOR TRACKING
MAXIMUM POWER POINT USING PID CONTROLLER

โดย

นางสาวนภัสสร หงษ์หิรัญ
นางสาวพนิดา ลิภา
นายยุทธนันท์ จินามณี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

ฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับแผงโซล่าร์เซลล์สำหรับตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้การควบคุมแบบสัดส่วน, ปริพันธ์ และอนุพันธ์

FLYBACK INVERTER CONNECTED TO SOLAR CELLS FOR TRACKING MAXIMUM POWER POINT USING PID CONTROLLER

โดย

นางสาวนภัสสร หงษ์หิรัญ
นางสาวพนิดา ลิภา
นายยุทธนัน จินามณี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLYBACK INVERTER CONNECTED TO SOLAR CELLS FOR TRACKING MAXIMUM POWER POINT USING PID CONTROLLER

NAPASSORN HONGHIRUN
PHANIDA LIPHA
YUTTHANAN JINAMANEE

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENERGY ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

ฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับแผงโซล่าร์เซลล์สำหรับตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้การควบคุมแบบสัดส่วน, ปริพันธ์ และอนุพันธ์

FLYBACK INVERTER CONNECTED TO SOLAR CELLS FOR TRACKING MAXIMUM POWER POINT USING PID CONTROLLER

โดย

นางสาวนภัสสร หงษ์หิรัญ
นางสาวพนิดา ลิภา
นายยุทธนัน จินามณี

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล
ดร.ภูมิ คงห้วยรอบ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับแผงโซล่าร์เซลล์สำหรับตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด
โดยใช้การควบคุมแบบสัดส่วน, ปริพันธ์ และอนุพันธ์

ผู้จัดทำ

1. นางสาวนภัสสร หงษ์หิรัญ
2. นางสาวพนิดา ลิภา
3. นายยุทธนัน จินามณี

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ภูมิ คงห้วยรอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลายแบ็คอินเวอเตอร์เชื่อมต่อกับแผงโซล่าร์เซลล์เพื่อตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยการควบคุมแบบสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์

นางสาว นภัสสร หงษ์หิรัญ
นางสาว พนิดา ลิภา
นาย ยุทธนัน จินามณี
รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.ภูมิ คงห้วยรอบ อาจารย์ที่ปรึกษา
พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยระบบที่นำเสนอประกอบไปด้วยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าโดยใช้วงจรฟลายแบ็คอินเวอเตอร์ชนิดทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ที่วงจรยังมีความไม่ซับซ้อน ราคาถูกและสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพระบบควบคุมแบบพีไอดีถูกใช้สำหรับการควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งนำค่าความชันจากกราฟ กำลัง-แรงดัน ที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่ถูกกำหนดไว้ คือที่ความชันเท่ากับศูนย์ (จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด) ด้วยวิธีการที่นำเสนอนี้ทำให้วงจรที่ออกแบบขึ้นสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพตลอดย่านการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLYBACK INVERTER CONNECTED TO SOLAR CELL FOR TRACKING MAXIMUM POWER POINT USING PID CONTROLLER

Miss Napassorn Honghirun

Miss Phanida Lipha

Mr. Yuttanan Jinamanee

Asst.1 Prof.Dr. Somyot Kaitwanidvilai

Asst.2 Dr. Poom Konghuayrob

2018

ABSTRACT

This project presents the maximum power point tracking (MPPT) from photovoltaic (PV) cells. The proposed system consists of a Flyback inverter that operates in discontinuous conduction mode. The proposed system circuit is not complicated, low cost and transfers power with high efficiency. PID controller is utilized to perform maximum power point tracking, which measured slop of PV curve is compared to the reference value that is zero (MPP). Based on the proposed technique, the designed circuit can draw the maximum power readily and efficiently throughout the operation range of the system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ดร.ภูมิ คงห้วยรอบ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำ ข้อคิดเห็น และคำปรึกษาต่างๆในการทำโครงงานฉบับนี้ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานนี้มาด้วยดีเสมอมา และได้กรุณาตรวจและแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตัดสินใจเลือกหัวข้อปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ พี่ๆและเจ้าหน้าที่ประจำภาควิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์มาด้วยดีตลอด

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ในอาคาร ECC ห้อง 305 ที่คอยให้คำแนะนำและคอยให้คำปรึกษาโครงงานนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณกมลวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงงาน

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อน พี่ และน้องๆ ที่ให้การช่วยเหลือในการทำโครงงานครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดีจึงขอขอบคุณมาด้วย ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	3
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	4
1.6 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์	5
2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน	5
2.1.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.1.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว	7
2.1.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน	8
2.1.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารประกอบของคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์	8
2.1.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.1.4 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ 12
2.2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 15
2.2.1 การทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 15
2.2.2 การคำนวณหาค่าเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง 17
2.3 การมอดูเลชัน 22
2.4 ฮาร์มอนิกและตัวประกอบกำลัง 22
2.5 การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด 24
2.6 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ 25
2.6.1 ทฤษฎีสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ 26
2.6.1.1 สัดส่วน 26
2.6.1.2 ปริพันธ์ 27
2.6.1.3 อนุพันธ์ 28
2.6.1.4 ผลรวม 29
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างชุดควบคุมวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 30
3.1 โครงสร้างของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 30
3.2 การออกแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์แบบควบคุม
ด้วยวิธีการสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ 31
3.2.1 หลักการพื้นฐานของการม็อดดูเลชันความกว้างพัลส์ 31
3.2.1.1 แผนผังการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับโหลด 31
3.2.2 พิกัดอุปกรณ์ของอินเวอร์เตอร์ 33
3.2.2.1 พิกัดกำลังของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 33
3.2.2.2 พิกัดกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 34
3.2.2.3 ขนาดพิกัดของตัวสวิตซ์ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง 34
3.3 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจร Flyback Inverter 36
3.3.1 ชุดตรวจจับกระแส (DC Current sensor) 36
3.3.2 ชุดตรวจจับแรงดันไฟตรง (DC voltage sensor) 37
3.3.3 วงจรขับเกต (Gate driver) 37
3.3.6 Microcontroller 39
3.3.6.1 ควบคุมฟลายแบค อินเวอร์เตอร์ 39
3.3.6.2 PID controller 40
3.3.7 การคูณ 41
3.3.8 การเปรียบเทียบสัญญาณ 41
3.4 การออกแบบระบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 41
3.4.1 ระบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย PID controller 41
บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง 45
4.1 การสร้างแบบจำลองกราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ 45
4.2 การจำลองระบบควบคุมแบบเทคนิคที่นำเสนอบนวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 47
4.3 การทดลองการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 50
4.4 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็ว 59
4.5 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 62
4.5.1 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 200 W/m^2 63
4.5.2 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2 64
4.5.3 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 800 W/m^2 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา 70

5.1 สรุปผลการทดลอง 70

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง 70

5.3 แนวทางการพัฒนา 71

เอกสารอ้างอิง 72

ภาคผนวก 74

ประวัติผู้เขียน 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ 6

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย 6

2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน 7

2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว 8

2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน 8

2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ 9

2.7 รูปอธิบายหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 9

2.8 การทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ 10

2.9 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อความเข้มแสงจากมากไปน้อย 11

2.10 กราฟความสัมพันธของกระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 12

2.11 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์โดยต่อเข้ากับโหลด 13

2.12 กราฟแสดงคุณลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ 14

2.13 ก) วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวก ข) สวิตช์ S_{pri} และ S_{pri} ทำงานในขณะที่ D_1 หยุดนำกระแส ค) สวิตช์ S_{pri} หยุดทำงานสวิตช์ S_{sec1} ทำงาน 16

2.14 สัญญาณกระแสปฐมภูมิและทุติยภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ และลำดับการทำงานของสวิตช์ Spri ,Ssec1,Ssec2 รวมทั้งวิธีการสร้างสัญญาณ PWM 17

2.15 ผลกระทบจากฮาร์มอนิก 24

2.16 เส้นโค้งกระแส – แรงดัน จุดที่เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 25

2.17 โครงสร้างการทำงานของสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ 26

2.18 กราฟ PV ต่อเวลา, Kp กำหนดเป็นสามค่า (Ki และ Kd คงที่) 27

2.19 กราฟ PV ต่อเวลา, Ki กำหนดเป็นสามค่า (Kp และ Kd คงที่) 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.20 กราฟ PV ต่อเวลา, สำหรับ Kd สามค่า (Kp และ Ki คงที่) 29

3.1 โครงสร้างของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 31

3.2 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่มีตัวตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ แบบใช้ค่าความชันของกราฟ PV ออกแบบบนโปรแกรม MATLAB/Simulink 32

3.3 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 32

3.4 วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวก ก) สวิตซ์ Spri และ Ssec1 ทำงาน ข) สวิตซ์ Spri หยุดทำงานสวิตซ์ Ssec1 ทำงาน 34

3.5 ตารางคุณลักษณะของไอซีเบอร์ ACS712-30A 37

3.6 ก) Pin-out diagram ของไอซีเบอร์ ACS712-30A ข) ไอซีเบอร์ ACS712-30A 38

3.7 ไอซี HCMODU0047 38

3.8 วงจรพื้นฐานทั่วไปของ IC High-Side Driver 39

3.9 Functional Block Diagram ของ IC IR2110 40

3.10 ก) IR2110 Pin out diagram ข) IC IR2110 40

3.11 สัญญาณเอาท์พุทของ ZCD 41

3.12 ZCD block diagram 41

3.13 Dead time timing chart 42

3.14 ก) pin out diagramของ dspic4011 ข) dspic4011 40pin PDIP 42

3.15 ก) Arduino UNO R3 pin out diagram ข) บอร์ด Arduino UNO R3 43

3.16 ก) กราฟแสดงคุณลักษณะของแรงดันและกระแสของแผงโซล่าร์เซลล์ ข) กราฟแสดงคุณลักษณะของแรงดันและกำลังไฟฟ้าของแผงโซล่าร์เซลล์ 44

3.17 แผนผังการทำงาน(Flow chart) ของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยการควบคุมแบบPID 44

4.1 วงจรทดสอบหาคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง 46

4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง 46

4.4 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink 47

4.5 (ก) สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

(ข) สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 49

4.6 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ต้นแบบสำหรับใช้ทำการทดลอง 51

4.7 สัญญาณ PWM เพื่อนำไปขับสวิตซ์มอสเฟสฝั่งปฐมภูมิ 52

4.8 สัญญาณเพลาฝั่งทุติยภูมิที่มีสัญญาณความถี่ตรงกันกับมอสเฟสฝั่งปฐมภูมิ 50 Hz 53

4.9 (ก) สัญญาณกระแสทางด้านปฐมภูมิจากการทดลอง
(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิจากการทดลอง 54

4.10 (ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิที่ได้จากการทดลอง
(ข) สัญญาณกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิที่ได้จากการทดลอง 55

4.11 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 59

4.12 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 100 W/m^2 60

4.13 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 200 W/m^2 60

4.14 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 61

4.15 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 800 W/m^2 61

การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 200 $\mathrm{W/m^2}$

4.16 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$ 63

4.17 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$ 63

4.18 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.5$ 64

การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 500 $\mathrm{W/m^2}$

4.19 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$ 65

4.20 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$ 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.21 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.5$ 66
การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 800 $\mathrm{W/m^2}$
4.22 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$ 67
4.23 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$ 67
4.24 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.5$ 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานเพื่อการพัฒนาประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ทรัพยากรธรรมชาติในประเทศที่ สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงาน เช่น น้ำมันก๊าซธรรมชาติและถ่านหินมีแนวโน้มที่ลดลงซึ่งอาจหมดไปในที่สุด ทำให้ต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ จำนวนมากเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสภาวะเศรษฐกิจของชาติและคุณภาพชีวิตของประชาชน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการแสวงหาแนวทางเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคต ปัญหาด้านความขาดแคลนพลังงานเป็นสิ่งที่หลายฝ่ายให้ความสำคัญเป็นอย่างมากและพยายามหาทางแก้ไข เนื่องจากความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนของประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้ากลับมีปริมาณจำกัดและลดลงเรื่อยๆ อีกทั้งการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล (ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ) ยังส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมาก ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนจึงมีความจำเป็นมากในการแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรประกอบกับลักษณะทางภูมิประเทศ และภูมิอากาศ ทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละวันอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง รวมทั้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด (Clean Energy) ไม่สร้างมลภาวะให้กับสภาพแวดล้อมและยังเป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในประเทศอย่างยั่งยืน และเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) [1] ที่มีเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี 2579 ถึง 6000MW ทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น อีกทั้งเทคโนโลยีด้านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีราคาที่ถูกลงตามลำดับ อย่างไรก็ตามการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แปรผันพลังงาน หรือ อินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าได้ ดังนั้นการพัฒนาระบบแปลงผันพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จะช่วยให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ระบบแปลงผันพลังงานในโครงงานนี้จะนำเสนอการใช้ฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ในการแปลงกำลังไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า ในโหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conduction Mode: DCM) ซึ่งในการทำงานในโหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องคือกระแสในตัวเหนี่ยวนำของหม้อแปลงฟลายแบค ตกเป็นศูนย์ก่อนที่จบคาบเวลาของการสวิตช์ เนื่องจากพลังงานที่สะสมในขดลวดปฐมภูมิจะถ่ายโอนไปยังด้านทุติยภูมิอย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะเริ่มการทำงานรอบใหม่ จึงเหมาะกับการนำมาใช้ในการทำงานร่วมกันกับแผงโซล่าร์เซลล์ เพราะแรงดันอินพุตที่มาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกถ่ายโอนไปยังด้านทุติยภูมิจนหมด อีกทั้งแรงดันเอาท์พุตที่ได้ยังมีขนาดเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการทำงานของหม้อแปลงในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์นั่นเอง

นอกจากจะพัฒนาระบบแปลงผันพลังงาน โครงงานนี้ยังให้ความสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากการนำอัลกอริทึ่ม Maximum Power Point Tracking (MPPT)เพื่อนำมาควบคุมแรงดันที่จะจ่ายให้กับฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการตามรอยจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด(MPP)ของระบบ ซึ่งจุด MPP ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงและอุณหภูมิของแผงในช่วงเวลานั้นๆ การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจึงมีความสำคัญต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นิยามของอัลกอริทึ่ม MPPTในทางทฤษฎีจะเป็นกระบวนการเพื่อให้ได้มาซึ่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัลกอริทึมเหล่านี้สามารถอธิบายออกมาในรูปแบบต่างๆทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ หากเราควบคุมให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ก็จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในการทำงานของ MPPT ในโครงงานนี้นำเสนอการใช้การควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative Controller) ซึ่งเป็นการนำคุณสมบัติของตัวควบคุมวงจร P-Controller, I-Controller และ D-Controller มารวมกัน เพื่อนำมาใช้ในการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยการใช้ค่าความชันจากกราฟ PV curve ของแผงโซล่าร์เซลล์จากค่าที่วัดได้จาก Voltage and current sensor มาใช้ในการหาค่า Error (setting point - ค่าที่วัดได้) และใช้การควบคุมแบบ PID ในการหาจุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด(ความชันมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะตั้งให้เป็นค่า Setting point) เนื่องจาก Plant(ระบบฟลายแบคอินเวอเตอร์เชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์) มีการรบกวนระบบจากภายนอกจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิเป็นผลให้ process ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด ดังนั้นควรจะใช้การควบคุมแบบ Derivative ควบคู่กับแบบ Proportional และแบบ Integral ซึ่งจะมีการตอบสนองที่รวดเร็ว เป็นผลให้ระบบเข้าสู่ set point ได้รวดเร็วขึ้นและมีคาบการแกว่งที่น้อยลงทำให้ระบบมีความเสถียรภาพ ในโครงงานนี้จะใช้ MATLAB Simulink ในการออกแบบและจำลองการทดลองเพื่อให้ได้ผลทดลองตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจะทำการจัดทำวงจรฟลายแบคอินเวอเตอร์ตามการออกแบบ และทำเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของอินเวอเตอร์และการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในส่วนของผลการทดลองที่ได้และชิ้นงานจะนำเสนอในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

จุดมุ่งหมายในการทำวิจัยนี้เพื่อสร้างวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ต้นแบบสำหรับระบบผลิตพลังงานด้วยแสงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการดึงกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดจนสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างปลอดภัยและไม่มีอันตราย

1.2.3 เพื่อศึกษาด้านการประยุกต์ใช้วงจรแปลงผันพลังงานสำหรับงานด้านพลังงานทดแทน

1.2.4 เพื่อสร้างต้นแบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อโหลด 550K วัตต์ สำหรับแผงโซล่าเซลล์หนึ่งแผงสำหรับการนำไปใช้จริงต่อไป

1.2.5 เพื่อศึกษาการการทำงานของระบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking) โดยใช้การควบคุมแบบ PID

1.2.6 เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการใช้อุปกรณ์ต่างๆ

1.2.7 เพื่อลดพื้นที่ในวงจร เพราะวงจรเขียนจากโปรแกรมเป็นส่วนใหญ่

1.2.8 เพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

โครงงานการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา ออกแบบ รวมทั้งสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ชุดแปลงผันกำลังไฟฟ้าในการเชื่อมต่อกับโหลด สำหรับเซลล์แผงอาทิตย์หนึ่งแผงพิกัดกำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ โดยขอบเขตของโครงงานนี้คือสร้างต้นแบบของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์และสามารถเชื่อมต่อกับโหลดได้ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงที่นำระบบ MPPTเข้ามาควบคุม ทำให้กำลังที่ได้จากแผลงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละความเข้มแสงและจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม MATLAB /Simulink รวมทั้งศึกษาผลที่ได้จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์ ปรับปรุงและพัฒนาวงจรต้นแบบฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในขั้นต่อไป

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

1.4.1 จัดเตรียมหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย ศึกษาข้อมูลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมด สำหรับงานวิจัยนี้ มุ่งศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวงจรฟลายแบ็ค-อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.2 จัดหาและเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมด รวมถึงศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ

1.4.3 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

1.4.4 ทดสอบและปรับปรุงเครื่องต้นแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่ต่อเข้ากับแผงโซล่าร์เซลล์

1.4.5 สรุปผลของงานวิจัย เพื่อจัดทำวิทยานิพนธ์ต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.5.1 ได้รับความรู้จากการศึกษาทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่ติดตั้งกับแผงโซล่าร์เซลล์

1.5.2 ประสิทธิภาพของแผงโซล่าร์เซลล์เพิ่มขึ้นจากการใช้งานแบบปกติ

1.5.3 มีพื้นที่ในการติดตั้งน้อยลง อุปกรณ์น้อยลง จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายลดลงตามไปด้วย

1.5.4 การควบคุมแบบ PID เพื่อหา Maximum Power Point ในแผงโซล่าร์เซลล์ สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องได้

1.6 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในวิทยานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับบนี้จะประกอบไปด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์สำหรับเชื่อมต่อกับโหลด 550K วัตต์ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคโมดูลกระแสสลับ ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่1 กล่าวถึงความสำคัญที่มาของปัญหาวัตถุประสงค์ของโครงงาน ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน รวมถึงวิธีดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงการ ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่2 กล่าวถึงทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์ การประยุกต์ใช้งานชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่าง ๆ หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ คุณสมบัติต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ทฤษฎีชุดแปลงผันกำลังไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ และหลักการพื้นฐานของการมอดูเลชัน นิยามต่าง ๆ ของหลักการ และหลักการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย PID

บทที่3 กล่าวถึงการออกแบบและการจัดสร้างชิ้นงานจริง การออกแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยกระแส พิกัดต่างๆ ของอุปกรณ์ในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ รวมถึงวิธีการคำนวณในการออกแบบวงจรกำลัง และอธิบายการทำงานในส่วนต่างๆของวงจรควบคุมของฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ รวมทั้งอธิบายวิธีการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ PID controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือเซลล์ photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึงกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959 ดังนั้น สรุปได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

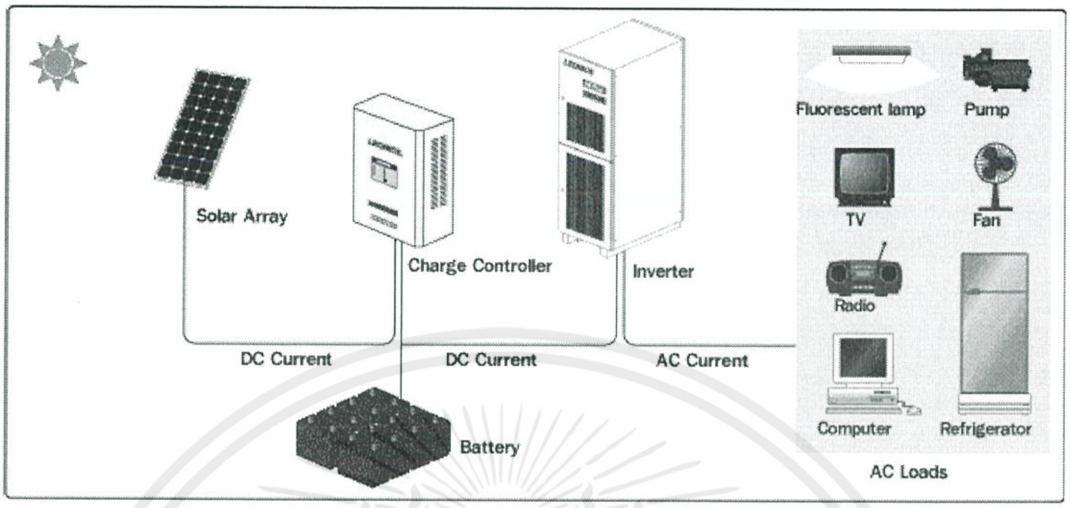
พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดและยั่งยืน มีการใช้เทคโนโลยีหลากหลายแบบในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนและไฟฟ้า หนึ่งในนั้นคือเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน แกลเลียมอาร์เซไนด์และแคดเมียม เทลลูไรด์ ที่จะแปลงแสงแดดเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง จะเห็นได้ว่าในยุคที่จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การใช้พลังงานก็เติบโตขึ้นไม่แพ้กัน ในขณะที่เชื้อเพลิงฟอสซิลก็กำลังจะหมดไป ใครๆก็พูดถึงพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำมาใช้ได้ไม่มีวันหมดอย่างพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมนำมาใช้ในบ้านพักอาศัยมากขึ้น แต่ก็ยังมีข้อเสียในเรื่องของต้นทุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีทั้งราคาสูงและมีน้ำหนักมาก ทำให้นักวิจัยต่างก็มีความต้องการที่จะพัฒนาเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ในหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นการดึงพลังงานมาใช้ให้ได้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด หรือด้านวัสดุที่ใช้ทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีต้นทุนที่ต่ำลง เป็นต้น

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน

ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีการประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้านโดยแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้ เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ จะถูกออกแบบให้ใช้งานตามพื้นที่ชนบทที่ไร้ระบบจ่ายไฟจาก National Grid หลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา กลางวันเซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับพลังงานเพื่อผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมประจุไฟฟ้าพลังงานส่วนเกินเก็บไว้ในแบตเตอรี่พร้อมกัน กลางคืนพลังงานที่เก็บเอาไว้ใน

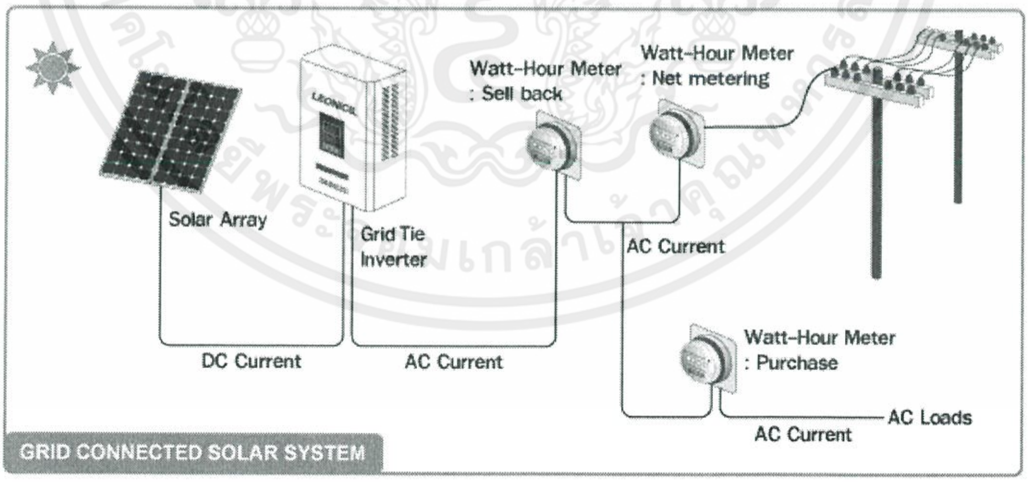
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ก็จะถูกจ่ายให้แก่โหลด ระบบนี้เหมาะกับสถานที่ไม่มีไฟฟ้า หรือที่ไฟเข้าไม่ถึง ไม่คุ้มที่จะเดินลากสายไฟยาวๆเข้ามาใช้เนื่องจากต้นทุนสูง



รูปที่ 2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ [2]

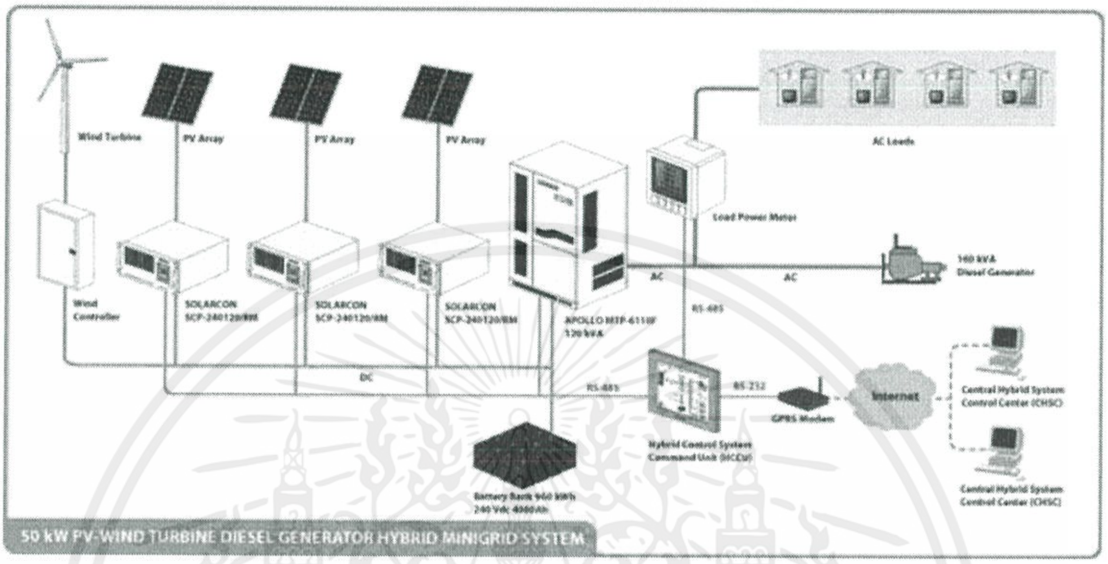
เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย จะถูกออกแบบสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า หลักการทำงาน 2 ช่วง กลางวันผลิตและจ่ายแก่โหลดโดยตรงผ่านอุปกรณ์ดังกล่าวไฟฟ้าส่วนเกินจ่ายเข้าสู่ระบบ กลางคืนไฟที่อยู่ในระบบก็จะทำงาน ข้อดีคือสามารถนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขายให้กับ การไฟฟ้าฯ (ทั้งนี้ต้องได้รับอนุญาตจากหน่วยงานราชการก่อน) หรือนำไฟฟ้าที่ได้มาใช้งานเองเพื่อลดค่าไฟฟ้า หากผลิตไม่พอใช้อุปกรณ์ควบคุมก็จะนำไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟของการไฟฟ้ามาใช้งานทดแทน



รูปที่ 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน จะถูกออกแบบสำหรับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น พลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล, พลังงานลมและพลังงานไฟฟ้าของน้ำ ระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์เป็นกรณีไป ข้อดีคือถ้ามีการเพิ่มไฮบริดอินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์แบตเตอรี่เข้ามาด้วยก็จขจะทำการเก็บประจุไว้ใช้งานในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์



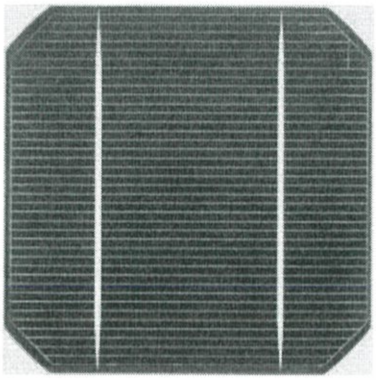
รูปที่ 2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [2]

2.1.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนั้น แทบทั้งหมดทำจากธาตุ silicon ซึ่งเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองบนโลกรองลงมาจากออกซิเจน ทำให้เป็นวัสดุที่หาง่ายและมีราคาถูก (การนำมาทำให้บริสุทธิ์ใช้งานได้ ต้องมีเทคนิคและใช้พลังงาน รวมถึงต้องมีค่าใช้จ่าย) โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนแบ่งตามโครงสร้างได้ 3 แบบคือ

2.1.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จัก กันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน Crystalline Silicon (c-Si) ผลิตจากแท่งผลึกซิลิคอน ที่เกิดจากการหลอมละลายซิลิคอนบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 องศาเซลเซียส ผ่านกระบวนการตกผลึกอย่างช้า ๆ และนำมาตัดเป็นแผ่นบางๆ เรียกว่า เวเฟอร์ โดยมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานประมาณร้อยละ 13-15 โดยที่ต้นทุนในการผลิตแผงเซลล์ชนิดนี้ค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



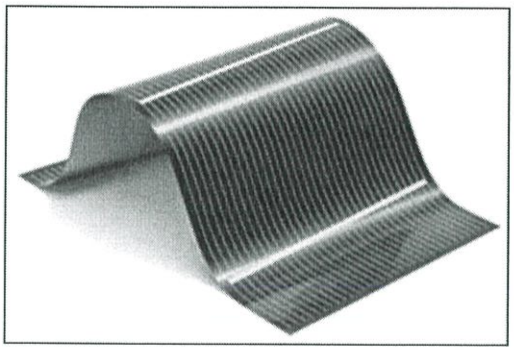
รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว [3]

2.1.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน Amorphous Silicon (a-Si) เป็นการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์อีกชนิดหนึ่ง โดยใช้สารซิลิคอน สารโบรอน และสารฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปก๊าซทั้งหมด นำมาเคลือบเป็นฟิล์มบาง (Thin film) ลงบนแผ่นแก้ว แผ่นพลาสติก หรือแผ่นโลหะ มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานต่ำกว่าชนิดผลึกซิลิคอน แต่ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการผลิต ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตลง และเพิ่มประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงประมาณร้อยละ 6-8

รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน [4]

2.1.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารประกอบของคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper Indium (Gallium) Di-Selenide) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ใช้สารผสมของ Copper Indium Gallium และ Selenium โดยมีทั้งที่ใช้ Cadmium Sulphide และไม่ใช้ Cadmium Sulphide เป็นบัฟเฟอร์ในเซลล์แสงอาทิตย์ มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกับชนิดผลึกซิลิคอน อยู่ที่ประมาณ 9-13

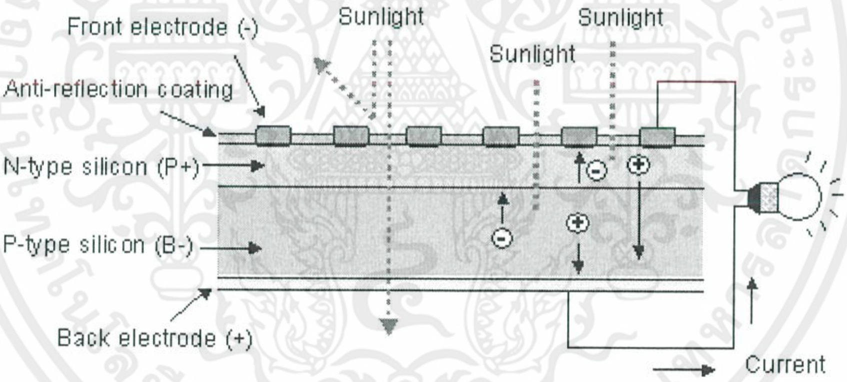
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ [5]

2.1.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเลคตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ (ตามรูป)



รูปที่ 2.7 รูปอธิบายหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [6]

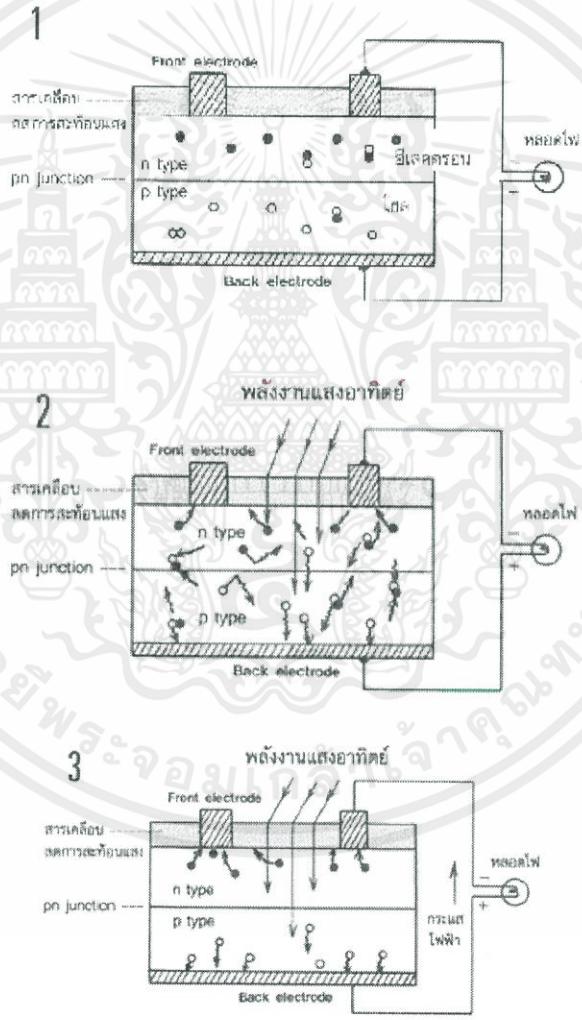
1. n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน



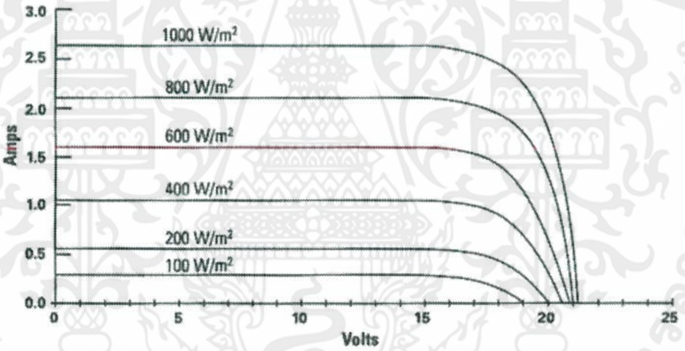
รูปที่ 2.8 การทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกันและมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือ คำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

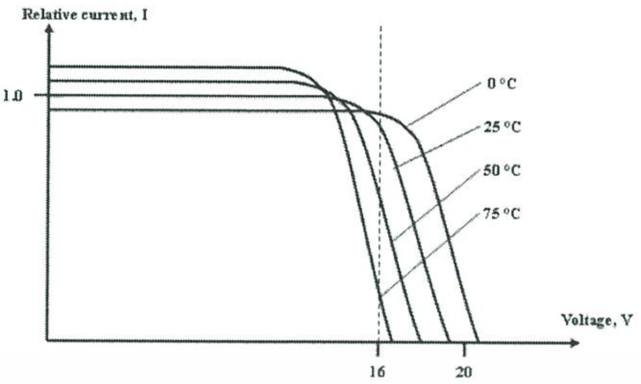
1. ความเข้มของแสง กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่ แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆ หมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกบพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่า เท่ากับ100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และ ถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง



รูปที่ 2.9 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อความเข้มแสงจากมากไปน้อย [8]

2. อุณหภูมิ กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% (0.5% x 5 องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 V (21 V x 2.5%) เหลือเพียง 20.475 V (21V – 0.525V) สรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ [8]

3. จำนวนเซลล์ โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวตต์/เซลล์ การต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะต่อเป็นอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น โดยจะมีผลลต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์น้อยมาก

4. พื้นที่เซลล์ เซลล์ที่มีพื้นที่ในการรับแสงมากส่งผลลต่อการเพิ่มค่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรให้มากขึ้น

5. ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ผลึกเดี่ยว (Crystalline) จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงกว่าเซลล์แบบแผ่นบาง (Thin-film cells) แต่แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับมีค่าต่ำกว่า

2.1.5 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้อธิบายลักษณะสมบัติเอาต์พุต (Output Characteristics) ของเซลล์ แสงอาทิตย์มีดังนี้

1. ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Energy conversion efficiency) คืออัตราส่วนของ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจเรียกสั้นๆ ว่า ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และใช้สัญลักษณ์ว่า η เขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$\eta = \frac{P_{max}(W)}{Area(m^2) \times P_{in}(W)} \times 100\% \qquad (2.1)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

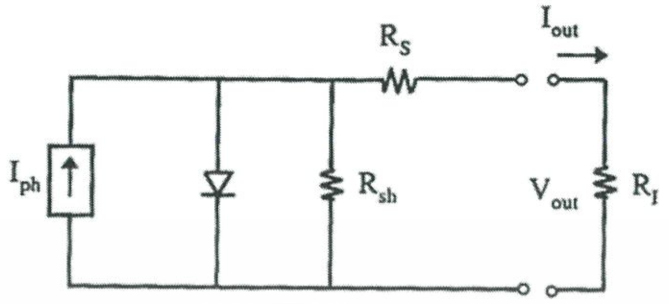
P_{max} คือ กำลังไฟฟ้าเอาท์พุตสูงสุด

$Area\,(m^2)$ คือ พื้นที่รับแสง

$P_{in}(W)$ คือ กำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current) ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาพลัดวงจร เราเรียกกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current: Isc)



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์โดยต่อเข้ากับโหลด [8]

ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ถูกส่องด้วยแสง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ามืด I และแรงดันไฟฟ้า V ของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพมืดจะมี รูปเหมือนกับสมการของกระแสไฟฟ้าของไดโอด กล่าวคือ

$$I_o = qA\left[\frac{D_h p_n}{L_h} + \frac{D_e n_p}{L_e}\right] \tag{2.2}$$

$$I = I_0\left[exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1\right] \tag{2.3}$$

โดยที่ I_o คือ กระแสไฟฟ้าย้อนอิ่มตัว

q คือ ประจุของอิเล็กตรอน ค่าคงที่ 1.6×10^{-9} C

A คือ พื้นที่รับแสง

D_h คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของโฮล

D_e คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของอิเล็กตรอน

L_h คือ ระยะทางแพร่ซึมของโฮล

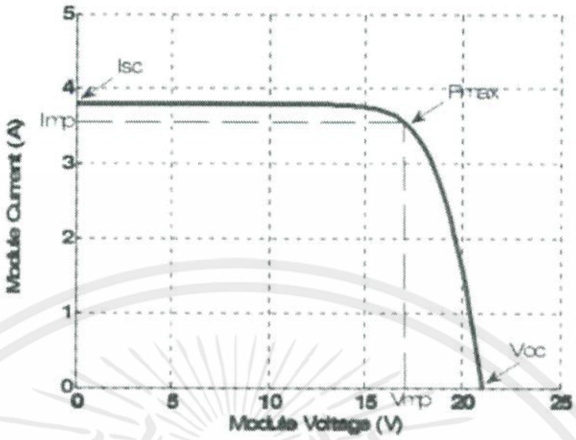
L_e คือ ระยะทางแพร่ซึมของอิเล็กตรอน

n_p คือ จำนวนอิเล็กตรอนต่อพื้นที่ในชั้น p

p_n คือ จำนวนโฮลต่อพื้นที่ในชั้น n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้โดยใช้ I-V Curve ซึ่งใช้ตรวจสอบ กำลังผลิตสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ หากอุณหภูมิของเซลล์และปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบ แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่สามารถสร้าง I-V Curve ได้ดังภาพ



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงคุณลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ [8]

ในการพิจารณาคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพารามิเตอร์ที่ สำคัญที่จะต้องเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage ;VOC), กระแสขณะลัดวงจร (Short Circuit Current; ISC), กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point; MPP) , กระแสไฟฟ้ าสูงสุด (Maximum Power Current; Imp) และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Voltage; Vmp) นอกจากนั้นยังมีค่าที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณระหว่างกระแสขณะลัดวงจรกับค่าแรงดันขณะเปิดวงจรเรียกว่า ค่าฟิลล์แฟคเตอร์(Fill Factor ;FF) ดังภาพ เป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพของโซล่าร์เซลล์สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$FF=\frac{V_{mp}\times I_{mp}}{V_{oc}\times I_{sc}} \qquad (2.4)$$

โดยที่ FF คือค่าฟิลล์แฟคเตอร์

V_{mp} คือแรงดันไฟฟ้าขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

I_{mp} คือกระแสไฟฟ้าขณะเซลล์แสงอาทิตยให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

V_{oc} คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร

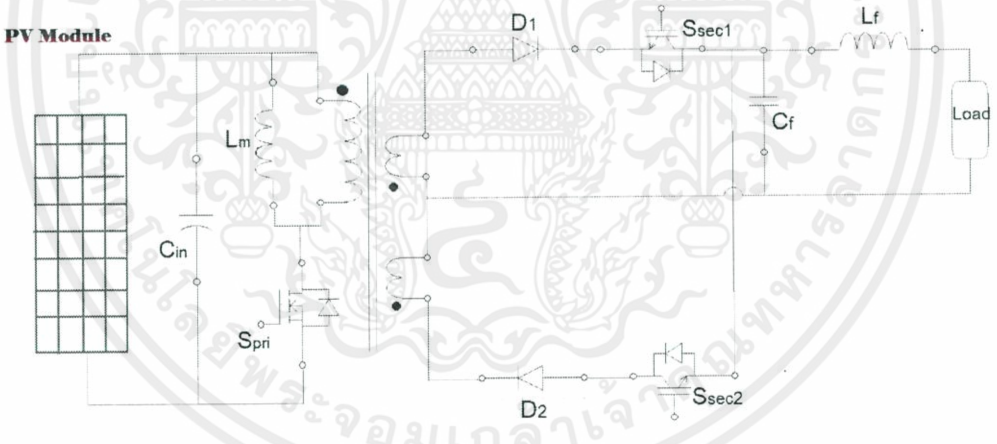
I_{sc} คือ กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

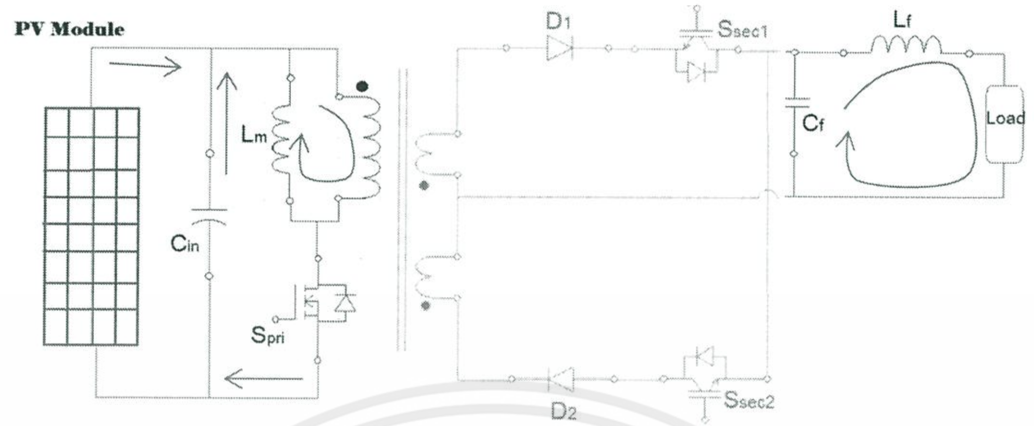
2.2.1 การทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยมอสเฟต ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ ไดโอดกำลัง ตัวเก็บประจุด้านออก หม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูง ซึ่งใช้เป็นตัวเก็บพลังงานและแยกกราวด์ทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตและเอาท์พุต โดยหลักการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 สถานะการทำงานดังนี้ สถานะที่ 1 เมื่อสวิตซ์ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ S_{pri} นำกระแสไฟฟ้าดังรูปที่ 2.11 (ข) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำ L_m ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ไดโอด D_1 และ D_2 ถูกไบแอสย้อนกลับและตัวเก็บประจุด้านออกทำการจ่ายพลังงานออกให้กับโหลด โดยมี S_{sec1}, S_{sec2} ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตซิ่งเปลี่ยนไฟฟ้าตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สถานะที่ 2 เมื่อสวิตซ์ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ S_{pri} ไม่นำกระแสดังรูปที่ 2.11 (ค) ตัวเหนี่ยวนำ L_m จะคายพลังงานออกไปทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คมีผลทำให้ไดโอด D_1 ถูกไบแอสตรงมีผลทำให้สัญญาณแรงดันด้านบวกและไดโอด D_2 ถูกไบแอสตรงเมื่อสัญญาณแรงดันด้านลบ ทำให้มีการสะสมพลังงานที่ตัวเก็บประจุด้านขาออกและมีการถ่ายเทพลังงานไปยังระบบกริดการไฟฟ้าโดยมี S_{sec1},S_{sec2} ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตซิ่งเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเช่นกัน

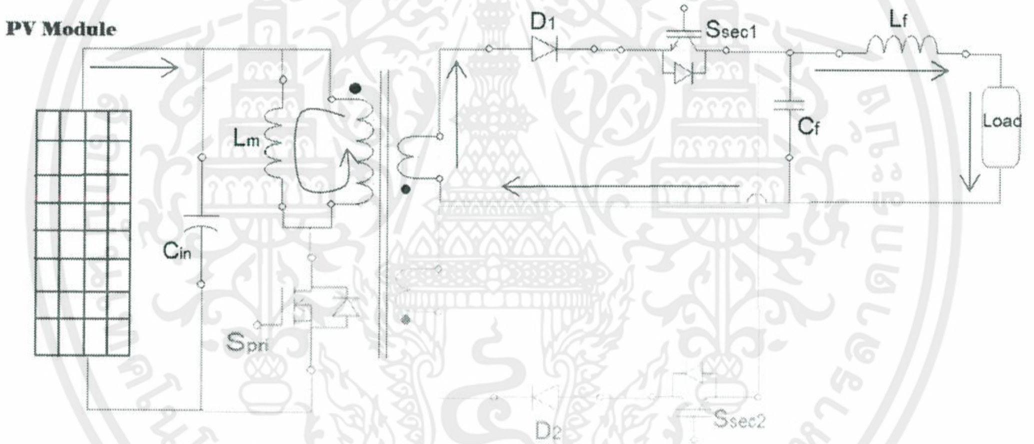


ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



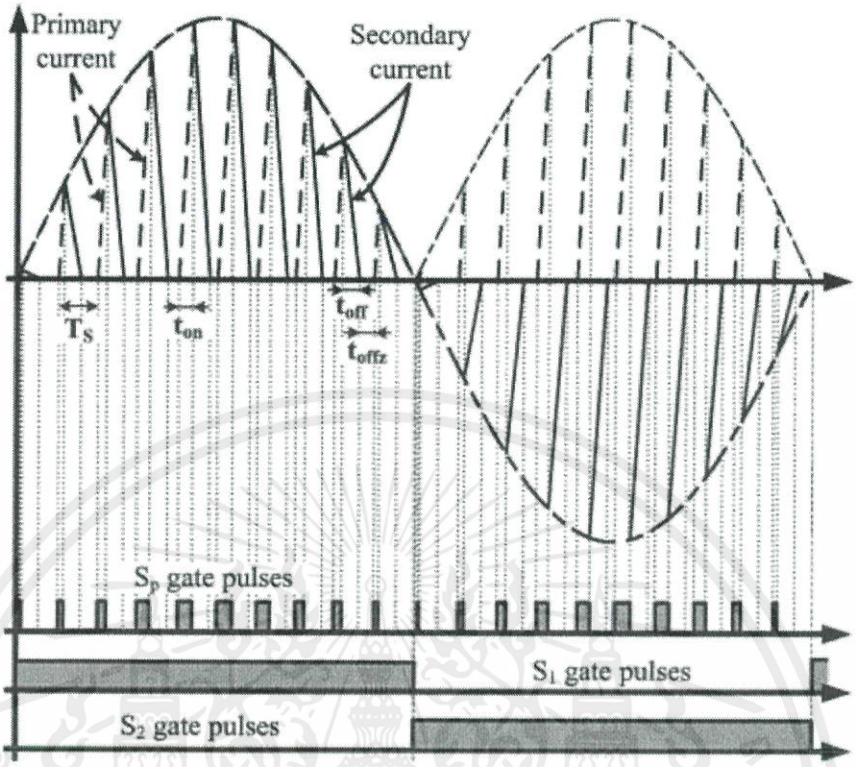
ข)



ค)

รูปที่ 2.13 ก) วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวก ข) สวิตช์ S_{pri} และ S_{pri} ทำงานในขณะที่ D_1 หยุดนำกระแส ค) สวิตช์ S_{pri} หยุดทำงานสวิตช์ S_{sec1} ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 สัญญาณกระแสปฐมภูมิและทุติยภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ และลำดับการทำงานของสวิตซ์ S_{pri} ,S_{sec1},S_{sec2} รวมทั้งวิธีการสร้างสัญญาณ PWM

2.2.2 การคำนวณหาค่าเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง [9]

กำหนดพิกัดกำลังของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์คือ 250 วัตต์ เมื่อมองด้านปฐมภูมิจะได้สมการแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำคือ

$$V_{dc} = L_m \frac{di_{dc}(t)}{dt} \tag{2.5}$$

เมื่อ L_m คือ ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (μH) หรือเขียนเป็นฟังก์ชั่นของกระแสได้คือ

$$i_{dc,p} = \frac{V_{dc}}{L_m} t_{on} \tag{2.6}$$

โดย $i_{dc,p}$ คือค่ากระแสสูงสุดทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง, t_{on} คือช่วงเวลา on ของสวิตช์จะได้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_{dc,p} = \frac{V_{dc}}{L_m f_s} d \tag{2.7}$$

เมื่อ $d = \frac{t_{on}}{T_s}$ เมื่อ d ค่า อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับขั้น, T_s คือคาบเวลาในการสวิตชิ่ง และ f_s คือความถี่การสวิตซ์

เมื่อเขียนสมการ $i_{dc,p}$ ในฟังก์ชันรูปคลื่นไซน์

$$i_{dc,p} = I_{dc,p} \sin \omega t, \omega t \in [o, \pi] \tag{2.8}$$

โดยที่ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับขั้นเปลี่ยนแปลงตามเวลา

$$d(t) = d_p \sin \omega t \tag{2.9}$$

โดยที่ค่า d_p เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับขั้น ที่เวลา $\omega t = \frac{\pi}{2}$ เนื่องจากการทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ดังนั้น

$$t_{off} \le T_s - t_{on,p} \tag{2.10}$$

โดย $t_{on,p}$ คือ เวลาในการ on ของสวิตซ์ที่เวลา $\omega t = \frac{\pi}{2}$

จากวงจรสมมูลในรูปที่ 2.11 จะได้

$$u_{ac}(t) = \frac{dni_{dc}(t)}{dt} \frac{L_m}{n^2} \tag{2.11}$$

โดยที่ค่า $ni_{dc}(t)$ คือ ค่ากระแสสูงสุดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง L_m/n^2 คือค่าตัวเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง

จากรูปที่ 2.13 (ค) เมื่อสวิตซ์ S_{pri} หยุดทำงาน สวิตซ์ S_{sec1} ทำงาน

$$t_{\text{off}} = \frac{ni_{\text{dc},p}(t)}{u_{\text{ac}}(t)} \frac{L_1}{n^2} = \frac{I_{\text{dc},p} \sin \omega t}{V_{\text{ac},p} \sin \omega t} \frac{L_1}{n} = \frac{I_{\text{dc},p}}{V_{\text{ac},p}} \frac{L_1}{n} \tag{2.12}$$

$$t_{\text{on}} = T_s d(t) = T_s d_p \sin \omega t \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{\mathrm{dc},p} = \frac{V_{\mathrm{dc}}}{L_1} t_{\mathrm{on},p} = \frac{V_{\mathrm{dc}}}{L_1 f_S} d_p \tag{2.14}$$

เมื่อแทนสมการที่ 2.14 ลงในสมการ 2.12 จะได้

$$t_{\mathrm{off}} = \frac{V_{\mathrm{dc}} d_p}{L_1 f_S V_{\mathrm{ac},p}} \frac{L_1}{n} = \frac{\lambda}{n} d_p T_S \tag{2.15}$$

หรือเขียนเป็นสมการใหม่ได้คือ

$$\frac{t_{off}}{T_s} = \frac{\lambda}{n} d_p = \text{ค่าคงที่} \tag{2.16}$$

เมื่อ

$$\lambda = \frac{V_{dc}}{V_{ac,p}} \tag{2.17}$$

เมื่อ V_{dc} คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ $V_{ac,p}$ คือค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสูงสุด ดังนั้นค่า d_p จะต้องมีค่าตามสมการที่ 2.18 เพื่อจะทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$dp \le \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{n}} \tag{2.18}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง $P_{ac} = P_{dc} = P$

$$P = V_{dc} I_{dc,avg} \tag{2.19}$$

เมื่อ P คือ กำลังที่ใช้ในการส่งผ่าน, P_{ac} คือ กำลังไฟฟ้าในการส่งผ่านระบบกริดการไฟฟ้า,

P_{dc} คือกำลังไฟฟ้ากระแสตรง และ คือ $I_{dc,avg}$ ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแทนค่า $I_{dc,avg}$ จากสมการ

$$I_{dc,avg} = \frac{1}{T_{hl}} \int_0^{T_{hl}} i_{dc}(t)dt \tag{2.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือเขียนเป็นสมการใหม่ได้คือ

$$I_{dc,avg}=\frac{1}{T_{hl}}\left[\int_{0}^{T_s} i_{dc}(t)dt+\ldots+\int_{(w-1)T_s}^{wT_s} i_{dc}(t)dt+Q\right] \tag{2.21}$$

เมื่อ W คือ $\frac{T_{hl}}{T_S}$ โดยที่ Q เป็นส่วนที่เหลือจากการอินทิเกรต เนื่องจากในเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของลูกคลื่น จึงสามารถละทิ้งในส่วนนี้ได้จากสมการ 2.5,2.9 และ 2.18

$$\omega t=\left(\frac{\pi}{T_{hl}}\right)(iT_s)\approx\frac{\pi}{\omega}i \tag{2.22}$$

จาก

$$i_{\rm dc}(t_x)=\frac{i_{\rm dc,p}}{t_{\rm on}}t_x=\frac{I_{\rm dc,p}\sin\omega t}{t_{\rm on}}t_x=\frac{V_{\rm dc}}{L_1 f_s}\frac{d_p\sin\omega t}{T_s d_p\sin\omega t}t_x=\frac{V_{\rm dc}}{L_1 f_s T_s}t_x \tag{2.23}$$

เมื่อ $t_x=t-(i-1)T_s, i=1,2,3\ldots$

$$\int_{(i-1)T_s}^{T_s} i_{\rm dc}(t){\rm d}t=\int_0^{t_{\rm on}} i_{\rm dc}(t_x){\rm d}t_x=\frac{V_{\rm dc}}{L_1}\frac{t_x^2}{2}\bigg|_0^{t_{\rm on}}=\frac{V_{\rm dc}}{L_1}\frac{t_{\rm on}^2}{2} \tag{2.24}$$

$$t_{\rm on}=T_s d_p\sin\omega t=T_s d_p\sin\omega i T_s\approx T_s d_p\sin\frac{\pi}{w}i \tag{2.25}$$

จากสมการที่ 2.21 ข้างต้น จะได้

$$I_{\rm dc,avg}=\frac{T_S}{T_{hl}}\frac{d_p^2 V_{\rm dc}}{2f_s L_1}\sum_{i=1}^{w}\sin^2\left(\frac{\pi}{w}i\right)$$

$$=\frac{d_p^2 V_{\rm dc}}{2f_s L_1}\frac{1}{w}\sum_{i=1}^{w}\sin^2\left(\frac{\pi}{w}i\right) \tag{2.26}$$

จาก $sin^2\,x=\frac{1-\cos 2x}{2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{w}\sum_{i=1}^{w}\sin^2\left(\frac{\pi}{w}i\right) = \frac{1}{w}\sum_{i=1}^{w}\left[\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\cos\left(\frac{2\pi}{w}i\right)\right]$$

$$= \frac{1}{2}-\frac{1}{2w}\left\{\frac{\sin\left[\left(w+\frac{1}{2}\right)\frac{2\pi}{w}\right]}{2\sin\frac{2\pi}{2w}}-\frac{1}{2}\right\}$$

$$= \frac{1}{2}-\frac{1}{4w}\left[\frac{\sin\left(2\pi+\frac{\pi}{w}\right)}{\sin\frac{\pi}{w}}-1\right]$$

$$= \frac{1}{2}-\frac{1}{4w}\left[\frac{\sin\frac{\pi}{w}}{\sin\frac{\pi}{w}}-1\right] = \frac{1}{2} \tag{2.27}$$

เมื่อแทนค่าที่ได้จากสมการ 2.27 ในสมการ 2.26 จะได้

$$I_{dc,avg} = \frac{d_p^2 V_{dc}}{2 f_s L_m}\left[\frac{1}{\omega}\sum_{i=1}^{\omega}\sin^2\left(\frac{\pi}{\omega}i\right)\right] = \frac{d_p^2 V_{dc}}{4 f_s L_m} = \frac{1}{4} g_L d_p^2 V_{dc} \tag{2.28}$$

กำหนดให้

$$g_L = \frac{1}{f_s L_m} \tag{2.29}$$

เมื่อนำไปแทนค่าในสมการกำลังไฟฟ้า

$$P = \frac{1}{4} d_p^2 g_L V_{dc}^2 \tag{2.30}$$

จากสมการที่ 2.29

$$P = \frac{1}{2}\lambda^2 d_p^2 g_L V_{ac,rms}^2 \tag{2.31}$$

หรือ

$$P = g_s V_{ac,rms}^2 \tag{2.32}$$

โดยที่ g_s คือ ค่าความนำไฟฟ้า ดังนั้นจะหาความสัมพันธ์ของคือ $\frac{g_S}{g_L}$

$$\frac{g_S}{g_L} = \frac{1}{2}\lambda^2 d_p^2 \tag{2.33}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.18

$$\left(\frac{g_S}{g_L}\right)_{\max} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\lambda}+\frac{1}{n}\right)^{-2} \quad (2.34)$$

จากสมการที่ 2.32 เมื่อค่าจำนวนรอบของหม้อแปลงเพิ่มขึ้นถึง Infinite ค่า $(\frac{g_S}{g_L})_{\max}$ จะได้ตามสมการคือ

$$\left(\frac{g_S}{g_L}\right)_{\max} |n \to \infty = \frac{\lambda^2}{2} \quad (2.35)$$

ซึ่งหมายความว่าถึงแม้ค่าจำนวนรอบหม้อแปลงจะเพิ่มขึ้นมากเพียงใด ค่ากำลังไฟฟ้าก็จะคงที่

2.3 การมอดูเลชัน

2.3.1 การมอดูเลชันความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM)

การมอดูเลชันความกว้างพัลล์ คือการนำสัญญาณสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกันและสองสัญญาณที่ว่านี้คือสัญญาณ “สามเหลี่ยม”และสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์มาเปรียบเทียบกัน ตัวอย่างเช่น ถ้านำสัญญาณสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกับสัญญานไฟฟ้ากระแสตรง จะได้ความกว่างของพัลส์คงที่ และความกว้างของพัลส์นั้นจะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง แต่ในส่วนของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำสัญญาณแอปซูลูทไซน์มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม โดยได้สัญญาณ PWM ที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.14

2.4 ฮาร์มอนิกและตัวประกอบกำลัง

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์นั้นจะไม่เหมือนกับสัญญาณไซน์จริงๆเพราะการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะใช้วิธีการ เปิด/ปิด ค่าของแรงดันฟ้ากระแสตรงให้มาปรากฎที่ด้านขาออก ด้วยช่วงเวลาสั้นๆและมีความไวสูง เพื่อทำการปรับระดับของแรงดันขาออกให้ใกล้เคียงกับไฟฟ้ากระแสสลับรูปไซน์ให้มากที่สุดเมื่อผ่านวงจรกรอง ซึ่งในกระบวนการสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระสลับด้านขาออกนี้จะมีฮาร์มอนิกปะปนมาด้วย ซึ่งเป็นผลให้รูปคลื่นกระแสระบบไฟฟ้าผิดเพี้ยนด้วย ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาฮาร์มอนิกและผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อไป

2.4.1 ฮาร์มอนิกและความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม

ฮาร์มอนิก (Harmonic) คือ สัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) เช่นความถี่มูลฐานคือ 50 Hz ความถี่ฮาร์มอนิกคือ150,250,350H_zเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่มูลฐานเรียกว่า ฮาร์มอนิกอันดับที่1 ส่วนฮาร์มอนิกอันดับอื่นๆ ก็หาได้จากการเอาเลขจำนวนเต็มบวกคูณกับความถี่มูลฐาน การวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกสามารถทำได้หลายวิธีแตกต่างกันออกไป แต่โดยส่วนมากจะใช้วัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion : THD)

ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic distortion : THD) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (rms) ของส่วนประกอบฮาร์มอนิกกับค่ากำลังสองเฉลี่ยของส่วนประกอบความถี่หลักมูล ดังแสดง 2.19 และ 2.20 ค่า THD มีค่าน้อยจะหมายถึงสัญญาณฮาร์มอนิกรวมขนาดไม่มากปนอยู่กับความถี่หลักมูล [7]

$$THD_{v,i} = \left[\left(\frac{V_{rms}, I_{rms}}{V_1, I_1}\right)^2 - 1\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2.36)$$

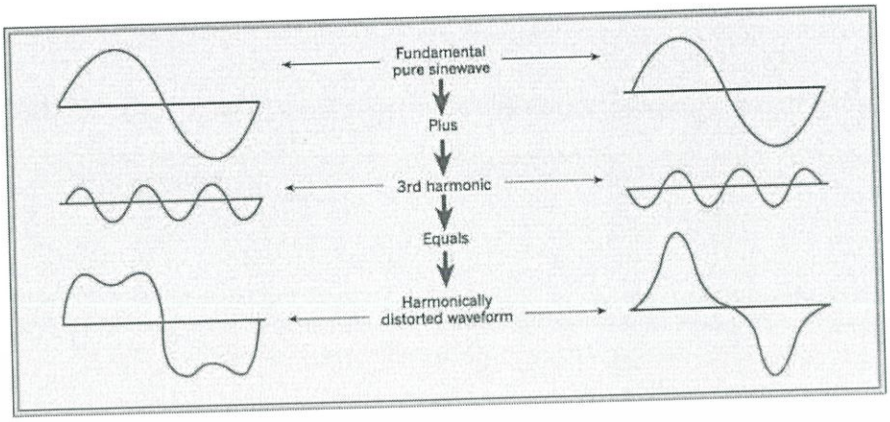
2.4.2 ผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังหรือการไฟฟ้า

ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์มอนิกต่อการไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบคือ แบบระยะสั้นและแบบระยะยาว โดยแบบระยะสั้นผลกระทบจะสามารถเห็นได้ชัดและโดยส่วนมากมักจะอยู่ในรูปของความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ส่วนแบบระยะยาวจะตรวจไม่ค่อยพบและมักจะอยู่ในรูปของความสูญเสียตัวต้านทานหรือแรงเค้น

ผลกระทบแบบระยะสั้นสามารถทำให้โหลดที่มีความไวสูงเกิดการทริปขึ้นได้ เช่นโหลดที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จะไวต่อความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าเป็นต้น ในขณะที่ผลของฮาร์มอนิก จะทำให้ความเที่ยงตรงของเครื่องวัดไฟฟ้าลดลงและนอกจากนั้นยังอาจทำให้ฟิวส์ขาดและอาจทำให้ตัวเก็บประจุทำงานผิดพลาดเพราะแรงดันไฟฟ้าฮาร์มอนิกจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกเกิน ที่ตัวเก็บประจุ ซึ่งค่าความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าประมาณ 5-10 % อาจมีผลทำให้ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสเพิ่มขึ้น 10-50 % และนอกจากนั้นยังอาจเกิดค่าแรงดันเค้นที่ไดอิเล็กทริก (dielectric) ของตัวเก็บประจุอีกด้วย

ฮาร์มอนิกยังอาจทำให้เกิดความร้อนเกิน (overheating) ที่หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งจะพบบ่อยในกรณีที่หม้อแปลงจ่ายโหลดแบบไม่เชิงเส้นเป็นจำนวนมาก โดยที่ในกรณีดังกล่าวการคิดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยทั่วไปจะนิยมคิดที่ค่าเท่ากับ 0.9 ของค่าที่พิกัดของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (kVA) และยังทำให้เกิดกระแสเกินที่สายนิวทรอล (neutral) อีกด้วย

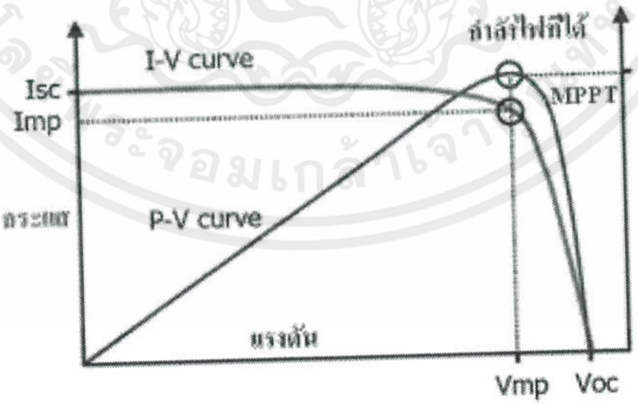
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ผลกระทบจากฮาร์มอนิก [14]

2.5 การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking : MPPT) หมายถึง ขั้นตอนวิธีที่ถูกรวมเข้าไว้ในอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ในการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้สูงสุด (maximum power) ทั้งนี้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar radiation), อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambient temperature) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell temperature) ระบบการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รับการออกแบบให้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดเวลา เพื่อให้ได้ค่ากำลังผลิตสูงสุดในแต่ละเวลาตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ในรูปของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ด้วยขั้นตอนวิธีของการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นหากตรวจสอบพบว่า ตำแหน่งจุดทำงานไม่ใช่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยทำการย้ายจุดทำงานนั้นไปยังตำแหน่งที่คาดว่าน่าจะเป็นจุดสูงสุดต่อไป



รูปที่ 2.16 เส้นโค้งกระแส – แรงดัน จุดที่เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการสำคัญของระบบการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ ดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด โดยการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด กล่าวคือ การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ทำงานโดยการตรวจสอบที่เอาท์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในระบบ จากนั้นกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายออกเพื่อทำการประจุลงในแบตเตอรี่ และทำการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าสูงสุดในการประจุแบตเตอรี่ นอกจากนี้ ยังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC load) ที่ต่อโดยตรงกับแบตเตอรี่ได้อีกด้วย

ระบบการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีประสิทธิภาพสูงหากทำงานภายใต้สภาวะเหล่านี้

1. สภาวะอากาศเย็นหรือฤดูหนาว โดยปกติ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ถึงแม้ในช่วงฤดูหนาวที่มีอากาศเย็น จะมีช่วงเวลาการตกกระทบของแสงอาทิตย์ (Sun hours) น้อย หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยระบบการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะทำให้เกิดการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากยิ่งขึ้นไปอีก แต่จะมีการสูญเสียพลังงานน้อยมาก

2. สภาวะที่มีการประจุแบตเตอรี่ต่ำ เนื่องจากยิ่งมีอัตราการประจุแบตเตอรี่ต่ำ จะทำให้กระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากขึ้น

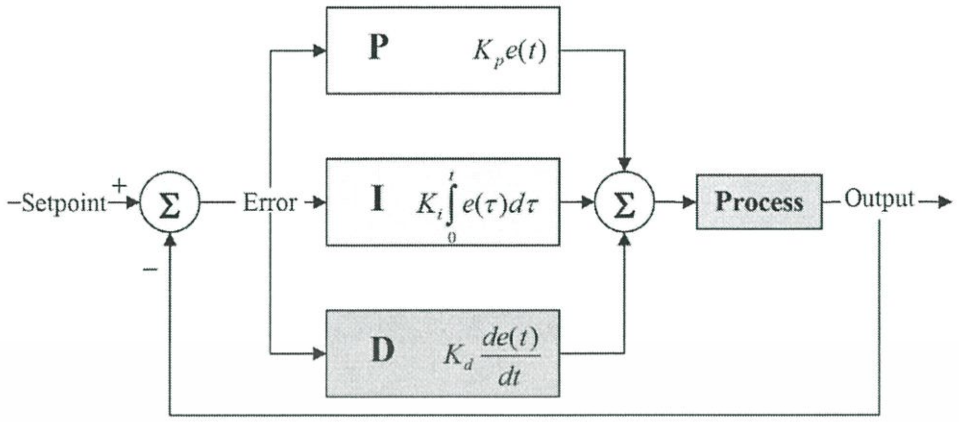
2.6 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (Proportional-Integral-Derivative : PID)

สัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ

วิธีคำนวณสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน, ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ โดยค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน, ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพึ่งผ่านพ้นไป, และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ

โดยการปรับค่าคงที่ในสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (oscillation) วิธีสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 โครงสร้างการทำงานของสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ [16]

2.6.1 ทฤษฎีสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์

การควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสาม ตามสมการ

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \tag{2.37}$$

เมื่อ $P_{out}, I_{out}, D_{out}$ เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุมสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ จากแต่ละเทอมซึ่งนิยามตามรายละเอียดด้านล่าง

2.6.1.1 สัดส่วน

เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียก อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ K_p หรือที่เรียกว่า อัตราขยายสัดส่วน เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ

$$P_{out} = K_p e(t) \tag{2.38}$$

เมื่อ

P_{out} คือสัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

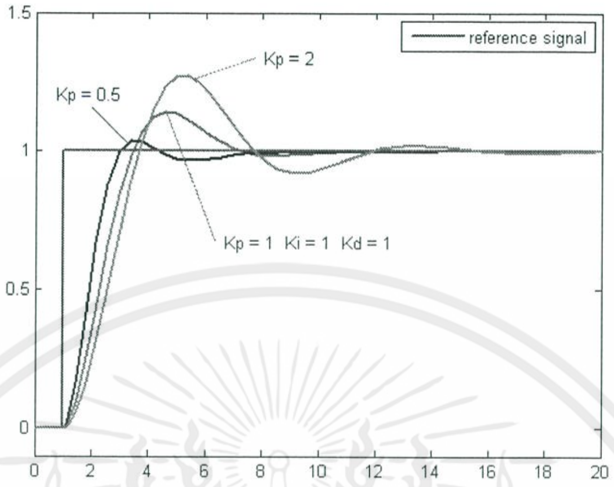
K_p คืออัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้

e คือค่าความผิดพลาด = $SP - PV$

t คือเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย



รูปที่ 2.18 กราฟ PV ต่อเวลา, Kp กำหนดเป็นสามค่า (Ki และ Kd คงที่) [16]

2.6.1.2 ปริพันธ์

ผลจากเทอมปริพันธ์ (บางครั้งเรียก reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์, K_i

เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ

$$I_{out} = k_i \int_0^t e(\tau)dt \quad (2.39)$$

เมื่อ I_{out} คือสัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

k_i คืออัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e คือความผิดพลาด = $SP - PV$

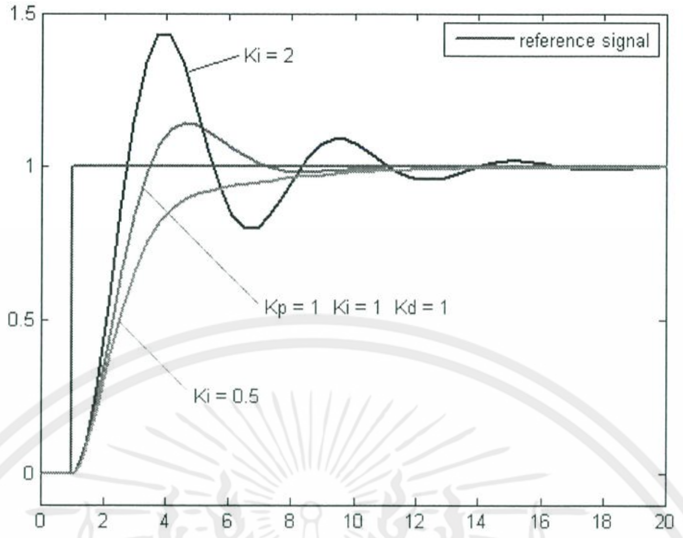
t คือเวลา

τ คือตัวแปรปริพันธ์หุ่น

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไป ทางทิศทางอื่น)



รูปที่ 2.19 กราฟ PV ต่อเวลา, Ki กำหนดเป็นสามค่า (Kp และ Kd คงที่) [16]

2.6.1.3 อนุพันธ์

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุกๆเวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ K_d ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับ อัตราขยายอนุพันธ์ K_d

เทอมอนุพันธ์เป็นไปตามสมการ

$$D_{out} = k_d \frac{d}{dt} e(t) \tag{2.40}$$

เมื่อ D_{out} คือสัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

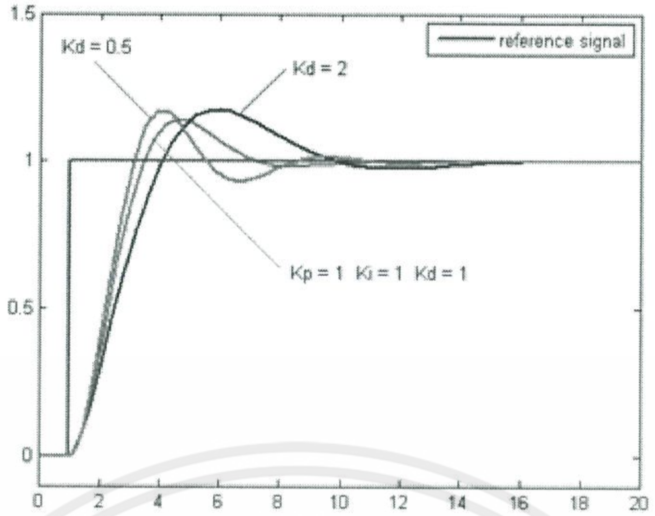
k_d คืออัตราขยายอนุพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e คือความผิดพลาด = $SP - PV$

t คือเวลา

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุมและด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูตที่เกิดจา กเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 กราฟ PV ต่อเวลา, สำหรับ Kd สามค่า (Kp และ Ki คงที่) [16]

2.6.1.4 ผลรวม

เทอมสัดส่วน, ปริพันธ์, และอนุพันธ์ จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์กำหนดให้ $u(t)$ เป็นสัญญาณขาออก สมการสุดท้ายของวิธีสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์คือ

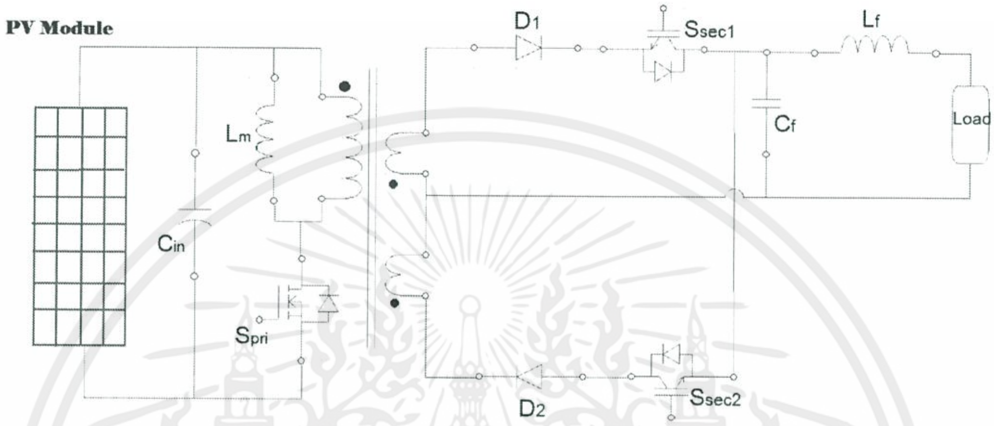
$$u(t) = MV(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau)d\tau + k_d \frac{d}{dt} e(t) \tag{2.41}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างชุดควบคุมวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

3.1 โครงสร้างของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

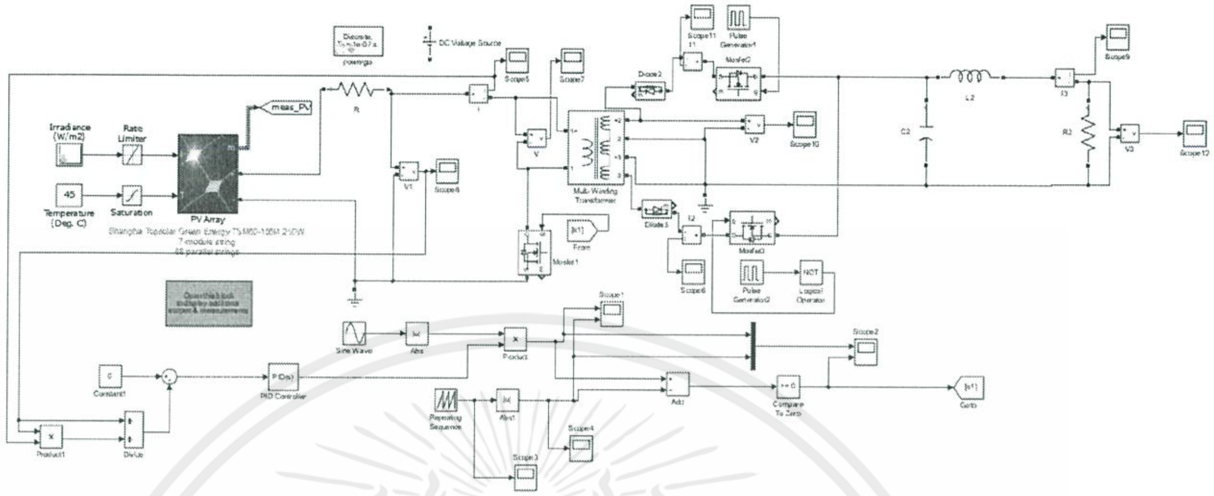


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.1 ทำการออกแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์และชุดควบคุม ซึ่งมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง โดยมีวงจรตรวจจับกระแสและแรงดัน ส่งค่าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลผ่านทางงตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) ทั้งสองพอต ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสัญญาณที่ได้ถูกนำมาควบคุมการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดเข้าสู่ระบบตลอดเวลา ซึ่งมีสวิตซ์มอสเฟตกำลังที่ถูกขับด้วยสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชัน (PWM) ที่สร้างจากการนำสัญญาณซายน์สมบูรณ์ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ มาปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่ 27 กิโล-เฮิร์ตซ์ โดยใช้การปรับแอมปลิจูดของซายน์สัมบูรณ์เพื่อควบคุมการดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด แล้วจ่ายเข้าหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูงเพื่อยกระดับแรงดันรวมทั้งเป็นตัวเก็บพลังงานและแยกกราวด์ทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตและเอาท์พุต แล้วควบคุมการสวิตซ์ของ IGBT ทางด้านทุติยภูมิ เพื่อสร้างสัญญาณซายน์ที่มีแรงดันสูงขึ้นและมีความถี่เท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ แล้วจ่ายเข้ากับโหลดสำหรับวงจรทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยวิธีการสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์

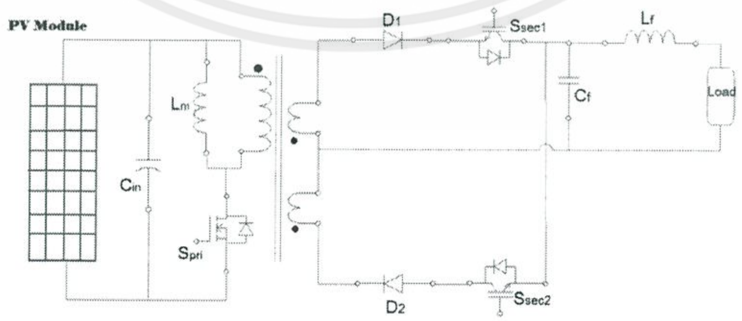


รูปที่ 3.2 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่มีการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ แบบใช้ค่าความชันของกราฟ PV ออกแบบบนโปรแกรม MATLAB/simulink

3.2.1 หลักการพื้นฐานของการม็อดดูเลชันความกว้างพัลส์

การศึกษาหลักการพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการสร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชัน (PWM) จำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการสร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชัน โดยสัญญาณนั้นถูกสร้างจากการนำสัญญาณ 2 สัญญาณเข้ามาเปรียบเทียบกัน ซึ่งมีหลากหลายวิธีการ สำหรับในบทความนี้เสนอวิธีการมอดูเลชันความกว้างพัลส์ โดยการนำสัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณซายน์สัมบูรณ์มาทำการเปรียบเทียบกันเพื่อสร้างสัญญาณ PWM เพื่อขับสวิตซ์มอสเฟสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูง ซึ่งจำเป็นต่อการควบคุมการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.2.1.1 แผนผังการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับโหลด



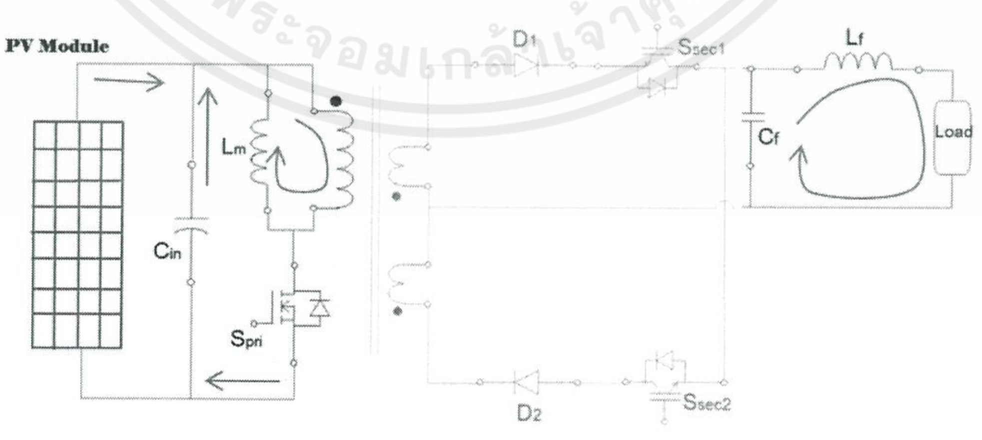
รูปที่ 3.3 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงรูปวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์โดยมีส่วนประกอบดังนี้ ส่วนแรกคือหม้อแปลง ฟลายแบ็คมีหน้าที่สร้างกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ และช่วยเป็นตัวแยกระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบกริดการไฟฟ้าเพื่อช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์กรณีเกิดข้อผิดพลาดหรือลัดวงจร และหม้อแปลงจะต้องมีการคายกระแสที่สมบูรณ์เพื่อให้หม้อแปลงทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (DCM) ซึ่งเหมาะสำหรับระบบต้องการกำลังไฟฟ้าไม่มาก

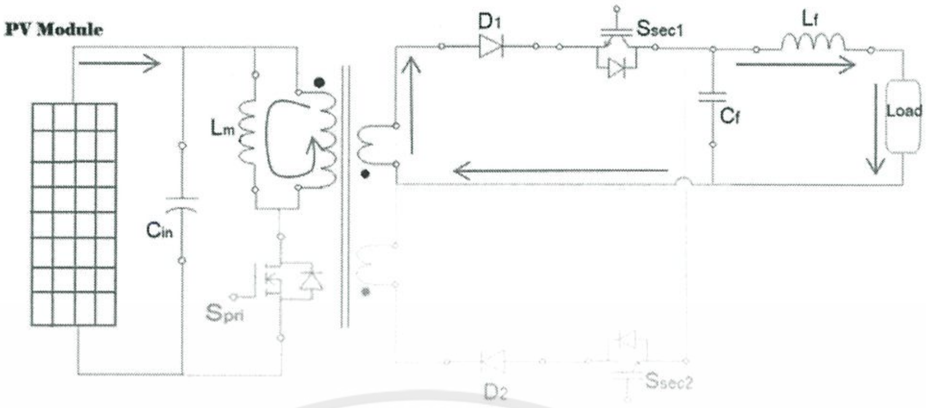
ในส่วนต่อมาคืออุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งมีทั้งหมด 3 ตัวด้วยกันในโครงงานนี้เลือกใช้มอสเฟต เนื่องจากมีราคาถูกและสามารถสวิตซ์ในย่านความถี่สูงได้ โดยมีการกำหนดสัญลักษณ์ตามรูปที่ 3.2 โดยที่ S_1 จะรับสัญญาณขับเกตในรูปของสัญญาณ PWM ที่เกิดจากการม็อดดูเลชั่น ระหว่างแอบซูลูทไซน์กับรูปคลื่นสามเหลี่ยมซึ่งมีการสวิตชิ่งที่ความถี่ 27 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งจะได้กำลังไฟฟ้าออกมาอยู่ในรูปสัญญาณแอปซูลูทไซน์ส่งเข้าไปยังหม้อแปลงฟลายแบ็คส่วน S_{sec1} และ S_{sec2} จะมีการส่งสัญญาณขับเกตเพื่อที่แปลงสัญญาณแอปซูลูทไซน์ให้เป็นสัญญาณไซน์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

การทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 สถานะการทำงานดังนี้ สถานะที่ 1 เมื่อสวิตซ์ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ S_1 นำกระแสดังรูปที่ 3.4 (ก) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำ L_m ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ไดโอด D_1 และ D_2 ถูกไบแอสย้อนกลับและตัวเก็บประจุด้านออกทำการจ่ายพลังงานออกให้กับระบบกริดการไฟฟ้าโดยมี S_{sec1} และ S_{sec2} ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งเปลี่ยนไฟฟ้าตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สถานะที่ 2 เมื่อสวิตซ์ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ S_{pri} ไม่นำกระแสดังรูปที่ 3.4 (ข) ตัวเหนี่ยวนำ L_m จะคายพลังงานออกไปทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์มีผลทำให้ไดโอด D_1 ถูกไบแอสตรงมีผลทำให้สัญญาณแรงดันด้านบวกและไดโอด D_2 ถูกไบแอสตรงเมื่อสัญญาณแรงดันด้านลบ ทำให้มีการสะสมพลังงานที่ตัวเก็บประจุด้านขาออกและมีการถ่ายเทพลังงานไปยังระบบกริดการไฟฟ้าโดยมี S_{sec1},S_{sec2} ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเช่นกัน และจากรูปที่ 3.3 L_f ที่ต่ออนุกรมอยู่ทางด้านหลังของวงจรทางด้านทุติยภูมิจะทำหน้าที่เปลี่ยนให้เป็นแหล่งจ่ายกระแสสำหรับการเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า



ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข)

รูปที่ 3.4 วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวก

ก) สวิตซ์ S_{pri} และ S_{sec1} ทำงาน ข) สวิตซ์ S_{pri} หยุดทำงานสวิตซ์ S_{sec1} ทำงาน

3.2.2 พิกัดอุปกรณ์ของอินเวอร์เตอร์

3.2.2.1 พิกัดกำลังของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

จากหัวข้อที่ 2.2.1 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง [7] เมื่อ P=250 วัตต์ และ $V^2_{ac,rms}$ = 220^2 แทนลงในสมการที่ 2.32 จะคำนวณหาค่า

$$g_s = 5.165\times10^{-3}$$

กำหนดให้ $\lambda = \frac{V_{dc}}{V_{ac,p}} = \frac{30.4}{311}$ =0.098 และ $n = \frac{N_p}{N_s} = 0.5$

เมื่อแทนลงในสมการที่ 2.33 จะได้ค่าความสัมพันธ์คือ7

$$\frac{g_s}{g_L} = 3.356\times10^{-3} \qquad (3.1)$$

นำค่า g_s ไปแทนสมการที่ 3.1 จะได้ค่า

$$g_L = 1.539$$

จากสมการที่ 2.29 แทนค่า g_L = 1.539 และ f_s = 27 KHz

$$L_m = 24.065\ \mu H$$

ดังนั้นถ้าต้องการพิกัดกำลังของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 250 วัตต์ จะต้องใช้ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก 24.065 ไมโครเฮนรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 พิกัดกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

จากหัวข้อที่ 2.5 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูงจาก สมการ ที่ 2.28

$$I_{dc,avg} = \frac{1}{4} g_L d_p^2 V_{dc} \tag{3.2}$$

เมื่อแทนค่า $g_L = 1.539$, $d_p \leq \frac{1}{1+\frac{0.098}{0.5}} \leq 0.836$ และ $V_{dc} = 30.4$

$$I_{dc,avg} = 8.175\ A$$

และรวมสมการที่ 2.7, 2.18 และ 2.28 จะได้ความสัมพันธ์คือ

$$\frac{I_{dc,peak}}{I_{dc,avg}} = 4\left(1 + \frac{\lambda}{n}\right) \tag{3.3}$$

เมื่อแทน $I_{dc,avg}$ = 8.175 แอมแปร์ ลงในสมการที่ 3.2 จะได้ค่า

$$I_{dc,peak} = 39.1092\ A$$

3.2.2.3 ขนาดพิกัดของตัวสวิตซ์

จากค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้คือ 39.1092 แอมแปร์ ดังนั้นจึงเลือกใช้อุปกรณ์สวิตซ์ในด้านปฐมภูมิดังนี้ อุปกรณ์สวิตซ์ปฐมภูมิ มอสเฟต เบอร์ IRFP260 พิกัดแรงดัน 200 โวลต์ พิกัดกระแส 50 แอมแปร์ อุปกรณ์สวิตซ์ด้านทุติยภูมิ ไอจีบีที เบอร์ GW30NC80W พิกัดแรงดัน 800 โวลต์ พิกัดกระแส 30 แอมแปร์ หลักการที่เลือกใชอุปกรณ์ตามนี้เนื่องจากเพื่อให้อุปกรณ์มีความทนทานสามารถรองรับกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้

3.2.2.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงโดยวิธีผลคูณพื้นที่ [9] ในโครงงานนี้เลือกใช้แกนเหล็กชนิดแกนเฟอร์ไรต์ซึ่งเป็นแกนแม่เหล็กสำหรับอินเวอร์เตอร์สวิตชิ่งความถี่สูง ซึ่งมีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กอิ่มมีค่าประมาณ 0.3 เทสลา จากสมการผลคูณพื้นที่ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์จะได้ค่า A_p ดังสมการที่ 3.4

$$A_p = \frac{P_0\left(\frac{1}{\eta}\sqrt{\frac{4d_p}{3}} + \sqrt{\frac{4(1-d_p)}{3}}\right)}{J K_w B_m f_s} \tag{3.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $A_p = A_c \times A_w$

เมื่อ A_c หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของแกน

A_w หมายถึง พื้นที่ภายในกรอบว่างของแกน

P_0 หมายถึง กำลังไฟฟ้าทางด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์

η หมายถึง ประสิทธิภาพของหม้อแปลง

J หมายถึง ค่าความหนาแน่นกระแสโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 3.5-5 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

K_w หมายถึง window utilization factor โดยทั่วไปมีค่าอยู่ที่ 0.3-0.4

B_m หมายถึง ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กสูงสุดโดยทั่วไปมีค่าอยู่ที่ 0.2 เทสลา

f_s หมายถึง ความถี่สวิตซ์ซิ่ง

ดังนั้นจะคำนวณหาค่า

$$A_p = \frac{250\left(\frac{1}{0.8}\sqrt{\frac{4(0.836)}{3}} + \sqrt{\frac{4(1-0.836)}{3}}\right)}{(3.5)(0.35)(10^6)(0.2)(27x10^3)}$$

$$A_p = 6.7549x10^{-8}\ m^4$$

จากค่า A_p ข้างต้นสามารถนำไปพิจารณาในการเลือกแกน โดยเลือกแกนที่มีค่า A_p มากกว่าที่คำนวณได้จากตารางภาคผนวก ก. ตารางผลคูณพื้นที่แกนเฟอไรต์ จะเลือกแกนชนิด E65/32/26 ซึ่งมีค่า $A_p = 6.7549x10^{-8}\ m^4$ และ $A_c = 2.66x10^{-4}\ m^2$ การคำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดสามารถคำนวณได้จาก

$$N_1 = \frac{d_p V_{dc}}{A_c B_m f_s} \tag{3.5}$$

โดย N_1 คือ จำนวนรอบของขดลวดที่พันอยู่บนแกนแม่เหล็กซึ่งได้ค่า

$$N_1 = \frac{(0.836)(30.4)}{(2.66x10^{-4})(0.2)(27x10^3)}$$

ดังนั้นจำนวนรอบของขดลวดที่พันอยู่บนแกนแม่เหล็กจำนวน 18 รอบจากค่าอัตราส่วนรอบของหม้อแปลง $n = 0.5$ ดังนั้นจะได้ว่า $N_2 = 36$ รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจร Flyback Inverter

วงจรควบคุมการทำงานประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆคือวงจรควบคุมวงจรด้านปฐมภูมิด้านทุติยภูมิและวงจรควบคุม MPPT โดยวงจรควบคุมทางด้านปฐมภูมิจะทำงานประสานกับวงจรควบคุม MPPT ซึ่งประกอบด้วยชุดตรวจจับแรงดัน กระแส

3.3.1 ชุดตรวจจับกระแส (DC Current sensor)

จะใช้ Sensor ไอซีวัดกระแสในตระกูล ACS712 ของบริษัท Allegro เป็น IC ที่ใช้หลักการวัดกระแส แบบ Hall Effect-Base เป็นการวัดกระแสทางอ้อม เมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าทั้ง DC และ AC จะทำให้เกิดเส้นสนามแม่เหล็กรอบสายไฟ เมื่อเซ็นเซอร์ Hall effect อยู่ในบริเวณเส้นสนามแม่เหล็กของสายไฟ จะส่งสัญญาณออกมาตามระดับสนามแม่เหล็กที่วัดได้

โดยคุณสมบัติของหลักๆของ ACS712 สามารถใช้แรงดันไฟเลี้ยงวงจรแบบ DC ในช่วง 4.5V ถึง 5.5V โดย สามารถวัดกระแสได้ในสองแบบคือไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ (DC และ AC) ให้ แรงดันเอาต์พุต VOUT แบบเชิงเส้น (linear) ไอซีในตระกูลนี้ให้เลือกใช้แตกต่างกันตามช่วง ของการวัดกระแส อาทิเช่น ±5A, ±20A และ ±30A ค่าผิดพลาดในการวัดอยู่ในช่วง 1.5% ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นต้น ค่า output sensitivity ของแต่ละช่วงแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 66 mV/A ถึง 185 mV/A ยกตัวอย่าง เช่น ไอซีACS712-30A วัดกระแสได้ในย่าน -30 ถึง +40 A (วัดได้ทั้งกระแส AC และ DC) ใช้ไฟกระแสตรง 5 V Sensitivity 66mV/A , 5 µs output rise time in response to step input current 80 kHz bandwidth ตารางแสดงคุณลักษณะของไอซีเบอร์ ACS712-30A

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS[1] T_A = –40°C to 85°C, C_F = 1 nF, and V_{CC} = 5 V, unless otherwise specified

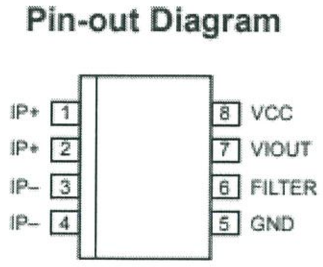
Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		–30	–	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P, T_A = 25°C	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, T_A = 25°C, 66 mV/A programmed Sensitivity, C_F = 47 nF, C_{OUT} = open, 2 kHz bandwidth	–	7	–	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT(Q)}$	T_A = –40°C to 25°C	–	–0.35	–	mV/°C
		T_A = 25°C to 150°C	–	–0.08	–	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	T_A = –40°C to 25°C	–	0.007	–	mV/A/°C
		T_A = 25°C to 150°C	–	–0.002	–	mV/A/°C
Total Output Error[2]	E_{TOT}	I_P = ±30 A, T_A = 25°C	–	±1.5	–	%

[1]Device may be operated at higher primary current levels, I_P, and ambient temperatures, T_A, provided that the Maximum Junction Temperature, T_J(max), is not exceeded.

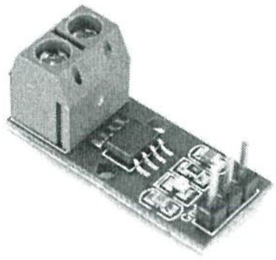
[2]Percentage of I_P, with I_P = 30 A. Output filtered.

รูปที่ 3.5 ตารางคุณลักษณะของไอซีเบอร์ ACS712-30A [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



ข)

รูปที่ 3.6 ก) Pin-out diagram ของไอซีเบอร์ ACS712-30A ข) ไอซีเบอร์ ACS712-30A

3.3.2 ชุดตรวจจับแรงดันไฟตรง (DC voltage sensor)

จะใช้ Sensor ไอซี HCMODU0047 วัดแรงดันตรงจากแผงโซล่าร์เซลล์

รูปที่ 3.7 ไอซี HCMODU0047

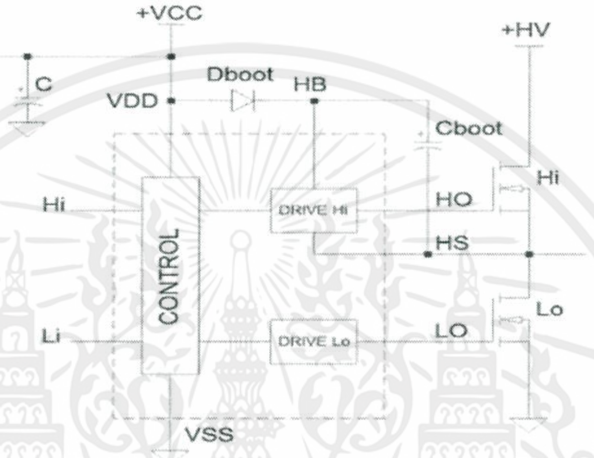
3.3.3 วงจรขับเกต (Gate driver)

วงจรขับเกตแบ่งออกเป็นสองชุด วงจรขับเกตด้านปฐมภูมิจะรับสัญญาณ PWM จากวงจรเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อไปขับขาเกตของ MOSFET ในวงจรด้านปฐมภูมิ วงจรขับเกตด้านทุติยะภูมิจะใช้ IC TLP250 จะรับสัญญาณมาจากวรจรประวิงเวลา เพื่อใช้ขับขาเกต IGBT ในวงจรด้านทุติยภูมิ ซึ่งวงจรอยู่ในลักษณะ IGBT แบ่งครึ่งแรงดัน จึงมีลักษณะของ high-side (ตัวบน) และ low-side (ตัวล่าง) หลักการการขับเกตโดยทั่วไปจะต้องให้แรงดันที่ขาเกต (GATE) สูงกว่าแรงดันที่ขาซอร์ส (SOURCE) ประมาณ 10-15 โวลต์ ซึ่ง IGBT ตัวล่างหรือ low-side นั้น ขาซอร์สจะต่อโดยตรงที่เส้นกราวด์ แรงดันจากวงจรขับที่ต่อเข้ากับขาเกตก็จะเป็นแรงดันเทียบกับกราวด์โดยตรง จึงไม่มีปัญหากับ PWM ในการจ่ายแรงดันขับเกต แต่สำหรับ IGBT ตัวบนหรือ high-side นั้น ขาซอร์สจะต่อผ่านโหลดลงกราวด์ ส่วนขาเดรน (D) จะต่อเข้ากับส่วนที่เป็นแรงดันไฟเลี้ยงบริดจ์ หมายความว่าแรงดันขับที่ขาเกตสำหรับ high-side จะต้องสูงกว่าแรงดันไฟเลี้ยงบริดจ์ ซึ่งจะเป็นปัญหาทันทีหากแรงดันไฟเลี้ยงบริดจ์เป็นแรงดันค่าสูงๆ เช่น 300VDC เนื่องจากวงจรขับทั่วไปส่วนใหญ่จะมีแรงดันค่าต่ำๆ วิธีที่นิยมใช้ในการขับ IGBT ในลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ก็คือ การใช้หม้อแปลง pluse เพื่อแยกแรงดันอ้างอิงให้ขาเกตและซอร์ส แต่จะมีข้อเสียเรื่องขนาดของหม้อแปลง ข้อจำกัดเรื่องความถี่การทำงาน และสัญญานรบกวน (และเสียเวลาพันหม้อแปลง)

แต่สำหรับ IC TLP250 สามารถใช้ขับเกตด้าน High side โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลง pluse หรือหาไอซี High-side driver มาคั่นก่อนเข้าขาเกต กับขาซอร์ส เพื่อแก้ปัญหาจุดกราวด์อ้างอิงของขาเกต โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Bootstrap ลักษณะวงจรพื้นฐานทั่วไปของ IC High-Side Driver ที่ใช้เทคนิค Bootstrap จะเป็นดังรูปข้างล่าง

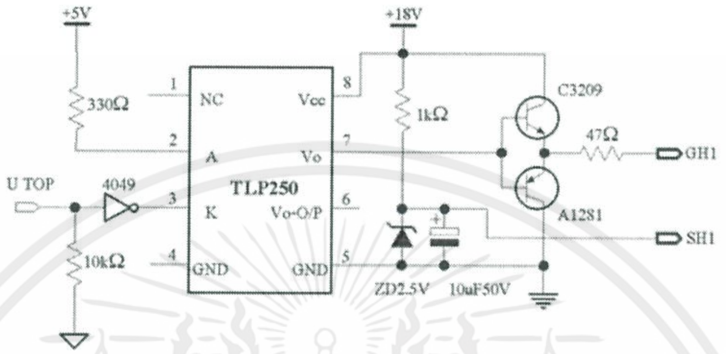


รูปที่ 3.9 วงจรพื้นฐานทั่วไปของ IC High-Side Driver

จากรูปมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ชุด Control ชุด Drive Hi (high-side) และชุด Drive Lo (low-side) ขาHi (High in) กับLo (Low in) จะเป็นส่วนที่รับคำสั่งจาก PWM ภายนอก เพื่อให้ชุด control ขับชุด dirve Hi หรือ Lo เพื่อขับ IGBT ตัวบนและตัวล่างต่อไป ไฟเลี้ยงสำหรับชุด control ซึ่งจะได้จาก VDD เป็นไฟเลี้ยงสำหรับวงจร logic ทั่วไป ซึ่งจะกำหนดค่าให้สอดคล้องกับค่าแรงดัน logic ของ PWM ที่เข้ามายังขา Hi กับ Lo ที่อ้างอิงกับขา VSS ซึ่งจะเป็นจุดอ้างอิง common ที่ใช้ร่วมกับชุด control ชุด Drive Lo และIGBT ตัวล่าง ซึ่งเป็นลักษณะปกติของวงจรทั่วไปเช่นกัน ดังนั้นวงจรส่วน Low-side จึงเหมือนวงจรในการขับเกตทั่วไป แต่ส่วนที่พิเศษแยกออกมา คือส่วนของ HB HO และ HS ของชุด Drive Hi ที่จะใช้ขับเกตตัวบน ซึ่งจะแยกเป็นชุดลอย (Floating) ออกมา ขา HB จะเป็นจุดต่อไฟจ่ายแรงดันที่จะขับออกมาทาง HO เพื่อใช้ขับขาเกตของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวบน โดยแรงดันที่จุด HB กับ HO นี้จะเป็นแรงดันที่อ้างอิงกับค่าแรงดันที่ขา HS สำหรับ +HV จะเป็นแรงดันขับโหลดของบริดจ์ผ่าน IGBT ตัวบนและล่าง ซึ่งจะอ้างอิงกับจุดกราวด์ในรูป ซึ่งจะเป็นจุด common ที่ใช้ร่วม กับ VDD และเพื่อให้มีแรงดัน float เกิดขึ้นในชุด Drive Hi ก็ต้องเพิ่ม Dboot กับ Cboot เข้ามาในวงจร เนื่องจาก VCC เป็นแรงดันที่อ้างอิงกับ VSS (และจุดร่วม) ดังนั้น Cboot จะถูกชาร์จประจุและเกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันในจังหวะที่ IGBT ตัวล่างนำกระแส (ตัวบนไม่นำกระแส) ด้วยแรงดันที่ได้จาก VCC ผ่านไดโอด Dboot ผ่านตัว Cboot แล้วลงกราวด์ ดังนั้นเมื่อIGBTตัวล่างหยุดนำกระแสแรงดันที่ตกคร่อม Cboot ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะกลายเป็นแรงดันลอย floating ตามต้องการ ที่สามารถใช้จ่ายให้ขา HB เพื่อเป็นแรงดันขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวบนในจังหวะถัดมา ทำให้แรงดันที่ HB มีค่าสูงกว่าแรงดันที่ขาเดรน (Drain) ของเพาเวอร์มอสเฟตตัวล่างเมื่อเทียบกับจุดกราวด์ได้ ซึ่งหากกำหนดค่า Cboot ให้เหมาะสมก็จะมีค่าแรงดันและกระแสที่เพียงพอจะขับขาเกตของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวบนให้ทำงานได้



รูปที่ 3.10 Functional Block Diagram ของ IC TLP250

ก) ข)

รูปที่ 3.10 ก) IC TLP250 Pin out diagram ข) IC TLP250 [11]

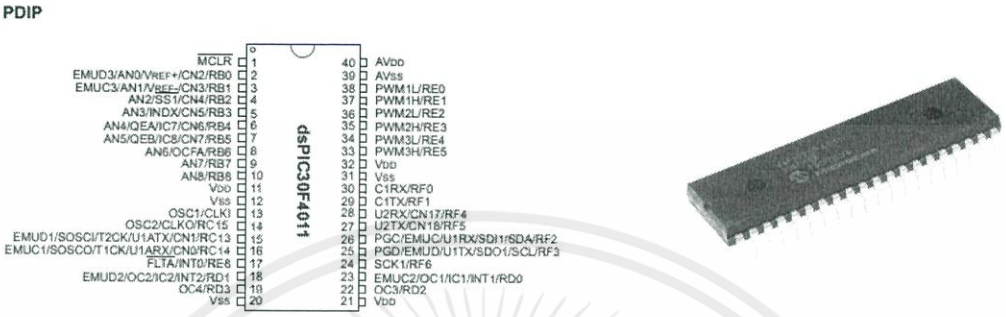
3.3.6 Microcontroller

3.3.6.1 ควบคุมฟลายแบค อินเวอร์เตอร์

จะใช้ตัวควบคุม dsPIC30F4011 40-Pin PDIP เป็นตัวประมวลผลดิจิตอล ขนาด 16 bit ของบริษัท Microchip การเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC นอกจากจะใช้ภาษา Assembly แล้ว ยังสามารถใช้ ภาษาอื่นๆ ได้อีก เช่น ภาษาเบสิก ภาษาซี เป็นต้น ในโครงงานนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C โดยข้อดีของการใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมคือ ไม่ขึ้นกับฮาร์ดแวร์ สามารถเขียนแบบโครงสร้าง มีความสามารถใกล้เคียงแอสเซมบลี และยังสามารถเขียนการทำงานที่ซับซ้อนได้ดี



ก) ข)

รูปที่ 3.14 ก) pin out diagramของ dspic4011 ข) dspic4011 40pin PDIP [14]

3.3.6.2 PID controller

จะใช้ Arduino UNO R3 มาใช้ในการเขียน PID controller โดยคุณสมบัติของ Arduino UNO R3 ใช้Mage 328P(DIP) เป็นคอนโทรเลอร์หลักร่วมกับ ATMega16U2 ทำหน้าที่ติดต่อกับ USB ซึ่งเป็นตัวเดียวกันกับของ อิตาลีทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องไดร์เวอร์ Windows, OSX, Linux แต่ที่เด่นกว่าตัวอื่น คือเทคโนโลยีแผ่น PCB เดียวกันกับที่ใช้ในเมนบอร์ดคอมพิวเตอร์ทำให้ลดความร้อนที่เกิดขึ้นในวงจร ลายวงจรมีความหนามากกว่าจึงนำกระแสได้มากกว่า ที่สำคัญได้ออกแบบลายทองแดงให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อระบายความร้อน(LM117 regulator) จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้งานได้เป็นเวลานานๆและไม่มีปัญหาด้านความร้อน ทางด้านSoftware จะใช้ตัวตัว Bootlooder รุ่นใหม่(Optiboot) ทำให้ฐู้ทเร็วขึ้น

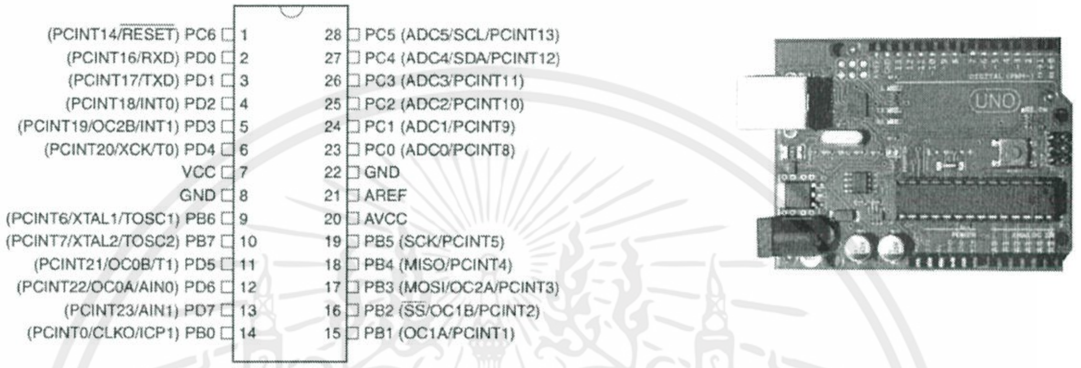
- ใช้ATmega328-AU เป็น MCU ประจำบอร์ด Run ความถี่16MHz จาก Crystal Oscillator
- มีUSB Controller ในตัว USB 2.0 Full Speed/Low Speed
- มีDigital I 14 Digital I/O Pins (6 PWM outputs)
- 8 Analog Inputs
- มีวงจร Line Driver สำหรับพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 จำนวน 1 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• การพัฒนาโปรแกรมสามารถพัฒนาบนโปรแกรมออดิโน่และสามารถโปรแกรมได้ทันที ผ่านทางพอร์ต USB โดยไม่ต้องมีเครื่องโปรแกรมภายนอก

• สามารถใช้งานได้ทั้งระบบปฏิบัติการ Windows, Mac OS X และ Linux

• รองรับการใช้งานกับ External Supply ทั้งแบบ AC และ DC ขนาด 7-12V และสามารถใช้ แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB ได้ในกรณีใช้กระแสไม่เกิน 500mA



ก) ข)

รูปที่ 3.15 ก) Arduino UNO R3 pin out diagram ข) บอร์ด Arduino UNO R3 [15]

3.3.7 การคูณ

เป็นการคูณค่าสัญญาณระหว่างแรงดันไซน์สัมบูรณ์และแรงดันที่ได้จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย PID controller โดยจะใช้ microcontroller ในการคูณค่าสัญญาณ จากการเขียน code รับสัญญาณจาก Port input และเขียนคำสั่งทำการคูณกันในตัวของ microcontroller จะได้เอาท์พุทออกมา เอาท์พุทที่ได้จะส่งไปยัง comparator

3.3.8 การเปรียบเทียบสัญญาณ

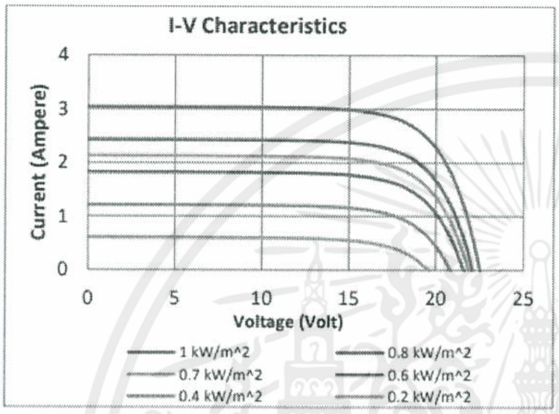
เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณจากวงจรคูณและ Saw-tooth waveform เพื่อทำการมอดูเลทกันและสร้างสัญญาณ PWM เพื่อนำไปขับเกตของ Power MOSFET ในวงจร Flyback inverter ด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

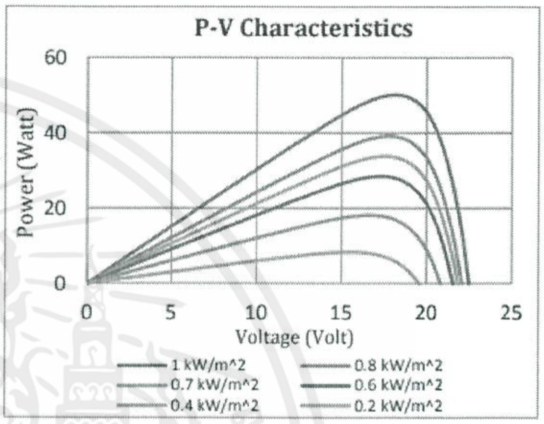
3.4 การออกแบบระบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.4.1 ระบบตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย PID controller

จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิ ซึ่งทำให้ไม่สามารถทำการคาดเดาจุดของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แน่นอนได้เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงและอุณหภูมิอยู่ตลอดเวลาดังรูปที่3.15 กระบวนการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด(MPPT) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับแผงโซล่าร์เซลล์



ก)



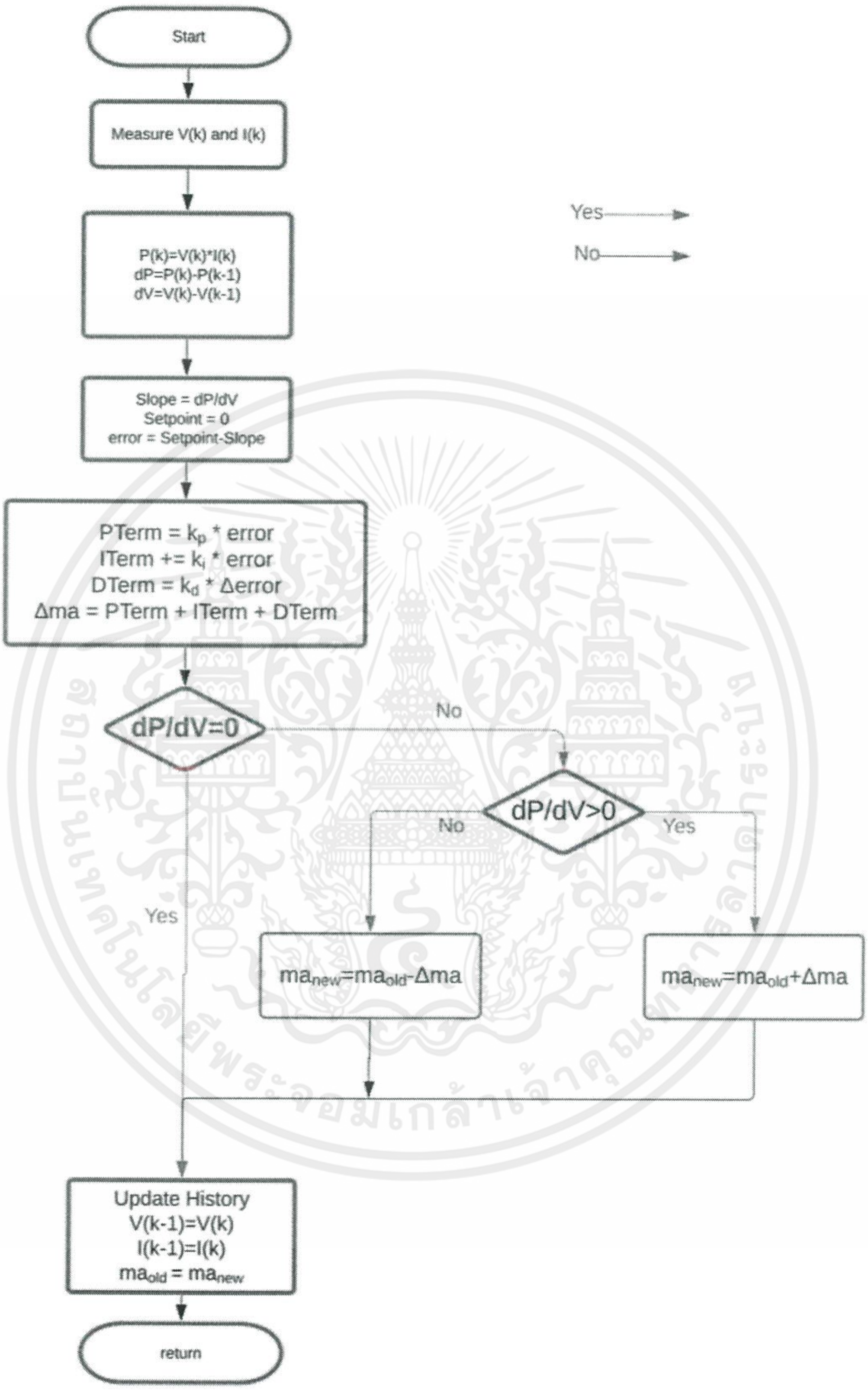
ข)

รูปที่ 3.16 ก) กราฟแสดงคุณลักษณะของแรงดันและกระแสของแผงโซล่าร์เซลล์

ข) กราฟแสดงคุณลักษณะของแรงดันและกำลังไฟฟ้าของแผงโซล่าร์เซลล์ [8]

การควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย PID cotrollerใช้วิธีการหาค่าความชันของกราฟ PV curve รูปที่ 3.15(ข) ที่ได้จากชุดตรวจจับแรงดันและกระแสจากแผงโซล่าร์เซลล์ มาเทียบกับค่า setting value ที่มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าความชันเท่ากับศูนย์ ระบบจะทำการหาค่าความคลาดเคลื่อน(error)และทำการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยอ้างอิงจากค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ ข้อดีของการตามรอยจุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าแบบ PID คือ การนำอัตราขยาย(K_p), ปริพันธ์(K_i)และอนุพันธ์(K_d) มาใช้ในการควบคุม โดยเมื่อนำข้อดีของแต่ละส่วนมารวมกันระบบที่ได้จะมีความเสถียร สามารถเข้าสู่ setting pointได้เร็ว อีกทั้งยังมีค่า over shootน้อย การตามรอยจุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าจึงทำได้อย่างรวดเร็วโดยขึ้นอยู่กับค่า error ที่ได้ เมื่อระบบมีค่า error ที่ได้จากการเปรียบเทียบของความชัน(dP/dV)และศูนย์มีค่ามาก นั่นหมายถึงอยู่ห่างจากจุด setting point มากจึงทำการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบก้าวกระโดดตามค่า error ที่มาก แต่ในทางกลับกันเมื่อระบบมีค่าerror น้อยจะค่อยๆ ชะลอการทำงานลงเพื่อเข้าสู่setting point ได้อย่างแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แผนผังการทำงานของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยการควบคุมแบบPID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนแรกระบบจะรับค่าจากชุดตรวจจับแรงดันและกระแสของแผงโซล่าร์เซลล์ มาทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ณ เวลาปัจจุบัน(P(k)), ค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป(dP) โดยที่P(k-1)คือกำลังไฟฟ้าก่อนหน้า และค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป(dV) โดยที่ V(k)คือค่าแรงดัน ณ เวลาปัจจุบันและV(k-1)คือค่าแรงดันก่อนหน้า จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการหาความชัน(dP/dV) จากจุดประสงค์ของเราคือการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เราจึงต้องการหาตำแหน่งที่มีความชันเท่ากับศูนย์ แต่จากรูปที่3.15(ข) ตำแหน่งที่มีความชันเท่ากับศูนย์มีอยู่ 3 ตำแหน่ง เงื่อนไขในการหาตำแหน่งที่เป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุดคือจุดที่มีค่า P(k) และค่า P(k-1)>0

การเพิ่มหรือลดขนาดของแรงดันขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่กำหนดตาม flow chart โดยการเพิ่มหรือลดของแรงดันจะทำภายใต้อัตราขยาย ปริพันธ์และอนุพันธ์ จากกระบวนการดังกล่าวจะเป็นการปรับค่า duty ของสัญญาณที่จะนำไปคูณกับสัญญาณ Absolute sine และนำสัญญาณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณ sawtooth 30kHz เพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อนำไปขับ MOSFET(S_{pri}) ในวงจรฟลายแบคอินเวอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

4.1 การสร้างแบบจำลองกราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

สร้างแบบจำลองคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยนำความต้านทานมาเป็นโหลดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และทำการเพิ่มความต้านทานของโหลด หลังจากนั้นทำการวัดกระแสและแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าดังนี้

ขนาดกำลังสูงสุด	250	วัตต์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	30.4	โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	8.22	แอมป์
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	8.82	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	37.6	โวลต์

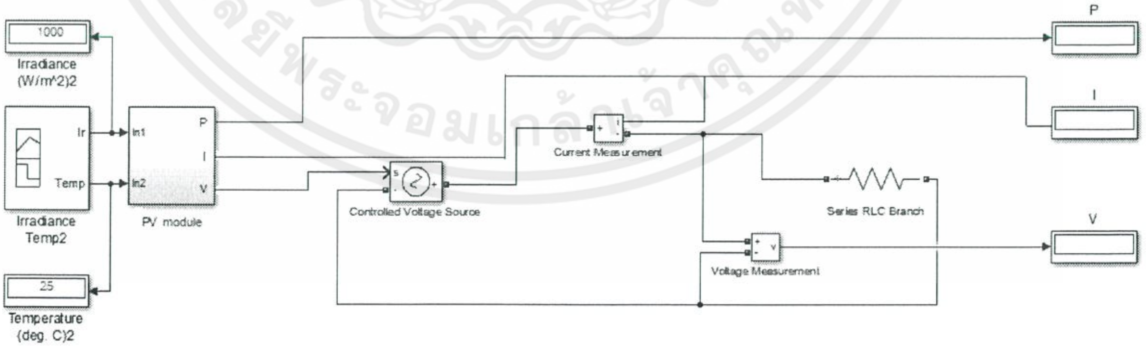
สภาพมาตรฐานที่ความเข้มแสง 1000 w/m^2 ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลดลง 0.5 % ได้ทำการทดลองดังต่อนี้

1. เปิดวงจร (Open circuit) ทางด้านแรงดันเอาท์พุทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการไม่ต่อโหลดทำการวัดแรงดันเปิดวงจร

2. ลัดวงจร (Short circuit) ทางด้านเอาท์พุทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดการทำการวัดกระแสลัดวงจร แรงดันลัดวงจรจะเป็นศูนย์

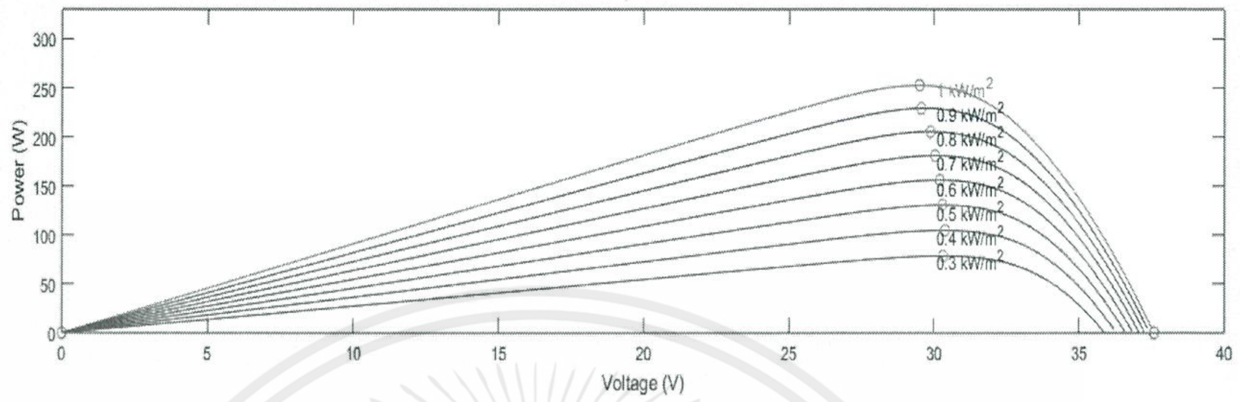
3. ต่อโหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ ปรับค่าความต้านทานและวัดกระแสกับแรงดันในทุกขณะที่มีการเปลี่ยนแปลง

4. นำค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1-3 มาทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดันและกระแสกับแรงกัน

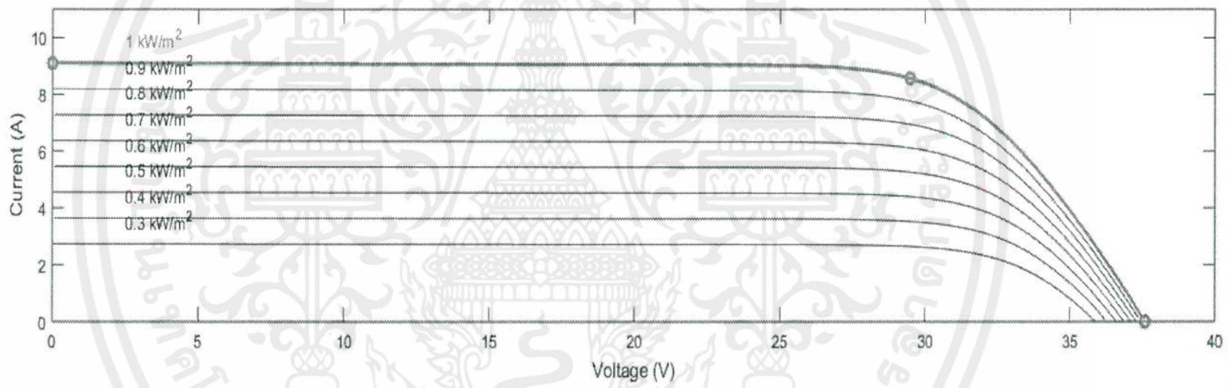


รูปที่ 4.1 วงจรทดสอบหาคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง

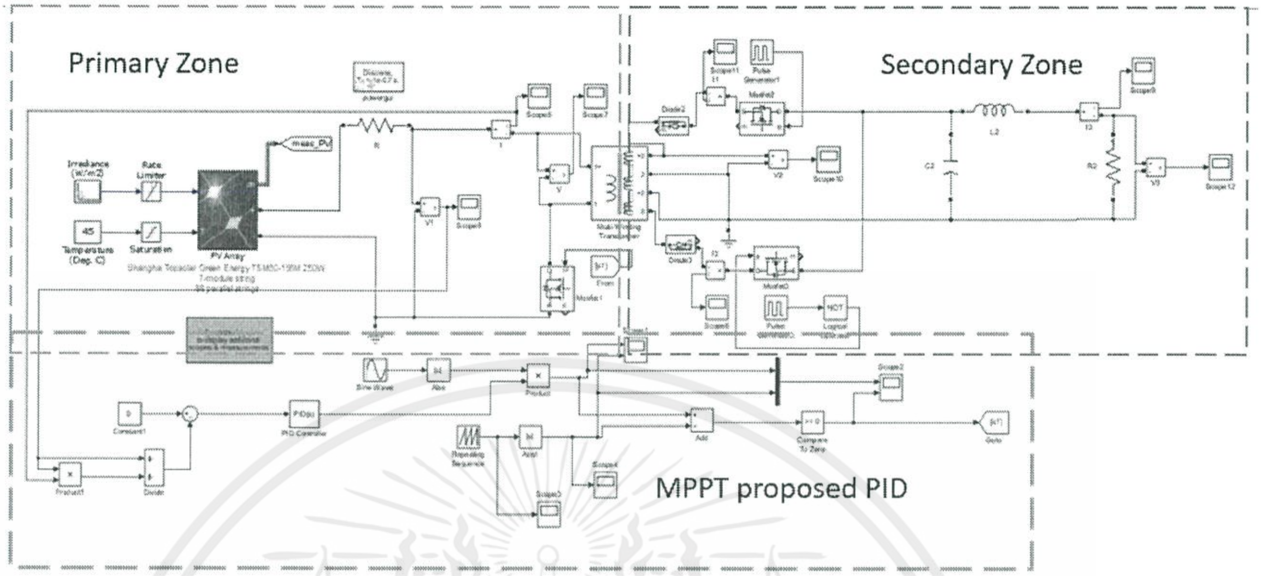


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 ทำการจำลองหากราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วงจรตามรูปที่ 4.1 ซึ่งทำการจำลองในแต่ละความเข้มแสง จะเห็นว่าที่แต่ละความเข้มแสงจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเพียงค่าเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การจำลองระบบควบคุมแบบเทคนิคที่นำเสนอบนวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์



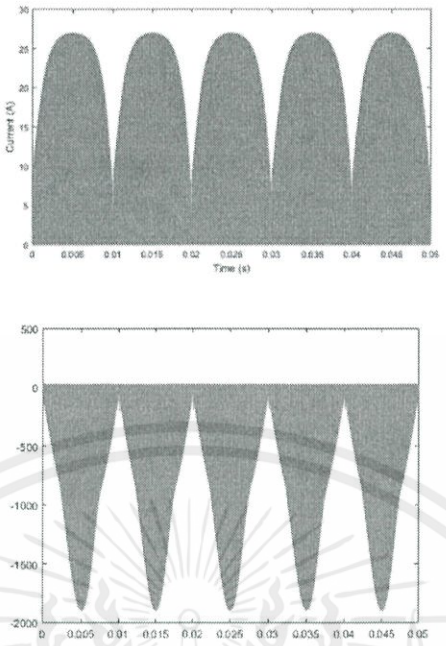
รูปที่ 4.4 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่ถูกจำลองขึ้นนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาถึงการทำงานของวงจรเมื่อเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่ามีความสอดคล้องกับทฤษฎีที่ตั้งไว้หรือไม่ นอกจากนี้ยังสามารถนำสัญญาณในแต่ละส่วนที่วัดจากการจำลองมาใช้เป็นแนวทางในการสร้างวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์จริงจากรูปที่ 4.4 จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆคือ ส่วนปฐมภูมิ,ส่วนทุติยภูมิและส่วน PID โดยส่วนแรกคือส่วนปฐมภูมิที่มีการใช้ PID มาควบคุม MPPT ในระบบซึ่งจะมีแรงดันและกระแสไฟฟ้าเป็นอินพุตของระบบ โดยเอาท์พุตจากการประมวณผลด้วย PID จะเป็นตัวกำหนดสัญญาณไซน์ที่จะป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อนำไปเป็นองค์ประกอบในการสร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชัน(PWM) ซึ่งใช้ขับมอสเฟตทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูง

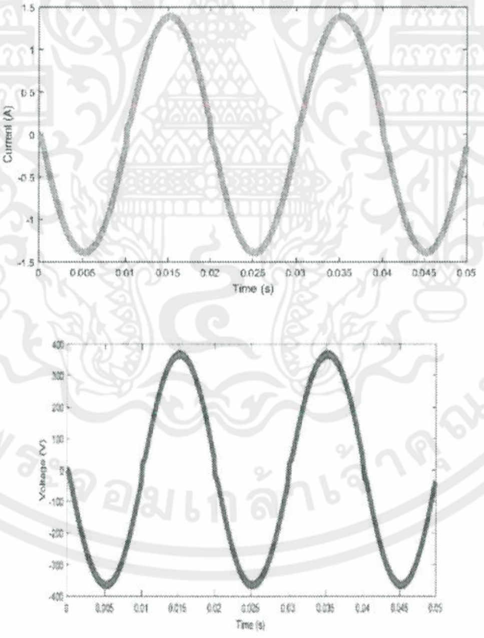
สำหรับค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กหมายถึงค่าการเปรียบเทียบของสัญญาณซายน์สัมบูรณ์เปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม 27 กิโลเฮิร์ซ์ โดยที่

$$\Delta ma = \frac{\text{Amplitude of Absolute sine}}{\text{Amplitude of Triangle}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 (ก) สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์
(ข) สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการจำลองสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูงจากโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยกราฟกระแสที่ได้มีลักษณะเป็นไซน์สัมบูรณ์ที่เป็นไปตามทฤษฎีซึ่งเกิดจากการนำสัญญาณ PWM ที่สร้างมาจากการมอดูเลชันระหว่างสัญญาณไซน์สัมบูรณ์และสามเหลี่ยม เป็นดังรูป 4.5 (ก)

ผลการจำลองสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ตามรูปที่4.5 (ข) เมื่อทำการต่อโหลดที่เป็นความต้านทานสัญญาณมีลักษณะเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 50 Hz

ผลการจำลองคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงสม่ำเสมอ

1. เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID มีค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อยกว่าเทคนิคการแกว่งและสังเกตที่ใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก
2. เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เร็วกว่าการใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตแบบธรรมดา
3. เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่าการใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตแบบธรรมดา

สรุปผลการจำลองคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ

จากการจำลองพบว่า เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่นำเสนอมีค่าแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำ และสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็ว ส่งผลให้ระบบสามารถดึงกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นโดยมีค่าสูญเสียจากการแกว่งลดลง เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID จึงสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาของเทคนิคการแกว่งและสังเกตแบบธรรมดาได้ โดยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ทำการต่อเข้ากับวงจรฟลายแบ็ค-อินเวอร์เตอร์ โดยทำการทดลองดังนี้

1. นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดดังนี้

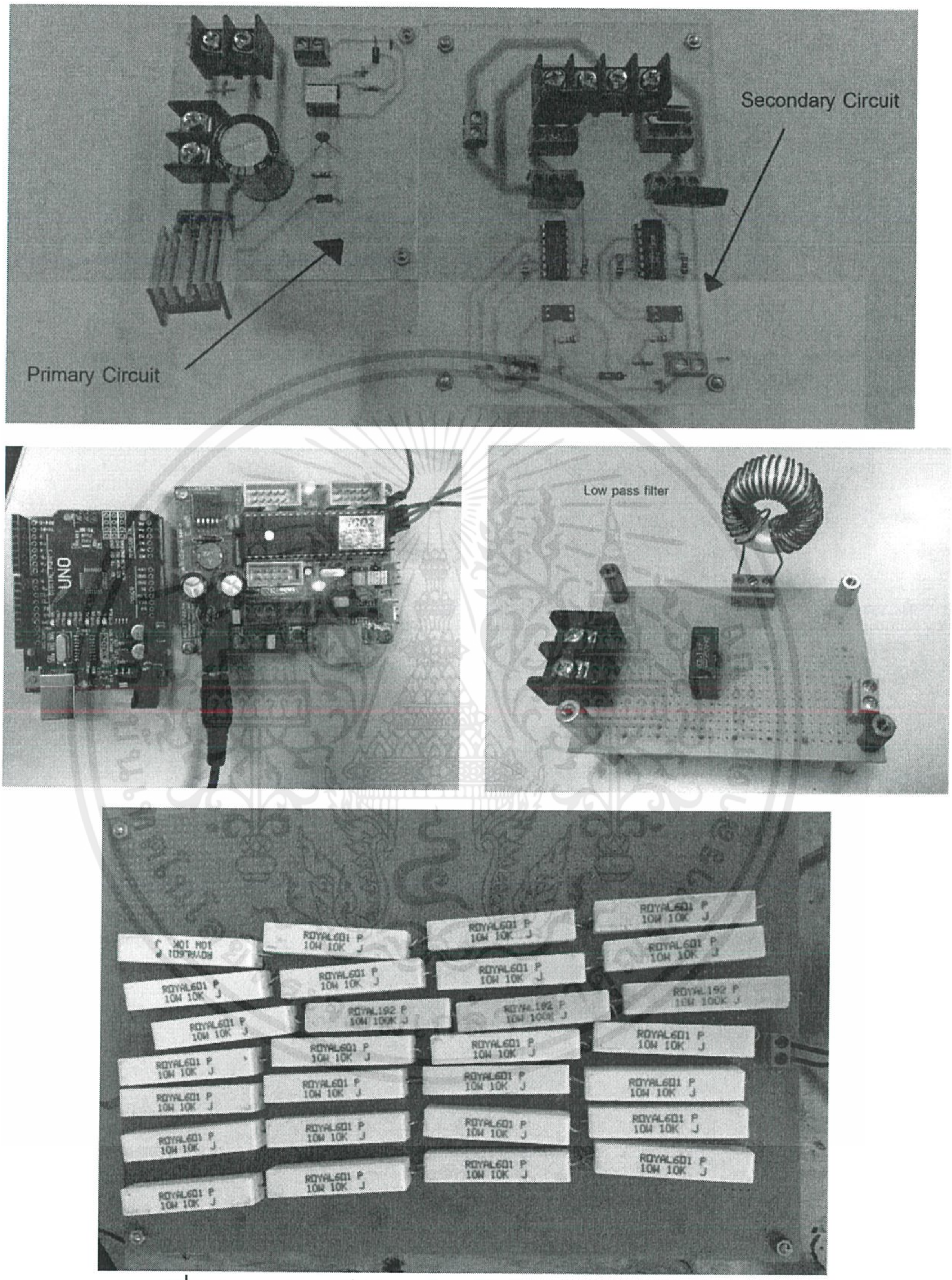
ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

ขนาดกำลังสูงสุด	250	วัตต์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	30.4	โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	8.22	แอมป์
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	8.82	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	37.6	โวลต์

สภาพมาตรฐานที่ความเข้มแสง 1000 w/m^2 ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลดลง 0.5 %

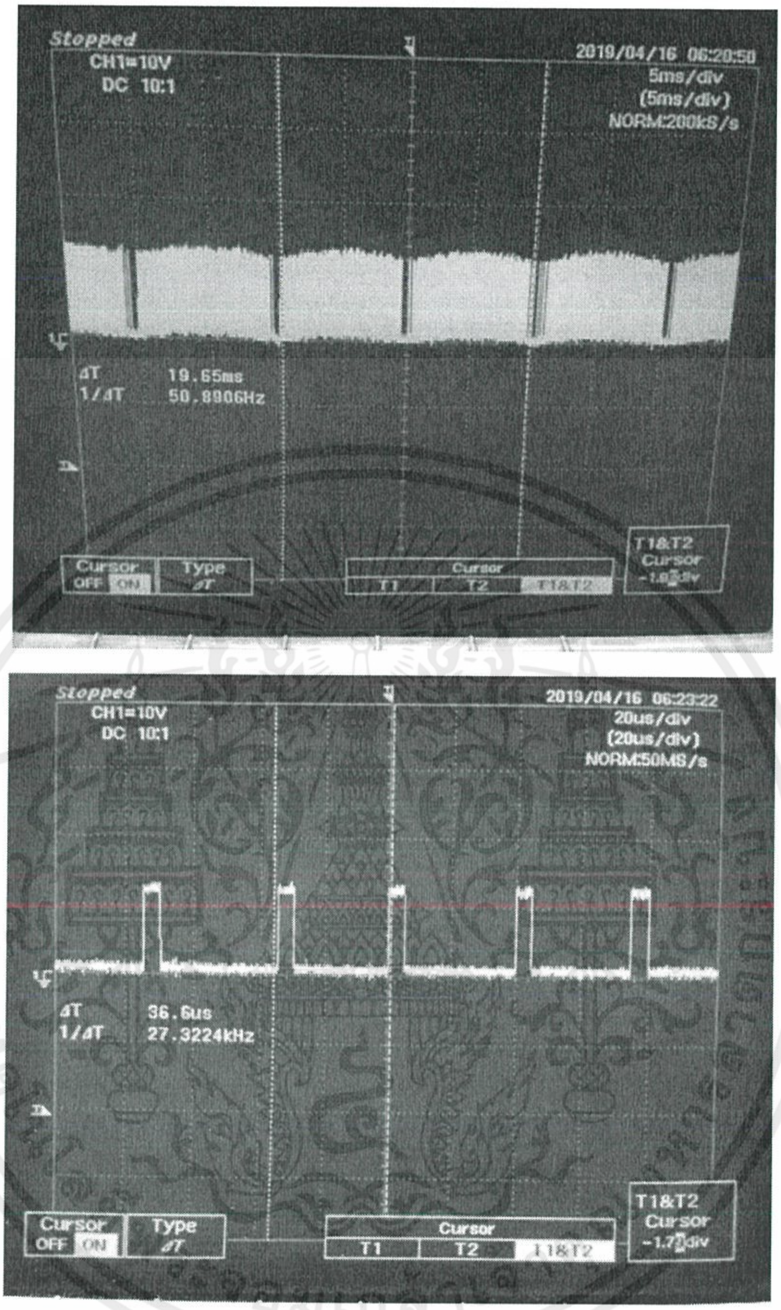
2. ต่อเข้ากับวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวยะรับแรงดันสูงสุดรวมทั้งแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ
3. ใช้โหลดเป็นแผงโหลดค่าความต้านทาน 550K โอห์มต่อเข้ากับเอาต์พุตของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์
4. จ่ายแรงดันให้กับวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์โดยใช้ DC Supply ในการจ่ายแรงดัน
5. นำออสซิลโลสโคปมาบันทึกกราฟกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



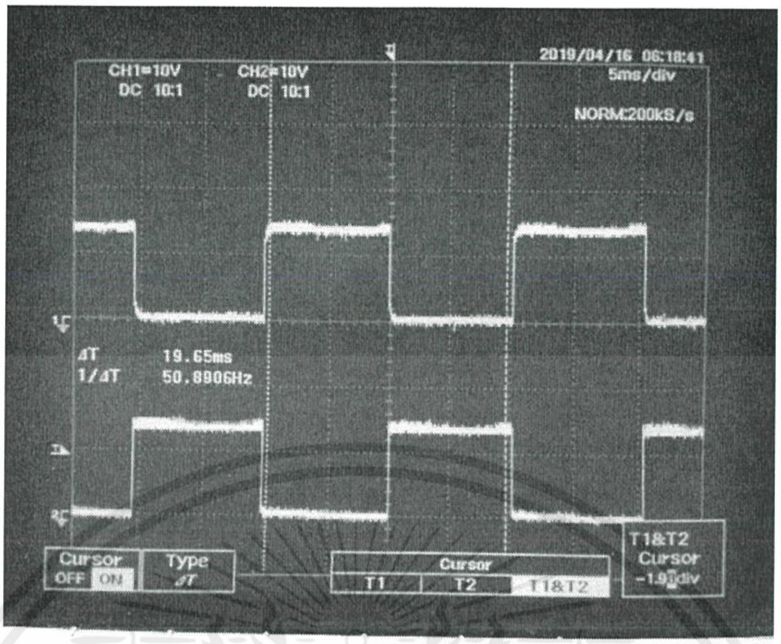
รูปที่ 4.6 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ต้นแบบสำหรับใช้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

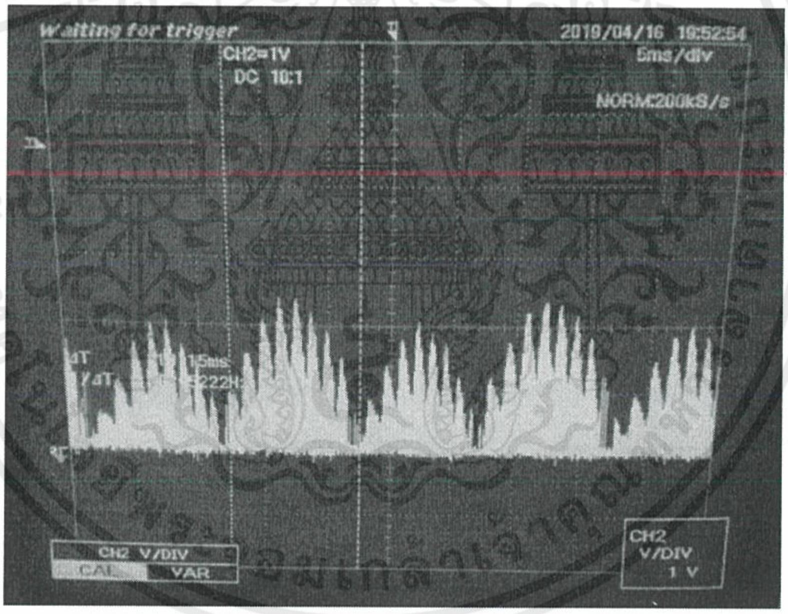


รูปที่ 4.7 สัญญาณ PWM เพื่อนำไปขับสวิตซ์มอสเฟสฝั่งปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

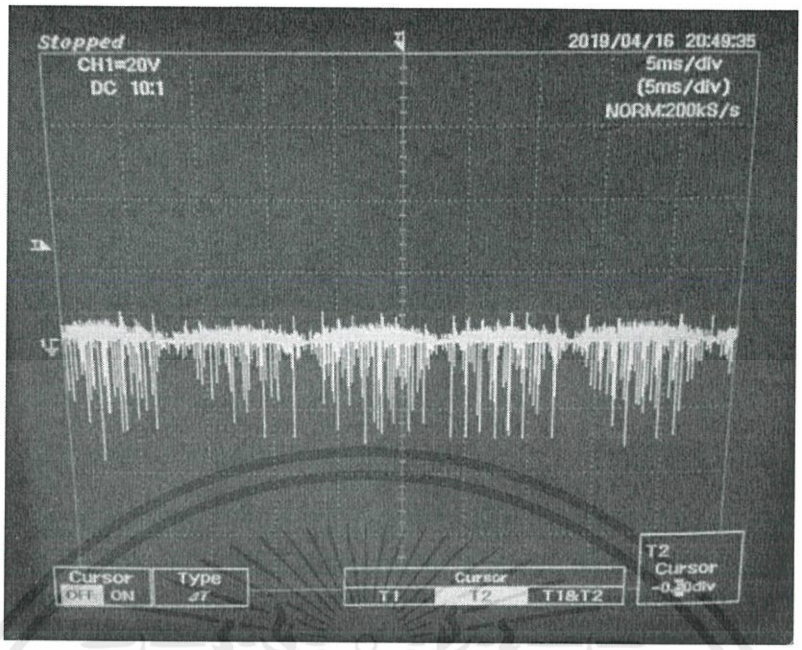


รูปที่ 4.8 สัญญาณเพลาฝั่งทุติยภูมิที่มีสัญญาณความถี่ตรงกันกับมอสเฟสฝั่งปฐมภูมิ 50 Hz



(ก)

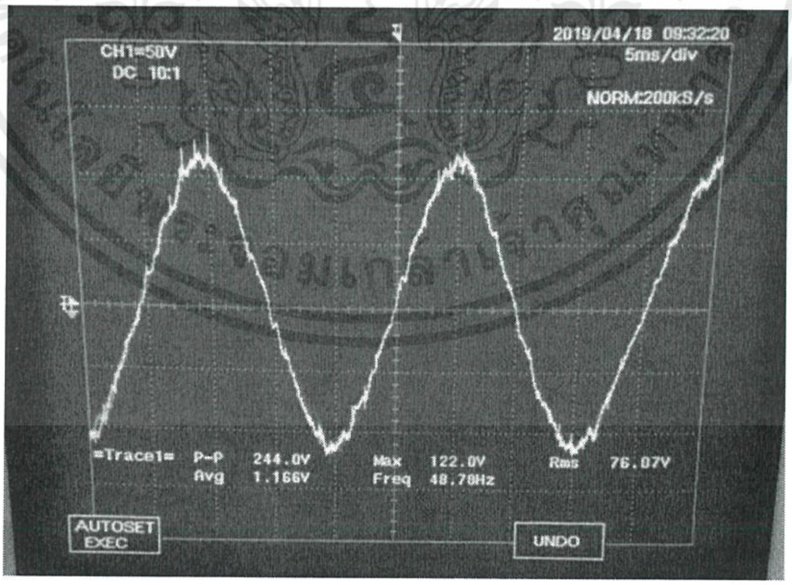
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

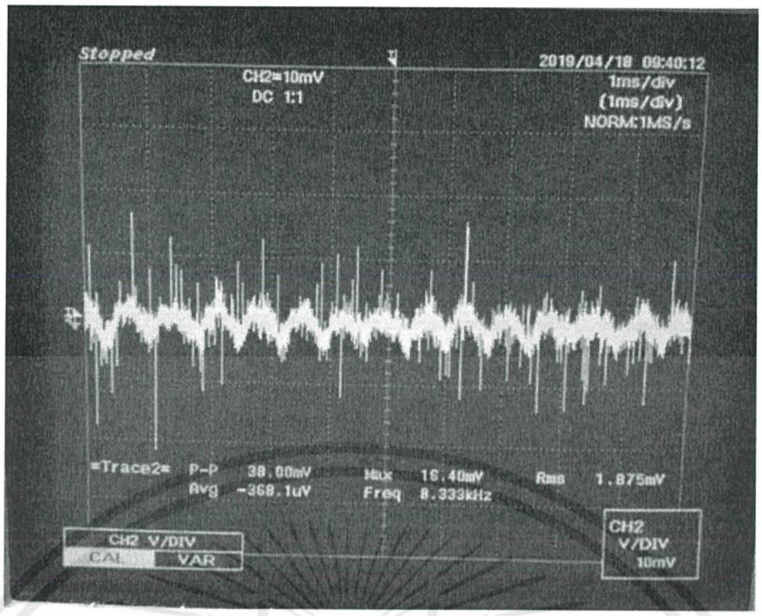
รูปที่ 4.9 (ก) สัญญาณกระแสทางด้านปฐมภูมิจากการทดลอง
(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิจากการทดลอง

จากรูปที่ 4.8 เป็นรูปสัญญาณแรงดัน และกระแสปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูงที่ได้จากการทดลอง โดยกราฟกระแสที่ได้มีลักษณะเป็นสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ซึ่งมีคาบการสวิทซ์ที่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยเป็นไปตามผลการจำลองดังรูปที่ 4.5



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

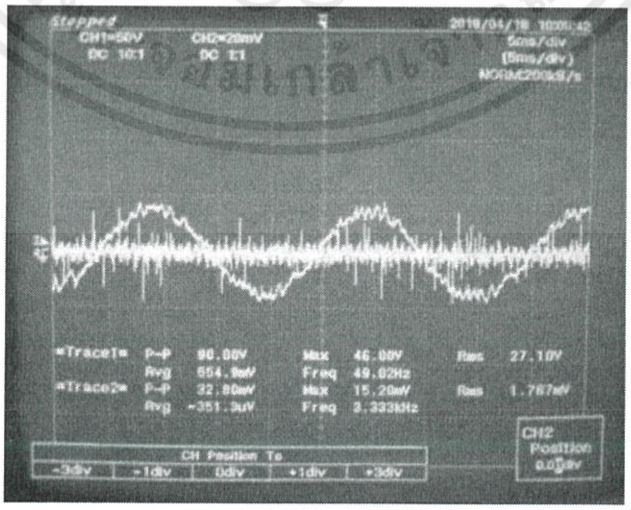
รูปที่ 4.10 (ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิที่ได้จากการทดลอง
(ข) สัญญาณกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิที่ได้จากการทดลอง

จากรูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการต่อโหลดที่เป็นความต้านทานสัญญาณมีลักษณะเป็นสัญญาณซายน์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

ผลการทดลองแบบ open loop

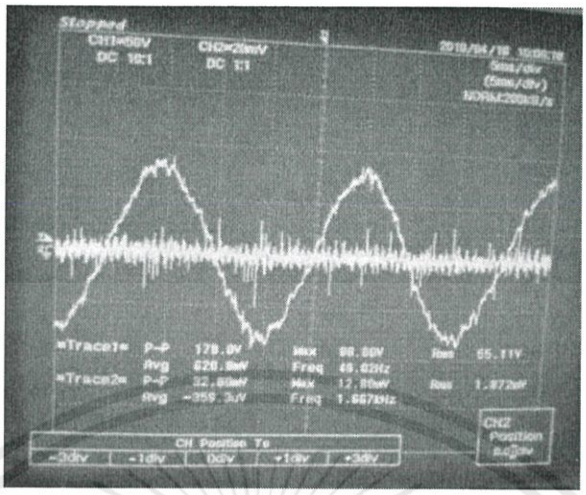
ทำการปรับค่ามอดูเลชั่นอินเด็ก (∆ma) ในโปรแกรมโดยใช้ dsPIC30F4011 ในการควบคุมสัญญาณ PWM โดยใช้ Vinput = 30.4 Voltages และทดลองใช้จ่ายกับโหลด 550K โอมห์

∆ma = 0.1

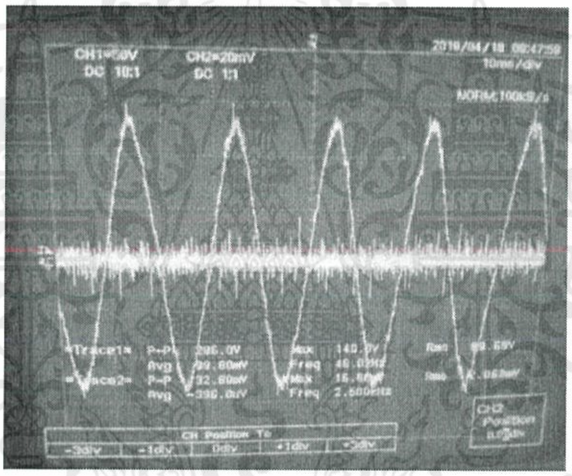


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

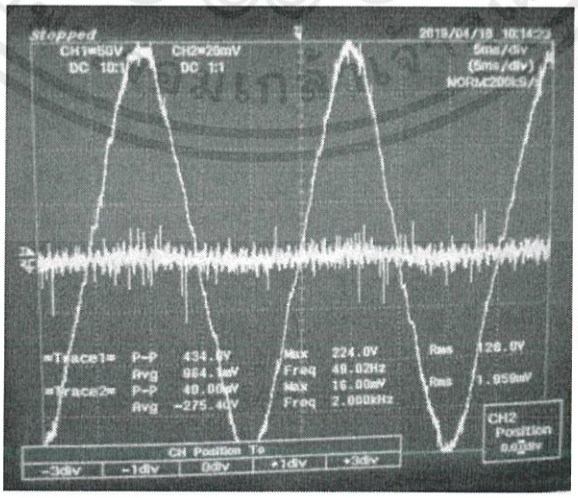
∆ma = 0.2 (ปรับสโคปเป็น 10:1)



∆ma = 0.3 (ปรับสโคปเป็น 10:1)

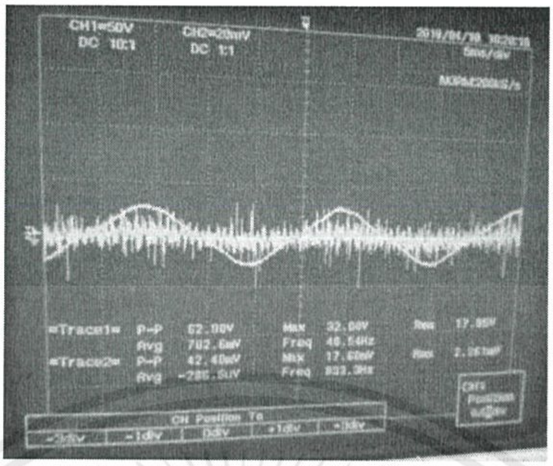


∆ma = 0.4 (ปรับสโคปเป็น 10:1)

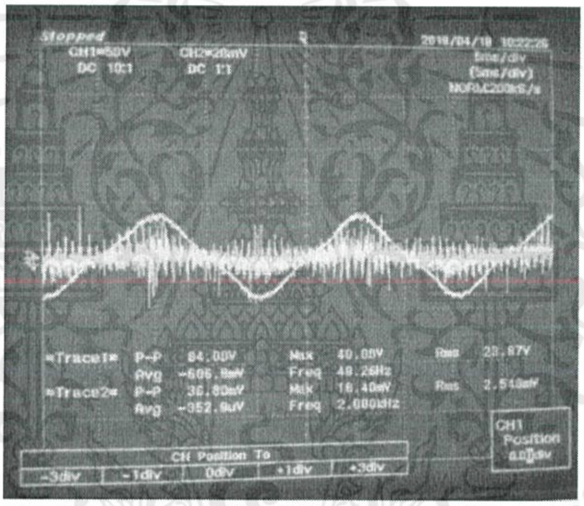


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

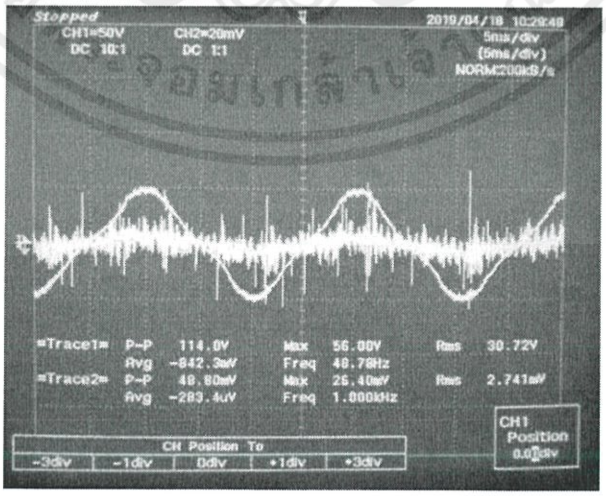
∆ma = 0.5 (ปรับสโคปเป็น 10:10)



∆ma = 0.6 (ปรับสโคปเป็น 10:10)

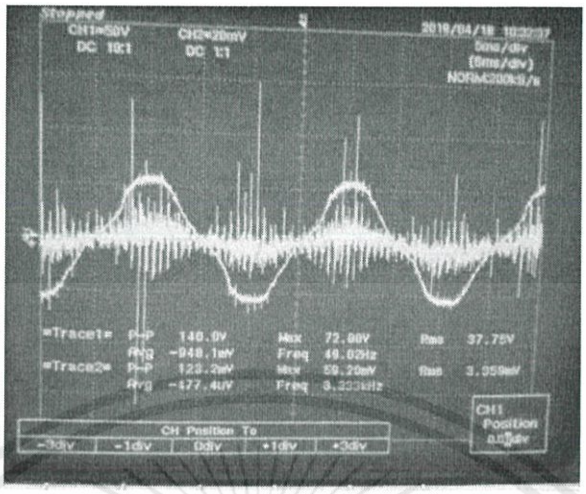


∆ma = 0.7 (ปรับสโคปเป็น 10:10)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δma = 0.8 (ปรับสโคปเป็น 10:10)

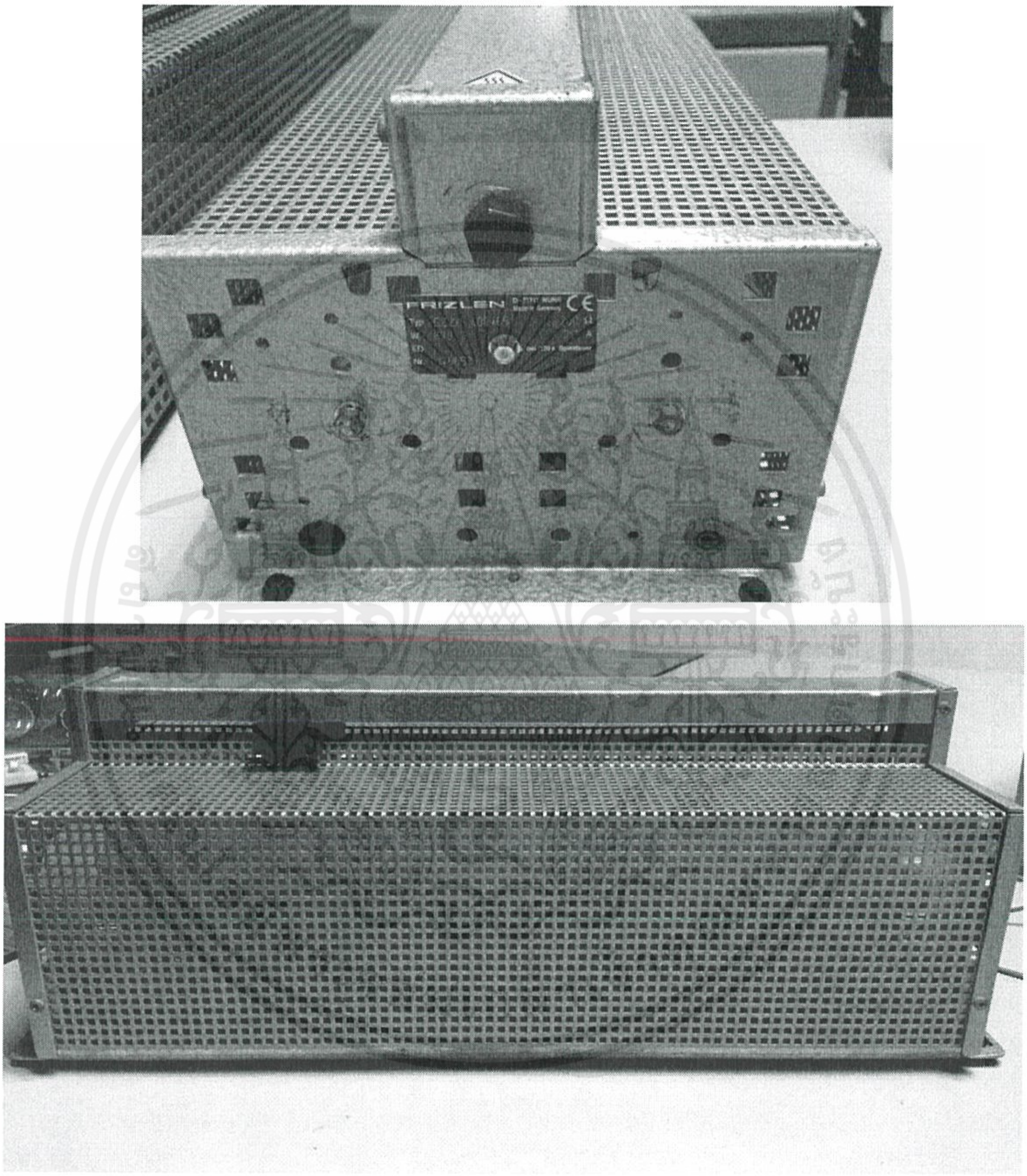


สรุปตารางผลการทดลองของการเปลี่ยนมอดูเลชั่น (Δma) ของ open loop

Δma	Vinput	Vp-p	Vmax	Vrms	Vmeter
0.1	30.4	382	200	146	140
0.2	30.4	446	230	164	160
0.3	30.4	510	254	190	190
0.4	30.4	510	254	209	219
0.5	30.4	510	254	216	230
0.6	30.4	510	254	220	238
0.7	30.4	510	254	223	243
0.8	30.4	510	254	225	246
0.9	30.4	510	254	226	253
1	30.4	510	254	223	239

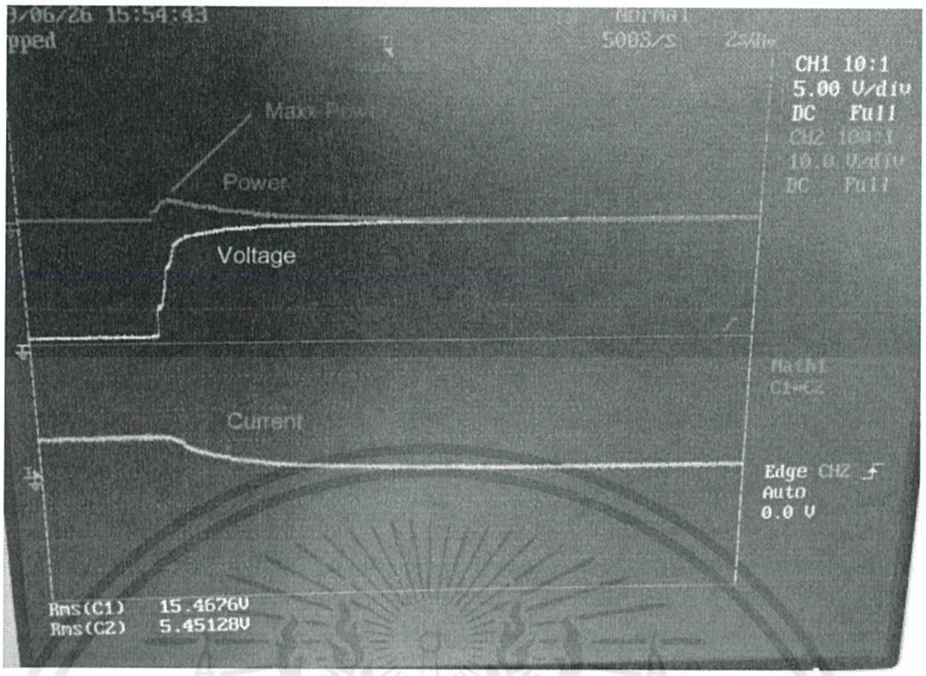
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองเปลี่ยนค่าความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็ว

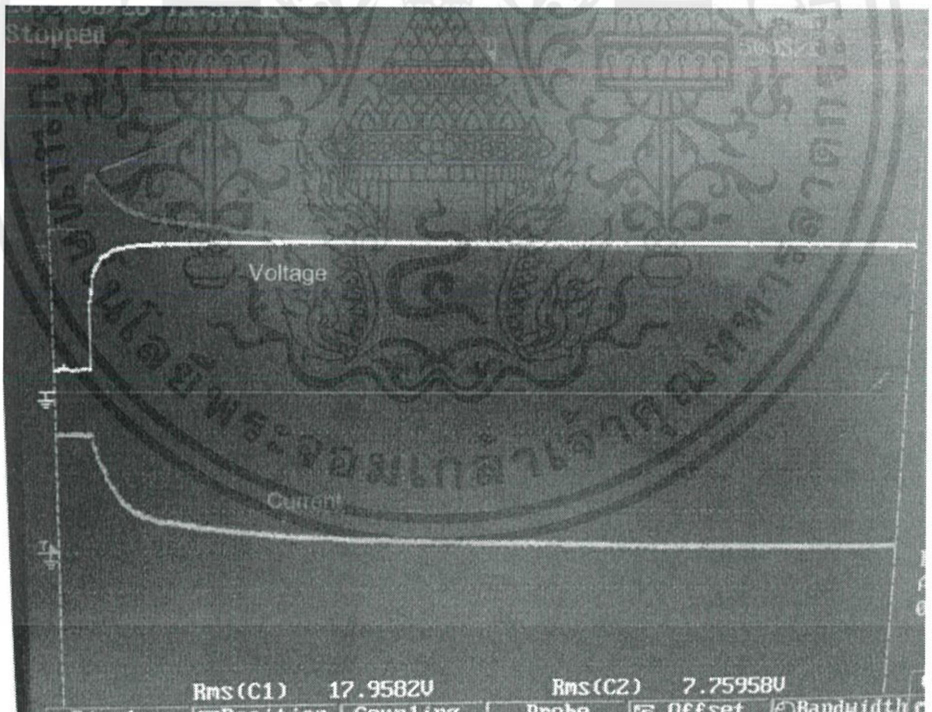


รูปที่ 4.11 ตัวต้านทานปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

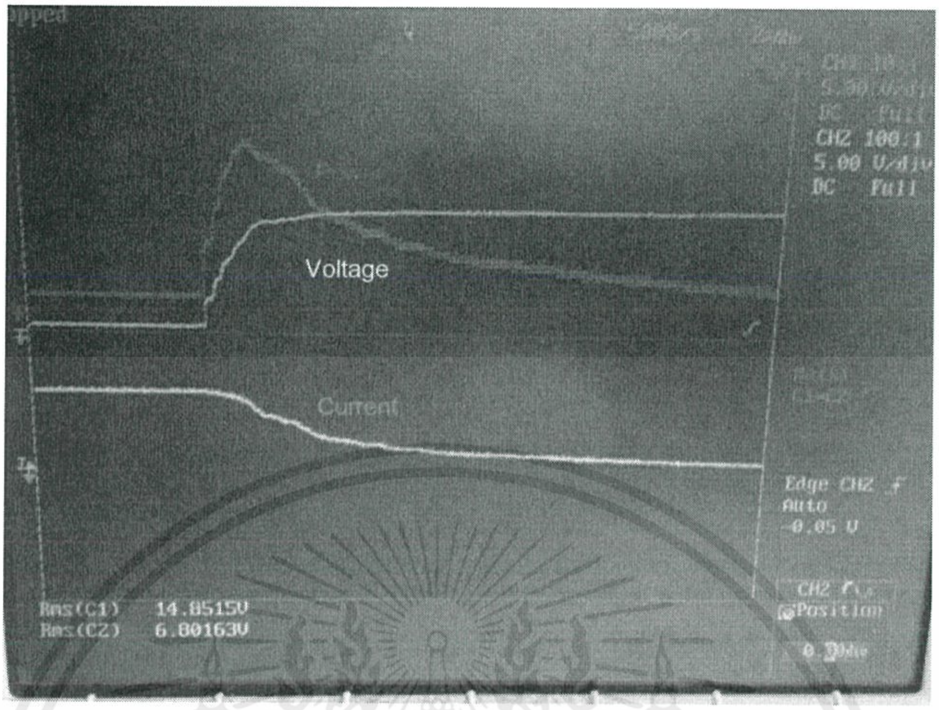


รูปที่ 4.12 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 100 W/m^2

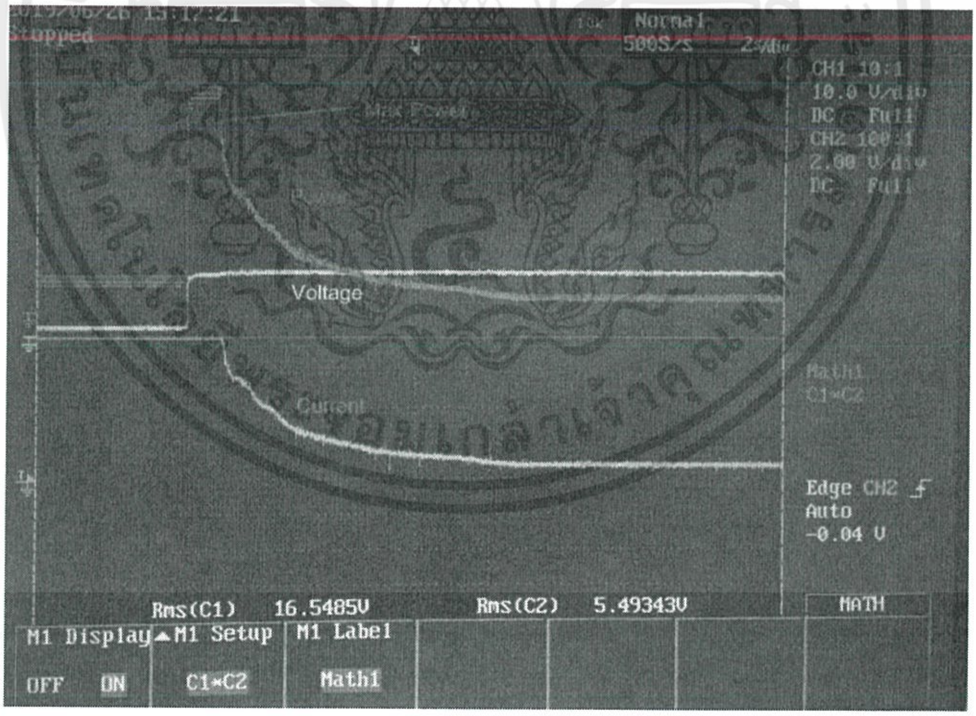


รูปที่ 4.13 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 200 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 500 W/m^2



รูปที่ 4.15 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 800 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ทำการต่อเข้ากับวงจรฟลายแบ็ค-อินเวอร์เตอร์ โดยใช้ตัวควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิค PID โดยทำการทดลองดังนี้

1. นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดดังนี้

ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

ขนาดกำลังสูงสุด	250	วัตต์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	30.4	โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	8.22	แอมป์
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	8.82	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	37.6	โวลต์

สภาพมาตรฐานที่ความเข้มแสง 1000 w/m^2 ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลดลง 0.5 %

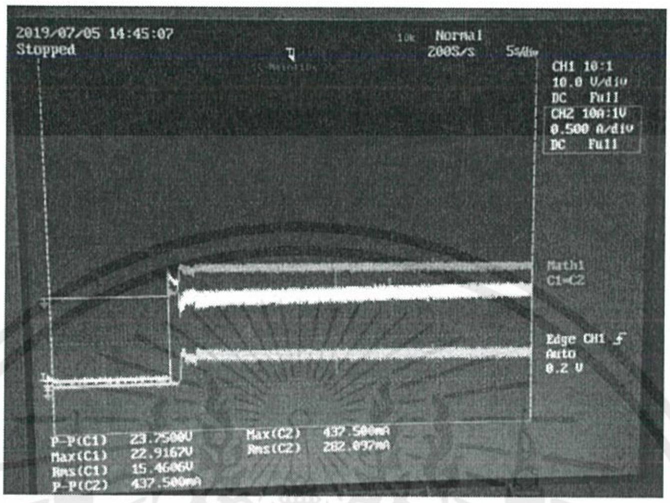
2. ต่อเข้ากับวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดยกระดับแรงดันรวมทั้งแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ
3. ใช้โหลดเป็นแผงโหลดค่าความต้านทาน 550K โอห์มต่อเข้ากับเอาต์พุตของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์
4. นำออสซิลโลสโคปมาบันทึกกราฟกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า
5. ทดลองที่สภาวะความเข้มแสงต่างๆและใช้โซล่ามิเตอร์บันทึกความเข้มแสงที่ทำการทดลอง
6. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยเทคนิค PID และบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 200 $\mathrm{W/m^2}$

ทำการทดลองโดยใช้เทคนิค PID โดยใช้อัตราการเปลี่ยนค่า K_p, K_i, K_d

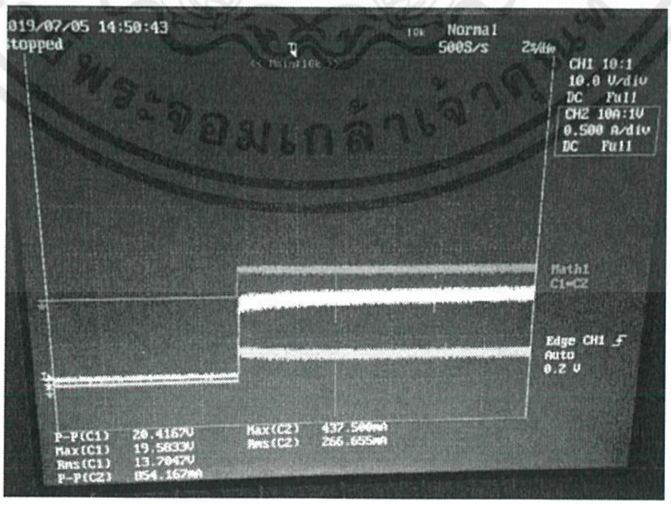
กรณีที่ 1.1 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0$, $K_d = 0$



รูปที่ 4.16 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0$, $K_d = 0$

จากรูปที่ 4.14 แสดงกาฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับเพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งจากรูปจะทำการเปลี่ยนค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0$, $K_d = 0$ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอที่ 200 $\mathrm{W/m^2}$ โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกัน ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 60 วัตต์

กรณีที่ 1.2 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0$

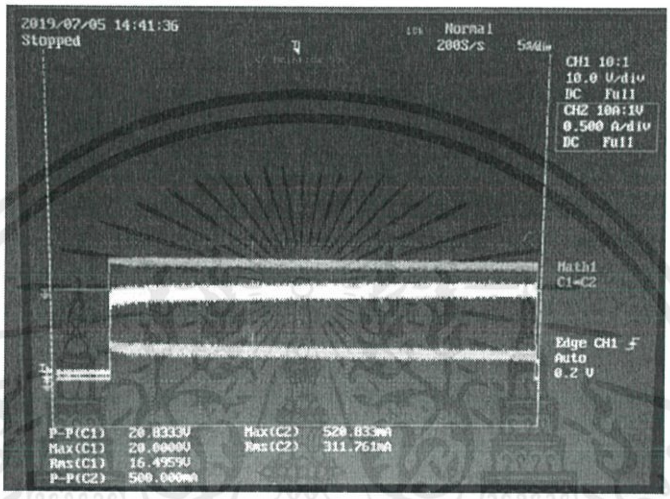


รูปที่ 4.17 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 แสดงกาฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับเพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งจากรูปจะทำการเปลี่ยนค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0$ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอที่ 200 $\mathrm{W/m^2}$ โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกัน ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 62 วัตต์

กรณีที่ 1.3 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.5$



รูปที่ 4.18 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.5$

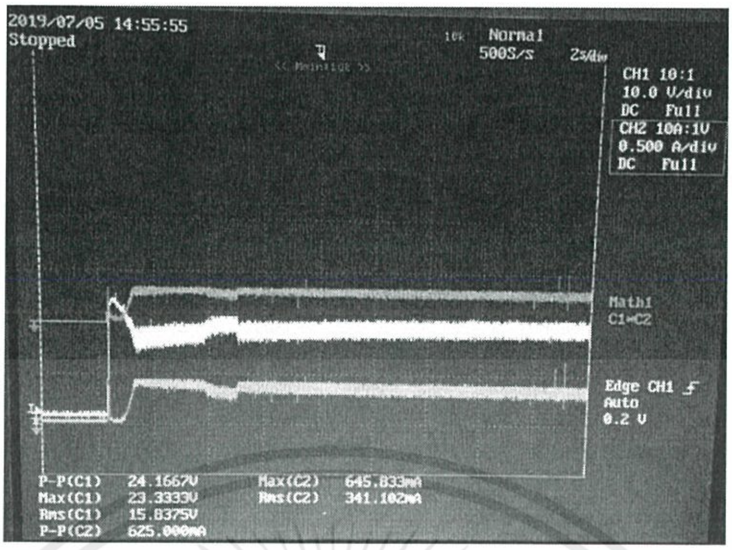
จากรูปที่ 4.16 แสดงกาฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับเพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งจากรูปจะทำการเปลี่ยนค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.5$ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอที่ 200 $\mathrm{W/m^2}$ โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกัน ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 64 วัตต์

4.5.2 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 500 $\mathrm{W/m^2}$

ทำการทดลองโดยใช้เทคนิค PID โดยใช้อัตราการเปลี่ยนค่า K_p, K_i, K_d

กรณีที่ 1.1 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0$, $K_d = 0$

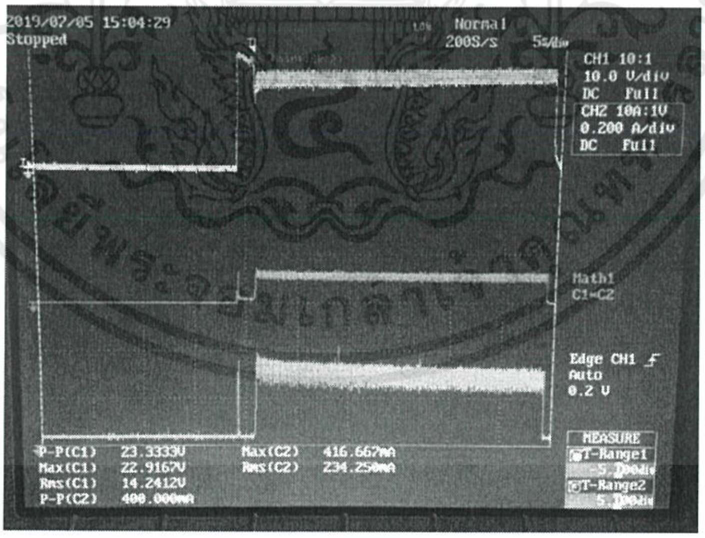
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0$, $K_d = 0$

จากรูปที่ 4.17 แสดงกาฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับเพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งจากรูปจะทำการเปลี่ยนค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0$, $K_d = 0$ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอที่ 500 $\mathrm{W/m^2}$ โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกัน ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 90 วัตต์

กรณีที่ 1.2 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0$

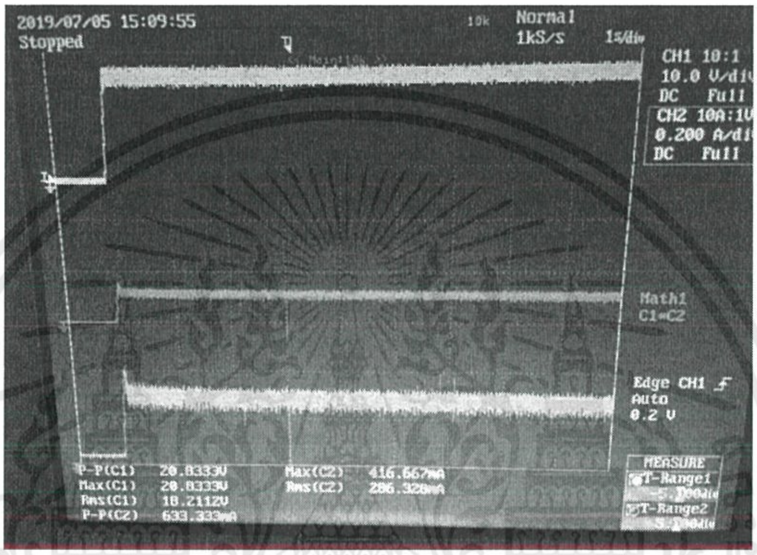


รูปที่ 4.20 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 แสดงกาฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับเพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งจากรูปจะทำการเปลี่ยนค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0$ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอที่ 500 $\mathrm{W/m^2}$ โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกัน ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 92 วัตต์

กรณีที่ 1.3 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.5$



รูปที่ 4.21 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5, K_i = 0.5, K_d = 0.5$

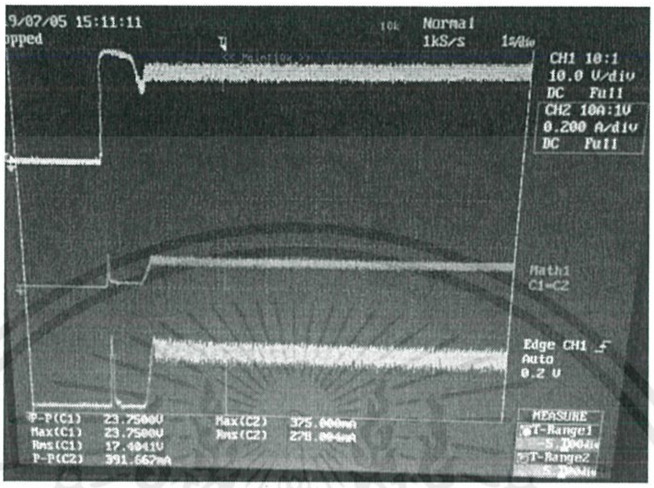
จากรูปที่ 4.19 แสดงกาฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับเพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งจากรูปจะทำการเปลี่ยนค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.5$ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอที่ 500 $\mathrm{W/m^2}$ โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกัน ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 95 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 800 $\mathrm{W/m^2}$

ทำการทดลองโดยใช้เทคนิค PID โดยใช้อัตราการเปลี่ยนค่า K_p, K_i, K_d

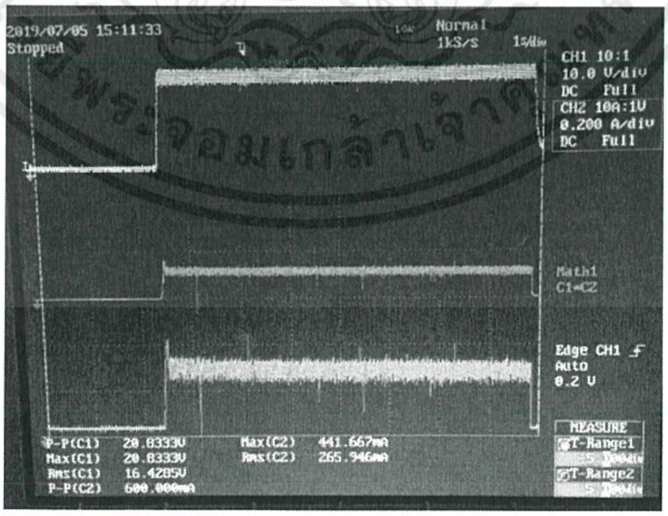
กรณีที่ 1.1 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0$, $K_d = 0$



รูปที่ 4.22 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0$, $K_d = 0$

จากรูปที่ 4.20 แสดงกาฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับเพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งจากรูปจะทำการเปลี่ยนค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0$, $K_d = 0$ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอที่ 800 $\mathrm{W/m^2}$ โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกัน ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 150 วัตต์

กรณีที่ 1.2 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0$

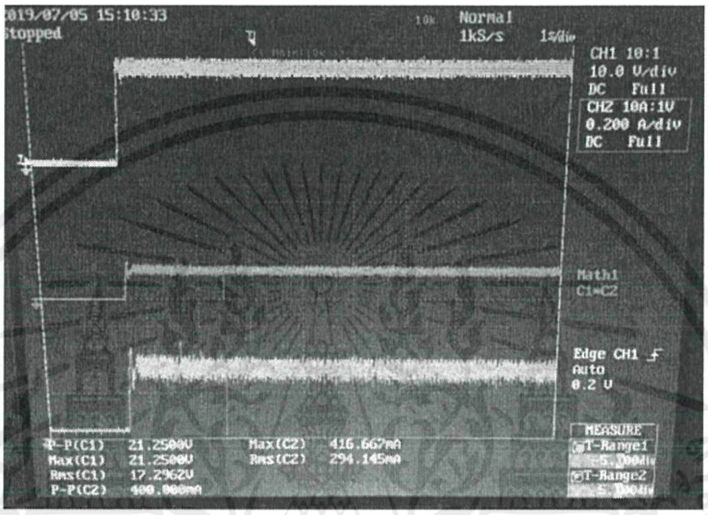


รูปที่ 4.23 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 แสดงกาฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับเพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งจากรูปจะทำการเปลี่ยนค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0$ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอที่ 800 $\mathrm{W/m^2}$ โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกัน ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 155 วัตต์

กรณีที่ 1.3 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.5$



รูปที่ 4.24 ผลการทดลองด้วยเทคนิค PID โดยใช้ $K_p = 0.5, K_i = 0.5, K_d = 0.5$

จากรูปที่ 4.22 แสดงกาฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับเพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ซึ่งจากรูปจะทำการเปลี่ยนค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$, $K_d = 0.5$ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอที่ 800 $\mathrm{W/m^2}$ โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกัน ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 160 วัตต์

ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบการทดลองของเทคนิค PID ภายใต้สภาวะความเข้มแสงค่าต่างๆ

1. เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง โดยเมื่อเทียบค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าพบว่าการใช้เทคนิคตัวควบคุมแบบ PID ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบค่าสูงสุดจากกราฟคุณลักษณะเฉพาะ
2. เวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เร็วกว่าการใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตแบบธรรมดา
3. เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่าการใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตแบบธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการจำลองคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ

จากผลการทดลองที่ทำการทดลองทั้ง 3 ความเข้มแสงแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการตามรอยด้วยการควบคุมแบบ PID ที่นำเสนอนั้น ทำให้ระบบเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำและใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการดึงกำลังไฟฟ้าที่ดีขึ้น โดยระบบมีค่าการสูญเสียอันเนื่องมาจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าเทคนิคการควบคุมแบบ PID สามารถใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการควบคุมแบบการรบกวนและสังเกตแบบธรรมดาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค PID พบว่าสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริงโดยค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าจากกราฟคุณลักษณะ ณ แสงนั้นๆและจากการจำลองและทดลอง พบว่าเมื่อเลือกใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (∆ma) ค่าต่ำระบบจะใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดมาก แต่ผลดีคือจะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อย ในทางกลับกันถ้าเลือกใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (∆ma) ที่มีค่าสูงระบบจะใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อย แต่ผลดีคือจะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมาก ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงประยุกต์เทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบ PID ที่กำหนดให้มีอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (∆ma) ที่ใช้ควบคุมจะไม่คงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับกฎที่สร้างขึ้นในกระบวนการของเทคนิคการควบคุมแบบ PID โดยส่งผลต่อประสิทธิภาพของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองและการจำลองระบบเทคนิค PID ที่นำเสนอนั้นสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองและการจำลองระบบและเทคนิคที่นำเสนอนั้นสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าน้อยกว่า โดยเทคนิคที่นำเสนอให้ผลตอบสนองที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันทั้งด้านของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและรวดเร็วในการตามรอยกำลังไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. ในส่วนของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้วงจร ควรใช้หม้อแปลงที่มีการแยกกันอย่างชัดเจน (ไม่ใช้หม้อแปลงแบบมีแท็บกลาง) เพราะอาจจะทำให้เกิดปัญหาเมื่อมีการต่อกราวน์ร่วม
2. ในการออกแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ควรจะมีเทคนิคเสริม เช่นเทคนิคการสวิตซ์แบบนุ่มนวล (soft-switching) เพื่อลดค่าการสูญเสียที่เกิดจากการสวิตซ์ (switching loss)
3. ควรเพิ่มความถี่ในการสวิตซ์ชิ่งของสัญญาณพัลส์วิดต์มอดูเลชั่น ให้มากขึ้นเพื่อลดขนาดและน้ำหนักของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์
4. ในการออกแบบวงจรไม่ควรใช้แหล่งจ่ายภายนอกมาใช้ในวงจร ควรจะใช้ไฟเลี้ยงจากหม้อแปลงความถี่สูงมาเลี้ยง Arduino, dsPIC30F4011และวงจรขับเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนา

จากผลการทดลองพบว่าวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นมีการใช้แหล่งจ่ายจากภายนอกเพื่อใช้จ่ายตัว Arduino, dsPIC30F4011และวงจรขับเกต เพื่อพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นระบบควรปรับปรุงให้สามารถรับพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และสามารถแปลงเป็นไฟเลี้ยงให้กับชุดวงจรเพื่อทำงานได้เอง (Stand alone) รวมทั้งควรใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความเสถียร์ในการควบคุมสัญญาณ PWM เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรให้มีความเสถียร์มากขึ้น นอกจากนี้ควรออกแบบวงจรกรองฝั่ง ทุติยภูมิ โดยคำนึงถึงคุณภาพรูปคลื่นซายน์ด้านขาออกของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ให้มีค่าฮาร์มอนิกส์น้อยกว่าที่การไฟฟ้ากำหนดหรือน้อยกว่า 5%

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการควบคุมแบบ PID ที่ใช้เป็นระบบที่มีความเร็วในการเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างรวดเร็วพร้อมทั้งยังใช้ลดขนาด Over-shoot ของระบบได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 "Alternative Energy Development Plan : AEDP2015,"2018 pp.9 [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf

[2] LEONICS CO., LTD. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.leonics.com/system/solar_photovoltaic/solar_photovoltaic/solar_photovoltaic_en.php

[3] PVEducation 2018. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://pveducation.org/pvcdrom/manufacturing/single-crystalline-silicon

[4] Anshika Srivastava, IndiaMART InterMESH Ltd. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.indiamart.com/proddetail/amorphous-silicon-solar-cell-13679537662.html

[5] egypt-business directory. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.egypt-business.com/Ticker/details/1737-2017-2022-Global-Top-Countries-Copper-Indium-Gallium-Selenide-Market-Report/153323

[6] บริษัท เฮอรีเทจอินเตอร์เนชั่นแนลดีเวลลอปเมท์ จำกัด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.heritage-int.co.th

[7] [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://sites.google.com/site/rebirthgroupen/hlak-kar-thangan

[8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน,"การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์", หน้า 1-108

[9] A. Ch. Kyritsis, Student Member, IEEE, E. C. Tatakis, and N. P. Papanikolaou, "Optimum Design of the Current-Source Flyback Inverter for Decentralized Grid-Connected Photovoltaic Systems," IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 23, NO. 1, MARCH 2008,pp 281-293

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] "Allegro MicroSystems LLC, ACS712 Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor," 2017, pp. 3-5

[11] http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/82793/IRF/IR2110.html

[12] Mike Gomez and Microchip Technology Inc., "Zero-Cross Detection Module Technical Brief," 2015, pp. 2-5

[13] Microship, "dsPIC30F4011/4012 DataSheet High-Performance, 16-Bit Digital Signal Controllers", 2017, pp. 2-3.

[14] FEC, "Arduino Uno R3 datasheet", pp. 2-5

[15] T. Kerekes,R Teodorescu, M. Liserre, R. Mastromauro,and A.Dell'Aquila, "MPPT algorithm for Voltage Controlled PV Inverter," Optimization of Electrical and Electronic Equipment,2008. OPTIM2008. 11th International Conference on, No.22-24, 2008, pp.427-432

[16] Ang, K.H., Chong, G.C.Y., and Li, Y ."PID control system analysis, design, and technology," IEEE Trans Control Systems Tech, Vol. 13,No.4,2005, pp.559-576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับแผงโซล่าร์เซลล์สำหรับตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้การควบคุมแบบพีไอดี

FLYBACK INVERTER CONNECTED TO SOLAR CELLS FOR TRACKING MAXIMUM POWER POINT USING PID CONTROLLER

นางสาวนภัสสร หงษ์หิรัญ, นางสาวพนิดา ลิภา, นายยุทธนัน จินามณี
รศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล, ดร. ภูมิ คงห้วยรอบ
วิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ3925

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยระบบที่นำเสนอประกอบไปด้วยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าโดยใช้วงจรฟลายแบ็คอินเวอเตอร์ชนิดทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ที่วงจรยังมีความไม่ซับซ้อน ราคาถูกและสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพระบบควบคุมแบบพีไอดีถูกใช้สำหรับการควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งนำค่าความชันจากกราฟ กำลัง-แรงดัน ที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่ถูกกำหนดไว้ คือที่ความชันเท่ากับศูนย์ (จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด) ด้วยวิธีการที่นำเสนอนี้ทำให้วงจรที่ออกแบบขึ้นสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพตลอดย่านการทำงานของระบบ

คำสำคัญ : การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด,วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์,ระบบควบคุมแบบพีไอดี

ABSTRACT

This project presents the maximum power point tracking (MPPT) from photovoltaic (PV) cells. The proposed system consists of a Flyback inverter that operates in discontinuous conduction mode. The proposed system circuit is not complicated, low cost and transfers power with high efficiency. PID controller is utilized to perform maximum power point tracking, which measured slop of PV curve is compared to the reference value that is zero (MPP). Based on the proposed technique, the designed circuit can draw the maximum power readily and efficiently throughout the operation range of the system.

Keywords : MPPT, Flyback inverter, PID Controller

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานเพื่อการพัฒนาประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ทรัพยากรธรรมชาติในประเทศที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงาน เช่น น้ำมันก๊าซธรรมชาติและถ่านหินมีแนวโน้มที่ลดลงซึ่งอาจหมดไปในที่สุด ทำให้ต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ จำนวนมากเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสภาวะเศรษฐกิจของชาติและคุณภาพชีวิตของประชาชน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการแสวงหาแนวทางเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคต เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรประกอบกับลักษณะทางภูมิประเทศ และ ภูมิอากาศ ทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละวันอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง รวมทั้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด จึงไม่สร้างมลภาวะให้กับสภาพแวดล้อมและยังเป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในประเทศอย่างยั่งยืน และเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) [1] ที่มีเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี 2579 ถึง 6000MW ทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น อีกทั้งเทคโนโลยีด้านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีราคาที่ถูกลงตามลำดับ อย่างไรก็ตามการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แปลงผันพลังงานหรืออินเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าได้ ดังนั้นการพัฒนาระบบแปลงผันพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จะช่วยให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

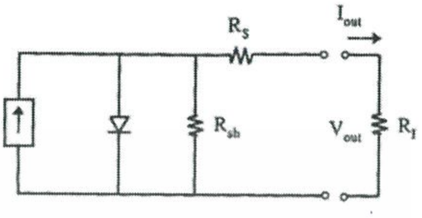
ระบบแปลงผันพลังงานในโครงงานนี้จะนำเสนอการใช้ฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ในการแปลงกำลังไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า ในโหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Conduction Mode: DCM) ซึ่งในการทำงานในโหมดการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องคือกระแสในตัวเหนี่ยวนำของหม้อแปลงฟลายแบคตกเป็นศูนย์ก่อนที่จบคาบเวลาของการสวิตช์ เนื่องจากพลังงานที่สะสมในขดลวดปฐมภูมิจะถ่ายโอนไปยังด้านทุติยภูมิอย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะเริ่มการทำงานรอบใหม่ จึงเหมาะกับการนำมาใช้ในการทำงานร่วมกันกับแผงโซล่าร์เซลล์ เพราะแรงดันอินพุทที่มาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกถ่ายโอนไปยังด้านทุติยภูมิจนหมด อีกทั้งแรงดันเอาท์พุทที่ได้ยังมีขนาดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการทำงานของหม้อแปลงในวงจรอินเวอร์เตอร์นั่นเอง

นอกจากจะพัฒนาระบบแปลงผันพลังงาน โครงงานนี้ยังให้ความสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากการนำ อัลกอริทึ่ม MaximumPower Point Tracking (MPPT) เพื่อนำมาควบคุมแรงดันที่จะจ่ายให้กับฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ในโครงงานนี้นำเสนอการใช้การควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative Controller) เพื่อนำมาใช้ในการหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยการใช้ค่าความชันจากกราฟ PV curve ของแผงโซล่าร์เซลล์จากค่าที่วัดได้จาก Voltage and current sensor มาใช้ในการหาค่า Error(setting point - ค่าที่วัดได้) และใช้การควบคุมแบบ PID ในการหาจุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ความชันมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะตั้งให้เป็นค่า Setting point)

2.ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือเซลล์ photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึงกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ถูกส่องด้วยแสง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ามืด I และแรงดันไฟฟ้า V ของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพมืดจะมี รูปเหมือนกับสมการของกระแสไฟฟ้าของไดโอด กล่าวคือ

$$I_o = qA\left[\frac{D_h p_n}{L_h} + \frac{D_e n_p}{L_e}\right] \quad 2.1$$

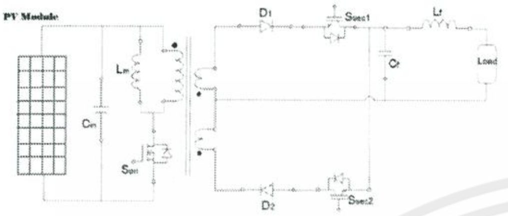
$$I = I_0\left[exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1\right] \quad 2.2$$

2.2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

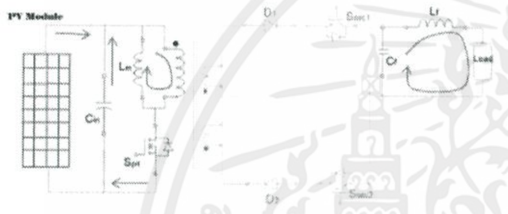
วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยมอสเฟต ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ ไดโอดกำลังตัวเก็บประจุด้านออก หม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูง ซึ่งใช้เป็นตัวเก็บพลังงานและแยกกราวด์ทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตและเอาท์พุต โดยหลักการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 สถานะการทำงานดังนี้ สถานะที่ 1 เมื่อสวิตช์ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ S_{pri} นำกระแสไฟฟ้าดังรูปที่ 2.11 (ข) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำ L_m ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ไดโอด D_1 และ D_2 ถูกไบแอสย้อนกลับและตัวเก็บประจุด้านออกทำการจ่ายพลังงานออกให้กับโหลด โดยมี S_{sec1}, S_{sec2} ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตซึ่งเปลี่ยนไฟฟ้าตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สถานะที่ 2 เมื่อสวิตช์ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ S_{pri} ไม่นำกระแสดังรูปที่ 2.11 (ค) ตัวเหนี่ยวนำ L_m จะคายพลังงานออกไปทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คมีผลทำให้ไดโอด D_1 ถูกไบแอสตรงมีผลทำให้สัญญาณแรงดันด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

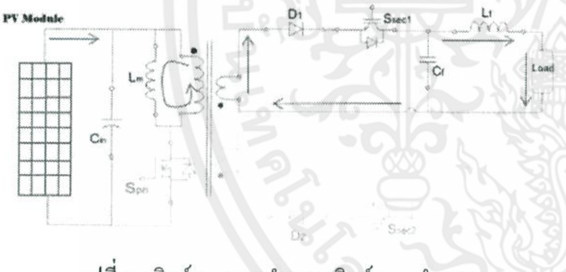
บวกและไดโอด D_2 ถูกไบแอสตรงเมื่อสัญญาณแรงดันด้านลบ ทำให้มีการสะสมพลังงานที่ตัวเก็บประจุด้านขาออกและมีการถ่ายเทพลังงานไปยังระบบกริดการไฟฟ้าโดยมี S_{sec1},S_{sec2} ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเช่นกัน



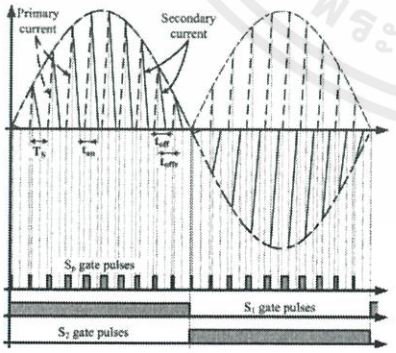
รูปที่ 2 วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็ค



รูปที่ 3 สวิตช์ S_{pri} และ S_{pri} ทำงานในขณะที่ D_1 หยุดนำกระแส



รูปที่ 4 สวิตช์ S_{pri} หยุดทำงานสวิตช์ S_{sec1} ทำงาน



รูปที่ 5 สัญญาณกระแสปฐมภูมิและทุติยภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

2.3 มอดูเลชัน

การมอดูเลชันความกว้างพัลส์ คือการนำสัญญาณสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกันและสองสัญญาณที่ว่านี้คือสัญญาณ "สามเหลี่ยม"และสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลซ์มาเปรียบเทียบกัน ตัวอย่างเช่น ถ้านำสัญญาณสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกับสัญญานไฟฟ้ากระแสตรง จะได้ความกว่างของพัลซ์คงที่ และความกว้างของพัลซ์นั้นจะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง แต่ในส่วนของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำสัญญาณแอปซูลูทไซน์มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม

2.4 ฮาร์มอนิกและตัวประกอบกำลัง

ฮาร์มอนิก (Harmonic) คือ สัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน(Fundamental Frequency) เช่น ความถี่มูลฐานคือ 50 Hz ความถี่ฮาร์มอนิกคือ150,250,350 H_z เป็นต้น ความถี่มูลฐานเรียกว่า ฮาร์มอนิกอันดับที่1 ส่วนฮาร์มอนิกอันดับอื่นๆ ก็หาได้จากการเอาเลขจำนวนเต็มบวกคูณกับความถี่มูลฐาน การวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกสามารถทำได้หลายวิธีแตกต่างกันออกไป แต่โดยส่วนมากจะใช้วัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion : THD)

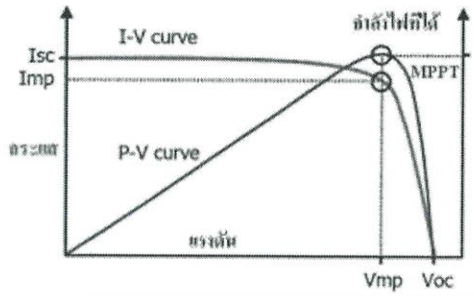
ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic distortion : THD) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (rms) ของส่วนประกอบฮาร์มอนิกกับค่ากำลังสองเฉลี่ยของส่วนประกอบความถี่หลักมูล

2.5 การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking : MPPT) หมายถึง ขั้นตอนวิธีที่ถูกรวมเข้าไว้ในอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ในการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้สูงสุด (maximum power) ทั้งนี้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar radiation) , อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambient temperature) และอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell temperature)



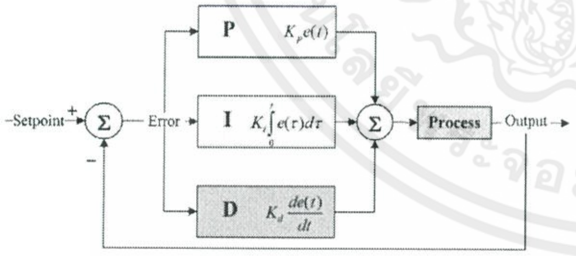
รูปที่ 6 เส้นโค้งกระแส – แรงดัน จุดที่เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

2.6 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (Proportional-Integral-Derivative : PID)

สัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบการควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสาม ตามสมการ

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out}$$

เมื่อ Pout, Iout, Dout เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุมสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ จากแต่ละเทอม



รูปที่ 7 โครงสร้างการทำงานของสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์

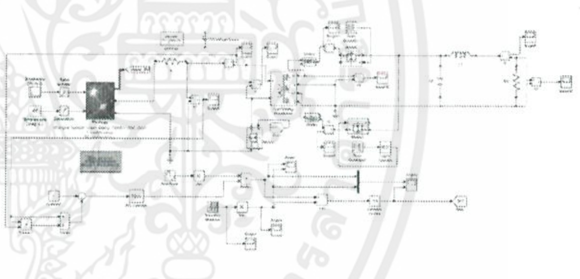
เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียก อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ Kp หรือที่เรียกว่า อัตราขยายสัดส่วน

ผลจากเทอมปริพันธ์ (บางครั้งเรียก reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์, Ki

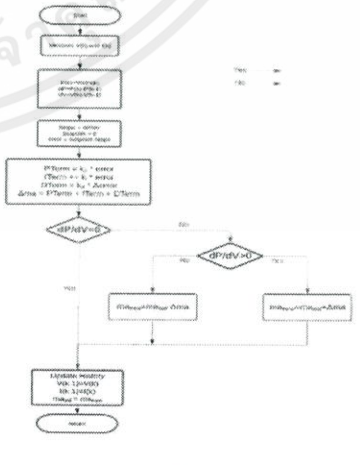
อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุกๆเวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ Kd ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับ อัตราขยายอนุพันธ์ Kd

3.การจำลองการทำงานและการออกแบบ

3.1 การออกแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยวิธีการสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ โดยใช้ระบบ MATLAB/SIMLINK



รูปที่ 8 การจำลองการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยวิธีการสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์



รูปที่ 9 แผนผังการทำงานของวิธีการสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการทดลอง

ในการทดสอบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์จะทำการทดสอบ 2 กรณี คือ ไม่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID มาหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ (Open loop) และ ใช้ตัวควบคุมแบบ PID มาหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ (Close loop)

4.1 ผลการทดลองแบบ Open loop

จากการทดลองจะทำการเปลี่ยนค่ามอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma)โดยกำหนดให้โวตต์คงที่ ซึ่งจะทดลองจ่ายกับโหลด 550KΩ จากการทดลองได้ผลดังนี้

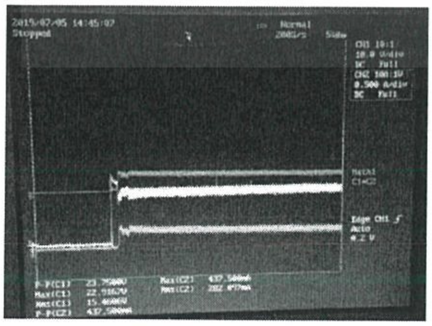
Δma	Vinput	Vp-p	Vmax	Vrms	Vmeter
0.1	30.4	382	200	146	140
0.2	30.4	446	230	164	160
0.3	30.4	510	254	190	190
0.4	30.4	510	254	209	219
0.5	30.4	510	254	216	230
0.6	30.4	510	254	220	238
0.7	30.4	510	254	223	243
0.8	30.4	510	254	225	246
0.9	30.4	510	254	226	253
1	30.4	510	254	223	239

4.2 ผลการทดลองแบบ close loop

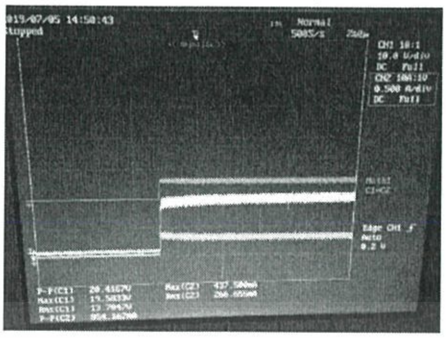
จากการทดลองจะทำการเปลี่ยนค่า K_p, K_i, K_d โดยกำหนดให้โวตต์คงที่ ซึ่งจะทดลองจ่ายกับโหลด 550KΩ จากการทดลองได้ผลดังนี้

4.2.1 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 200 W/m²

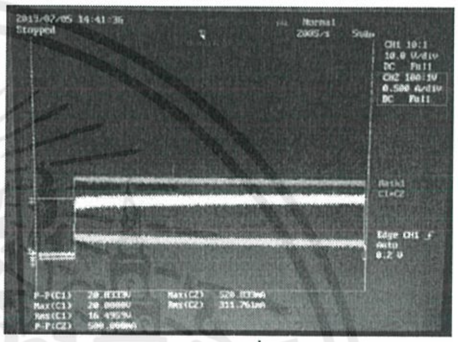
กรณีที่ 1.1 เทคนิค PIDโดยการปรับค่า $K_p = 0.5$



กรณีที่ 1.2 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5, K_i = 0.5$

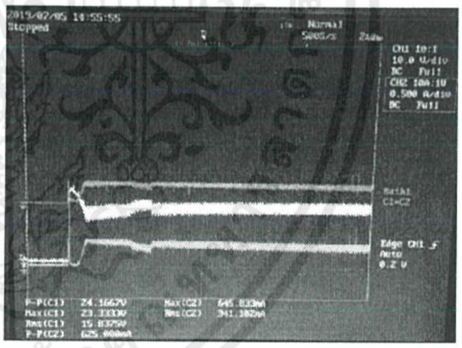


กรณีที่ 1.3 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5, K_i = 0.5, K_d = 0.5$

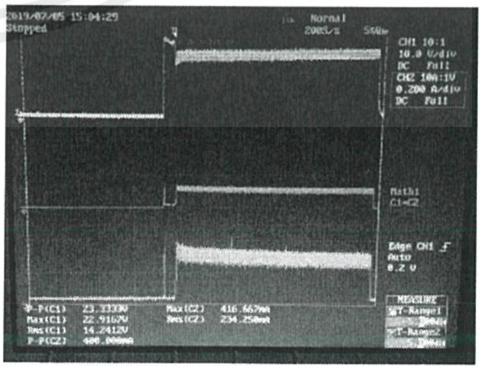


4.2.2 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m²

กรณีที่ 1.1 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$

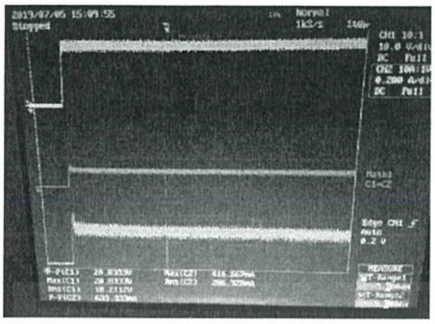


กรณีที่ 1.2 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$, $K_i = 0.5$



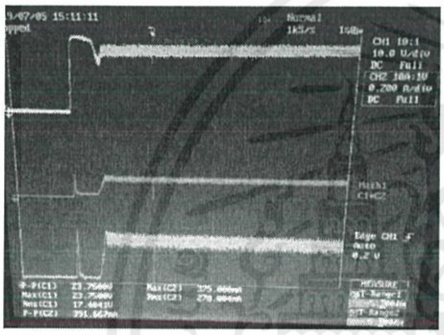
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 1.3 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5, K_i = 0.5, K_d = 0.5$

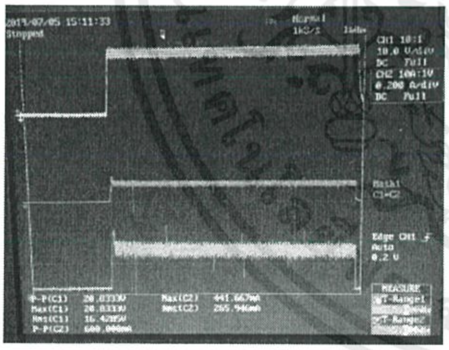


4.2.1 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 800 W/m^2

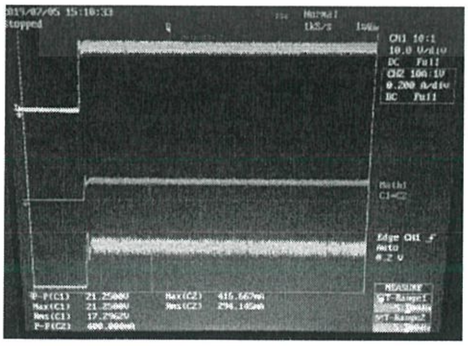
กรณีที่ 1.1 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5$



กรณีที่ 1.2 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5, K_i = 0.5$



กรณีที่ 1.3 เทคนิค PID โดยการปรับค่า $K_p = 0.5, K_i = 0.5, K_d = 0.5$



5. สรุปผลการทดลอง

จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค PID พบว่าสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริงโดยค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าจากกราฟคุณลักษณะ ณ แสงนั้นๆและจากการจำลองและทดลอง พบว่าเมื่อเลือกใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ค่าต่ำระบบจะใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดมาก แต่ผลดีคือจะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อย ในทางกลับกันถ้าเลือกใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่มีค่าสูงระบบจะใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อย แต่ผลดีคือจะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมาก ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงประยุกต์เทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบ PID ที่กำหนดให้มีอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่ใช้ควบคุมจะไม่คงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับกฎที่สร้างขึ้นในกระบวนการของเทคนิคการควบคุมแบบ PID โดยส่งผลต่อประสิทธิภาพของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองและการจำลองระบบเทคนิค PID ที่นำเสนอนั้นสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองและการจำลองระบบและเทคนิคที่นำเสนอนั้นสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าน้อยกว่า โดยเทคนิคที่นำเสนอให้ผลตอบสนองที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันทั้งด้านของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและรวดเร็วในการตามรอยกำลังไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

[1] แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 “Alternative Energy Development Plan : AEDP2015,”2018 pp.9 [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf

[2] LEONICS CO., LTD. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.leonics.com/system/solar_photovoltaic/solar_photovoltaic/solar_photovoltaic_en.php

[3] PVEducation 2018. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://pveducation.org/pvcdrom/manufacturing/single-crystalline-silicon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[4] Anshika Srivastava, IndiaMART InterMESH Ltd. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.indiamart.com/proddetail/amorphous-silicon-solar-cell-13679537662.html

[5] egypt-business directory. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.egypt-business.com/Ticker/details/1737-2017-2022-Global-Top-Countries-Copper-Indium-Gallium-Selenide-Market-Report/153323

[6] บริษัท เฮอรีเทจอินเตอร์เนชั่นแนลดีเวลลอปเมนท์ จำกัด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.heritage-int.co.th

[7] [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://sites.google.com/site/rebirthgroupen/hlak-kar-thangan

[8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน,"การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์", หน้า 1-108

[9] A. Ch. Kyritsis, Student Member, IEEE, E. C. Tatakis, and N. P. Papanikolaou, "Optimum Design of the Current-Source Flyback Inverter for Decentralized Grid- Connected Photovoltaic Systems," IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 23, NO. 1, MARCH 2008,pp 281-293

[10] "Allegro MicroSystems LLC, ACS712 Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor," 2017, pp. 3-5

[11] http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/82793/IRF/IR2110.html

[12] Mike Gomez and Microchip Technology Inc., "Zero-Cross Detection Module Technical Brief," 2015, pp. 2-5

[13] Microship, "dsPIC30F4011/4012 DataSheet High-Performance, 16-Bit Digital Signal Controllers", 2017, pp. 2-3.

[14] FEC, "Arduino Uno R3 datasheet", pp. 2-5

[15] T. Kerekes,R Teodorescu, M. Liserre, R. Mastromauro,and A.Dell'Aquila, "MPPT algorithm for Voltage Controlled PV Inverter," Optimization of Electrical and Electronic Equipment,2008. OPTIM2008. 11th International Conference on, No.22-24, 2008, pp.427-432

[16] Ang, K.H., Chong, G.C.Y., and Li, Y. "PID control system analysis, design, and technology," IEEE Trans Control Systems Tech, Vol. 13,No.4,2005, pp.559-576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LYBACK INVERTER CONNECTED TO SOLAR CELLS FOR TRACKING MAXIMUM POWER POINT USING PID CONTROLLER

Napassorn Honghirun[1], Phanid Lipha[2], Yutthanan Jinamanee[3]
Asst.Prof.Dr. Somyot Kaitwanidvilai[4] and Asst.Dr. Poom Konghuayrob[5]

Abstract

his project presents a novel method of maximum power point tracking MPPT) of photovoltaic (PV) cells. The proposed system consists of a lyback inverter, which operates in discontinuous conduction mode. The roposed system circuit is not complicated, low cost and transfers power with igh efficiency. A PID controller is utilised to perform maximum power point acking, which measures the slope of the PV curve, compared to the eference value of zero at the maximum power point (MPP). Based on the roposed technique, the designed circuit can draw the maximum power eadily and efficiently throughout the operation range of the system.

Introduction

Nowadays, the population of our world is increasing rapidly, resulting in igher energy demands. Renewable energy is an increasingly important way o help generate electricity alongside current power plants. Solar cells are ow cheaper and higher performance than ever. Therefore, the solar cell is ne of the most suitable alternatives for investment and electricity eneration. However, the production of electricity from solar cells requires n inverter to convert electricity from DC to AC. In this thesis, we use a lyback inverter in DCM (Discontinuous Conduction Mode). This helps to ncrease the output voltage (according to the equation V=Ldi/dt) using only a :2 transformer ratio and increase the efficiency of Solar cells by performing MPPT controlled by PID.

Methodology

The system consists of a PV module generating the power. A high frequency witching transformer controlled by a microcontroller generating a Pulse Vidth Modulation 27 kHz signal to drive the primary side and 50 Hz for the econdary side, by comparing a 100 Hz absolute sine wave with a sawtooth vave of 27 kHz. Flyback inverter in discontinuous conduction mode onverts the power output and PID based MPPT tracks maximum power

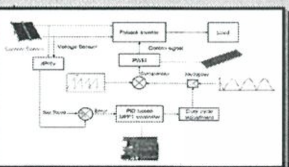


Fig 1 system description

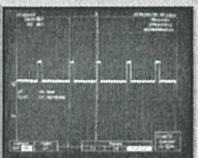


Fig 2 PWM primary side

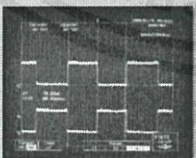


Fig 3 PWM secondary side

Results

n our experiment we vary the modulation index between 0.1-0.8 to yield the esults shown in the table below:

Δma	Vinput (V)	I (A)	Vp-p (V)	Vrms (V)
0.1	17.4	0	9	2.7
0.2	17.4	0.01	17.8	5.5
0.3	17.4	0.02	28.6	8.9
0.4	17.4	0.05	43.4	12.8
0.5	17.4	0.11	62	17.8
0.6	17.4	0.22	84	23.8
0.7	17.4	0.42	114	30.72
0.8	17.4	0.80	140	37.75

The modulation index's (ma) effect on power and current taking.

Fig 4 Primary voltage

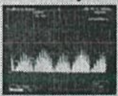


Fig 5 Primary current

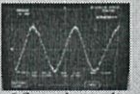


Fig 6 Secondary voltage

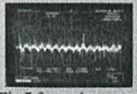
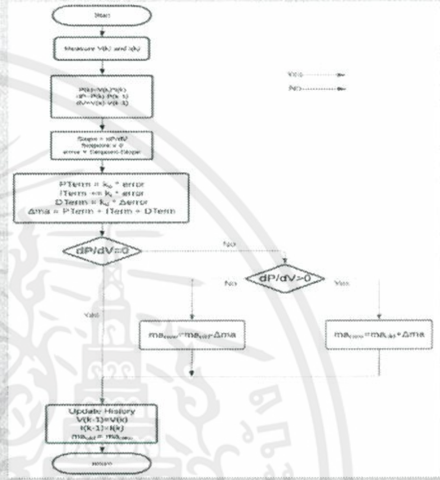


Fig 7 Secondary current



From our experiment, the Flyback inverter circuit we designed works with our open loop case. The hardware is ready to support our closed loop case with PID based MPPT. The modulation index (ma) affects the power and current taking. At the moment we can control our ma as we wish from the microcontroller. We use the ma for tracking maximum power point following the logic in the above flow chart. The PID part uses an Arduino UNO R3, which sends an analog output to a microcontroller, which is then used for generating the PWM signal controlling the ma output by multiplying an absolute sine wave with the analog input and comparing it to the sawtooth wave. The ma output is used as the input PWM for the flyback inverter to achieve the maximum power point.

Conclusion

In this project, a Flyback inverter with center tapped secondary winding using PID control for MPPT of an AC module system has been proposed. The proposed MPPT technique is used to reduce the error to zero for achieving good power oscillation and fast tracking. The experimental results confirm that the proposed MPPT technique has a higher performance and effectiveness than other techniques.

References

[1] Kyritsis, A.ch.; Tatakis, E.C.; Papanikolaou and N.P, "Optimum Design of the Current-Source Flyback Inverter for Decentralized Grid-Connected Photovoltaic Systems," Energy Conversion, IEEE Transaction on ., Vol.23, No. 1, pp. 281-293, 2008.

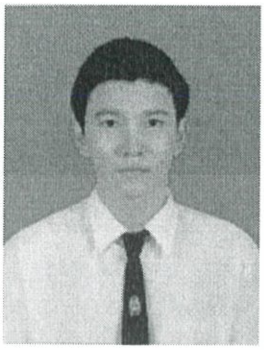
[2] Poom Konghuayrob. "A study on multiple step size incremental conductance technique and fuzzy logic control for MPPT in flyback PV inverter," May 2012, pp.1-112.

[3] Yeong-Chau Kuo, Tsorng-Juu Liang and Jiann-Fuh Chen. "Novel Maximum-Power-Point-Tracking Controller for Photovoltaic Energy Conversion System," IEEE Transactions On Industrial Electronic, Vol.48, No. 3, June 2001, pp.594-601.

ENGINEERS LADKRABANG

E-mail: poom.ko@kmitl.ac.th

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายยุทธนัน จินามณี

วัน เดือน ปี 16 มีนาคม 2540

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนอนุกูลนารี จังหวัดกาฬสินธุ์

ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
คณะวิศวรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดกระบี่
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2561

ชื่อ-นามสกุล นางสาวพนิดา ลิภา

วัน เดือน ปีเกิด 4 สิงหาคม 2539

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนสหัสขันธ์ศึกษา

ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
คณะวิศวรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษท บลูเอ็นเนอร์จีซิสเต็ม จำกัด
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ-นามสกุล นางสาวนภัสสร หงษ์หิรัญ

วัน เดือน ปีเกิด 25 สิงหาคม 2539

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนสตรีเศรษฐบุตรบำเพ็ญ

ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน Ecole central de Lyon, France
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน – 6 กรกฎาคม 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้